

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE RIESGO DE DESASTRES
ORIGINADOS POR FLUJOS DE DETRITOS EN LA QUEBRADA DE
CUSIPATA, DISTRITO DE CHACLACAYO, LIMA, PERÚ**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Antenor Izquierdo Horna

ASESORA:

Sandra Cecilia Santa Cruz Hidalgo

Lima, Junio, 2024

Informe de Similitud

Yo, Sandra Cecilia Santa Cruz Hidalgo, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado:


PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE RIESGO DE DESASTRES ORIGINADOS POR FLUJOS DE DETRITOS EN LA QUEBRADA DE CUSIPATA, DISTRITO DE CHACLACAYO, LIMA, PERÚ

Del autor Antenor Izquierdo Horna,

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 19%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 30/09/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: 30 de setiembre de 2024

| | |
|--|---|
| Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>Santa Cruz Hidalgo, Sandra Cecilia</u> | |
| DNI:09642115 | Firma  |
| ORCID: 0000-0001-5227-3869 | |

RESUMEN

La evaluación del riesgo de desastres es un procedimiento metódico cuyo propósito es reconocer, examinar y valorar los riesgos vinculados a posibles desastres causados por fenómenos naturales o por el hombre. Este procedimiento es esencial para la gestión de riesgos de desastres, ya que sirve como fundamento para la creación e implementación de estrategias de mitigación, preparación, respuesta y recuperación. En esta investigación, se realizó una evaluación del riesgo generado por flujo de detritos en la quebrada Cusipata (Chaclacayo, Lima - Perú) con la información disponible hasta el año 2017, ya que, en este año, se realizó el último censo nacional. La metodología empleada, para la evaluación del riesgo, fue la estipulada por CENEPRED, la cual se basa en un Proceso de Análisis Jerárquico multicriterio. Las dimensiones estudiadas fueron la dimensión física, social y económica, las cuales se desglosaron en diferentes factores que sirvieron para caracterizar el área de estudio. Los resultados obtenidos indicaron que existen 12 manzanas en un nivel de Alto riesgo. Esto se debe a las características presentes en el área de influencia de la quebrada Cusipata. De este modo, se presenta una propuesta de medidas de mitigación del riesgo a partir del análisis realizado en la zona de influencia de la quebrada Cusipata, las cuales son el reforzamiento de las estructuras existentes, la construcción de un cuarto dique y de dos muros de contención, un análisis estructural, un análisis costo – beneficio – efectividad, la realización y señalización de rutas viales para mantenimiento de las estructuras, la descolmatación y limpieza del cauce de la quebrada, la planificación de rutas de evacuación, la realización de programas de concientización, la evaluación de riesgos periódicos y el desarrollo de sistemas de alerta temprana. Finalmente, se espera que el aporte de esta tesis sea considerado en la toma de decisiones para la mitigación de riesgo ante flujo de detritos.

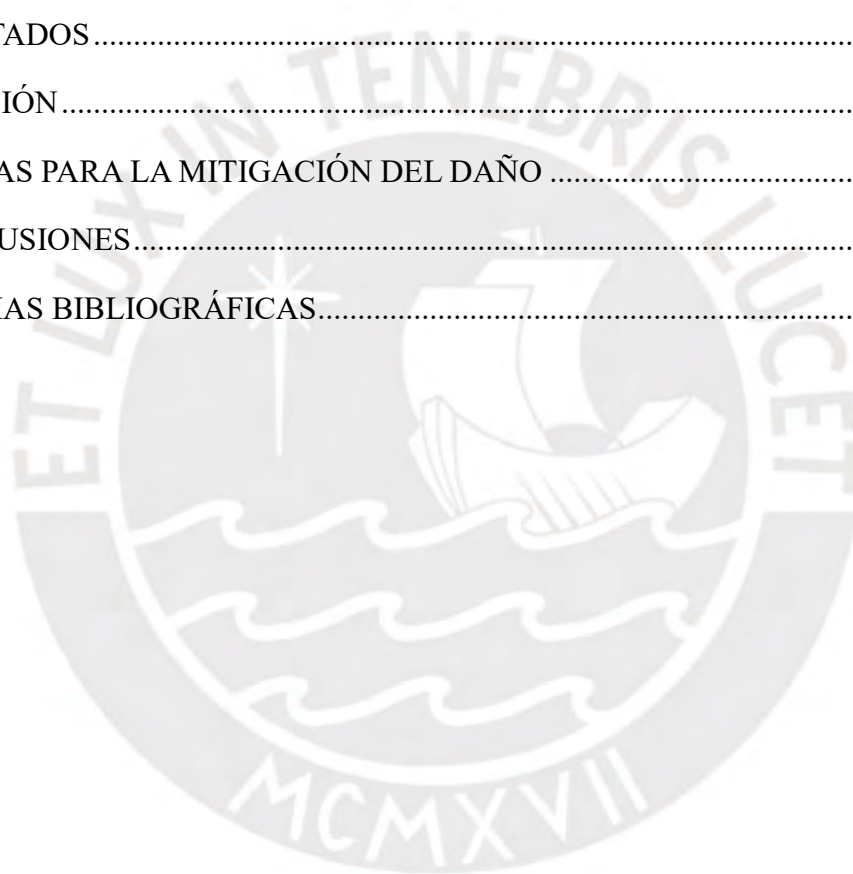
Palabras clave: Evaluación del riesgo, Flujo de detritos, Peligro, Vulnerabilidad, Riesgo, Mitigación, Quebrada Cusipata, Chaclacayo, Perú

ÍNDICE

| | |
|--|-----|
| RESUMEN | i |
| ÍNDICE DE TABLAS | v |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | vii |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 Problema de investigación | 3 |
| 1.2 Hipótesis..... | 3 |
| 1.3 Objetivos | 4 |
| 1.3.1 Objetivo general..... | 4 |
| 1.3.2 Objetivos específicos. | 4 |
| 1.4 Justificación de la investigación..... | 4 |
| 1.5 Organización | 5 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 7 |
| 2.1 Antecedentes de la investigación | 7 |
| 2.1.1 Antecedentes Internacionales..... | 7 |
| 2.1.2 Antecedentes Nacionales. | 9 |
| 2.2 Bases teóricas | 12 |
| 2.2.1 Riesgo de desastre..... | 12 |
| 2.2.2 Escenario de riesgo. | 12 |
| 2.2.3 Vulnerabilidad..... | 13 |
| 2.2.4 Peligro..... | 15 |
| 2.2.5 Gestión del Riesgo de Desastres (GRD)..... | 15 |
| 2.2.6 Políticas normativas nacionales. | 15 |

| | |
|---|----|
| 3. MARCO METODOLÓGICO | 19 |
| 3.1 Aspectos teóricos del método..... | 19 |
| 3.2 Procesamiento de información | 20 |
| 4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO..... | 23 |
| 4.1 Descripción del caso de estudio | 23 |
| 4.2 Características del área de estudio | 26 |
| 4.2.1 Características físicas..... | 26 |
| 4.2.2 Características sociales | 31 |
| 4.2.3 Características ambientales..... | 36 |
| 4.2.4 Características económicas..... | 41 |
| 5. EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE ORIGINADO POR FLUJO DE DETRITOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO | 42 |
| 5.1 Situación de Peligro | 42 |
| 5.1.1 Metodología para la determinación del peligro. | 42 |
| 5.1.2 Identificación del área de influencia..... | 43 |
| 5.1.3 Susceptibilidad del territorio..... | 43 |
| 5.1.4 Factores desencadenantes..... | 44 |
| 5.1.5 Factores condicionantes..... | 45 |
| 5.1.6 Parámetro de evaluación..... | 51 |
| 5.1.7 Análisis de elementos expuestos..... | 52 |
| 5.1.8 Definición de escenarios..... | 52 |
| 5.2 Situación de Vulnerabilidad | 52 |

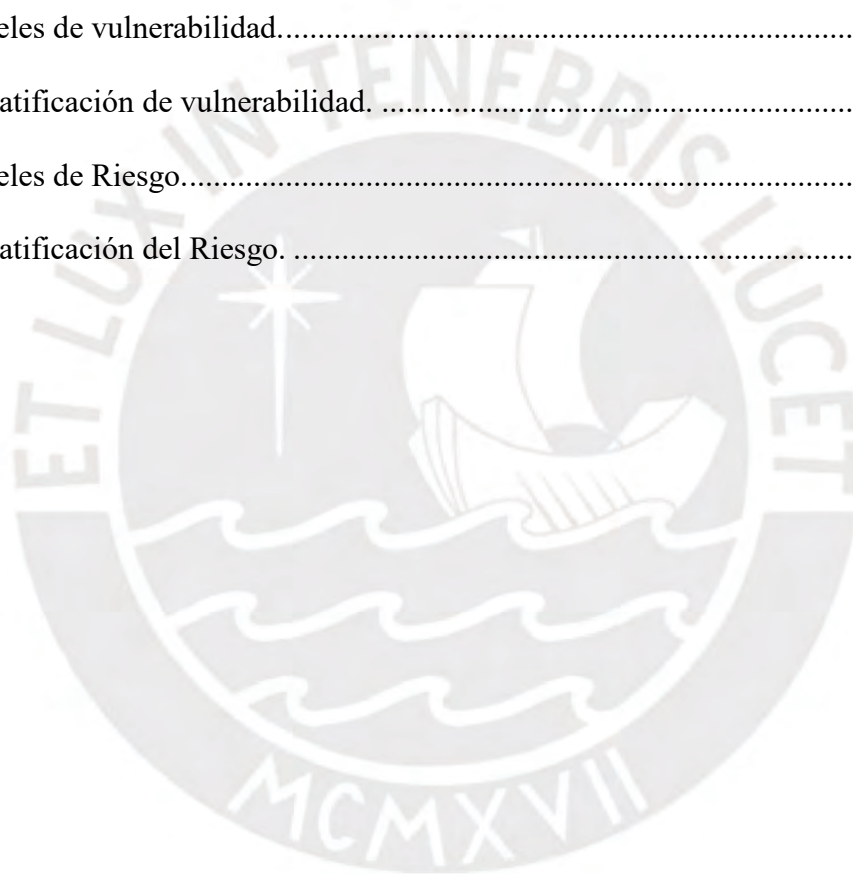
| | | |
|-------|--|----|
| 5.2.1 | Dimensión física..... | 53 |
| 5.2.2 | Dimensión social..... | 55 |
| 5.2.3 | Dimensión económica..... | 56 |
| 5.3 | Situación de Riesgo..... | 57 |
| 5.3.1 | Metodología para determinación del riesgo..... | 57 |
| 5.3.2 | Matriz de Riesgos | 57 |
| 6. | RESULTADOS..... | 59 |
| 7. | DISCUSIÓN..... | 68 |
| 8. | MEDIDAS PARA LA MITIGACIÓN DEL DAÑO | 76 |
| 9. | CONCLUSIONES..... | 81 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 83 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Escala de Saaty..... | 20 |
| Tabla 2 Procedimiento para calcular el vector de priorización..... | 22 |
| Tabla 3 Sectorización del distrito de Chaclacayo..... | 23 |
| Tabla 4 Unidades geomorfológicas del área de estudio en relación a su pendiente..... | 29 |
| Tabla 5 Material predominante en paredes de las viviendas en Chaclacayo..... | 32 |
| Tabla 6 Material predominante en pisos de las viviendas en Chaclacayo..... | 32 |
| Tabla 7 Material predominante en techos de las viviendas en Chaclacayo..... | 33 |
| Tabla 8 Tipo de abastecimiento del servicio de alcantarillado en Chaclacayo..... | 34 |
| Tabla 9 Cantidad de instituciones educativas según al sector que pertenecen..... | 34 |
| Tabla 10 Establecimientos de Salud en Chaclacayo..... | 36 |
| Tabla 11 Subunidades hidrográficas de la cuenca del río Rímac..... | 37 |
| Tabla 12 Precipitación máxima en 24hr (mm) – Estación Chosica..... | 39 |
| Tabla 13 Temperatura media anual, máxima y mínima anual..... | 41 |
| Tabla 14 Actividad económica en Chaclacayo..... | 41 |
| Tabla 15 Rango de precipitación en mm/día para el área de estudio..... | 44 |
| Tabla 16 Vector de priorización del parámetro “Precipitación”..... | 45 |
| Tabla 17 Vector de priorización de los Factores Condicionantes..... | 46 |
| Tabla 18 Vector de priorización del factor “Litología”..... | 47 |
| Tabla 19 Vector de priorización del factor “Geomorfología”..... | 48 |
| Tabla 20 Vector de priorización del factor “Pendiente”..... | 49 |
| Tabla 21 Matriz de normalización del parámetro “Volumen de flujo”..... | 51 |
| Tabla 22 Dimensiones, factores y parámetros de vulnerabilidad..... | 53 |
| Tabla 23 Vector de priorización del parámetro “Sistema estructural de la edificación”..... | 54 |
| Tabla 24 Matriz de normalización de pares del parámetro “Tipo de edificación”..... | 55 |

| | |
|--|----|
| Tabla 25 Vector de priorización del parámetro “Número de habitantes por vivienda”. | 56 |
| Tabla 26 Vector de priorización del parámetro de “Ingreso promedio del hogar”. | 56 |
| Tabla 27 Determinación del Riesgo. | 57 |
| Tabla 28 Matriz de Riesgos. | 58 |
| Tabla 29 Niveles de Susceptibilidad y Parámetro de evaluación. | 59 |
| Tabla 30 Niveles de Peligro. | 59 |
| Tabla 31 Estratificación de los niveles de peligro. | 60 |
| Tabla 32 Niveles de vulnerabilidad. | 62 |
| Tabla 33 Estratificación de vulnerabilidad. | 62 |
| Tabla 34 Niveles de Riesgo. | 65 |
| Tabla 35 Estratificación del Riesgo. | 65 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Sectorización del distrito de Chaclacayo..... | 24 |
| Figura 2. Mapa de delimitación de la quebrada Cusipata..... | 25 |
| Figura 3. Composición litológica del área de estudio..... | 27 |
| Figura 4. Columna lito-estratigráfica para el área urbana de Chaclacayo | 28 |
| Figura 5. Columna de rocas intrusivas en el área de estudio | 28 |
| Figura 6. Mapa de geomorfología del área de estudio..... | 30 |
| Figura 7. Metodología para determinar el nivel de peligrosidad | 43 |
| Figura 8. Mapa de pendientes del área de estudios..... | 50 |
| Figura 9. Mapa de Peligro..... | 61 |
| Figura 10. Mapa de Vulnerabilidad del área de estudio..... | 64 |
| Figura 11. Mapa de Riesgo del área de estudio | 67 |
| Figura 12. Fotografía de la litología y pendientes presentes en zonas de Muy Alto riesgo..... | 70 |
| Figura 13. Fotografía del Muro de encauzamiento sin reforzamiento | 73 |
| Figura 14. Fotografías de los diques existentes en el área de estudio sin reforzamiento | 73 |
| Figura 15. Fotografías del estado actual de las estructuras existentes en el área de estudio ... | 74 |
| Figura 16. Ubicación de medidas estructurales | 76 |
| Figura 17. Esquematación del dique nuevo | 77 |
| Figura 18. Cambio de dirección de la calle Las Terrazas hacia la calle La Fontana y a Los Álamos | 78 |
| Figura 19. Muro de contención C. Las Terrazas – C. La Fontana – C. Los Álamos | 79 |

1. INTRODUCCIÓN

En la última década, uno de los fenómenos naturales más recurrentes globalmente, con mayor índice de desastre y costo, es el flujo de detritos o huaycos (Santi et al., 2011). Para un mayor entendimiento, se define “flujo de detritos” como un flujo de material que exhibe un comportamiento de corriente rápida cuesta abajo (Nardin et al., 1979). Estos pueden estar conformados por lodo (flujos fangosos), arena (flujos arenosos) o tipos mixtos (Shanmugam, 2018). Los flujos de detritos del tipo mixto contienen materiales que están en medio del cauce natural de la quebrada, los cuales pueden ser troncos, bolonería, maleza y escombros (Rodríguez-Morata et al., 2019). El origen de los flujos de detritos se da, principalmente, por la pendiente muy pronunciada del terreno y la intensidad de las precipitaciones, las cuales originan un escurrimiento superficial a lo largo de la pendiente, el cual se infiltra en el sustrato y ocasiona inestabilidad en el talud natural (Rodríguez-Morata et al., 2019). Así, estos peligrosos procesos de flujo van evolucionando cuesta abajo, lo que representa serios riesgos para las vidas humanas, viviendas e infraestructura crítica (Luo et al., 2020).

Según Papathoma-Köhle et al. (2017), a nivel mundial, los flujos de detritos y los deslizamientos de tierra causan, aproximadamente, 1000 víctimas mortales cada año. En el contexto de esta tesis, es relevante destacar que, en el Perú, uno de los eventos naturales recurrentes más significativos es el flujo de detritos. De hecho, este fenómeno se sitúa entre los tres principales generadores de emergencias en los últimos años en el país (Vásquez, 2018). La principal causa de emergencias es la existencia de múltiples asentamientos humanos ubicados en zonas que pueden ser afectadas por este tipo de evento natural, lo que resalta que las consecuencias no solo son por causas del evento, sino también por la interacción inapropiada del ser humano con su entorno (Peña Jumpa, 2017). Además, la geografía (ubicación geográfica), geología (tipo y calidad del suelo) y topografía (pendiente del terreno) que exhibe el territorio peruano hacen que estos asentamientos humanos sean propensos a tener graves

consecuencias, tanto en daños estructurales como pérdidas humanas y/o económicas (INEI, 2015).

Para minimizar las consecuencias, en el Perú, se implementaron diversas políticas normativas, cuyos objetivos son mitigar y controlar los impactos negativos que pueden ocasionar futuros eventos naturales (SINAGERD, 2014). Así, en el año 2011 mediante la Ley N° 29664, se creó “el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD)”, la cual busca “identificar y disminuir los riesgos asociados a peligros, minimizar los impactos de estos riesgos, y prevenir la aparición de nuevos peligros”. El SINAGERD está compuesto por diversas organizaciones que ayudan a lograr los objetivos planteados por este. Así, entre ellos, está “el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED)”, el cual tiene “la responsabilidad de proporcionar asistencia técnica en todas las fases del proceso, incluyendo evaluación, prevención, mitigación y reconstrucción” (CENEPRED, 2014a).

En el 2014, el CENEPRED publicó la segunda edición del "Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales". Este manual se centra en la aplicación de procedimientos metodológicos para evaluar los riesgos provocados por fenómenos naturales en áreas geográficas específicas, la cual utiliza el enfoque multicriterio que incluye un Proceso de Análisis Jerárquico. Sin embargo, este manual tiene ciertas limitaciones que pueden hacer que el resultado varíe con lo que se ve plasmado en la realidad. Por ejemplo, la información que se necesita, para realizar una evaluación de riesgos, puede verse limitada, ya sea en el acceso a esta o en su veracidad, ya que esta varía en el tiempo y en su nivel de subjetividad. Por otro lado, existe una limitación en la precisión de la metodología, ya que una misma zona de estudio puede llegar a tener diversos resultados. Esto se debe a la cantidad de información que se utilice y al criterio del evaluador. Además, a lo anterior, se le puede sumar que el análisis

del riesgo se ve limitado a un simple producto entre niveles de peligro y vulnerabilidad, cuando la relación de estas llega a ser más compleja.

Así, en los últimos años, el Perú ha sufrido diversas pérdidas ante fenómenos naturales, como el flujo de detritos, por lo que los planes de prevención, normativas, controles, entre otras estrategias de mitigación, han ido actualizándose constantemente. Sin embargo, las consecuencias son, aún, de gran importancia, por lo que el propósito de esta tesis es proponer medidas de mitigación para reducir el daño causado por el flujo de detritos en el área de influencia de la quebrada Cusipata en el distrito de Chaclacayo, Lima - Perú.

1.1 Problema de investigación

Entre los meses de febrero y marzo del 2023, se reportó que alrededor de 800 familias se encontraron expuestas al peligro de flujo de detritos que se originó por el paso del ciclón Yaku (fenómeno climático) en el área de influencia de la quebrada Cusipata (Defensoría del Pueblo, n.d.). Si bien hubo medidas de mitigación de daños (medidas estructurales y no estructurales), tales como los diques de contención, el desvío del cauce, entre otras, estas no fueron suficientes para reducir las pérdidas materiales y/o económicas. Entonces, debido a que las medidas tomadas para mitigar las consecuencias originadas por el flujo de detritos no fueron suficientes, emerge la problemática de cómo se podría mejorar las medidas de mitigación del riesgo ante el flujo de detritos en la quebrada Cusipata en el distrito de Chaclacayo para reducir el daño.

1.2 Hipótesis

La evaluación del riesgo de desastres originados por el flujo de detritos permite identificar medidas de mitigación del riesgo en el área de influencia de la quebrada Cusipata.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general.

Proponer medidas de mitigación del riesgo generado por flujos de detritos en el área de influencia de la quebrada Cusipata mediante el Proceso de Análisis Jerárquico junto a un enfoque holístico.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Determinar el nivel de riesgo existente en la zona de estudio mediante la metodología de Procesos de Análisis Jerárquico dado por CENEPRED.
- Determinar las variables que influyen en el nivel de riesgo ante el flujo de detritos en el área de estudio.
- Proponer recomendaciones técnicas, políticas y ambientales para la mitigación del riesgo producido por el flujo de detritos en el área de influencia de la quebrada Cusipata.

1.4 Justificación de la investigación

Si bien existen formas de mitigar los daños y pérdidas que se originan por el flujo de detritos, estas no son suficientes para reducir el riesgo ante estos eventos, tal y como se evidenció en los hechos ocurridos a inicios del año 2023 en la quebrada Cusipata. Así, la mitigación efectiva del riesgo ante flujo de detritos es crucial debido a su impacto social y económico significativo, ya que, al reducir el daño causado por este tipo de evento natural, se puede evitar pérdidas materiales, proteger vidas humanas y mejorar las condiciones de vida de los residentes afectados. Así, se busca contribuir a la GRD mediante enfoques innovadores de mitigación frente al flujo de detritos. Este enfoque de mitigación se abordará mediante propuestas que involucren factores estructurales, socioeconómicos, ambientales y actividades antropogénicas. Estas medidas buscan no solo fortalecer la infraestructura física, sino también abordar las complejidades interconectadas que contribuyen al riesgo de flujos de detritos.

Asimismo, este estudio es relevante porque contribuirá al conocimiento existente sobre la mitigación de riesgos naturales, el cual proporcionará un modelo que podría implementarse en áreas con características similares.

Finalmente, cabe señalar, que el alcance de la investigación llega hasta la formulación de una propuesta de medidas de mitigación; es decir, no se analizará el impacto que estas puedan tener al ser aplicadas, tal y como en costos, beneficios, contras, entre otros.

1.5 Organización

En el capítulo 2, se desarrolla el marco teórico, el cual se encuentra conformado por diferentes partes: las bases teóricas que sirven como fundamento para lo que se desarrollará posteriormente y las políticas normativas nacionales. Estas últimas detallan tres políticas que resaltan: “el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD)”, “el Plan Nacional de Gestión del Riesgos de Desastres (PLANAGERD)” y “el Programa presupuestal 0068: Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres”.

En el capítulo 3, se presenta la metodología aplicada, la cual se compone por dos aspectos principales. Primero, se redacta los aspectos del método a utilizar en la presente tesis. Luego, se detalla el procesamiento de la información obtenida durante la investigación para determinar “el peligro, vulnerabilidad y riesgo de la zona de estudio” según CENEPRED (2014b).

En el capítulo 4, primero, se presenta la descripción del área de estudio, en la cual se detalla la ubicación geográfica del punto de interés. Luego, se desarrolla la caracterización de este mismo, tanto físico, social, ambiental y económicamente.

En el capítulo 5, se realiza la evaluación del riesgo de la zona de estudio, en la cual se presenta la situación de Peligro, la situación de Vulnerabilidad, y, por último, el nivel de Riesgo del área de influencia de la quebrada Cusipata.

En el capítulo 6, se presentan los resultados obtenidos, en el cual se mostrarán los niveles de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo. Además, se presentarán los mapas obtenidos de cada situación analizada.

Por otro lado, en el capítulo 7, se presentará la discusión pertinente de los resultados, en la cual se detallan estos y se realiza la comparativa con estudios pasados en la zona de estudio. Finalmente, en el capítulo 8 y 9, se presentarán la propuesta de mitigación y las conclusiones más relevantes obtenidas de la investigación, respectivamente.



2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes Internacionales.

En el artículo “Example of a debris-flow risk analysis from Vancouver Island, British Columbia, Canada” por Arksey & Vandine (2008), se plantea analizar el nivel de riesgo generado por 3 procesos geomórficos, los cuales los definen como: inundaciones por agua, por sedimento y por flujo de detritos. Como metodología, se utilizó la descrita por Wise et.al (2004), la cual estima el riesgo mediante probabilidades de ocurrencia. En esta, se plantea cuatro parámetros, los cuales hacen referencia a la probabilidad de que ocurra un evento peligroso; a la probabilidad espacial, la cual hace referencia a la ubicación del elemento en riesgo ante el alcance del peligro; a la probabilidad temporal, la cual refiere a la probabilidad de que el elemento en riesgo esté en el sitio cuando ocurra el evento; y a la probabilidad de pérdida (vulnerabilidad), la cual enfatiza en la posibilidad de daño del elemento en riesgo ante el evento.

En este artículo, se evaluaron cuatro elementos en riesgo en tres quebradas adyacentes en la localidad ubicada a 50km al noroeste del río Campbell en el norte de la isla de Vancouver. Mediante este análisis, se obtuvo como resultados que los elementos en riesgo, en orden de prioridad, son los usuarios de la carretera WR305, los arroyos pesqueros que desembocan en el río White, la carretera WR305 en sí y el puente WR305 (WR: White River). De esta investigación, lo que se puede resaltar es la metodología utilizada para la estimación de riesgo, ya que presenta una manera diferente de cálculo y aproximación a la zona de estudio. En otras palabras, esta metodología da un punto de vista contrastante a la metodología nacional, ya utiliza parámetros diferentes y se basa en probabilidades. De este modo, esta investigación podría aportar, en cierta medida, alguna idea de implementación para la estimación de riesgos.

Por otro lado, Zheng et al. (2023), en su artículo “Assessment of Building Physical Vulnerability in Earthquake-Debris Flow Disaster Chain”, realizan la estimación del nivel de vulnerabilidad física de edificios ante fenómenos naturales, como terremotos y flujo de detritos, en el condado de Beichuan, situado en la provincia de Sichuan - China, mediante dos enfoques diferentes. El primer enfoque busca obtener la vulnerabilidad física de las estructuras mediante el uso de la metodología pushover que analiza la variación de la vulnerabilidad mediante los daños sufridos en los edificios posterior a un terremoto y flujo de detritos con el objetivo de relacionarlos a una cadena de desastres (terremoto – flujo de detritos) y sus cambios durante el proceso. Luego, para el segundo enfoque, se utiliza la metodología de simulación numérica FLO – 2D para obtener la intensidad del flujo de detritos y evaluar la vulnerabilidad de los edificios que sufrieron daño durante el terremoto y posteriormente al impacto del flujo de detritos. Finalmente, se evalúa la vulnerabilidad holística de los edificios bajo la cadena de desastres (terremoto – flujo de detritos) que se basa en la distribución de probabilidad y el teorema de Bayes.

Así, se obtuvo que, al comparar los diferentes enfoques de evaluación de la vulnerabilidad de los elementos en riesgo, la vulnerabilidad física de los edificios bajo el proceso de la cadena de desastres no es igual a la suma estadística de las vulnerabilidades a amenazas independientes. Esto sucede debido a que las propiedades estructurales de las edificaciones y la vulnerabilidad física de estos mismos han estado en un constante cambio durante la cadena de desastre (Zheng et al., 2023).

Lo que se puede resaltar de este tipo de enfoque, es que proporciona una explicación integrada del porqué la vulnerabilidad de un elemento puede cambiar según el peligro o cadena de peligros a los que se expone. Es decir, que la vulnerabilidad sufre una variación según el enfoque que se le esté dando, ya sea por un solo criterio de peligro o por la unión de varios de estos. De este modo, este tipo de enfoque puede aportar, a la presente tesis, en el apartado de

discusión con ideas o enfoques que se pueden implementar en las medidas de mitigación del riesgo.

2.1.2 Antecedentes Nacionales.

En cuanto a investigaciones nacionales, Izquierdo-Horna et al. (2023), en su artículo “Vulnerability assessment of debris flow in the central Peruvian rainforest – An intercultural approach” plantea una revisión sistemática exhaustiva de parámetros, como la diglosia, la pobreza y el origen de los habitantes, para la evaluación de la vulnerabilidad en del sector Pampa del Carmen, situado dentro del distrito y provincia de Chanchamayo, La Merced, Junín. Así, este estudio se basa en la implementación de una metodología de evaluación transversal centrada en la interculturalidad para evaluar la vulnerabilidad a través de un Proceso de Análisis Jerárquico, propuesta por Saaty (1988), con la visión de construir comunidades resilientes para contribuir a la prevención y mitigación de riesgos desde una perspectiva de ingeniería, específicamente en el contexto del flujo de detritos.

En cuanto a los resultados obtenidos, se obtuvo que la zona estudiada muestra un alto nivel de vulnerabilidad, especialmente cerca de la quebrada María Pía, debido a factores naturales y actividades humanas. Además, las estructuras, en las proximidades de la desembocadura de la quebrada, son las más vulnerables, lo que se debe en parte a acciones antropogénicas que afectan a la población. Asimismo, se obtuvo que la vulnerabilidad está marcada no solo por la topografía del terreno, sino también por las condiciones de las viviendas e infraestructura.

Un factor notable, en esta investigación, es la visión holística con la que se realiza el análisis, ya que esto permite profundizar en las variables que actúan directamente con los elementos en riesgo; es decir, se involucra la mayoría de factores que pueden alterar la vulnerabilidad de una población, tales como la diglosia, la pobreza, el origen, la edad, servicios

básicos, comportamiento en el entorno, nivel de educación, entre otros. En otras palabras, el análisis involucra una diversidad de elementos esenciales, cada uno crucial para entender la vulnerabilidad en su totalidad, abordando aspectos vinculados al contexto físico, económico y social del caso estudiado, los que, a su vez, son analizados en términos de exposición, capacidad de recuperación y fragilidad. Así, estos factores específicos son considerados debido a su importancia directa en el proceso de evaluación de la vulnerabilidad y su correspondencia con las características distintivas del área de estudio. De este modo, esta investigación aporta a la tesis con un punto de vista holístico, el cual se planteará en la sección de discusión.

En la investigación “Assessing strategies to mitigate debris-flow risk in Abancay province, south-central Peruvian Andes” de Rodríguez-Morata et al. (2019), se plantea evaluar la eficacia de las contramedidas que fueron implementadas a partir de un evento de flujo de detritos ocurrido en la localidad de Tamburco en Abancay el año 2012. Así, Rodríguez-Morata et al. (2019) espera determinar los tiempos de respuesta de los habitantes para llegar a áreas seguras mediante métodos de campo, modelos numéricos (como RAMMS) y modelado SIG basado en una Distancia Estadística de Menor Costo (LCD). En cuanto a los resultados obtenidos, estos sugieren que las contramedidas implementadas pueden retener la mayoría de los sedimentos de eventos similares al del 2012. Sin embargo, el modelo indica que el nuevo canal podría ser sobrepasado en los mismos lugares donde ocurrió el desastre antes de su construcción. Además, se observó que las personas entre la parte superior del torrente y el estadio Maucacalle no tendrían suficiente tiempo para evacuar antes de la llegada del flujo de detritos. Asimismo, este estudio revela que al menos 380 edificaciones podrían verse afectadas por futuros eventos, a pesar de las estructuras de mitigación existentes, demostrando que estas medidas no proporcionarían la protección esperada.

La información que proporciona esta investigación es relevante debido a que permite tener en cuenta que se puede evaluar una medida de mitigación y ver si esta cumple o no con

su cometido. De esta manera, se hace primordial un estudio que destaque la importancia de involucrar a las comunidades locales en la planificación y ejecución de medidas de mitigación. En otras palabras, esta investigación refuerza a la idea de planteamiento de la tesis debido a que subraya la necesidad de un enfoque integral que tenga en cuenta tanto los aspectos técnicos como las dinámicas sociales para garantizar la resiliencia de las áreas afectadas por eventos naturales extremos.

En el “Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres 2018-2021” realizado por la Municipalidad de Chaclacayo (2018), se realizó un estudio de los peligros existentes en este distrito, donde tiene como áreas de estudio a las diversas quebradas presentes en el lugar (una de estas es el punto de estudio). En este PPRRD, se identificaron y analizaron las diversas variables presentes en la zona de estudio, tales como los aspectos sociales, económicos, ambientales y físicos. Además, se realizó un análisis del riesgo presente en esta zona respecto a diferentes fenómenos naturales (ej., movimientos de masa, flujo de detritos, sismos, entre otros). En lo que respecta a la metodología utilizada, se analizó el riesgo ante flujo de detritos según la estipulada por CENEPRED. Así, en cuanto a los resultados, se obtuvo que el nivel de peligro ante el flujo de detritos “es muy alto; el nivel de vulnerabilidad es medio – alto y; finalmente, el nivel de riesgo es alto a muy alto”. De este modo, la información que proporciona esta investigación es relevante debido a que brinda un punto de comparación con el resultado de la presente investigación.

Por otro lado, en el “Informe de evaluación de riesgos por flujo de detritos en el área urbana de la subcuenca de Cusipata, distrito de Chaclacayo, provincia de Lima” realizado por CENEPRED et al. (2023), se realizó una evaluación del riesgo por flujo de detritos, cuya metodología es la estipulada por el manual de CENEPRED. Las dimensiones estudiadas fueron la dimensión social, ambiental y económica, las cuales se desglosaron en diferentes parámetros que ayudaron a caracterizar el área de estudio. De este modo, se obtuvo que “el nivel de peligro

está entre alto y muy alto; el nivel de vulnerabilidad entre medio y alto; y el nivel de riesgo entre alto y muy alto”. Así, este estudio proporciona un punto de comparación con el resultado de la presente tesis.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Riesgo de desastre.

Según el “Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales - 02 Versión” de CENEPRED (2014b), se define riesgo de desastre como “la probabilidad de que una población llegue a sufrir daño y pérdidas debido a su condición de vulnerabilidad y al impacto de un peligro”.

2.2.2 Escenario de riesgo.

CENEPRED (2014) define el escenario de riesgo como “el resultado de la identificación y análisis de la relación entre la localidad y su entorno, empleando una retrospectiva que permite comprender las causas y consecuencias de eventos pasados, así como una prospección que evalúa las posibles implicancias de los cambios en los factores de vulnerabilidad y peligro”. Además, también menciona que el riesgo, el cual es producto de la relación entre los índices de la vulnerabilidad y peligro, es dinámico y cambiante al mismo grado que sus factores que lo producen. Sin embargo, un escenario como este no constituye una predicción precisa o un pronóstico específico en sí mismo; más bien, representa una descripción factible de lo que podría suceder. Es decir, los escenarios describen eventos, tendencias y cómo pueden desarrollarse con el propósito de brindar orientación en relación con la ejecución o aplicación de medidas tanto ingenieriles como no ingenieriles para prevenir o reducir riesgos (CENEPRED, 2015).

Asimismo, cabe señalar que la magnitud de los perjuicios se encuentra especialmente concentrada en áreas donde la vulnerabilidad social, económica y ambiental es más elevada.

Desde esta perspectiva, los lugares que tienen asentamientos precarios, vinculados a comunidades con una alta densidad poblacional, niveles significativos de pobreza y una capacidad limitada para adaptarse intensifican la severidad de estos escenarios de riesgo (CENEPRED, 2014c). De esta manera, el nivel de riesgo se determinará tomando en cuenta la posible intensidad del peligro y el grado de vulnerabilidad presente.

2.2.3 Vulnerabilidad.

Según CENEPRED (2015), se define vulnerabilidad como “la susceptibilidad de ciertos elementos (ej., la población, estructuras, actividades socioeconómicas, entre otros) a sufrir daños en situaciones donde se presenten peligros o amenazas, ya sean de origen natural o generados por el humano”. Adicionalmente, se señala que hay tres dimensiones en las que la vulnerabilidad puede ser dividida: la dimensión social, la cual hace referencia a la población que se encuentra expuesta en una región afectada por un peligro; la dimensión económica, la cual hace referencia a la infraestructura o actividades económicas afectadas por algún evento natural o antropogénico y; la dimensión ambiental, la cual se asocia con el entorno o medio ambiente donde se da el evento natural.

Por otro lado, se señala que la vulnerabilidad tiene como factores a la exposición, fragilidad y resiliencia, las cuales se detallarán a continuación:

- I. Exposición:** Hace referencia a “las elecciones y acciones que llevan a las unidades sociales (población, infraestructura, líneas vitales, entre otras) en una situación donde pueden verse afectadas por un peligro. Este fenómeno surge de una relación inapropiada con el entorno, provocada por factores como el crecimiento demográfico descontrolado, migraciones desorganizadas, urbanización sin planificación territorial adecuada o políticas de desarrollo económico insostenibles”. Así, “cuanto mayor sea la exposición, mayor será la vulnerabilidad de la población”.

- II. Fragilidad:** Hace referencia a “las condiciones de desventaja o vulnerabilidad relativa de las personas y sus medios de subsistencia frente a un peligro. Por lo general, se enfoca en los aspectos físicos de una comunidad o sociedad y tiene causas internas, como la calidad de las edificaciones, el incumplimiento de las normativas de construcción vigentes o el uso inadecuado de materiales, entre otros factores”. De esta manera, “cuanto mayor sea la fragilidad, mayor será la vulnerabilidad de la población”.
- III. Resiliencia:** Hace referencia a “la capacidad de adaptación o recuperación de las personas y sus medios de vida ante una amenaza. Esta capacidad está vinculada a factores sociales y a la organización comunitaria”. De esta forma, “cuanto mayor sea la resiliencia, menor será la vulnerabilidad”.

Por otro lado, Douglas (2007) señala que la vulnerabilidad cuantifica la capacidad de resistencia o posibilidad de subsistencia de un elemento ante un peligro natural. Además, siguiendo este lineamiento, evalúa a esta desde tres perspectivas diversas: la perspectiva social, la natural y la física. De esta manera, la perspectiva social suele interpretar la vulnerabilidad como una combinación de aspectos socioeconómicos que influyen en la habilidad de un individuo o una comunidad para enfrentar situaciones de estrés y adaptarse a cambios (Birkmann et al., 2013). Por otro lado, la perspectiva natural interpreta la vulnerabilidad como el impacto que sufre el entorno construido y sin construir debido a un peligro natural, lo cual está estrechamente relacionada con el daño en las estructuras. Por último, para la perspectiva física, la vulnerabilidad se define como el grado esperado de pérdida que puede sufrir un elemento en situación de riesgo debido a la ocurrencia de un peligro natural de una intensidad específica (Papathoma-Köhle et al., 2011).

Si bien estas definiciones se asemejan en algunos aspectos, tienen diferencias en cuanto a las terminologías. En la presente investigación, se tomarán los conceptos y términos utilizados por CENEPRED debido a que se tomarán en cuenta para el Capítulo 5.

2.2.4 Peligro.

El peligro se define como “la probabilidad de que un evento natural potencialmente dañino ocurra en una zona específica con una intensidad determinada, dentro de un periodo de tiempo y con una frecuencia establecida” (CENEPRED, 2015). Asimismo, el peligro es clasificado de dos maneras según su origen: los de origen natural y los originados por el humano. Los grupos de los peligros generados por fenómenos de origen natural están divididos según el tipo de evento natural que se dé, en este caso, se está considerando solo el peligro por flujo de detritos.

2.2.5 Gestión del Riesgo de Desastres (GRD).

Al discutir sobre la mitigación del riesgo de un peligro natural, es esencial desarrollar una definición precisa de lo que se comprende por Gestión del Riesgo de Desastres (GRD), ya que esta perspectiva permite abordar de manera más efectiva los desafíos relacionados con eventos naturales que pueden llegar a convertirse en desastres naturales. La GRD se define como “un proceso social enfocado a la disminución y regulación de los factores de riesgo de desastres que afectan a la población” (Izquierdo-Horna et al., 2022). Asimismo, esta se encarga de guiar a la sociedad hacia una preparación y respuesta ante una situación de peligro; así, esta se basa en la investigación científica y registros de eventos ocurridos en el territorio peruano (SINAGERD, 2014).

2.2.6 Políticas normativas nacionales.

En el Perú, se puede encontrar áreas donde coexisten la pobreza y la pobreza extrema; estas condiciones combinadas con una baja resiliencia amplifican el impacto generado por eventos naturales, en este caso el flujo de detritos, en la población y la vivienda. De este modo, se evidencia la necesidad de mejorar las estrategias de la GRD ante los movimientos de masa que afectan a una gran parte de la población vulnerable (CENEPRED, 2014c). Además, es importante destacar que una gestión eficaz del riesgo de desastres es fundamental en la

consecución del desarrollo sostenible (Izquierdo-Horna et al., 2022). Así, en el territorio peruano, se implementaron diversas políticas normativas, cuyos objetivos son: mitigar y controlar los impactos negativos que pueden ocasionar futuros eventos naturales (SINAGERD, 2014).

2.2.6.1 Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD).

La normativa del SINAGERD se creó el año 2011 mediante la Ley N° 29664. Según el Artículo N°1 de esta ley, SINAGERD es “un sistema funcional, interinstitucional, descentralizado, sinérgico, transversal y participativo, cuyo objetivo es la identificación y reducción de riesgos vinculados a peligros”, así como la minimización de sus efectos y la prevención de la generación de nuevos riesgos, ya que estos son elementos clave en la GRD (SINAGERD, 2014). De esta manera, esto se alcanza a través de la definición de principios, directrices de política, elementos clave, procedimientos y herramientas que permiten prepararse y responder ante situaciones de desastre de manera efectiva (SINAGERD, 2018).

Además, cabe señalar que SINAGERD se compone por la “Presidencia del Consejo de Ministros”, el cual se desempeña como organismo principal en su rol de coordinación y dirección; el “Consejo Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (CONAGERD)”, como entidad de máxima autoridad en la toma de decisiones políticas y coordinación estratégica; el “Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED)” que asume la responsabilidad de brindar apoyo técnico en relación con las etapas de evaluación, prevención, mitigación y reconstrucción; el “Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI)” que se encarga de proveer apoyo técnico en relación con las fases de preparación, respuesta y recuperación; “el Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN)” que tiene un rol fundamental en garantizar la alineación de la GRD con las políticas y objetivos nacionales de desarrollo, y asegura una gestión integral y efectiva del riesgo de desastres en el país; las entidades públicas y privadas, “Fuerzas Armadas”, “Policía

Nacional del Perú”, y “la sociedad civil” (CENEPRED, 2014a). Por otro lado, SINAGERD tiene como uno de sus instrumentos de apoyo al “Plan Nacional de Gestión de Gestión del Riesgo de Desastres (PLANAGERD)”, el cual se desarrolla con una perspectiva plurianual y busca concretar lo establecido en la “Ley N° 29664” (LEY N° 29664, 2021). Adicionalmente, la Política Nacional establece las directrices y lineamientos generales que las entidades públicas deben seguir al diseñar sus planes específicos anuales de la GRD. Así, estos abordan los diferentes procesos y tipos de eventos naturales y; se adaptan a las necesidades y características particulares de cada región o entidad (CENEPRED, 2014c).

2.2.6.2 Política normativa del Plan Nacional de Gestión de Gestión del Riesgo de Desastres (PLANAGERD).

En este contexto, en el Perú, se implementó a la GRD el “Plan Nacional de Gestión del Riesgos de Desastres - PLANAGERD 2014 – 2021” mediante el “Decreto Supremo N° 034-2014-PCM” (SINAGERD, 2014). Así, el PLANAGERD 2014 – 2021 tiene como finalidad alcanzar a tener una sociedad segura y capaz de adaptarse frente a los riesgos de desastres. En línea con este enfoque, se establece el siguiente objetivo: “*minimizar la vulnerabilidad y exposición de vida de la población ante el riesgo de desastres ocasionados por fenómenos naturales*” (CENEPRED, 2014). Además, en la última década, el incremento en la frecuencia y severidad de los daños asociados tanto a fenómenos naturales como a actividades humanas ha generado preocupación a nivel nacional e internacional. Esto plantea un reto para la capacidad de anticipar dichos eventos mediante una gestión efectiva del riesgo de desastres (CENEPRED, 2014).

Además, se ha llevado a cabo la ejecución de una “Línea de Base del PLANAGERD 2014-2021”, la cual se establece como el punto de inicio para la implementación de dicho plan, ya que representa la primera evaluación de todos los parámetros incluidos en su diseño. Así,

este recurso es fundamental para la supervisión, control y evaluación de riesgos, ya que permite medir los avances y resultados alcanzados durante toda la ejecución del plan (SINAGERD, 2014). Así, desde la aprobación del PLANAGERD 2014-2021, se han introducido diversas normativas y herramientas con el propósito de poner en práctica el SINAGERD en cumplimiento de la “Ley N° 29664” y la “Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres”. Estas medidas incluyen la reformulación del Programa Presupuestal 0068, al cual se trata de adaptarlo a los objetivos estratégicos del PLANAGERD.

2.2.6.3 Programa presupuestal 0068 (PP 0068): Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres.

En el “artículo 19 de la Ley N° 29664 y en su reglamento”, se establecen medidas para garantizar recursos financieros suficientes para la gestión de riesgos a través de la “Estrategia de Gestión Financiera del Riesgo de Desastres”. En este contexto, el PP 0068, liderado por la Presidencia del Consejo de Ministros, desempeña un papel crucial como el principal programa presupuestal multisectorial en la GRD (SINAGERD, 2014). De esta manera, se define el PP 0068 como un programa presupuestal multisectorial y territorial que promueve la GRD a través de la asignación de recursos y la coordinación de entidades de los tres niveles de gobierno, en los cuales se incluye al Gobierno Nacional, los Gobiernos Regionales y más de 1000 gobiernos locales que también forman parte del programa. Además, “se enfoca en abarcar los procedimientos de estimación, reducción de riesgo, prevención, preparación para la respuesta y parte de la reconstrucción” (SINAGERD, 2014).

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Aspectos teóricos del método

Para el análisis del área de estudio, se siguió los lineamientos del “Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales – 2da versión” dada por CENEPRED (2014b), el cual se centra en un enfoque basado en el Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) propuesto por Saaty (1980), cuyo punto central radica en asignar ponderaciones a los parámetros y descriptores asociados con una decisión específica, así como en calificar las diferentes alternativas en función de los criterios previamente seleccionados. Se seleccionó esta metodología por “sus ventajas, su flexibilidad y la facilidad de involucrar a todos los actores en el proceso de toma de decisiones, lo que posibilita la integración del enfoque científico objetivo con los aspectos subjetivos del comportamiento humano” (CENEPRED 2014b).

Así, para la caracterización del área de estudio, se utilizó este método junto con un conjunto de parámetros para comprender a fondo el área de estudio. Estos parámetros abarcan aspectos físicos, sociales y económicos, los cuales proporcionan una visión de la vulnerabilidad de la comunidad local frente al flujo de detritos. Cabe señalar que los parámetros y descriptores utilizados están limitados a la disponibilidad de información en el área de estudio, ya que la caracterización de la zona de estudio se realizó utilizando la información del último censo nacional en el año 2017. Así, en la Tabla 1, muestra la tabla de criterios que usa este método.

Tabla 1

Escala de Saaty.

| Escala Numérica | Escala verbal |
|-----------------|---|
| 9 | "Absolutamente o muchísimo más importante que ..." |
| 7 | "Mucho más importante o preferido que ..." |
| 5 | "Más importante o preferido que ..." |
| 3 | "Ligeramente más importante o preferido que ..." |
| 1 | "Igual o diferente a ..." |
| 1/3 | "Ligeramente menos importante o preferido que ..." |
| 1/5 | "Menos importante o preferido que ..." |
| 1/7 | "Mucho menos importante o preferido que ..." |
| 1/9 | "Absolutamente o muchísimo" |
| 2,4,6,8 | "Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores." |

Nota. Elaborado con base en el “Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales – 2da versión”, por CENEPRED, (2014b).

3.2 Procesamiento de información

Mediante los lineamientos propuestos por CENEPRED, se caracterizó a la zona de estudio utilizando la información proporcionada por el sistema de consulta de base de datos REDATAM: “Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas” del “Instituto Nacional de Estadística e Informática” (INEI, 2017a), por el “Sistema de Información para la Gestión del Riesgo (SIGRID)” y por la “Autoridad Nacional del Agua (ANA)”. Además, para esta primera parte metodológica, se eligió trabajar con la información del año 2017 debido a que, en este año, se realizó el último censo nacional, lo que aporta información importante para la caracterización del área de estudio. De este modo, la cantidad de parámetros y descriptores que se utilizaron estuvieron limitados a la disponibilidad existente de información.

Para realizar dicha caracterización del riesgo presente en el área de estudio mediante los lineamientos del CENEPRED, primero se delimitó la zona de estudio (quebrada Cusipata) para, luego, realizar un análisis de peligrosidad, el cual se determinó mediante el parámetro de evaluación, cuyo descriptor es el volumen del flujo; y la susceptibilidad, la cual se evalúa

mediante los factores condicionantes (litología, geomorfología y pendiente) y desencadenantes (precipitación), los cuales se hallan mediante la ponderación de sus vectores de priorización. Para determinar el grado de peligrosidad, se ha implementado una escala numérica asociada a cada uno de los factores previamente mencionados. Específicamente, se les ha asignado un valor numérico con el propósito de evaluarlos de acuerdo con el método multicriterio PAJ, utilizando la escala de Saaty como referencia (consultar Tabla 1). Este análisis se lleva a cabo de manera individualizada para cada factor desencadenante, condicionante y parámetro de evaluación. El objetivo es obtener, al término del proceso, un nivel de peligrosidad para el área de estudio en relación con el flujo de detritos.

De igual manera, para el análisis de vulnerabilidad, se tomó en cuenta este método multicriterio PAJ y la escala de Saaty, pero con la diferencia de que, en esta sección, se tienen tres dimensiones: “dimensión física”, “social” y “económica”. Estas dimensiones se subdividen en factores de “exposición”, “fragilidad” y “resiliencia”, los que, a su vez, se dividen en diferentes parámetros que condicionan la vulnerabilidad del área de estudio. Una vez analizado los factores ya mencionados, se obtuvo los niveles de vulnerabilidad, los cuales sirvieron para poder determinar el nivel de riesgo ante el flujo de detritos. Por consiguiente, para el análisis de riesgo, se multiplican los índices obtenidos del nivel de peligro y vulnerabilidad para obtener la matriz de riesgo, la cual nos dará como resultado los niveles de riesgo del área de estudio ante el flujo de detritos. Una vez hallados dichos niveles, se realizarán mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo, los cuales ayudarán a visualizar la situación del área de estudio. Finalmente, con los resultados obtenidos, se realizarán el apartado de discusión, la propuesta de mitigación y las conclusiones.

Para el cálculo de los vectores de priorización, se tendrá en cuenta el procedimiento del PAJ según los lineamientos de CENEPRED, el cual se repetirá de manera individual para cada descriptor, parámetro y factor utilizado en el presente estudio. Para esto, se llevó a cabo,

inicialmente, una comparación por pares para determinar la importancia relativa entre los descriptores, utilizando la escala de Saaty previamente descrita. Luego, se sumó cada columna de la matriz con el fin de obtener la inversa de estas, lo cual sirvió para hallar la matriz de normalización. Así, esta matriz se elabora mediante la multiplicación de cada inversa de las sumas totales por cada elemento de su columna correspondiente. Finalmente, el vector de priorización se halla mediante el promedio de los valores obtenidos de la fila de cada descriptor (ver Tabla 2); donde, para saber si el criterio utilizado para la evaluación de pares es adecuado, la “Relación de Consistencia (RC) debe ser menor a 0.1”; en caso contrario, se deberá evaluar nuevamente la relevancia de los parámetros hasta que $RC < 0.1$.

Tabla 2

Procedimiento para calcular el vector de priorización.

| Matriz de comparación de pares | | | |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Parámetro | D1 | D2 | D3 |
| D1 | 1.00 | P1 | P2 |
| D2 | 1/P1 | 1.00 | P3 |
| D3 | 1/P2 | 1/P3 | 1.00 |
| SUMA | ΣA | ΣB | ΣC |
| 1/SUMA | $1/\Sigma A$ | $1/\Sigma B$ | $1/\Sigma C$ |

| Matriz de Normalización | | | | |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| Parámetro | D1 | D2 | D3 | Vector Priorización |
| D1 | $1/\Sigma A$ | $1/\Sigma B \times P1$ | $1/\Sigma C \times P2$ | Promedio Fila D1 |
| D2 | $1/\Sigma A \times 1/P1$ | $1/\Sigma B$ | $1/\Sigma C \times P3$ | Promedio Fila D2 |
| D3 | $1/\Sigma A \times 1/P2$ | $1/\Sigma B \times 1/P3$ | $1/\Sigma C$ | Promedio Fila D3 |

Nota. Elaborado con base en el “Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales – 2da versión”, por CENEPRED, (2014b).

4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 Descripción del caso de estudio

Ubicación y área de influencia de la quebrada Cusipata.

Se ha seleccionado como área de estudio la quebrada Cusipata, situada en el kilómetro 26.00 de la “Carretera Central en el distrito de Chaclacayo”, el cual se encuentra ubicado al este de la ciudad capital, y pertenece a la provincia y departamento de Lima. El distrito de Chaclacayo está ubicado entre dos formaciones naturales que determinan su expansión urbana, tales como “el río Rímac y la Cordillera de los Andes”. Debido a que la expansión no se puede generar hacia el río Rímac, este distrito mantiene una expansión urbana hacia la cordillera, lo que refleja el uso de áreas de quebradas. Así, este tipo de desarrollos urbanos desorganiza al distrito y conlleva a diversos problemas, tanto en la gestión urbana como en la planificación de proyectos que buscan integrar el distrito. De este modo, estas zonas son propensas a enfrentar riesgos como derrumbes y/o huaycos (Municipalidad de Chaclacayo, 2017). De esta manera, debido a las características presentes del distrito, se ha dividido a este en 5 sectores (Figura 1), los cuales se conforman como en la Tabla 3.

Tabla 3

Sectorización del distrito de Chaclacayo.

| SECTOR | CENTRO POBLADO | |
|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Sector 5 | “Urbanización El Abanico | AA.HH. Don Bosco |
| | Centro de Chaclacayo | Urbanización Santa Inés |
| | Urbanización Garcilaso de la Vega | Pueblo Joven 3 de octubre |
| | Urbanización Los Ángeles | Urbanización Semi-rústica Cusipata” |
| | Urbanización Los Halcones | |
| Total = 9 centros poblados | | |

Nota. Tomado de “Plan de Desarrollo Local Concentrado – Chaclacayo 2017-2021”, por Municipalidad de Chaclacayo (2017).

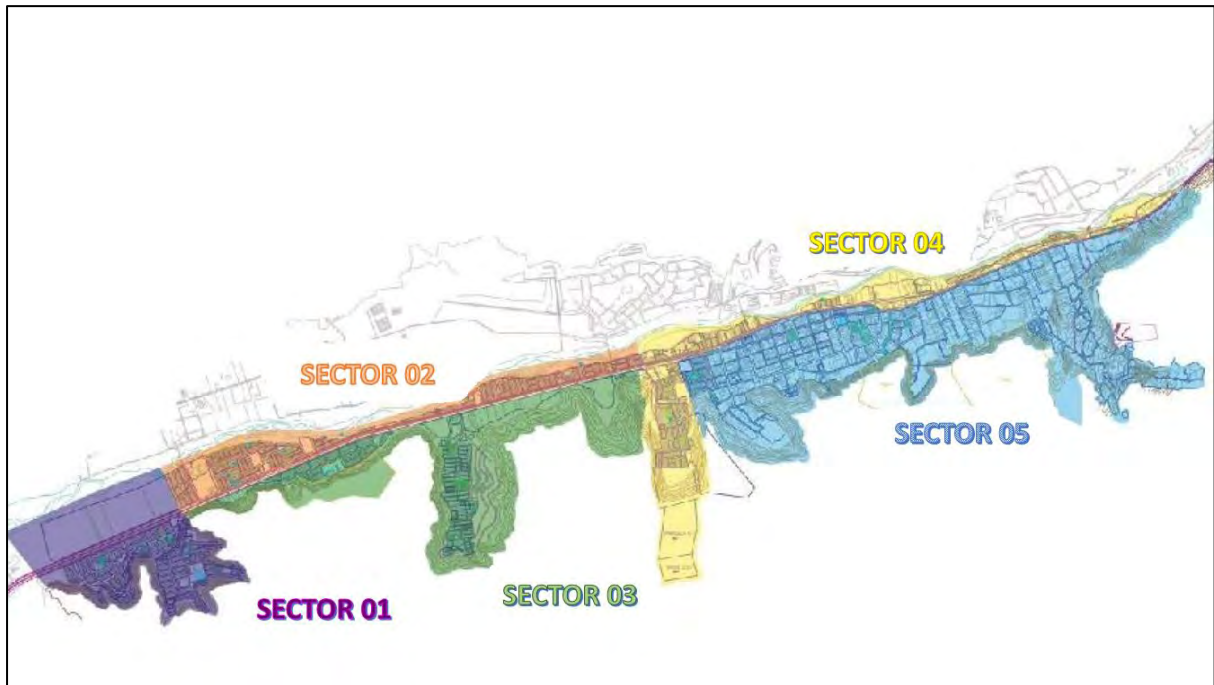


Figura 1. Sectorización del distrito de Chaclacayo

Nota. Adaptado del “Plan de Desarrollo Local Concentrado – Chaclacayo 2017-2021”, por Municipalidad de Chaclacayo (2017).

El área de influencia de la quebrada Cusipata cubre la Urbanización Semi – rústica Cusipata y la Urbanización Los Halcones. Esta se encuentra localizada en las coordenadas Longitud = 307786.77 por el este y Latitud = 8673917.69 por el norte en coordenadas UTM – WGS84. Además, la quebrada pertenece a la cuenca del río Rímac y tiene una diferencia de cotas de aproximadamente 655 m.s.n.m. De este modo, en la Figura 2, se puede apreciar la delimitación de la quebrada que corresponde al área de estudio, la cual tiene un área de 831.6 hectáreas y un perímetro de 15 092.68 metros, y; además, se muestra la ubicación geográfica del área de estudio en la parte inferior central de la figura (Municipalidad de Chaclacayo, 2018).



Figura 2. Mapa de delimitación de la quebrada Cusipata

Nota. Elaboración propia

4.2 Características del área de estudio

4.2.1 Características físicas.

Aspectos geológicos.

Según Mamani et al. (2021) en el Boletín Serie L, *Geología del cuadrángulo de Chosica – Hoja- 24J*, de INGEMET, el área de estudio yace sobre un suelo volcánico – detrítico denominado como grupo Casma que se encuentra formado por rocas intrusivas de la unidad Santa Rosa, la cual está dividida en dos subunidades importantes: Tonalita – Granodioritas y Tonalita – Dioritas. Esta última subunidad se encuentra en los extremos NO y SE del distrito de Chaclacayo; además, estas rocas presentan una tonalidad gris oscura de grano medio a grueso que cubren gran extensión del valle del río Rímac y abarca gran parte del área de estudio. Cabe señalar que estos afloramientos rocosos están cubiertos por depósitos aluviales y proluviales, los cuales pertenecen al Cuaternario Pleistoceno (Qp-al) y al Cuaternario Reciente (Qr-al).

Estos depósitos aluviales están constituidos por material acarreado por ríos que se acumulan por las corrientes tractivas que, además, presentan una pseudo estratificación difusa. Además, generalmente se encuentran soportados en matriz arenosa o limosa. Por otro lado, los depósitos proluviales son los que están formados por depósitos de flujo de detritos de quebradas (Mamani et al., 2021). De esta manera, los depósitos presentes que incluyen aquellos aluviales y proluviales recientes, así como los depositados durante el período Pleistoceno en las zonas altas y bajas de las quebradas, consisten en cantos rodados y gravas de diferentes tamaños con una matriz de tipo arenoso y limoso; y estos materiales se encuentran mezclados en capas de diferentes grosores (Instituto Geofísico del Perú, 2012). De esta manera, se puede observar, en la Figura 3, la composición litológica presente en el área de estudio. Además, se puede observar las columnas lito-estratigráfica e intrusivas de la zona en la Figura 4 y la Figura 5 respectivamente.

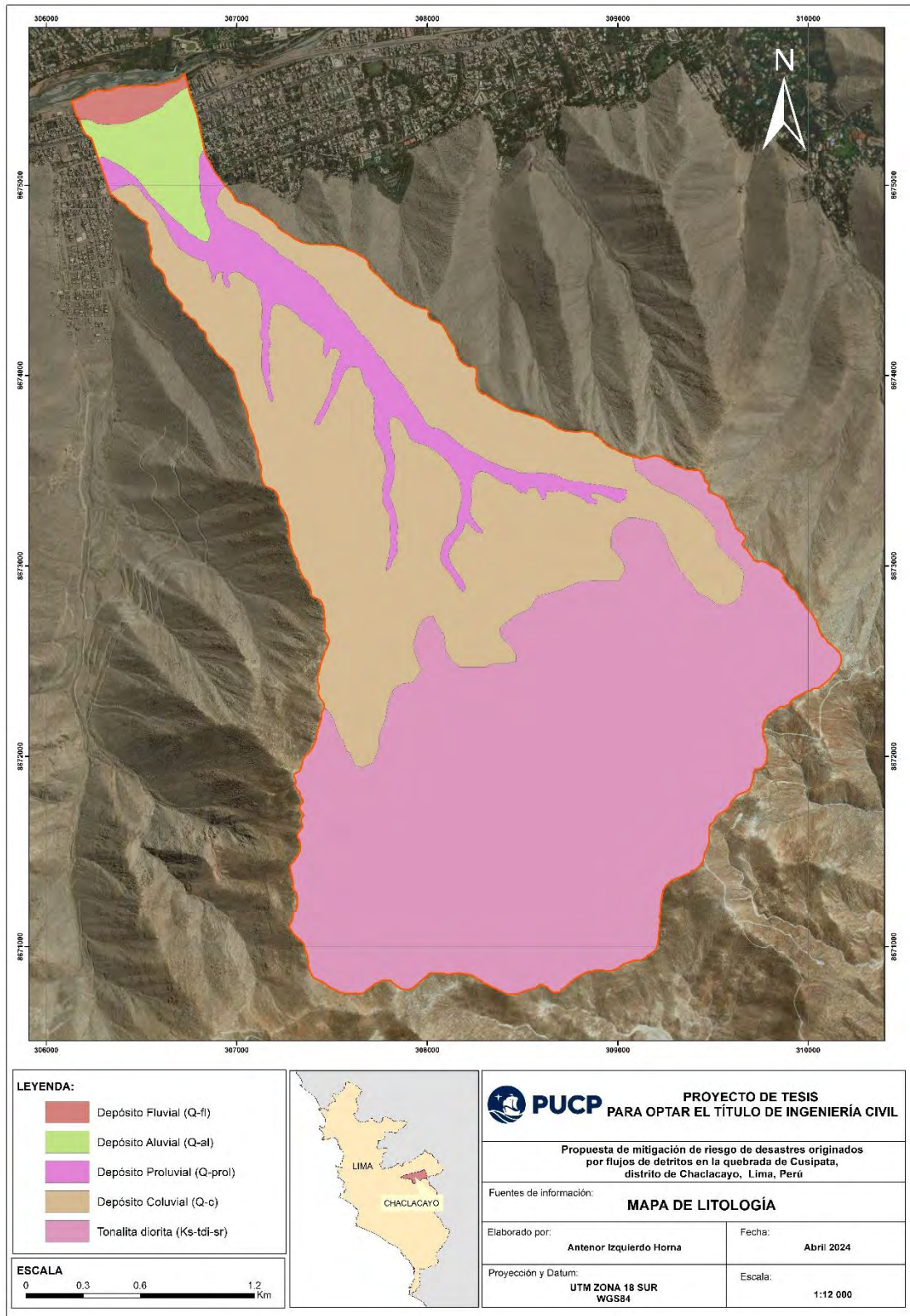


Figura 3. Composición litológica del área de estudio

Elaborado con base en “Mapa geológico del cuadrángulo de Chosica - Hoja 24j3”, por Mamani et al., 2021.

| ERATEMA | SISTEMA | SERIE | ESPESOR (m) | UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS | | | |
|-----------|-------------|--------------|------------------|---|--|--|--------------------|
| CENOZOICO | CUATERNARIO | HOLOCENO | | Q-fl | Depósito fluvial | Cantos rodados en matriz arenolimsa en cauce de los ríos. | |
| | | | | Q-alfi | Depósito aluvial, fluvial | Gravas y arenas formando terrazas en márgenes de ríos. | |
| | | | | Q-al | Depósito aluvial | Arcillas y limos marrón rojizas, con arenas y gravas. | |
| | | | | Q-clal | Depósito aluvial, coluvial | Gravas, arena y arcilla mal clasificada formando amplios depósitos en laderas de montañas. | |
| | | | | Q-cl | Depósito coluvial | Gravas y arenas depositadas en la ladera de cerros. | |
| | | | | Qp-fl | Depósito fluvial | Terrazas fluviales con cantos rodados, arenas y limos semiconsolidados. | |
| | | PLEIS-TOCENO | | Qp-al | Depósito aluvial | Gravas y arenas despositadas en quebradas. | |
| | MESOZOICO | CRETÁCICO | SUPERIOR | 300 | Ks-and | Andesita | |
| | | | | | Kis-qui | Grupo Casma | Formación Quilmana |
| | | | Kis-hua | Formación Huarangal | Areniscas y brechas volcanoclásticas, lavas y brechas volcánicas: lutitas y calizas gris oscuro. | | |
| 100 | | Kis-y | Formación Yangas | Depósitos de lavas gris oscuro de composición andesítica a basalto, estratos delgados de lodolitas, lutitas, calizas y chert. | | | |

Figura 4. Columna lito-estratigráfica para el área urbana de Chaclacayo

Tomado de “Mapa geológico del cuadrángulo de Chosica - Hoja 24j3”, por Mamani et al., 2021.

| ERATEMA | SISTEMA | SERIE | ESPESOR (m) | UNIDADES INTRUSIVAS Y SUBVOLCÁNICAS | | | |
|-----------|-----------|----------|-------------|-------------------------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|
| MESOZOICO | CRETÁCICO | SUPERIOR | | Ks-bc-sr/gr,gd | Batolito de la Costa | Super Unidad Santa Rosa | Granito, granodiorita |
| | | | | Ks-bc-sr-tn,gd | | | Tonalita, granodiorita |
| | | | | Ks-bc-sr-tn,di | | | Tonalita, diorita |
| | | | | Ks-bc/pt-gbdl | Super Unidad Patap | Gabrodiorita | |

Figura 5. Columna de rocas intrusivas en el área de estudio

Tomado de “Mapa geológico del cuadrángulo de Chosica - Hoja 24j3”, por Mamani et al., 2021.

Aspectos geomorfológicos.

En la publicación del estudio de “Geotécnica del Área urbana de Chaclacayo” por el INGEMET (2012), el criterio para determinar las unidades geomorfológicas es por medio de una relación entre la geoforma y la pendiente. Así, estas geoformas están condicionadas por procesos de geodinámica superficial tal como la meteorización. Además, se menciona que las unidades geomorfológicas III y V de la cuenca del río Rímac se encuentran dentro del distrito

de Chaclacayo; donde, la unidad III se caracteriza por “zonas de lomas de menor elevación, cuyo aspecto se ve influenciado por la composición geológica de las rocas subyacentes y la presencia de mantos de arena que a menudo las cubren”. “Las lomas que se forman sobre calizas y cuarcitas del período Cretáceo presentan un relieve brusco, mientras que aquellas que se asientan sobre arcillas y limolitas tienen una forma más suave y redondeada”. Por otro lado, las lomas que se desarrollan sobre rocas volcánicas muestran características topográficas distintivas con pendientes que varían desde suaves hasta empinadas, dependiendo de su resistencia a la erosión y la acción de las condiciones climáticas.

Por otra parte, la unidad V está conformada por valles y quebradas, los cuales “tienen su origen en la divisoria continental y que, a lo largo del flanco occidental, generan canales de drenaje que definen el patrón de la cuenca. Este patrón ha sido moldeado por la erosión causada por procesos y agentes geomorfológicos que han interactuado con movimientos tectónicos a lo largo del tiempo” (Instituto Geofísico del Perú, 2012). En la zona occidental, el perfil del terreno presenta una forma característica en V, siendo amplio y abierto en las partes más altas y angosto y encañonado en las partes bajas (Instituto Geofísico del Perú, 2012). De este modo, la Tabla 4 muestra las características de cada unidad geomorfológica existente en el distrito de Chaclacayo. Además, se muestra, en la Figura 6, la geomorfología presente en el área de estudio.

Tabla 4
Unidades geomorfológicas del área de estudio en relación a su pendiente.

| Unidad geomorfológica | Pendiente |
|------------------------------|------------------|
| Quebradas | >20° |
| Terrazas | 0° - 15° |
| Colinas | 15° - 25° |
| Ladera de pendiente media | 25° - 35° |
| Ladera empinada | > 35° |

Nota. Tomado de “Zonificación Sísmica-Geotécnica del área urbana de Chaclacayo”, por (Instituto Geofísico del Perú, 2012).

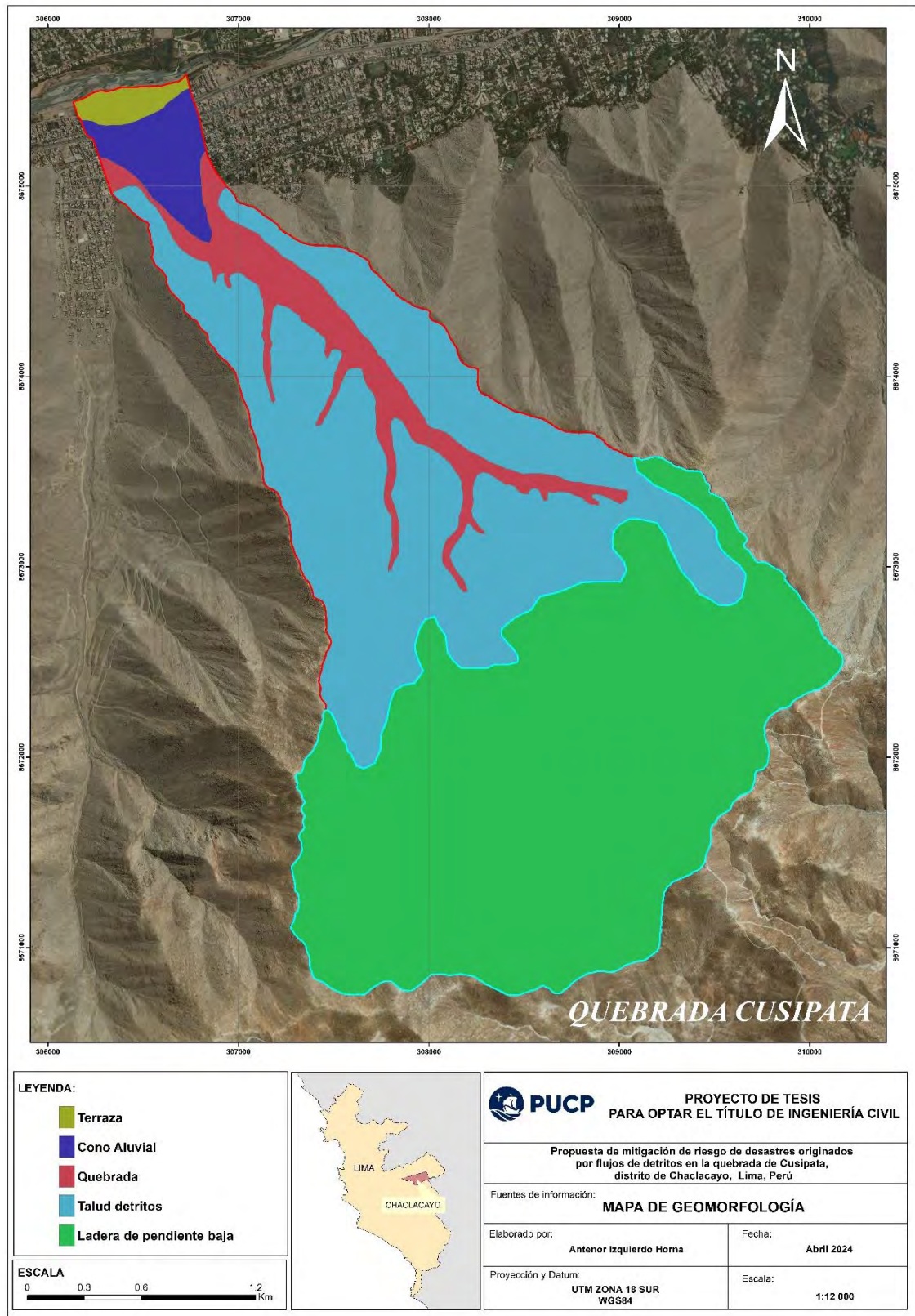


Figura 6. Mapa de geomorfología del área de estudio.

Elaborado con base en “Mapa geológico del cuadrángulo de Chosica - Hoja 24j3”, por Mamani et al., 2021.

Aspectos geodinámicos.

“Los procesos de geodinámica superficial dan lugar a diversas formas geográficas que están sujetas a la acción de la intemperie y la meteorización, lo que, a su vez, puede provocar movimientos en masa”. Estos movimientos están condicionados por varios factores internos, como la composición de las rocas, la pendiente del terreno, la morfología del paisaje, la vegetación que lo cubre y el sistema de drenaje (Santacana, 2001). Asimismo, existen factores desencadenantes externos, como las precipitaciones, los terremotos y las actividades humanas que pueden afectar en la infraestructura de la zona, especialmente a las viviendas del distrito y a la Carretera Central.

4.2.2 Características sociales

Población.

Según el “Compendio Estadístico de Lima 2017” del INEI (2017), el distrito de Chaclacayo cuenta con una población de 42 912 habitantes, de los cuales el 48.13% de la población son hombres (20 655 hombres) y el 51.87% representa a la población de mujeres (22 257 mujeres). Además, este cuenta con una concentración mayoritaria de habitantes mayores a 65 años con un porcentaje del 11.64% de los habitantes totales, seguido por un grupo de 20 a 24 años con un 7.99% de los habitantes totales. De este modo, según el “Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres 2018-2021 para el distrito de Chaclacayo” por la Municipalidad de Chaclacayo (2018), la población, en el área de estudio, es de 760 habitantes. Sin embargo, el área de influencia abarca 119 lotes o predios de la urbanización Cusipata y Los Halcones, de los cuales 111 son viviendas, por lo que se muestra que la población es de 449 habitantes según el INEI (2017).

Vivienda.

Según el "Compendio Estadístico de Lima - 2017" del INEI (2017), en el distrito de Chaclacayo, existen 9 767 viviendas. En cuanto al materiales predominantes de construcción

en paredes exteriores, es el material noble con 9 010 viviendas, cuyo porcentaje es el 95.58% del total de viviendas, tal y como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Material predominante en paredes de las viviendas en Chaclacayo.

| Tipo de material | Viviendas | Porcentaje (%) |
|---------------------------|------------------|-----------------------|
| Material noble | 9010 | 92.25 |
| Material de adobe o tapia | 333 | 3.41 |
| Material precario | 84 | 0.86 |
| Otros | 340 | 3.48 |
| Total de viviendas | 9767 | 100 |

Nota. Tomado del “sistema de consulta de base de datos REDATAM” - “Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas”, por INEI (2017a).

Por otro lado, en cuanto al materiales predominantes de construcción en los pisos de las viviendas, es el cemento con 5 071 viviendas, cuyo porcentaje es el 51.92% del total de viviendas, tal y como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6

Material predominante en pisos de las viviendas en Chaclacayo.

| Tipo de material | Viviendas | Porcentaje (%) |
|------------------------------|------------------|-----------------------|
| Cemento | 5071 | 51.92 |
| Tierra | 255 | 2.61 |
| Parquet, losetas o similares | 4371 | 44.75 |
| Otros | 70 | 0.72 |
| Total de viviendas | 9767 | 100 |

Nota. Tomado del “sistema de consulta de base de datos REDATAM” - “Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas”, por INEI (2017a).

Finalmente, en cuanto al materiales predominantes de construcción en los techos de las viviendas, es el concreto armado con 7 611 viviendas, cuyo porcentaje es el 77.93% del total de viviendas, tal y como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7

Material predominante en techos de las viviendas en Chaclacayo.

| Tipo de material | Viviendas | Porcentaje (%) |
|--|------------------|-----------------------|
| Concreto armado | 7611 | 77.93 |
| Tejas | 219 | 2.24 |
| Planchas de calamina, fibra de cemento o similares | 1334 | 13.66 |
| Caña o esfera con torta de barro o cemento | 159 | 1.63 |
| Triplay, estera, carrizo | 99 | 1.01 |
| Paja, hoja de palmera y similares | 7 | 0.07 |
| Otros | 338 | 3.46 |
| Total de viviendas | 9767 | 100 |

Nota. Tomado del “sistema de consulta de base de datos REDATAM” - “Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas”, por INEI (2017a).

Cantidad de viviendas en el área de influencia.

Según el “Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres 2018-2021 para el distrito de Chaclacayo” por la Municipalidad de Chaclacayo (2017), en la quebrada de Cusipata, existen 211 viviendas. Sin embargo, el área de influencia abarca 119 predios de la urbanización Cusipata y Los Halcones, de los cuales 111 son viviendas con las características antes mencionadas.

Servicios básicos.

Según el “Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas” del INEI (2017a), en el distrito de Chaclacayo, existen 8 355 viviendas que tienen conexión a la red pública de abastecimiento de agua potable, lo cual es el 85.54% del total de viviendas. Además, existen 9 479 viviendas que tienen conexión a alcantarillado por red pública, lo cual es el 97.05% del total de viviendas, tal y como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

Tipo de abastecimiento del servicio de alcantarillado en Chaclacayo.

| Tipo de abastecimiento | Viviendas | Porcentaje (%) |
|--------------------------------|------------------|-----------------------|
| Alcantarillado por red pública | 9479 | 97.05 |
| Pozo séptico - letrina | 81 | 0.83 |
| Pozo negro o ciego | 77 | 0.79 |
| No tiene servicio | 130 | 1.33 |
| Total de viviendas | 9767 | 100.00 |

Nota. Tomado del “sistema de consulta de base de datos REDATAM” - “Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas”, por INEI (2017a).

Por otro lado, según el “sistema de consulta de base de datos” “Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas” por INEI (2017a), en el distrito de Chaclacayo, existen 9 622 viviendas que tienen conexión a la red pública de energía eléctrica y alumbrado y 145 viviendas no tienen alumbrado eléctrico. Sin embargo, en el área de influencia, todas cuentan con este servicio de energía y alumbrado.

Educación.

Cantidad de instituciones educativas a nivel distrital.

En el distrito de Chaclacayo, según el Padrón de Instituciones Educativas del Ministerio de Educación para el 2017, hay un total de 117 instituciones educativas. De estas, 34 son del sector público, lo que representa el 29.06% del total, mientras que 83 pertenecen al sector privado, lo que constituye el 70.94%, tal y como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9

Cantidad de instituciones educativas según al sector que pertenecen.

| Sector | N° I. Educativas | Nivel | Cantidad | % Parcial | % Total |
|---------------|-------------------------|--------------|-----------------|------------------|----------------|
| Público | 34 | Inicial | 17 | 14.53 | 29.06 |
| | | Primaria | 9 | 7.69 | |
| | | Secundaria | 7 | 5.98 | |
| | | Superior | 1 | 0.85 | |
| Privado | 83 | Inicial | 39 | 33.33 | 70.94 |
| | | Primaria | 28 | 23.93 | |
| | | Secundaria | 16 | 13.68 | |
| | | Superior | 0 | 0.00 | |
| Total | 117 | | | | 100.00 |

Nota. Tomado del “Padrón de Instituciones Educativas”, por el Ministerio de Educación (2017).

Además, en la Tabla 9, se observa que, “en el sector público, 17 centros son de educación inicial, 9 centros de educación primaria, 7 centros de educación secundaria y 1 centro de educación superior. Por otro lado, en el sector privado, hay 39 centros de educación inicial, 28 centros de educación primaria y 16 centros de educación secundaria”.

Población educativa a nivel distrital.

A nivel distrital, la población educativa total es de 13 982 estudiantes, de los cuales 8 999 estudiantes asisten a instituciones públicas y 4 983 a instituciones privadas. Además, en el sector público, hay 1 635 alumnos en educación inicial, 3 180 en educación primaria, 3 782 en educación secundaria y 402 en educación superior. Mientras tanto, en el sector privado, hay 1 177 alumnos en educación inicial, 2 290 en educación primaria y 1,516 en educación secundaria según los datos del “Padrón de Instituciones Educativas del Ministerio de Educación en Chaclacayo”.

Población educativa en el área de influencia.

Según el “Padrón de Instituciones Educativas” por el “Ministerio de Educación (2017)”, existen 4 instituciones educativas en el área de influencia, de las cuales 1 pertenece al sector público y comprende a los niveles de inicial y primaria; y las otras 3 pertenecen al sector privado y comprenden a la educación inicial.

Salud.

Establecimientos de salud a nivel distrital.

De acuerdo al “Registro Nacional de Instituciones Prestadoras de Salud (RENIPRESS) por la Superintendencia Nacional de Salud - SUSALUD (n.d.)”, existen 9 establecimientos de salud que pertenecen al sector público (MINSA) en el distrito de Chaclacayo, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 10

Establecimientos de Salud en Chaclacayo.

| Tipo de abastecimiento | Categoría | Cantidad |
|-----------------------------------|------------------|-----------------|
| Puesto de salud | I- 2 | 5 |
| Centro de Salud sin Internamiento | I - 3 | 3 |
| Centro de Salud con Internamiento | I - 4 | 1 |
| Total de viviendas | | 9 |

Nota. Tomado del “Registro Nacional de Instituciones Prestadoras de Salud - RENIPRESS, por la Superintendencia Nacional de Salud - SUSALUD (n.d.)”.

4.2.3 Características ambientales.

Hidrología.

Según la “Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Rímac por la Autoridad Nacional del Agua - ANA (2010)”, “la cuenca del río Rímac abarca un área de 3 503.95 km² y cuenta con una pendiente de 1.7% desde la confluencia de las dos subcuencas por la que está conformada: la del río Santa Eulalia y la del río San Mateo (igualmente llamado Rímac), los cuales confluyen cerca del distrito de Chosica”.

Por otro lado, para el interés del área de estudio, “la subcuenca Jicamarca - Santa Eulalia se encuentra posicionada en los distritos de Chosica, Chaclacayo y Ate Vitarte. Además, tiene una longitud de cauce de 34.81 km, una superficie de 267.60 km² y representa el 7.64% del área total de la cuenca del río Rímac” ANA (2010). A continuación, se presenta la Tabla 11 que contiene el perímetro, superficie, longitud del río principal, pendiente y número de orden del río de las subcuencas de la cuenca del río Rímac.

Tabla 11

Subunidades hidrográficas de la cuenca del río Rímac.

| Unidad hidrográfica | Río principal y/o Quebrada | Perímetro (km) | Superficie km2 | % | Longitud río principal (km) | Pendiente río principal (%) | |
|---------------------|----------------------------|---|----------------|--------|-----------------------------|-----------------------------|------|
| Subcuenca | Baja río Rímac | Tramo río Rímac (parte baja) | 156.24 | 441.03 | 12.59 | 22.92 | 0.02 |
| Subcuenca | Qda. Jicamarca | Qda. Jicamarca - Qda. Huaycoloro | 113.25 | 492.31 | 14.05 | 44.15 | 2.07 |
| Subcuenca | Jicamarca - Santa Eulalia | Tramo río Rímac (parte baja) | 92.48 | 267.6 | 7.64 | 34.81 | 0.02 |
| Subcuenca | Río Santa Eulalia | Río Santa Eulalia - Río Macachaca - Río Pilla | 181.24 | 1077.4 | 30.75 | 62.36 | 0.50 |
| Subcuenca | Santa Eulalia - Parac | Tramo río Rímac (parte media) | 133.63 | 633.71 | 18.09 | 48.39 | 0.08 |
| Subcuenca | Qda. Parac | Qda. Parac - Qda. Pachachaca - Qda. Tonsuyoc - Qda. Pucacorrall | 56.05 | 130.43 | 3.72 | 20.55 | 1.27 |
| Subcuenca | Parac - Alta río Rímac | Tramo río Rímac (parte alta) | 34.36 | 55.93 | 1.60 | 7.89 | 0.03 |
| Subcuenca | Alta río Rímac | Tramo río Rímac (parte alta) | 72.32 | 169.81 | 4.85 | 13.01 | 1.69 |
| Subcuenca | Río Blanco | Río Blanco | 90.23 | 235.75 | 6.73 | 32.07 | 1.99 |
| Cuenca | Rímac | Río Rímac | 419.5 | 3504 | 100.00 | 127.02 | 0.70 |

Nota. Elaborado con base en la “Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Rímac”, por la “Autoridad Nacional del Agua – ANA, 2010”.

Condiciones climatológicas.

Debido a la escasa información de las condiciones climáticas del área de estudio, se detallará las condiciones climáticas del distrito (Chaclacayo) y de la cuenca a la que la zona de estudio pertenece. Así, la cuenca del Rímac se encuentra ubicada en los Andes centrales peruanos y desemboca en la costa de Lima. Esta región posee características complejas desde términos climáticos y topográficos hasta los aspectos socioeconómicos. La gran presión humana en las áreas bajas del río Rímac está directamente relacionada con la gran área metropolitana de Lima y la significativa actividad agrícola, industrial y de consumo humano que ocurre en los alrededores de esta región. Con una población aproximada de 9.6 millones de habitantes, la demanda de agua en ríos con flujos irregulares se incrementa, especialmente

considerando que los reservorios naturales, como las masas glaciares, están disminuyendo. “La parte baja de la cuenca tiene un clima semi – cálido y con escasas lluvias durante el año. Esta región está influenciada por el brazo descendente del Anticiclón del Pacífico Sur (APS), un sistema de alta presión en el Océano Pacífico suroriental que regula el gradiente de lluvias de este a oeste, siendo más abundantes hacia el este”.

De vez en cuando, el campo térmico de la región se ve afectado por vientos fríos del sur, conocidos como “vientos Paracas del Jet costero, que no solo aumentan la humedad, sino también la frecuencia de lloviznas y neblinas” (SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ, 2016). Los parámetros climáticos principales que caracterizan el clima del distrito en la parte baja de la cuenca del Rímac son “la precipitación, temperatura, humedad y viento”. Estos datos se obtienen de diversas estaciones meteorológicas instaladas en la cuenca del Rímac y cuencas adyacentes, gestionadas por el “Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)”. Así, debido a que no existe ninguna estación meteorológica en el área de estudio, se utilizarán los datos de las estaciones más próximas a esta con el objetivo de proporcionar una descripción adecuada de la zona.

Precipitación.

Para este estudio, se utilizó información pluviométrica proveniente de “los registros de 28 estaciones meteorológicas, de las cuales 13 están ubicadas dentro de la cuenca del Rímac y 8 fuera de su área de influencia”. En la región de la cuenca del río Rímac, el período de lluvias intensas se extiende desde diciembre hasta marzo con una precipitación promedio anual de 72.52% de las precipitaciones anuales totales; mientras que el período seco que abarca de mayo a septiembre y tiene una precipitación promedio anual de 7.15% de las precipitaciones anuales totales. Además, los meses de transición son abril y octubre a noviembre (Autoridad Nacional del Agua, 2019). Asimismo, cabe señalar que la estación meteorológica más cercana al distrito de Chaclacayo es la estación de Chosica, la cual está operada por el “Servicio Nacional de

Meteorología e Hidrología (SENAMHI)”. Así, para representar la precipitación histórica de diseño en el área de estudio, se tomó en cuenta la precipitación máxima registrada en 24 horas en las estaciones climáticas de Chosica, la cual sirve para evidenciar que la precipitación ha ido aumentando en transcurso del tiempo. Esto se puede evidenciar en los incrementos notables de los años de 1994, 2002, 2012, 2015 y 2017, donde se muestran valores atípicos. A continuación, se presenta el registro histórico de precipitación en la Tabla 12.

Tabla 12

Precipitación máxima en 24hr (mm) – Estación Chosica.

| Estación | Datos generales | Año | PP máxima anual (mm) |
|----------------------|--|------|----------------------|
| CHOSICA | ALTITUD: 867 msnm LONGITUD: 76°41'23.09" LATITUD: 11°55'47.48" | 1990 | 3.20 |
| | | 1991 | 3.70 |
| | | 1992 | 2.30 |
| | | 1993 | 2.40 |
| | | 1994 | 16.00 |
| | | 1995 | 3.00 |
| | | 1996 | 5.80 |
| | | 1997 | 0.50 |
| | | 1998 | 6.50 |
| | | 1999 | 6.50 |
| | | 2000 | 6.00 |
| | | 2001 | 5.20 |
| | | 2002 | 30.70 |
| | | 2003 | 2.80 |
| | | 2004 | 1.60 |
| | | 2005 | 1.20 |
| | | 2006 | 5.60 |
| | | 2007 | 7.70 |
| | | 2008 | 4.00 |
| | | 2009 | 8.00 |
| | | 2010 | 0.80 |
| | | 2011 | 5.70 |
| | | 2012 | 37.00 |
| | | 2013 | 2.30 |
| | | 2014 | 6.20 |
| | | 2015 | 18.30 |
| | | 2016 | 5.30 |
| | | 2017 | 19.50 |
| N° Datos | | | 28 |
| Media | | | 7.78 |
| Desviación Estándar | | | 8.66 |
| Máxima precipitación | | | 37.00 |
| Mínima precipitación | | | 0.50 |

Nota. Elaborado con base en los datos hidrográficos de SENAMHI.

Viento.

“El viento se define como el desplazamiento del aire a nivel de la superficie terrestre, originado por diferencias en la presión atmosférica causadas por el calentamiento desigual de las superficies y masas de aire”. En el área de estudio, no existen estaciones que registren este parámetro. No obstante, se ha tomado en cuenta la información del cambio de temperatura de un estudio de investigación realizado por Sedapal en la Cuenca del Rímac, ya que el cambio de temperatura puede hacer cambiar la presión atmosférica, por ende, al viento. Durante este estudio, se observó un aumento significativo en la temperatura de 0.35°C por década, es decir, 1.75°C en total, lo cual puede cambiar la dirección y velocidad del viento en el área de estudio (SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ, 2016).

Humedad.

“Las estaciones próximas al litoral peruano presentan registros con un gran índice de humedad; a su vez, se exhibe una mínima variación tanto en su valor promedio anual como en sus valores máximos y mínimos extremos” (Autoridad Nacional del Agua, 2019). No obstante, a medida que se adentra tierra adentro, aunque el promedio disminuye, se observa un incremento en la amplitud de oscilación de todos los valores. Por lo general, los niveles diarios de humedad siguen los patrones de los ciclos térmicos, con valores bajos durante el día y un aumento nocturno asociado a temperaturas más frescas. En el caso de estudio, se presenta una humedad relativa registrada en la estación Chosica, la cual se ubica en proximidad al área objeto de investigación; así, esta humedad relativa media anual es de 0.82.

Temperatura.

“El clima, en el área de estudio, se caracteriza por ser templado y seco, con rangos de temperaturas diarias que oscilan entre los 27°C durante la temporada de verano (diciembre a marzo) y los 19°C durante el invierno (junio a septiembre)” (ANA, 2010). Para la medición de temperaturas, en la cuenca del río Rímac, se disponen de observatorios auxiliares. El régimen

de temperaturas medias, máximas y mínimas exhibe una variación uniforme a lo largo del año en consonancia con la posición geográfica de dichos observatorios (ANA, 2010). Además, en la Tabla 13, se puede observar la variación de la temperatura media anual (mensual), máxima media anual (mensual) y la mínima media anual (mensual).

Tabla 13

Temperatura media anual, máxima y mínima anual.

| Temperatura media anual (mensual) | | | | | | | | | | | | Promedio anual |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|
| ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | |
| 22.5 | 23.2 | 23.1 | 21.7 | 18.9 | 17.2 | 16.1 | 17.1 | 18.2 | 19.1 | 20.3 | 20.9 | 19.90 |
| Temperatura máxima media anual (mensual) | | | | | | | | | | | | Promedio anual |
| ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | |
| 27.30 | 27.70 | 28.00 | 26.00 | 23.50 | 21.90 | 21.30 | 22.40 | 23.70 | 24.80 | 25.50 | 25.90 | 24.80 |
| Temperatura mínima media anual (mensual) | | | | | | | | | | | | Promedio anual |
| ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | |
| 17.80 | 18.50 | 18.20 | 17.40 | 14.40 | 12.50 | 10.90 | 11.80 | 12.70 | 13.50 | 15.10 | 15.90 | 14.90 |

Nota. Elaborado con base en el “Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac”, por “Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2010”.

4.2.4 Características económicas.

En el distrito de Chaclacayo, “la población económicamente activa (PEA)” representa el 35.47% de la población total. Así, en la Tabla 14 se muestra el tipo de actividades realizadas por la población.

Tabla 14

Actividad económica en Chaclacayo.

| Actividad | Población | Porcentaje % |
|--------------------------------|------------------|---------------------|
| Actividad primaria y artesanía | 349 | 2.29 |
| Comercial | 1977 | 12.99 |
| Servicios | 9850 | 64.72 |
| Otros | 1675 | 11.01 |
| Estado / Gobierno | 1368 | 8.99 |
| Total de población | 15219 | 100.00 |

Nota. Tomado del “Sistema de Información Estadístico de apoyo a la Prevención a los efectos del Fenómeno de El Niño y otros Fenómenos Naturales, por (INEI, n.d.)”.

5. EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE ORIGINADO POR FLUJO DE DETRITOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

5.1 Situación de Peligro

5.1.1 Metodología para la determinación del peligro.

Según el “Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales 02 Versión” por “CENEPRED (2014b)”, la metodología para determinar el peligro se basa en “la evaluación de diferentes criterios que permiten jerarquizar un proceso”; donde, para saber si el criterio utilizado para la evaluación de pares es adecuada, la “Relación de Consistencia (RC) debe ser menor a 0.1”; en caso contrario, se deberá evaluar nuevamente la relevancia de los parámetros hasta que $RC < 0.1$.

Así, en la Figura 7, se detalla el proceso para hallar el nivel de peligrosidad. En primer lugar, la aplicación de la metodología, para evaluar el peligro en la cuenca, inició con un análisis de susceptibilidad que consideró tanto los factores condicionantes como los desencadenantes del flujo de detritos en el área de estudio. Con el propósito de llevar a cabo esta evaluación, se realizó una revisión bibliográfica de aspectos relacionados con la zona en cuestión, tales como aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, entre otros, los cuales permitieron caracterizar la zona de estudio. No obstante, cabe señalar que no se disponía de algunos datos específicos sobre el flujo de detritos en la zona de estudio, pero se contaba con información recopilada de áreas circundantes, como el distrito de Chosica. Así, esta información proporcionó una base integral que abarcó tanto los factores condicionantes identificados como el registro de eventos de flujo de detritos en zonas afines. En consecuencia, la evaluación del peligro se llevó a cabo considerando el volumen del flujo de detritos y la zonificación de susceptibilidad. Este enfoque integral permitió una comprensión detallada de la dinámica de peligro en la cuenca, basada en la interrelación de los factores condicionantes

(litología, geomorfología y pendiente) y desencadenantes (precipitación) identificados durante la investigación.

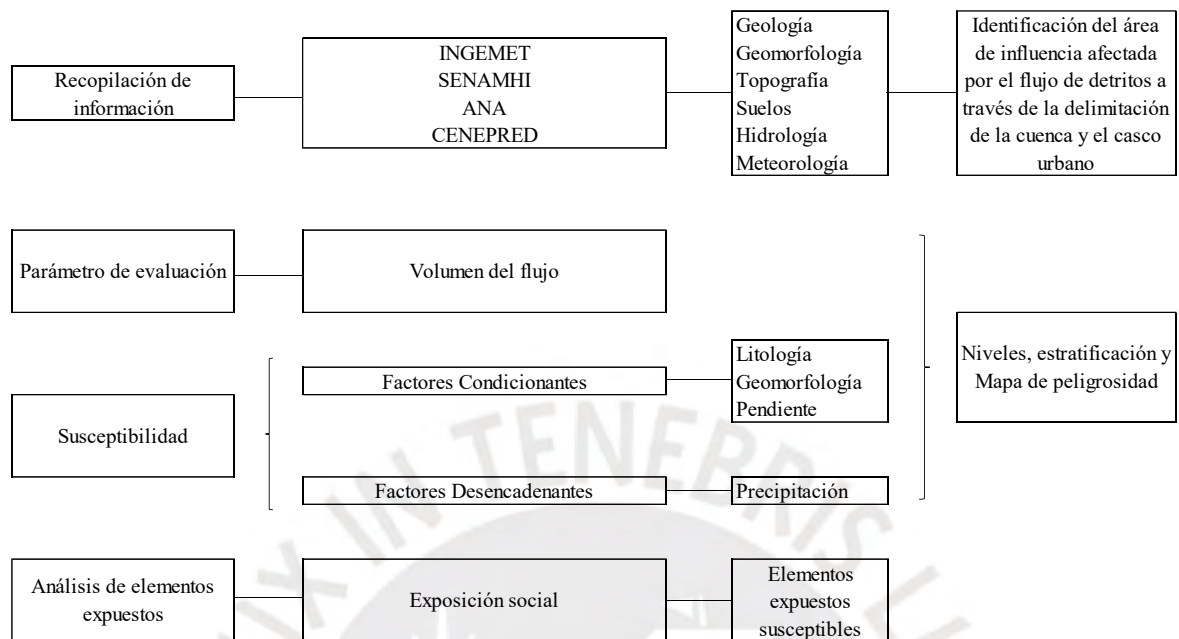


Figura 7. Metodología para determinar el nivel de peligrosidad

Elaborado con base en el “Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales 02 Versión”, por CENEPRED (2014b).

5.1.2 Identificación del área de influencia.

Para la delimitación del área de influencia por el fenómeno natural de flujo de detritos, se identificó que existen 119 edificaciones que pertenecen a las Urbanizaciones Cusipata y Los Halcones, las cuales se encuentran localizadas dentro del área de influencia de la quebrada Cusipata. Estas edificaciones se dividen según su uso: 112 viviendas de uso residencial, 3 edificaciones de uso religioso y 4 edificaciones de uso educativo.

5.1.3 Susceptibilidad del territorio.

En cuanto a la susceptibilidad del área de estudio, se busca “identificar y ponderar los factores desencadenantes y condicionantes que están relacionados con el fenómeno natural de flujo de detritos”. Así, se identificó a la precipitación como factor desencadenante (FD), debido a que este funciona como detonante del flujo de detritos, ya que esta se escurre e infiltra por el

talud del terreno y ocasiona la inestabilidad de este. En cuanto a los factores condicionantes (FC), se tiene a la litología, la cual señala la composición del material, cuán erosionable y permeable puede ser este. Esto condiciona al lugar debido a que, según las características presentes en este, puede ser más o menos propenso a deslizamientos de masa. Por otro lado, se tiene a la geomorfología, la cual ayuda a entender la forma y las características del relieve terrestre, lo que condiciona en el transporte del material. Por último, está la pendiente, la cual condiciona al área de estudio debido a la interacción directa con características importantes del flujo de detritos como la velocidad y volumen del flujo.

5.1.4 Factores desencadenantes.

Precipitación.

Debido a que no se encuentra información de precipitaciones para analizar la frecuencia de lluvias en la zona de estudio, se realizará un análisis de peligrosidad relativa tomando en cuenta las precipitaciones máximas anuales de la estación Chosica entre los años de 1990 y 2017 (ver Tabla 12). Es decir, los datos de la estación Chosica se emplearán como referencia para inferir la peligrosidad de las precipitaciones en la zona de estudio. Así, en la Tabla 15, se muestra el rango de precipitación en mm/día.

Tabla 15

Rango de precipitación en mm/día para el área de estudio.

| Precipitación (mm/día) |
|------------------------|
| 19.5 – 25.1 mm/día |
| 16.5 – 19.5 mm/día |
| 11.5 – 16.5 mm/día |
| 6.5 – 11.5 mm/día |
| 0.5 – 6.5 mm/día |

Nota. Elaboración propia.

De esta manera, a continuación, se presenta la Tabla 16 donde se muestra el vector de priorización del factor desencadenante “Precipitación”. Los resultados muestran que rangos

más altos de precipitación (19.5 – 25.1 mm/día y 16.5 – 19.5 mm/día) tienen mayor prioridad, lo que sugiere que estos niveles de precipitación tienen un mayor impacto en la peligrosidad de la zona de estudio. Por otro lado, los rangos de precipitación más bajos (0.5 – 6.5 mm/día y 6.5 – 11.5 mm/día) tienen menor prioridad, lo que indica que estos niveles de precipitación son menos críticos en términos de peligrosidad. Así, la distribución de los valores de priorización refleja la importancia relativa de cada rango de precipitación. Las prioridades decrecen a medida que los rangos de precipitación disminuyen, lo que es coherente con la suposición de que precipitaciones más intensas presentan un mayor peligro de flujo de detritos.

Tabla 16

Vector de priorización del parámetro “Precipitación”.

| PRECIPITACIÓN | Vector Priorización |
|--------------------|---------------------|
| 19.5 – 25.1 mm/día | 0.503 |
| 16.5 – 19.5 mm/día | 0.260 |
| 11.5 – 16.5 mm/día | 0.134 |
| 6.5 – 11.5 mm/día | 0.068 |
| 0.5 – 6.5 mm/día | 0.035 |

Nota. Elaboración propia.

5.1.5 Factores condicionantes.

En la quebrada Cusipata, el flujo de detritos está influenciado por tres factores clave: litología (geología local), geomorfología y pendiente. En cuanto a la litología, se destacan un aspecto geológico fundamental para el flujo de detritos: la presencia de material suelto o un manto residual del suelo. En lo que respecta a la geomorfología, los flujos de detritos están determinados por la forma de las geoformas, como las quebradas, los taludes de detritos y las laderas con pendientes moderadas o empinadas. Además, se presenta la pendiente, la cual determina la estabilidad del terreno y la dinámica del agua superficial, lo que es crucial para evaluar riesgos de deslizamientos e inundaciones. Cabe señalar que existe una relación intrínseca entre estos tres parámetros; por ejemplo, la geoforma y la pendiente influyen en la

estabilidad del talud y; esto está estrechamente ligado al tipo de material litológico presente y su resistencia al movimiento causado por la lluvia.

Entre estos, la litología es la de mayor prioridad debido a la variabilidad en la resistencia y cohesión de diferentes tipos de rocas y sedimentos, ya que esto afecta directamente la estabilidad del terreno. Seguido, se tiene a la pendiente con prioridad intermedia debido a que cuán más inclinación tenga la ladera, mayor será la probabilidad de deslizamientos debido a una mayor componente gravitacional. Por último, se tiene a la geomorfología, la cual representa a las geoformas dónde se acumula el material a transportar. Así, se presenta la Tabla 17, en la cual se muestra el vector de priorización de estos parámetros.

Tabla 17

Vector de priorización de los Factores Condicionantes.

| Factores Condicionantes | Vector Priorización |
|-------------------------|---------------------|
| LITOLOGÍA | 0.633 |
| PENDIENTE | 0.260 |
| GEOMORFOLOGÍA | 0.106 |

Nota. Elaboración propia.

Litología.

Para priorizar los descriptores, es esencial entender cómo cada tipo de depósito litológico contribuye a la susceptibilidad del terreno a los movimientos de masa. Así, según el estudio realizado por el “Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (1988)” se toma en cuenta los descriptores de la Tabla 18, donde el depósito proluvial presenta mayor susceptibilidad a deslizamientos y a la erosión, debido a que consisten principalmente en materiales sueltos y no consolidados. Estos depósitos son formados por la acción de torrentes en laderas y/o valles, donde se van acumulando fragmentos de suelo suelto. Estos están expuestos a movimientos de masa cuando ocurren precipitaciones altas. Por otro lado, los depósitos coluviales son materiales que se acumulan en la base de las laderas por acción de la gravedad. Sin embargo,

estos tienen una mejor cohesión que los proluviales, lo que hace que sea de segunda prioridad en la evaluación (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 1988).

En cuanto al depósito aluvial, este se forma a partir de sedimentos transportados por corrientes de agua que se depositan en las orillas de los ríos, las cuales tienen una inclinación de terreno baja. Así, la susceptibilidad a los deslizamientos, en estos depósitos, es menor que en los proluviales y coluviales, por lo que se les asigna una prioridad intermedia (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 1988). Por otro lado, los depósitos fluviales son más consolidados que los depósitos aluviales, ya que estos se caracterizan por una mayor cohesión y estabilidad. Esto se debe a que las corrientes de agua que los forman tienden a remover los materiales más finos, lo que deja sedimentos más gruesos y compactos. Así, la susceptibilidad a deslizamientos es significativamente menor, justificando su baja prioridad en el análisis.

Finalmente, la tonalita y diorita son tipos de rocas ígneas intrusivas, altamente consolidadas y con gran resistencia mecánica. Así, estas rocas presentan una cohesión elevada y una muy baja susceptibilidad a los deslizamientos y la erosión en comparación con los depósitos sueltos (Instituto Geofísico del Perú, 2012). La estabilidad que proporcionan estas formaciones geológicas justifica su mínima prioridad en la evaluación de riesgos. De este modo, para los descriptores, se presenta la Tabla 18 donde se muestra el vector de priorización del factor condicionante “Litología”. Además, en la Figura 3, se muestra el mapa litológico del área de estudio.

Tabla 18

Vector de priorización del factor “Litología”.

| LITOLOGÍA | Vector Priorización |
|------------------------------|---------------------|
| Deposito proluvial (Q-prol) | 0.496 |
| Deposito coluvial (Q-c) | 0.255 |
| Deposito aluvial (Q-al) | 0.150 |
| Deposito fluvial (Q-fl) | 0.064 |
| Tonalita Diorita (Ks-tdi-sr) | 0.034 |

Nota. Elaboración propia.

Geomorfología.

El factor "Geomorfología" está directamente relacionada con la capacidad de cada tipo de terreno para concentrar y albergar volúmenes significativos de flujo de detritos. Las formas del terreno que actúan como canales naturales o áreas de acumulación tienen una mayor priorización debido a su relevancia en la evaluación del riesgo. Así, la priorización más alta corresponde a las quebradas, ya que estos terrenos actúan como canales naturales donde el flujo de detritos se concentra y puede alcanzar su máximo volumen. Por otro lado, las terrazas están en segunda prioridad debido a que es en estas donde se ubican las viviendas que están expuestas a ser impactadas por una gran cantidad de material que proviene de las quebradas. Por otra parte, las laderas de pendientes bajas tienen prioridad intermedia debido a que el material que puede acumularse es menor al de las terrazas. De igual manera, en el talud de detritos y en la ladera de pendiente alta, el volumen de material será menor debido a su aumento en la inclinación, por lo que el material suelto tendrá una tendencia a transportarse y no en acumularse. De esta manera, a continuación, se presenta la Tabla 19 donde se muestra el vector de priorización del factor condicionante "Geomorfología". Además, en la Figura 6, se muestra el mapa de geomorfología del área de estudio.

Tabla 19

Vector de priorización del factor "Geomorfología".

| GEOMORFOLOGÍA | Vector Priorización |
|--------------------------|---------------------|
| Quebrada | 0.478 |
| Terraza | 0.266 |
| Ladera de pendiente baja | 0.153 |
| Talud de detritos | 0.066 |
| Ladera de pendiente alta | 0.037 |

Nota. Elaboración propia.

Pendiente.

Este factor evalúa la inclinación del terreno como un determinante crucial para prever la posibilidad de flujo de detritos. En el área de estudio, se han categorizado los niveles de

pendiente según su grado de vulnerabilidad frente a este fenómeno, considerando tanto la susceptibilidad del terreno como el tipo de material presente en la geoforma (ya sean depósitos superficiales o rocas intrusivas). De este modo, se toma la priorización como la susceptibilidad de una porción de material a ser transportado. No obstante, cabe señalar que la relación entre el volumen del flujo y la pendiente es inversamente proporcional; es decir, a mayor pendiente, menor será la acumulación de material. Así, para la priorización, se tiene en cuenta lo siguiente:

- Terrenos con una pendiente superior a 30 grados se consideran altamente susceptibles al flujo de detritos.
- Pendientes entre 20 y 30 grados indican un nivel de susceptibilidad medio.
- Terrenos con pendientes entre 10 y 20 grados tienen una susceptibilidad baja.
- Pendientes entre 5 y 10 grados muestran una vulnerabilidad muy bajo.
- Pendientes inferiores a 5 grados no presentan riesgo de susceptibilidad.

De esta manera, a continuación, se presenta la Tabla 20, donde se muestra el vector priorización del factor condicionante “Pendiente”. Además, en la Figura 8, se muestra el mapa de pendientes del área de estudio.

Tabla 20

Vector de priorización del factor “Pendiente”.

| PENDIENTE | Vector Priorización |
|----------------|---------------------|
| Mayor a 30° | 0.497 |
| Entre 20 a 30° | 0.274 |
| Entre 10 a 20° | 0.131 |
| Entre 5 a 10° | 0.065 |
| Menor a 5° | 0.034 |

Nota. Elaboración propia.

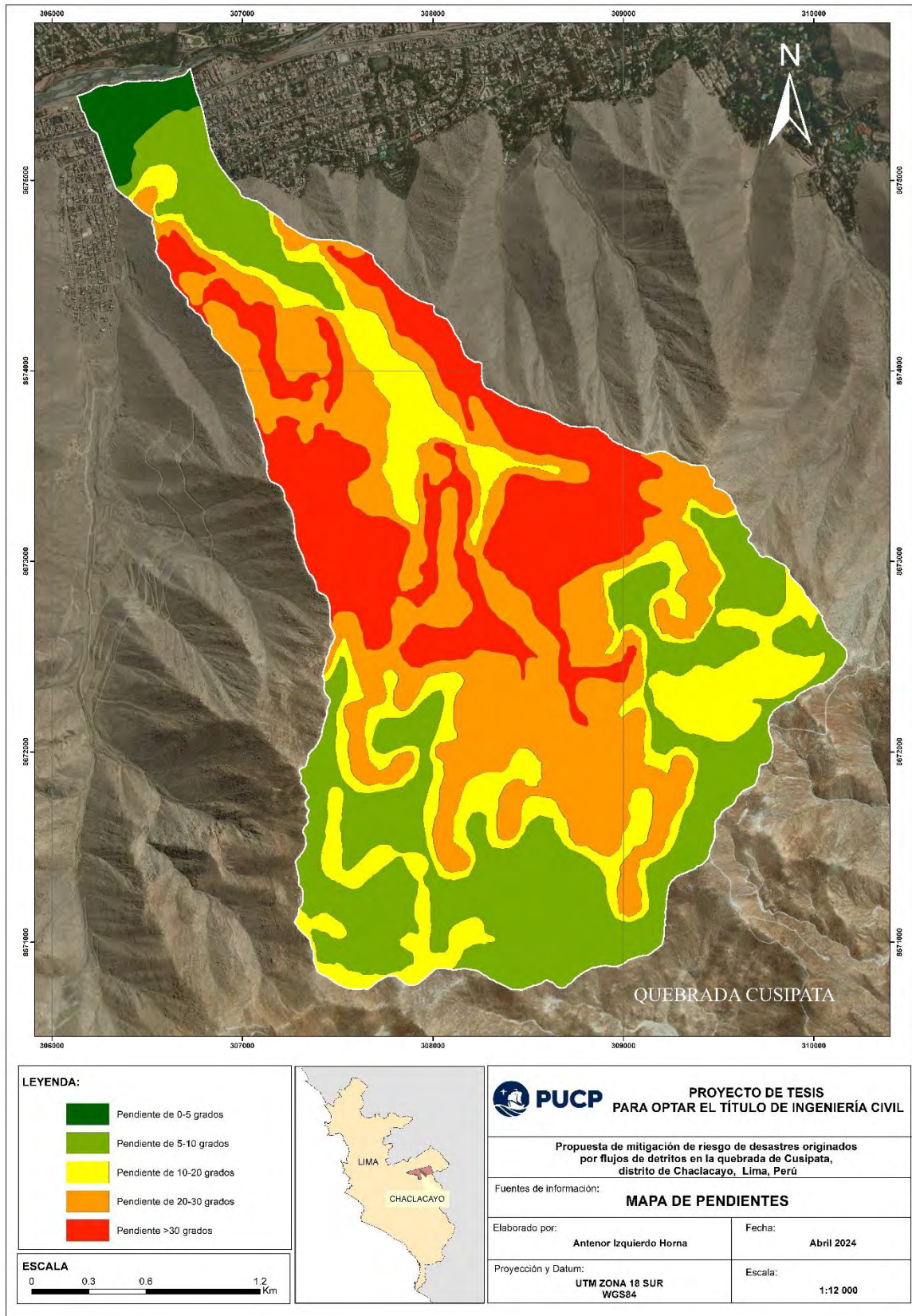


Figura 8. Mapa de pendientes del área de estudios.

Elaborado con base en INGENET.

5.1.6 Parámetro de evaluación.

En esta evaluación, se incluye como criterio de análisis al volumen del flujo que puede generarse al ocurrir el evento natural de flujo de detritos.

Volumen del flujo.

Debido a que no se encuentra información histórica sobre el volumen de flujo que se dio en cada evento pasado, se tomará en cuenta los posibles porcentajes de volumen que pueden darse en el área de estudio. Para esto, se tendrá de referencia la fórmula dada por Soncco Calsina et al. (2023) en la que se estima el volumen del flujo de detritos en relación al área de influencia (A , m^2), a la precipitación neta (P_n , m) y a un porcentaje de agua asumido por el investigador ($X\%$). Esta fórmula se describe como $V_{flujo} = P_{neta} \times A \times (X\%^{-1})$, donde se puede estimar el cálculo del material detrítico. De este modo, los descriptores del parámetro de evaluación han sido ordenados dependiendo de cuánto material se acumularía. No obstante, para la determinación efectiva del volumen en el área de estudio, se debería realizar un modelamiento hidrológico, en el cual se pueda representar de manera más detallada este parámetro. Así, en base a lo anterior, se presenta la Tabla 21 donde se muestra el vector priorización del parámetro de evaluación: “Volumen del flujo”, donde a menor cantidad de porcentaje de agua, mayor será el volumen de flujo de detritos, por lo que esto causaría mayor daño a los elementos expuestos.

Tabla 21

Matriz de normalización del parámetro “Volumen de flujo”.

| Volumen de flujo | Vector Priorización |
|--|---------------------|
| Volumen de flujo con porcentaje de agua entre 20 y 30% | 0.508 |
| Volumen de flujo con porcentaje de agua entre 35 y 45% | 0.264 |
| Volumen de flujo con porcentaje de agua de 50% | 0.129 |
| Volumen de flujo con porcentaje de agua entre 55 y 65% | 0.061 |
| Volumen de flujo con porcentaje de agua mayores a 65% | 0.039 |

Nota. Elaboración propia.

5.1.7 Análisis de elementos expuestos.

La delimitación del área afectada por el flujo de detritos abarca las 119 construcciones pertenecientes a las Urbanizaciones Cusipata y Los Halcones, las cuales están ubicadas dentro del cauce de la quebrada Cusipata. Así, se tiene que la cantidad de población expuesta es de 449 habitantes y 111 viviendas y 8 edificaciones de uso religioso (3), educativo (4) y residencial (1).

5.1.8 Definición de escenarios.

“Del análisis del registro de precipitaciones máximas en 24 horas (ver Tabla 12) de la estación de Chosica en el periodo de 1990 – 2017, se consideró un evento de precipitación máxima diaria de 18.30 mm que ocurrió el año 2015 para estimar la precipitación en el área de estudio, la cual se encuentra en un nivel de priorización alto”. Además, junto a las características presentes del área de estudio, en la que se cuenta con una litología de depósitos proluviales y aluviales, una geomorfología de quebradas, talud de detritos y pendientes mayores a 30°, esto desencadenaría flujos de detritos resultando en daños graves a los elementos expuestos a nivel físico, social y económico en las urbanizaciones Los Halcones y Cusipata, pertenecientes al Distrito de Chaclacayo.

En cuanto a los niveles de peligro, la estratificación y el mapa de peligro, se presentarán en la sección de **Resultados**.

5.2 Situación de Vulnerabilidad

Para el análisis de la vulnerabilidad, se han considerado las dimensiones física, social y económica. Además, se precisa que no se ha considerado la dimensión ambiental debido a que no se identificó ecosistemas naturales que pudieran verse severamente afectados ante el impacto por flujo de detritos. Asimismo, cabe señalar que los parámetros y descriptores utilizados están limitados a la disponibilidad de información en el área de estudio, ya que la

caracterización de la zona de estudio se realizó utilizando la información del último censo nacional en el año 2017. No obstante, para una mejor representación de la realidad, se debería utilizar una mayor cantidad de parámetros que ayuden a describir lo que sucede en el entorno. Por ejemplo, se pueden utilizar “la antigüedad de la edificación, incumplimiento de procedimientos constructivos, topografía del terreno, servicios de salud terciarios, capacitación en temas de GRD, la población económicamente activa, organización y capacitación institucional, entre otros”. Esto con la finalidad de dar un mayor alcance de la situación del área de estudio.

De esta manera, en la Tabla 22, se muestran los parámetros utilizados para el presente análisis de vulnerabilidad. Asimismo, cabe resaltar que los parámetros fueron seleccionados según las definiciones optadas para la presente investigación, es decir, las descritas en el manual de CENEPRED, las cuales se aprecian en la sección 2.2 del presente trabajo.

Tabla 22

Dimensiones, factores y parámetros de vulnerabilidad.

| Dimensión | Factor | Parámetro |
|-----------|-------------|--|
| FÍSICA | FRAGILIDAD | - Sistema estructural de la edificación - Tipo de edificación |
| SOCIAL | EXPOSICIÓN | - Número de habitantes por vivienda |
| ECONÓMICO | RESILIENCIA | - Ingreso promedio en el hogar |

Nota. Elaboración propia.

5.2.1 Dimensión física.

Para analizar la vulnerabilidad en la dimensión física, se lleva a cabo evaluaciones de factores y parámetros de manera secuencial según lo estipulado por el manual de CENEPRED (2014b). Así, en primer lugar, se examinaron los factores y los parámetros específicos según la información existente.

Análisis de fragilidad.

En el análisis del factor fragilidad en la dimensión física, se han tenido en cuenta 2 parámetros de evaluación que se centran en las características físicas de la edificación bajo consideración: el sistema estructural de la edificación y el tipo de edificación.

Sistema estructural de la edificación.

La priorización de los sistemas estructurales se realizó según la variabilidad en la resistencia de cada tipo de construcción. Así, estructuras menos resistentes, como las hechas en base de madera y muros de albañilería sin amarre, serán las de mayor prioridad debido a que serán más susceptibles a sufrir graves daños debido a las grandes cargas ejercidas por el impacto del flujo. Por otro lado, estructuras de concreto armado, como los pórticos y las placas, serán de menor prioridad debido a su alta rigidez y ductilidad, lo cual las hace estructuras más resistentes a fallar por cargas del impacto del flujo. Así, se presenta la Tabla 23 donde se muestra el vector de priorización del parámetro de evaluación: “Sistema estructural de la edificación”.

Tabla 23

Vector de priorización del parámetro “Sistema estructural de la edificación”.

| Sistema estructural de la edificación | Vector Priorización |
|---|---------------------|
| Madera | 0.523 |
| Muro de ladrillo y columna (sin amarre) | 0.262 |
| Muro de ladrillo y columna (con amarre) | 0.122 |
| Pórticos | 0.057 |
| Placas de concreto armado | 0.036 |

Nota. Elaboración propia.

Tipo de edificación.

La priorización de los tipos de edificación, en la Tabla 24, se fundamenta en la variabilidad de la resistencia estructural, uso y en la cantidad de familias que estas pueden albergar. Así, una vivienda improvisada presenta una vulnerabilidad mayor debido a su precaria estructura y a el uso de materiales inadecuados, lo cual expone a la familia que reside en esta.

Por otro lado, las quintas tienen segunda prioridad debido a la antigüedad y el hacinamiento, ya que, en una situación de emergencia, la cantidad de familias residentes y el poco espacio para la evacuación podrían ser detonante a una gran pérdida. Por otra parte, las viviendas multifamiliares suelen estar construidas con mejores materiales y siguiendo regulaciones más estrictas. Sin embargo, la alta densidad de ocupación podría aumentar el riesgo en situaciones de emergencia. Las viviendas unifamiliares, que también suelen ser construidas con mejores materiales y regulaciones, presentan una menor vulnerabilidad debido a su menor densidad de ocupación, lo cual facilita la evacuación en caso de alguna emergencia. Por último, los edificios para uso no residencial son edificaciones que no cuentan con ocupación permanente, lo que disminuye la exposición de personas a posibles eventos adversos. A continuación, se presenta la Tabla 24 donde se muestra el vector de priorización del parámetro de evaluación: “Tipo de edificación”.

Tabla 24

Matriz de normalización de pares del parámetro “Tipo de edificación”.

| <i>Tipo de edificación</i> | Vector Priorización |
|-------------------------------------|------------------------|
| Improvisada | 0.467 |
| Quinta | 0.291 |
| Vivienda multifamiliar | 0.140 |
| Vivienda unifamiliar | 0.064 |
| Edificación para uso no residencial | 0.038 |

Nota. Elaboración propia.

5.2.2 Dimensión social.

Para analizar la vulnerabilidad en su dimensión social, se evaluará el factor “exposición” y su parámetro “Número de habitantes por vivienda”. A continuación, se presenta la Tabla 25 donde se muestra el vector de priorización del parámetro de evaluación, donde la priorización se realizó debido a la cantidad de personas expuestas en la vivienda. Es decir, mientras más personas residan en la vivienda, mayor será su prioridad.

Tabla 25

Vector de priorización del parámetro “Número de habitantes por vivienda”.

| Número de habitantes por vivienda | Vector Priorización |
|---|---------------------|
| Más de 5 personas habitan permanentemente | 0.472 |
| De 3 a 5 personas permanecen en la vivienda | 0.285 |
| De 2 a 3 personas permanecen en la vivienda | 0.147 |
| 1 persona habita permanentemente | 0.059 |
| No habita permanentemente | 0.037 |

Nota. Elaboración propia.

5.2.3 Dimensión económica.

Para analizar la vulnerabilidad en su dimensión económica, se evaluará el factor “resiliencia” y su parámetro “Ingreso promedio del hogar”. Cabe señalar que, para esta dimensión, la información existente es limitada, por lo que se optó evaluar este parámetro en base a los datos del informe de evaluación de riesgo realizado por CENEPRED et al. (2023) y a “los planos estratigráficos de Lima Metropolitana a nivel manzana presentados por INEI (2020)” en el área de estudio. A continuación, se presenta la Tabla 26, donde se muestra el vector de priorización del parámetro de evaluación. En esta tabla, se realizó la priorización según el ingreso promedio; es decir, a mayor sea el ingreso, menor será la prioridad que se le asigne debido a que se tendrá mayor disposición a bienes y servicios.

Tabla 26

Vector de priorización del parámetro de “Ingreso promedio del hogar”.

| Ingreso promedio del hogar | Vector Priorización |
|--------------------------------|---------------------|
| Salario menor a S/.1025 | 0.496 |
| Salario de S/.1 025 a S/.2 000 | 0.255 |
| Salario de S/.2 000 a S/.4 000 | 0.150 |
| Salario de S/.4 000 a S/.6 000 | 0.064 |
| Salario mayor a S/.6 000 | 0.034 |

Nota. Elaboración propia.

En cuanto a los niveles de vulnerabilidad, la estratificación de esta misma y el mapa de vulnerabilidad, se presentarán en la sección de **Resultados**.

5.3 Situación de Riesgo

5.3.1 Metodología para determinación del riesgo.

Para determinar el riesgo, se realiza una multiplicación de los índices de peligro y vulnerabilidad obtenidos mediante el “Proceso de Análisis Jerárquico”, tal y como se muestra en la Tabla 27.

Tabla 27

Determinación del Riesgo.

| Índice de Peligro (P) | Índice de Vulnerabilidad (V) | Índice de Riesgo (P*V=R) |
|-----------------------|------------------------------|--------------------------|
| 0.502 | 0.483 | 0.243 |
| 0.262 | 0.274 | 0.072 |
| 0.136 | 0.146 | 0.020 |
| 0.064 | 0.061 | 0.004 |
| 0.036 | 0.036 | 0.001 |

Nota. Elaboración propia.

5.3.2 Matriz de Riesgos

En la Tabla 28, se puede observar la matriz de riesgos ante flujo de detritos en el sector Cusipata del distrito de Chaclacayo, en la cual se muestran los índices del peligro y la vulnerabilidad representados por su mayor índice del rango al que pertenecen. Por ejemplo, para un peligro muy alto (PMA) de rango 0.262 – 0.502, se toma 0.502 como índice representativo. Así, esta matriz sirve para poder obtener los niveles de riesgo y el rango del mismo. Además, este rango servirá como límite, tanto superior como inferior, para los índices que se obtengan en la zona de estudio.

En cuanto a los niveles de riesgo, la estratificación de este mismo y el mapa de riesgo, se presentarán en la sección de **Resultados**.

Tabla 28

Matriz de Riesgos.

| | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| PMA | 0.502 | 0.031 | 0.073 | 0.137 | 0.243 |
| PA | 0.262 | 0.016 | 0.038 | 0.072 | 0.127 |
| PM | 0.136 | 0.008 | 0.020 | 0.037 | 0.066 |
| PB | 0.064 | 0.004 | 0.009 | 0.018 | 0.031 |
| | | 0.061 | 0.146 | 0.274 | 0.483 |
| | | VB | VM | VA | VMA |

Nota. Elaboración propia.

Esta matriz se halla mediante el producto de los índices de peligro y los de vulnerabilidad, donde cada columna es resultado de multiplicar los índices de la columna de peligro (color gris y celeste) con el índice de la fila de vulnerabilidad (color gris). Por ejemplo, para obtener los índices de 0.031 y 0.016 de la primera columna de riesgo, se multiplica 0.502 x 0.061 y 0.262 x 0.061, respectivamente, donde el resultado es un posible índice de riesgo. Así, para determinar los niveles de riesgo, se toma la diagonal de esta matriz con el fin de determinar un rango de este, los cuales se dividirán en riesgo bajo, medio, alto y muy alto.

6. RESULTADOS

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos, tanto del nivel de peligro, vulnerabilidad y riesgo como sus respectivas estratificaciones; asimismo, se presentarán los mapas de cada uno de estos parámetros.

Niveles de peligro.

En la Tabla 29, se muestran los niveles de susceptibilidad, el cual fue hallado mediante una ponderación de los valores obtenidos del factor condicionante y desencadenante, y el parámetro de evaluación, los cuales, al realizar una ponderación lineal, se determina los niveles de peligro. De esta manera, en la Tabla 30, se muestra el rango de peligro obtenido, donde se observa que un nivel Bajo de peligro está en un rango de 0.036 – 0.064, un nivel Medio para un rango de 0.064 – 0.136, un el nivel Alto para 0.136 – 0.262, y, por último, se tiene un nivel Muy Alto para valores que estén entre 0.262 y 0.502.

Tabla 29

Niveles de Susceptibilidad y Parámetro de evaluación.

| SUSCEPTIBILIDAD (S) | | PARÁMETRO DE EVALUACIÓN (PE) | | | |
|---------------------|------|------------------------------|-------|-------|------|
| VALOR | PESO | VOLUMEN DEL FLUJO | | VALOR | PESO |
| | | VALOR | PESO | | |
| 0.498 | 0.6 | 1 | 0.508 | 0.508 | 0.4 |
| 0.261 | 0.6 | 1 | 0.264 | 0.264 | 0.4 |
| 0.141 | 0.6 | 1 | 0.129 | 0.129 | 0.4 |
| 0.066 | 0.6 | 1 | 0.061 | 0.061 | 0.4 |
| 0.034 | 0.6 | 1 | 0.039 | 0.039 | 0.4 |

Nota. Elaboración propia.

Tabla 30

Niveles de Peligro.

| RANGO | | | Niveles de Peligro |
|-------|-------|-------|--------------------|
| 0.262 | ≤ P ≤ | 0.502 | MUY ALTO |
| 0.136 | ≤ P ≤ | 0.262 | ALTO |
| 0.064 | ≤ P ≤ | 0.136 | MEDIO |
| 0.036 | ≤ P ≤ | 0.064 | BAJO |

Nota. Elaboración propia.

Estratificación de nivel de peligro.

De este modo, una vez obtenido los rangos, en la Tabla 31, se muestra una estratificación probable del nivel de peligro obtenido ante flujo de ante flujo de detritos en el sector Cusipata del distrito de Chaclacayo, el cual detalla las características que presenta el área, por ejemplo, su unidad litológica, geomorfología, pendiente, precipitación y el volumen del flujo. Sin embargo, cabe aclarar que puede existir otro tipo de estratificación debido a la variabilidad de los eventos.

Tabla 31

Estratificación de los niveles de peligro.

| Nivel de Peligro | Descripción | Rangos |
|-------------------------|--|---------------------------|
| Muy Alto | La unidad litológica predominante es el depósito proluvial (Q-prol), con una geomorfología caracterizada por quebradas y pendientes superiores a 30 grados. La precipitación máxima registrada varía entre 19.5 y 25.1 mm/día. Además, el volumen del flujo es alta con un porcentaje de agua entre 20 y 30%. | $0.262 \leq P \leq 0.502$ |
| Alto | La unidad litológica principal es el depósito aluvial (Q-al), con una geomorfología caracterizada por taludes de detritos y pendientes que oscilan entre 20 y 30 grados. La precipitación típica varía entre 16.5 y 19.5 mm/día. Además, el volumen del flujo es alta con un porcentaje de agua entre 35 y 45%. | $0.136 \leq P < 0.262$ |
| Medio | La unidad litológica principal es el depósito coluvial (Q-c), con una geomorfología caracterizada por conos aluviales y pendientes que varían entre 10 y 20 grados. La precipitación típica oscila entre 11.5 y 16.5 mm/día. Además, el volumen del flujo es intermedio con un porcentaje de agua del 50%. | $0.064 \leq P < 0.136$ |
| Bajo | La unidad litológica predominante es el depósito fluvial (Q-f) junto con rocas intrusivas del tipo tonalita diorita (Ks-tdi-sr). La geomorfología varía desde terrazas en las zonas más bajas hasta laderas de pendiente media en las áreas más altas, con pendientes que van desde 5 hasta 10 grados y, en algunos casos, son menores a 5 grados. La precipitación promedio se encuentra en el rango de 0.5 a 6.5 mm/día. Además, el volumen del flujo es bajo con un porcentaje de agua mayor a 65%. | $0.036 \leq P < 0.064$ |

Nota. Elaboración propia.

Mapa de peligrosidad.

En la Figura 9, se muestra el mapa de peligrosidad obtenido ante flujo de ante flujo de detritos en el sector Cusipata del distrito de Chaclacayo, en el cual se muestra que la quebrada Cusipata se encuentra con un nivel de peligro Muy Alto en el cauce del flujo de detritos y a los

alrededores de este se cuenta con un nivel de peligro Alto ante este tipo de eventos. Esto debido a las características presentes en el área de estudio.

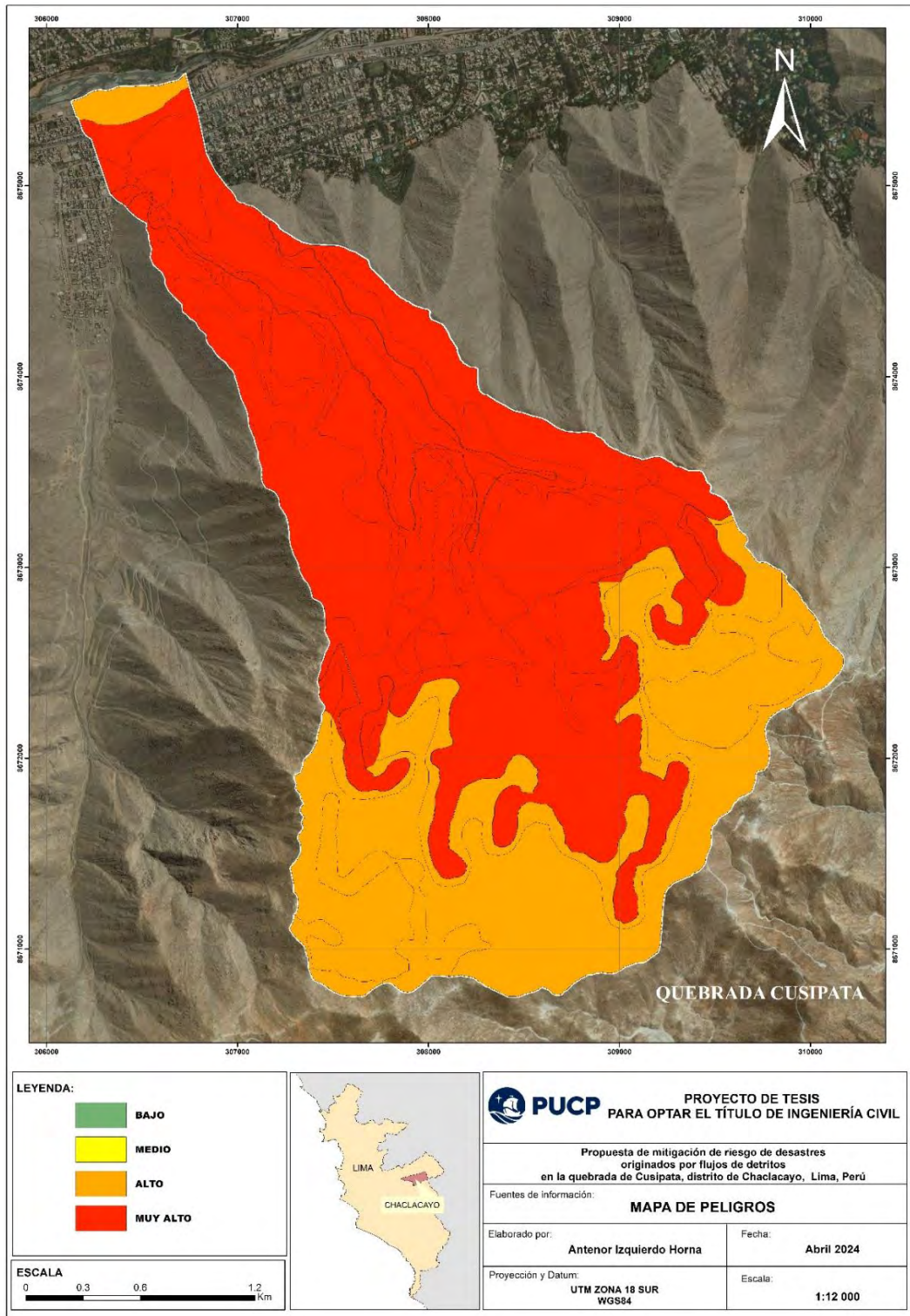


Figura 9. Mapa de Peligro

Elaborado con base en INGEMET.

Niveles de vulnerabilidad.

En la Tabla 32, se muestra el nivel de vulnerabilidad obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico, el cual se obtuvo del análisis de dimensiones físicas, sociales y económicas. Así, se obtuvo que un nivel Bajo de vulnerabilidad está en un rango de 0.036 – 0.061, un nivel Medio para un rango de 0.061 – 0.146, un nivel Alto para 0.146 – 0.274 y, por último, un nivel Muy Alto para valores que estén entre 0.274 y 0.483.

Tabla 32

Niveles de vulnerabilidad.

| Niveles de Vulnerabilidad | Rango | | |
|---------------------------|-------|---------------|-------|
| Muy alto | 0.274 | $\leq V \leq$ | 0.483 |
| Alto | 0.146 | $\leq V <$ | 0.274 |
| Medio | 0.061 | $\leq V <$ | 0.146 |
| Bajo | 0.036 | $\leq V <$ | 0.061 |

Nota. Elaboración propia.

Estratificación de la vulnerabilidad.

En la Tabla 33, se muestran la estratificación de la vulnerabilidad obtenido ante flujo de ante flujo de detritos en el sector Cusipata del distrito de Chaclacayo que incluye la dimensión social, física y económica. Sin embargo, cabe aclarar que puede existir otro tipo de estratificación debido a la variabilidad de los parámetros que se estudien.

Tabla 33

Estratificación de vulnerabilidad.

| Nivel de vulnerabilidad | Descripción | Rangos |
|-------------------------|--|------------------------|
| Muy Alta | DIMENSIÓN SOCIAL: Exposición: Más de 5 personas habita en el lote. DIMENSIÓN FÍSICA: Fragilidad: Viviendas que presentan como material predominante la madera y son improvisadas. DIMENSIÓN ECONÓMICA: Resiliencia: Se encuentran con ingresos menores a S/. 1 025. | $0.274 \leq V < 0.483$ |

| | | |
|-------|--|------------------------|
| Alta | DIMENSIÓN SOCIAL: Exposición: De 3 a 5 personas habitan en el lote. DIMENSIÓN FÍSICA: Fragilidad: Viviendas que presentan como material predominante en sus paredes muro de ladrillo y columna sin amarre; Casas tipo quintas. DIMENSIÓN ECONÓMICA Resiliencia: Se encuentran con ingresos de S/. 1 025 a S/. 2 000. | $0.146 \leq V < 0.274$ |
| Media | DIMENSIÓN SOCIAL: Exposición: De 2 a 3 personas habitan en el lote. DIMENSIÓN FÍSICA: Fragilidad: Las edificaciones tienen estructura de muro de ladrillo y columna (con amarre); edificaciones de vivienda tipo multifamiliar. DIMENSIÓN ECONÓMICA Resiliencia: Se encuentran con ingresos de S/. 2 000 a S/. 4 000. | $0.061 \leq V < 0.146$ |
| Baja | DIMENSIÓN SOCIAL: Exposición: De 1 a 0 personas habitan en el lote. DIMENSIÓN FÍSICA: Fragilidad: Las edificaciones tienen estructura de placas de concreto armado; Edificaciones tipo unifamiliar. DIMENSIÓN ECONÓMICA , Resiliencia: Se encuentran con ingresos mayores a S/. 4 000 | $0.036 \leq V < 0.061$ |

Nota. Elaboración propia.

Mapa de vulnerabilidad.

En la Figura 10, se muestra el mapa de vulnerabilidad obtenido ante flujo de ante flujo de detritos en el sector Cusipata del distrito de Chaclacayo, donde se observa que 6 manzanas se encuentran en un nivel Medio de vulnerabilidad y 6 en un nivel Alto de vulnerabilidad.

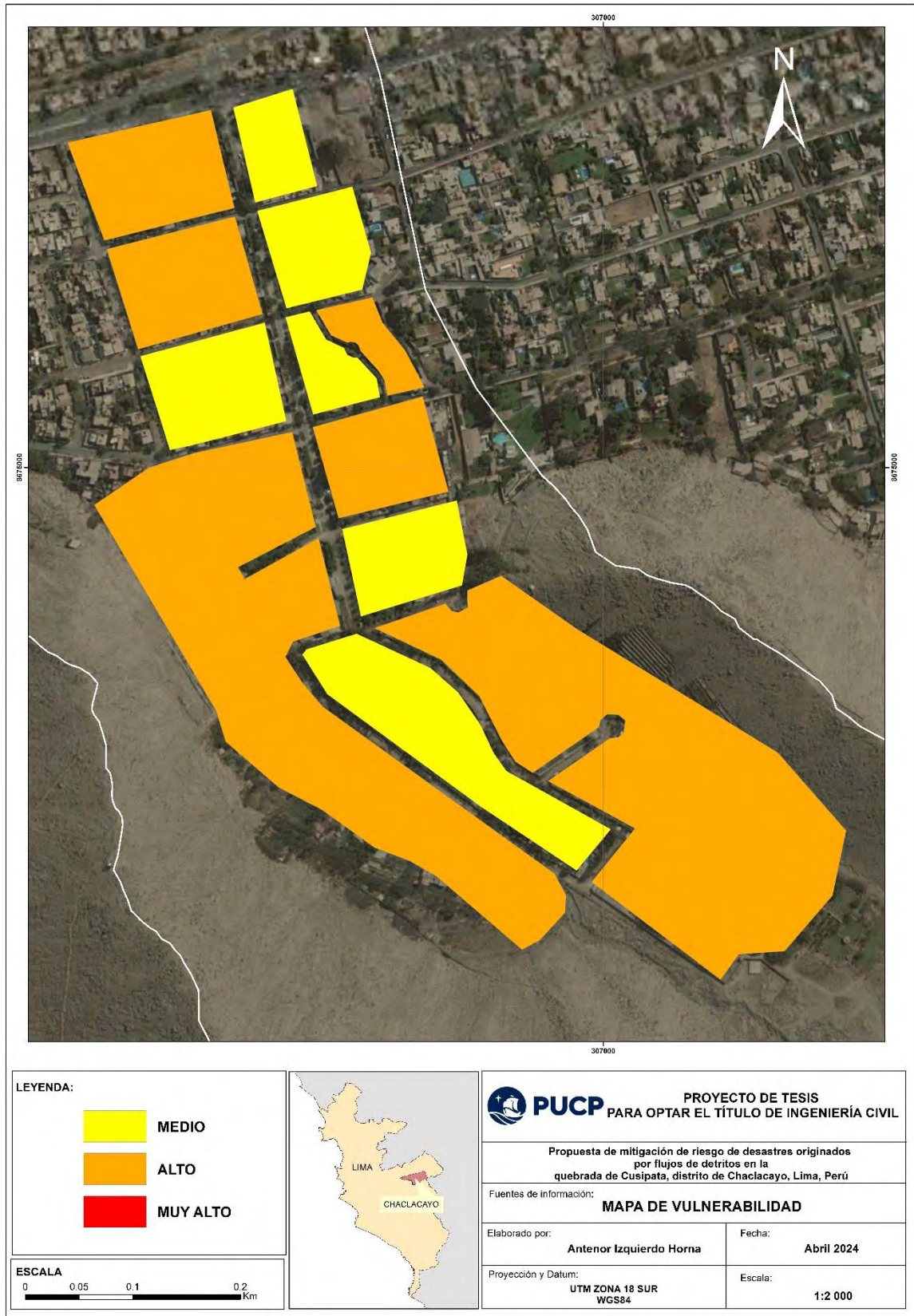


Figura 10. Mapa de Vulnerabilidad del área de estudio.

Nota. Elaboración con base en los datos del INEI.

Niveles de Riesgo.

En la Tabla 34, se muestra los niveles de riesgo ante flujo de detritos en el sector Cusipata del distrito de Chaclacayo, los cuales describen un nivel de riesgo Bajo para un rango de 0.001 - 0.004, un nivel de riesgo Medio para 0.004 - 0.020, un nivel de riesgo Alto para 0.020 – 0.072 y un nivel de riesgo Muy Alto para un rango de 0.072 - 0.243.

Tabla 34

Niveles de Riesgo.

| NIVEL | RANGO | | | | |
|----------|-------|---|---|---|-------|
| MUY ALTO | 0.072 | ≤ | R | ≤ | 0.243 |
| ALTO | 0.020 | ≤ | R | < | 0.072 |
| MEDIO | 0.004 | ≤ | R | < | 0.020 |
| BAJO | 0.001 | ≤ | R | < | 0.004 |

Nota. Elaboración propia.

Estratificación del nivel riesgo.

En la Tabla 35, se muestran la estratificación del Riesgo obtenido ante flujo de ante flujo de detritos en el sector Cusipata del distrito de Chaclacayo.

Tabla 35

Estratificación del Riesgo.

| Nivel de Riesgo | Descripción | Rangos |
|-----------------|--|---------------------------|
| Muy Alto | Prevalece un depósito proluvial (Q-prol) con quebradas y pendientes superiores a 30 grados. Las precipitaciones máximas registradas varían entre 19.5 y 25.1 mm/día con Volumen de flujo con porcentaje de agua entre 20 y 30%. Desde la DIMENSIÓN SOCIAL, hay una alta exposición debido a la presencia de más de 5 personas por vivienda. En términos de la DIMENSIÓN FÍSICA, Estas viviendas, construidas principalmente con madera, las cuales son altamente frágiles y colapsables. Además, se consideran casas improvisadas, lo que indica una baja resiliencia ante eventos de riesgo como los flujos de detritos. DIMENSIÓN ECONÓMICA, Se encuentran con ingresos menores a S/. 1 025. | $0.072 \leq R \leq 0.243$ |

| | | |
|-------|---|------------------------|
| Alto | Prevalece un depósito aluvial (Q-al) con taludes de detritos y pendientes de 20 a 30 grados con un volumen de flujo con porcentaje de agua entre 35 y 45%. DIMENSIÓN SOCIAL, hay una exposición entre 3 y 5 personas habitan en las viviendas. DIMENSIÓN FÍSICA, Estas viviendas están construidas mayormente con muro de ladrillo y columna sin amarre. Son casas tipo quintas. DIMENSIÓN ECONÓMICA, Se encuentran con ingresos de S/. 1 025 a S/. 2 000. | $0.020 \leq R < 0.072$ |
| Medio | Prevalece una unidad litológica de depósito coluvial (Q-c) caracterizada por conos aluviales y pendientes de 10 a 20 grados, con precipitaciones típicas que oscilan entre 11.5 y 16.5 mm/día con un volumen de flujo con porcentaje de agua del 50%. DIMENSIÓN SOCIAL, de 2 a 3 personas habitan en las viviendas. DIMENSIÓN FÍSICA. Estas edificaciones están mayormente construidas con muro de ladrillo y columna con amarre. Además, son casas independientes. DIMENSIÓN ECONÓMICA, Se encuentran con ingresos de S/. 2 000 a S/. 4 000. | $0.004 \leq R < 0.020$ |
| Bajo | La unidad litológica predominante es el depósito fluvial (Q-f) junto con rocas intrusivas del tipo tonalita diorita (Ks-tdi-sr). La geomorfología varía desde terrazas en las zonas más bajas hasta laderas de pendiente media en las áreas más altas, con pendientes que van desde 5 hasta 10 grados y, en algunos casos, son menores a 5 grados. La precipitación promedio se encuentra en el rango de 0.5 a 6.5 mm/día con un volumen de flujo con porcentaje de agua mayor al 65%. DIMENSIÓN SOCIAL, no hay exposición directa, ya que de 1 a 0 personas habitan en las viviendas. DIMENSIÓN FÍSICA. Estas edificaciones están mayormente construidas con placas de concreto armado o son aporticadas. Además, se consideran edificaciones tipo unifamiliar. DIMENSIÓN ECONÓMICA, Se encuentran con ingresos mayores a S/. 4 000. | $0.001 \leq R < 0.004$ |

Nota. Elaboración propia.

Mapa de Riesgo.

En la Figura 11, se muestra el mapa de Riesgo obtenido ante flujo de ante flujo de detritos en el sector Cusipata del distrito de Chaclacayo, donde se observa que 12 manzanas se encuentran en un nivel de Alto riesgo.

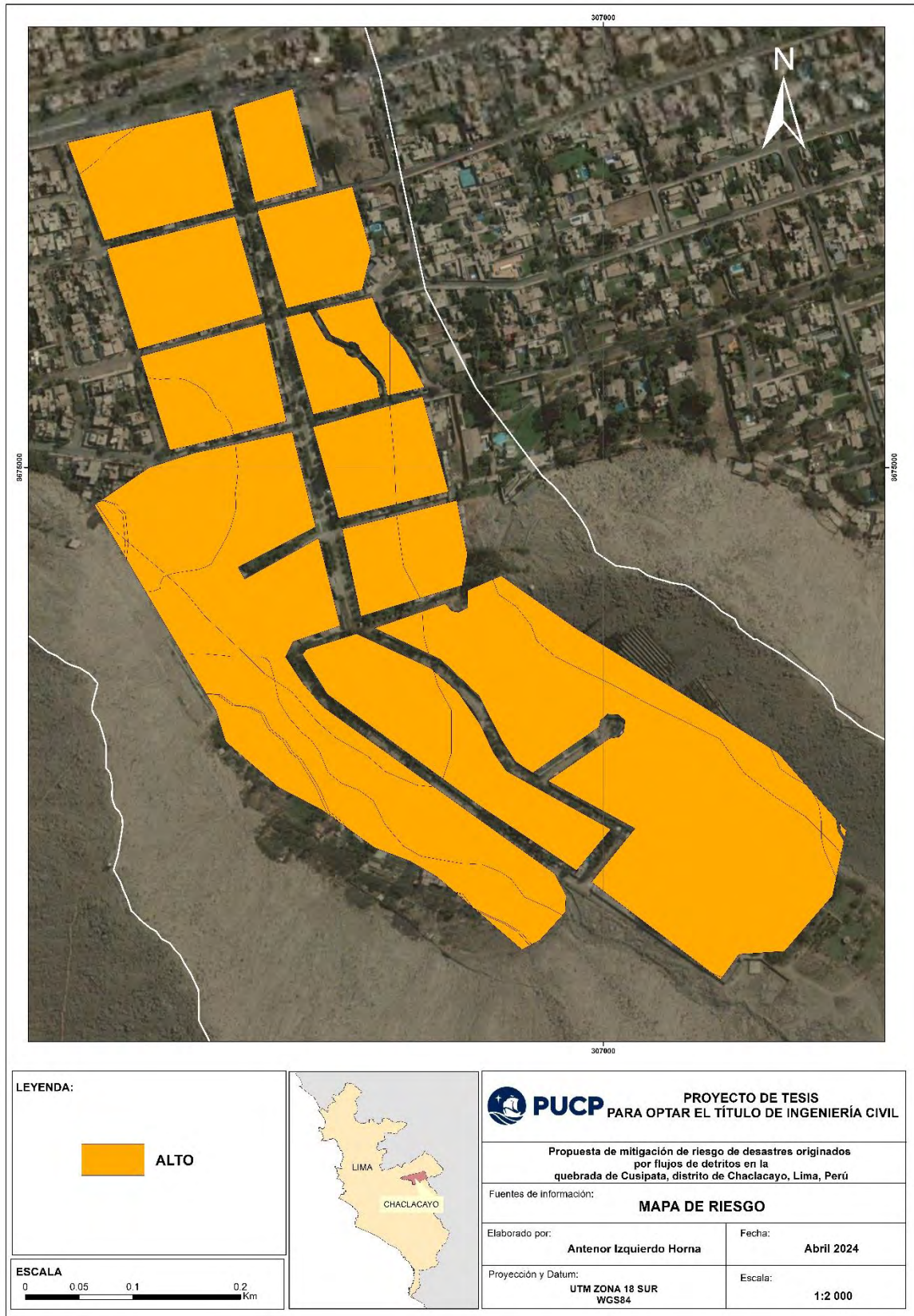


Figura 11. Mapa de Riesgo del área de estudio

Elaboración con base en los datos del INEI.

7. DISCUSIÓN

Para el análisis de la vulnerabilidad, el parámetro “ingreso promedio del hogar” se trabajó en base a los datos del informe de evaluación de riesgo realizado por CENEPRED et al. (2023) en el área de estudio y a “los planos estratigráficos de Lima Metropolitana a nivel manzana presentados por INEI (2020)”. Estos informes permitieron dar un alcance de la situación económica en el área de estudio, ya que estos proporcionaron descriptores referenciales para el PAJ y el ingreso promedio a nivel manzana, respectivamente. Así, se puede tener un alcance de la dimensión económica del área de estudio, lo que permite tener un posible diferenciador en el nivel vulnerabilidad y riesgo. Es necesario resaltar lo anterior, ya que la información que proporciona el INEI no contempla el ingreso económico del elemento en cuestión.

Así, analizando los niveles de vulnerabilidad y el mapa obtenido, se tiene que el parámetro diferenciador entre niveles de vulnerabilidad media y alta es el número de habitantes por vivienda, donde las unidades de vulnerabilidad alta presentan, en promedio, entre 3 a 5 personas expuestas por vivienda; y, las unidades de nivel medio presentan de 2 a 3 personas expuestas por vivienda de cada unidad analizada. Esta población expuesta se obtuvo mediante el cálculo de la población perteneciente a cada manzana entre el número de viviendas existentes en estas, lo que permitió categorizar las manzanas según el parámetro “número de habitantes por vivienda”. No obstante, cabe aclarar que la información que aporta el INEI es a nivel manzana y no a nivel vivienda, por lo que, si se desea un nivel de detalle mayor, se debería proceder de otra manera, por ejemplo, realizar un trabajo de campo para obtener estos datos.

Para el análisis de riesgo, se tomarán en cuenta el peligro y vulnerabilidad asociados a cada manzana, donde los resultados muestran que las 12 manzanas analizadas tienen un nivel de riesgo Alto. Así, las unidades que se encuentran en las cercanías de la quebrada Cusipata, en un rango de 0 a 900 metros del cauce de la quebrada, se caracterizan por tener un ingreso económico que varía desde los 4 000 hasta más de 6 000 soles mensuales. Además, se cuenta

con un sistema estructural de pórticos, donde se tiene una exposición de la población de 2 a 5 personas por vivienda en cada manzana. Además, el tipo de edificación existente, en estas manzanas, son de uso multifamiliar y no residencial. Por otra parte, en cuanto a las características del entorno, esta zona tiene una litología de depósitos aluviales, coluviales y proluviales, los cuales se caracterizan por ser materiales de diversos tamaños y de mediana cohesión. Finalmente, se tiene una pendiente entre 5 y 30 grados, este último índice se hace presente en la parte más cercana a la quebrada.

Por otro lado, en cuanto a las zonas que se encuentran de 900 metros a más del cauce de la quebrada, se caracterizan por tener un sistema estructural de albañilería y pórticos. Asimismo, en cuanto al tipo de edificación, estas son viviendas de uso unifamiliar y multifamiliar, cuya exposición de la población es de 2 a 5 personas por vivienda de cada manzana, de los cuales el ingreso económico oscila entre los 2 000 y 6 000 soles. En cuanto a la topografía de la zona, esta se caracteriza por tener pendientes que van desde 5 hasta los 10 grados. Finalmente, la litología presente, en estas zonas, pertenece a depósitos aluviales.

Analizando los resultados, existen algunas similitudes en cuanto parámetros relevantes entre manzanas. Esto se puede apreciar en la litología presente, en el número de habitantes por vivienda, en el ingreso promedio del hogar y en la pendiente del terreno, siendo las pendientes más pronunciadas y el tipo de suelo más suelto en las zonas más cercanas a la quebrada, tal y como se puede observar en la Figura 12. En esta figura, se puede observar un material suelto de diversos tamaños que van desde arcillas y limolitas hasta bolonería, y; además, una pendiente que aumentando a medida que se acerca a la quebrada.



Figura 12. Fotografía de la litología y pendientes presentes en zonas de Muy Alto riesgo

Nota: Fotografía de la situación actual del área de estudio, tomada el mes de agosto del 2024.

No obstante, cabe señalar que los niveles de riesgo obtenidos de la zona de estudio, no son los únicos. Estos pueden variar según la cantidad de factores y parámetros que se le sumen al análisis, ya que, al adicionar más factores, se podrá detallar más en la situación en la que se encuentra la población. Sin embargo, debido a la limitación de la información y al análisis realizado, se obtuvo a estos 4 parámetros como los más influyentes en el resultado (litología, número de habitantes por vivienda, ingreso económico y pendiente del terreno).

El Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) realizado reveló resultados que podrían tener una similitud con las condiciones actuales en el área de estudio. Esto se podría comprobar mediante la comparación directa de los parámetros utilizados con las condiciones del entorno o mediante la comparativa de literatura. Para la presente investigación, se realizó una comparación de literatura entre los resultados obtenidos y dos investigaciones ya existentes en el área de estudio realizadas por la Municipalidad de Chaclacayo (2018) y CENEPRED et al., (2023): “el Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres 2018-2021” y el “Informe de evaluación de riesgos por flujo de detritos en el área urbana de la subcuenca de Cusipata, distrito de Chaclacayo, provincia de Lima”.

Para realizar esto, se realizó una comparativa entre los niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo. Esta comparativa reveló que los niveles de peligro de las 3 investigaciones tienen una gran similitud en cuanto a índices con una diferencia promedio de 0.03 entre sus valores. Asimismo, para la comparativa de los niveles de vulnerabilidad y riesgo, se realizó la comparación entre los mapas de estos con los mapas obtenidos en la investigación, donde se obtuvo una mayor similitud con el PPRRD de la Municipalidad de Chaclacayo (2018), lo cual podría deberse a que el estudio, también, se realizó a nivel manzana y el análisis con la información del INEI. Por otro lado, el informe realizado por CENEPRED et al., (2023) tiene ligeras semejanzas entre los niveles de vulnerabilidad y riesgo con los resultados obtenidos. Esto podría deberse a que el informe de CENEPRED se realizó a nivel de lotes y con mayor cantidad de parámetros, lo cual divide a las manzanas con datos más individualizadores. No obstante, si bien los resultados tienen una similitud, estos difieren en el análisis realizado, ya que se utilizaron descriptores y parámetros diferentes entre cada estudio.

El análisis de la vulnerabilidad, junto a la alta exposición, fragilidad y resiliencia para las diferentes dimensiones estudiadas, va a suponer un rol fundamental al momento de generar las propuestas de mitigación del daño o pérdida causado por el flujo de detritos, ya que esta y sus parámetros caracterizan o describen a la población expuesta. De esta manera, utilizar el enfoque PAJ facilita la comprensión de la interacción de cada factor o parámetro en el hallazgo de la vulnerabilidad. Sin embargo, esta metodología tiene una gran limitación en cuanto al análisis de la información, ya que este al ser realizado de acuerdo al criterio del evaluador, posee un nivel de subjetividad en el resultado obtenido, lo cual puede reflejar a detalle o no la realidad en el área de estudio. De este modo, se podría obtener una serie de escenarios que reflejen un evento natural y sus consecuencias. Asimismo, esta metodología no muestra resultados precisos, sino resultados con cierto nivel de detalle, el cual dependerá de la cantidad de

parámetros que se llegue a utilizar y su veracidad de estos; así, este último supone otra limitación del método.

Por otro lado, debido a que no se puede cambiar el peligro por ser de carácter natural, se debería enfocar más en el estudio de la vulnerabilidad de cada punto en riesgo, ya que, a pesar de los estudios y medidas existentes para su mitigación, la población aún podría encontrarse susceptible a recibir daño según cuan fuerte sea el evento. Esto debido a que las medidas existentes, tales como el muro de encauzamiento (ver Figura 13) y los diques en el cauce de la quebrada (ver Figura 14), no podrían mitigar el daño de manera efectiva debido a su condición actual. En las figuras, se pueden observar que estas medidas estructurales están realizadas en base a material in situ sin algún tipo de reforzamiento, por lo que, al paso de los eventos, estas se ven debilitadas. Esto hace que la población sea más vulnerable a sufrir daños mayores, debido a que el buen funcionamiento de estas estructuras se ve reducida. Por otro lado, existe una mala gestión en el mantenimiento de las medidas estructurales existentes y de las calles por donde el flujo cruza, lo cual se refleja en la Figura 15 donde se muestra que el paso del flujo de detritos ha dejado escombros y daño en las estructuras.



Figura 13. Fotografía del Muro de encauzamiento sin reforzamiento

Nota: Fotografía de la situación actual del área de estudio, tomada el mes de agosto del 2024.



Figura 14. Fotografías de los diques existentes en el área de estudio sin reforzamiento

Nota: Fotografía de la situación actual del área de estudio, tomada el mes de agosto del 2024.



Figura 15. Fotografías del estado actual de las estructuras existentes en el área de estudio

Nota: Fotografía de la situación actual del área de estudio, tomada el mes de agosto del 2024.

Por otro lado, la población es plenamente consciente del peligro al que se expone al residir en estas zonas de alto riesgo. No obstante, persisten en estos lugares debido a restricciones económicas, compromisos familiares y, en algunos casos, apego sentimental o arraigo a sus costumbres y experiencias vividas en el área (Izquierdo-Horna et al., 2023). Así, se destaca la importancia de comunicar claramente los riesgos asociados con habitar en zonas expuestas a peligros naturales. Este desafío se acentúa cuando los residentes son plenamente conscientes de los peligros, pero deciden permanecer en áreas de alto riesgo debido a factores externos. Así, a pesar de reconocer los riesgos inherentes de la zona, las limitaciones externas como la situación económica y las influencias familiares, la población supera la percepción del peligro inminente y decide residir en este tipo de lugares (Izquierdo-Horna et al., 2023). Esta compleja dinámica subraya que, aunque la población tiene conocimiento de los peligros, las

presiones externas a menudo eclipsan la comprensión profunda de los mismos, lo que causa una dificultad al momento de la implementación de estrategias efectivas para mitigar los riesgos, ya que la conciencia del peligro puede ser socavada por factores económicos y sociales que pesan significativamente en las decisiones de las personas.



8. MEDIDAS PARA LA MITIGACIÓN DEL DAÑO

En base al estudio realizado y a la visita a campo, en cuanto a medidas estructurales, se plantea realizar el reforzamiento de las estructuras existentes, tanto como del muro de encauzamiento y de los tres diques, la construcción de un cuarto dique y la construcción de dos nuevas estructuras de contención con el fin de mitigar el riesgo de las edificaciones de Muy Alto riesgo en el área de estudio. Así, en la Figura 16, se puede observar la ubicación de cada medida estructural que podría implementarse, la ruta del flujo de detritos y las medidas de mantenimiento para lograr esto.



Figura 16. Ubicación de medidas estructurales

Nota: Elaboración propia en base a Google Earth.

De este modo, para las medidas estructurales existentes (diques y muro de encauzamiento), se debería reforzar estas con el fin de mejorar su resistencia estructural y durabilidad, ya que estas están formadas por el apilamiento del material in situ, tales como el apilado de bloques de piedra, cantos (fragmento rocoso de aristas redondeadas), bolonería y

gravas como indica la Figura 13 y la Figura 14. Para realizar esto, se podría reforzar con mallas de acero galvanizado sobre la superficie del muro y de los diques, mejorando su resistencia y durabilidad contra la erosión. Adicionalmente, se podría rehacer el muro de encauzamiento utilizando gaviones, los cuales serían apilados de manera graduada con el fin de mantener una estabilidad y resistencia al impacto.

En cuanto a la construcción del nuevo dique, se podría agregar un dique reforzado de sección trapezoidal en el cauce de la quebrada para poder albergar mayor material y, así, reducir el impacto del flujo en el área de influencia de la quebrada. Este dique tendría dimensiones entre los 40 y 50 metros de largo con un ancho de 6 metros en la parte superior y una altura de 5 metros. Cabe señalar que las medidas proporcionadas son similares a las de los diques existentes, solo que con mayor altura y ancho con el fin de dar mayor estabilidad y resistencia. Este dique iría en la parte final de la quebrada, tal y como se muestra en la Figura 16, lo cual reduciría el volumen de material que pudiese impactar en la población. En la Figura 17, se da una esquematización de cómo sería este nuevo dique.

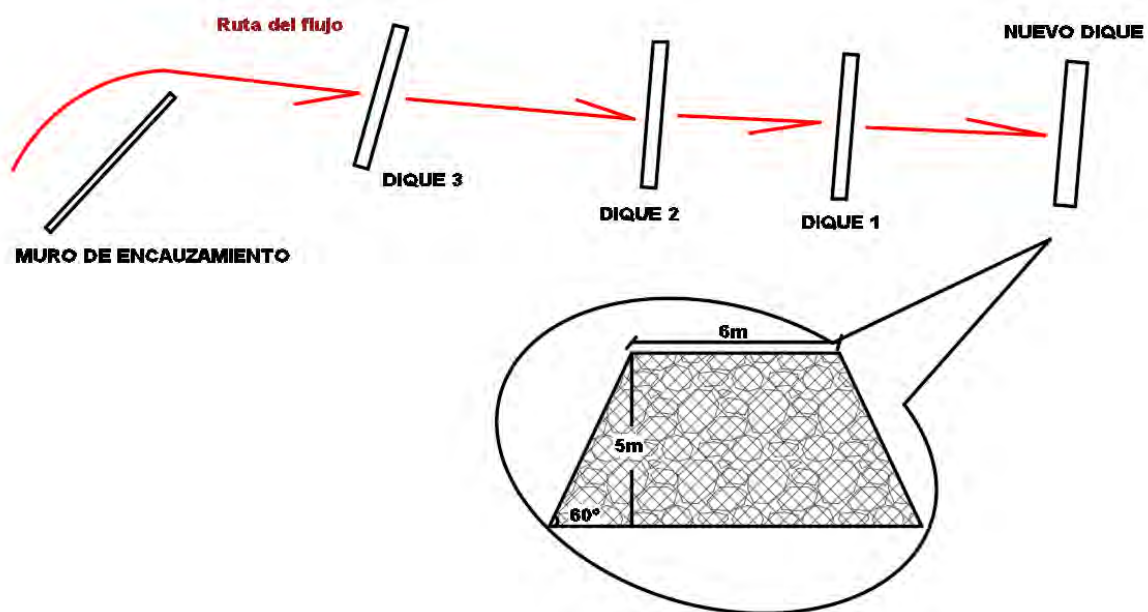


Figura 17. Esquematización del dique nuevo

Nota: Elaboración propia.

Por otro lado, para la construcción de los muros de contención en el área de influencia, se observó que el recorrido del flujo de detritos es por la calle Las Terrazas hasta llegar a cambiar de dirección por la calle La Fontana y discurrir por la Calle Los Álamos, tal y como se muestra en la Figura 16. En estos cambios de dirección, se evidencia un daño en las estructuras existentes, tanto en las paredes de las viviendas y en las veredas del entorno, tal y como se aprecia en la Figura 18, lo que supone que la probabilidad de que, en un evento de gran magnitud, se tenga como consecuencia daños mayores. Para mitigar esto, se plantea realizar dos muros de contención a lo largo de las curvas de cambio de dirección del flujo para que este impacte con estos muros y no vulnere los otros elementos existentes en el entorno, ya sea las veredas, muros o la vegetación presente. Para esto, se presenta la Figura 19, donde se presenta el prototipo del muro, el cual permitirá salvaguardar los sistemas aledaños a este.



Figura 18. Cambio de dirección de la calle Las Terrazas hacia la calle La Fontana y a Los Álamos

Nota: Fotografía de la situación actual del área de estudio, tomada el mes de agosto del 2024.

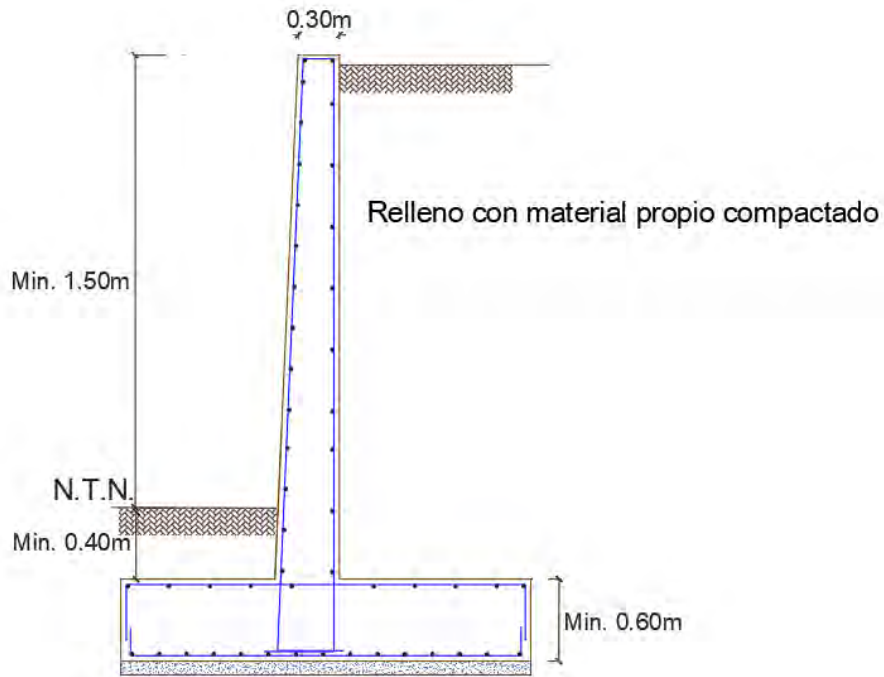


Figura 19. Muro de contención C. Las Terrazas – C. La Fontana – C. Los Álamos

Nota: Elaboración propia.

Por último, en cuanto a medidas estructurales, se debería realizar un análisis del costo – beneficio (ACB), el cual permitirá observar si las medidas estructurales planteadas son viables, o no, de acuerdo a los recursos disponibles y a las ventajas que estas traerían a la población; y un análisis costo – efectividad, el cual se realiza en caso no se tenga de manera clara los beneficios sociales del proyecto. Además, se debería realizar un análisis estructural para el diseño de los muros de contención con el fin de que estos tengan las dimensiones adecuadas para soportar grandes cargas. Estos análisis permitirán tomar la decisión sobre las medidas que sean viables para su ejecución, tanto en el costo como en los beneficios que estas presentarán al área de estudio.

En cuanto a medidas no estructurales, estas deberían complementar las medidas estructurales. Así, se debería realizar y señalizar rutas viales para que se dé mantenimiento a las estructuras; se realice una descolmatación y limpieza del cauce de la quebrada; y, por último, rutas de evacuación ante un evento de flujo de detritos. Por otro lado, se debería

implementar programas de concientización, de manera gradual, sobre la prevención de deslizamientos y flujos de detritos en escuelas y en la comunidad local con el fin de que, al momento de darse un evento, se sepa cómo actuar ante esta situación. Asimismo, se debería desarrollar programas de evaluación de riesgos periódicos que involucren a expertos para identificar más áreas de mejora para la mitigación del riesgo. Además, se recomienda desarrollar sistemas de alerta temprana, involucrando a las autoridades locales y a la comunidad en general, para mejorar significativamente la preparación y respuesta ante desastres, salvando vidas y reduciendo daños materiales.

En cuanto al aspecto ambiental, el entorno es árido de material rocoso, erosionable y suelto, por lo que reforzar los taludes de la quebrada sería un factor importante para brindar estabilidad a estos. Esto se podría lograr mediante la incorporación de geomallas o geotextiles para prevenir la erosión y adicionar un soporte a estos. Esta incorporación se podría realizar por tramos, ya que, debido a la extensión y al difícil acceso, se dificultaría instalar las mallas en toda la extensión de sus taludes. Por otro lado, se recomienda evaluar si un desvío del cauce podría reducir el impacto del flujo en los muros de contención y/o diques. De este modo, se podría buscar que con este desvío se disipe energía, lo cual reduciría la energía de impacto del flujo contra los muros y/o con las viviendas.

Por último, de manera general, para tener un mapeo detallado de los puntos críticos dónde se deben implementar medidas de mitigación, se debería profundizar el estudio de los parámetros descriptivos en el análisis de la vulnerabilidad de la evaluación del riesgo, ya que esto permitirá tener un escenario más claro sobre la situación poblacional, superando así las limitaciones de las medidas tradicionales y promoviendo la resiliencia comunitaria frente a las consecuencias de los fenómenos naturales. Para realizar esto, se deberían analizar los parámetros descriptivos críticos o los que tienen mayor incidencia en la vulnerabilidad con el fin de plantear medidas de acuerdo a las flaquezas que estas presenten.

9. CONCLUSIONES

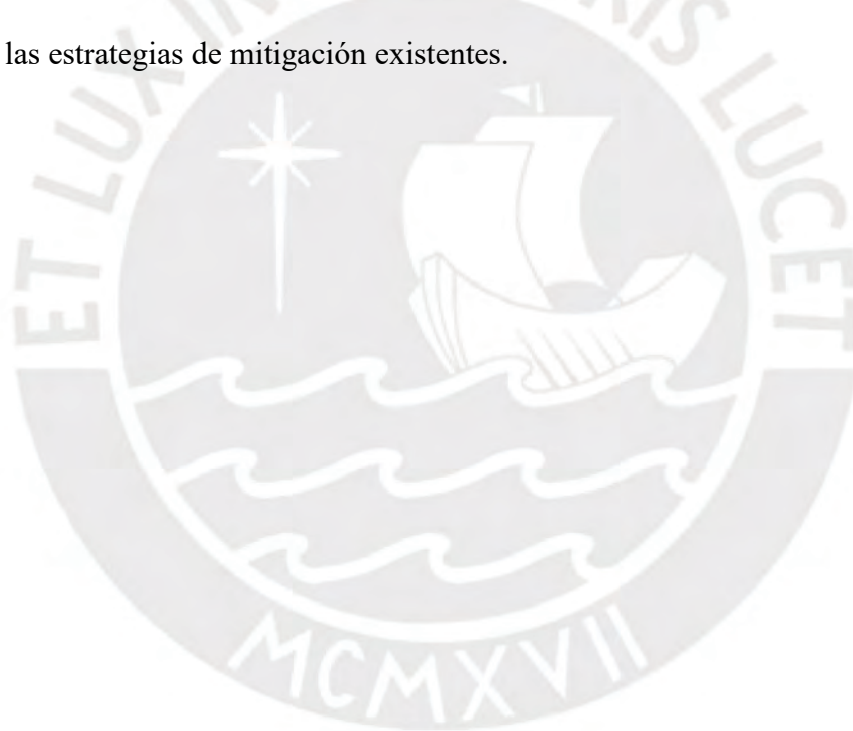
Mediante la evaluación del riesgo generado por flujos de detritos en la quebrada Cusipata y la metodología de Procesos de Análisis Jerárquico (PAJ) de Saaty, se determinó que la quebrada Cusipata presenta un nivel de riesgo Alto en las 12 manzanas analizadas, tal y como se puede observar en el mapa de riesgo (Figura 11).

Por otra parte, el análisis de los parámetros en conjunto proporcionó una comprensión de cómo estos factores interactúan y exacerbaban la situación de riesgo. Así, el análisis de los resultados permitió identificar qué parámetros fueron los más influyentes en el nivel de riesgo obtenido. De este modo, se obtuvo que los parámetros como la litología presente, el número de habitantes por vivienda, el ingreso promedio del hogar y la pendiente del terreno podrían marcar una diferencia entre los niveles de riesgo, ya que una variación en estos podría dar como resultado niveles de riesgo diferentes.

Por otra parte, esta tesis tuvo como objetivo proponer medidas de mitigación del riesgo generado por flujos de detritos en el área de influencia de la quebrada Cusipata mediante el Proceso de Análisis Jerárquico junto a un enfoque holístico. Así, a través de un análisis del riesgo y la evaluación de las condiciones dadas en el área de estudio, se identificaron un conjunto de medidas que podrían ser adicionadas en las estrategias de mitigación existentes. De este modo, en cuanto a medidas estructurales, se plantea realizar el reforzamiento de las estructuras existentes (muro de encauzamiento y diques) mediante la utilización de mallas de acero galvanizado y gaviones apilados, la construcción de un cuarto dique de con material in situ reforzado con mallas de acero galvanizado, el reforzamiento de taludes con geomallas o geotextiles, la construcción de dos nuevas estructuras de contención con el fin de mitigar el impacto que podría generar el flujo en la población expuesta; y, por último, se recomienda analizar la viabilidad de las propuestas estructurales mediante un análisis costo – beneficio – efectividad y un análisis estructural para los muros de contención. Además, en cuanto a

medidas no estructurales, se plantearon medidas tales como la realización y señalización de rutas viales para mantenimiento de las estructuras, la descolmatación y limpieza del cauce de la quebrada, la planificación de rutas de evacuación ante un evento de flujo de detritos, la realización de programas de concientización, la evaluación de riesgos periódicos, y el desarrollo de sistemas de alerta temprana.

Por otra parte, se concluye que la hipótesis planteada se confirma, ya que, mediante la evaluación exhaustiva del riesgo en el área de estudio, se ha podido generar una serie de recomendaciones para la mitigación del riesgo. Estas no solo identifican áreas de mejora en las medidas estructurales existentes, sino que, también, se aporta con medidas que podrían adicionarse a las estrategias de mitigación existentes.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. (2010). Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Rímac: Estudio hidrológico y ubicación de la red de estaciones hidrométricas. *Autoridad Nacional Del Agua, I*, 226.
- Arksey, R., & Vandine, D. (2008). Example of a debris-flow risk analysis from Vancouver Island, British Columbia, Canada. *Landslides*, 5(1). <https://doi.org/10.1007/s10346-007-0105-0>
- Autoridad Nacional del Agua. (2019). Construir, mejorar y ampliar el modelo WEAP para las cuencas Chillón, Rímac, Lurín, Chilca y alto Mantaro. *Observatorio Del Agua Chillón, Rímac, Lurín*, 212. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4121>
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2010). Estudio hidrológico y ubicación de la red de estaciones hidrométricas en la cuenca del río Rímac - Volumen I. *Ministerio de Agricultura Perú, I*, 226.
- Birkmann, J., Cardona, O. D., Carreño, M. L., Barbat, A. H., Pelling, M., Schneiderbauer, S., Kienberger, S., Keiler, M., Alexander, D., Zeil, P., & Welle, T. (2013). Framing vulnerability, risk and societal responses: The MOVE framework. *Natural Hazards*, 67(2). <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0558-5>
- CENEPRED. (2014a). Ley Del Sistema Nacional De Gestión Del Riesgo De Desastres – Sinagerd Ley N° 29664. *CENEPRED*.
- CENEPRED. (2014b). Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales 02 Versión. *Cenepred*, 1–245.
- CENEPRED. (2014c). Plan Nacional de Gestion del Riesgo de Deastres - PLANAGERD 2014 - 2021. *Planagerd*, 63. <http://www.cenepred.gob.pe/web/download/PLANAGERD 2014->

2021.pdf

CENEPRED. (2015). Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Inundaciones Fluviales. In *Cenepred*.

CENEPRED, SENAMHI, & MML. (2023). *Informe de evaluación de riesgos por flujo de detritos en el área urbana de la subcuenca de Cusipata, distrito de Chaclacayo, provincia de Lima*. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/16926>

Defensoría del Pueblo. (n.d.). *Defensoría del Pueblo: proximidad de lluvias y huaicos ponen en riesgo a más de 800 familias de quebrada cusipata en Chaclacayo*. Retrieved October 25, 2023, from <https://www.defensoria.gob.pe/defensoria-del-pueblo-proximidad-de-lluvias-y-huaicos-ponen-en-riesgo-a-mas-de-800-familias-de-quebrada-cusipata-en-chaclacayo/>

Douglas, J. (2007). Physical vulnerability modelling in natural hazard risk assessment. In *Natural Hazards and Earth System Science* (Vol. 7, Issue 2). <https://doi.org/10.5194/nhess-7-283-2007>

INEI. (n.d.). *Sistema de Información Estadístico de apoyo a la Prevención a los efectos del Fenómeno de El Niño y otros Fenómenos Naturales*. <http://webinei.inei.gob.pe/nino/>

INEI. (2015). *Desastres Naturales Peru*. 357–376.

INEI. (2017a). *Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*. <https://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>

INEI. (2017b). Provincia de Lima - Compendio Estadístico de Lima 2017. *Instituto Nacional de Estadística e Informática*.

Instituto Geofísico del Perú. (2012). *Zonificación Sísmica-Geotécnica del área urbana de Chaclacayo*. 46–100. <http://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/1194>

Instituto Geológico, & Minero y Metalúrgico. (1988). Estudio geodinámico de la cuenca del Río Rímac. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 8b(9).

Izquierdo-Horna, L., Sánchez-Castro, A., & Duran, J. (2022). STRENGTHENING OF DISASTER RISK MANAGEMENT STRATEGIES IN THE PERUVIAN RAINFOREST IN THE FACE OF DEBRIS FLOW THROUGH A VULNERABILITY APPROACH. *WIT Transactions on the Built Environment*, 214. <https://doi.org/10.2495/SSR220091>

Izquierdo-Horna, L., Sánchez-Castro, A., & Duran, J. (2023). Vulnerability assessment of debris flow in the central Peruvian rainforest – An intercultural approach. *Heliyon*, 9(10), 10. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E20788>

Luo, H. Y., Fan, R. L., Wang, H. J., & Zhang, L. M. (2020). Physics of building vulnerability to debris flows, floods and earth flows. *Engineering Geology*, 271. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105611>

Mamani, Y., Fabian, C., & Jacay, J. (2021). Geología del cuadrángulo de Chosica (hojas 24j1, 24j2, 24j3, 24j4) - [Boletín L 38]. In *INGEMET*.

Ministerio de Educación. (2017). *Padrón de Instituciones Educativas*. <http://escale.minedu.gob.pe/padron-de-iiiee>

Municipalidad de Chaclacayo. (2017). *Plan De Desarrollo Local Concertado de chaclacayo 2017-2021*. 283.

Municipalidad de Chaclacayo. (2018). *Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres 2018-2021*.

Nardin, T. R., Hein, F. J., Gorsline, D. S., & Edwards, B. D. (1979). A review of mass movement processes, sediment and acoustic characteristics, and contrasts in slope and base-of-slope

systems versus canyon- fan- basin floor systems. *Geology of Continental Slopes*.
<https://doi.org/10.2110/pec.79.27.0061>

Papathoma-Köhle, M., Gems, B., Sturm, M., & Fuchs, S. (2017). Matrices, curves and indicators: A review of approaches to assess physical vulnerability to debris flows. In *Earth-Science Reviews* (Vol. 171). <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.06.007>

Papathoma-Köhle, M., Kappes, M., Keiler, M., & Glade, T. (2011). Physical vulnerability assessment for alpine hazards: State of the art and future needs. In *Natural Hazards* (Vol. 58, Issue 2). <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9632-4>

Peña Jumpa, A. (2017). HUAYCOS, DESASTRES Y DERECHO DE VIVIENDA. *Agro Enfoque*, 31(207).

Rodríguez-Morata, C., Villacorta, S., Stoffel, M., & Ballesteros-Cánovas, J. A. (2019). Assessing strategies to mitigate debris-flow risk in Abancay province, south-central Peruvian Andes. *Geomorphology*, 342. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.06.012>

Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill Book Co.

Santacana, N. (2001). *Análisis de susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfico. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat*. Universidad Politécnica de Cataluña.

Santi, P. M., Hewitt, K., VanDine, D. F., & Cruz, E. B. (2011). Debris-flow impact, vulnerability, and response. *Natural Hazards*, 56(1). <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9576-8>

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ. (2016). *Vulnerabilidad Climática De Los Recursos Hídricos En Las Cuencas De Los Ríos Chillón,*

- Rímac, Lurín Y Parte Alta Del Mantaro / Resumen Ejecutivo. *Ediciones SENAMHI*, 250.
- Shanmugam, G. (2018). Slides, Slumps, Debris Flows, Turbidity Currents, and Bottom Currents: Implications ☆. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.04380-3>
- SINAGERD. (2014). *ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES- PLANAGERD 2014-2021*. 1–45.
- SINAGERD. (2018). *Ley del sistema nacional de gestión del riesgo de desastres Y el plan nacional de gestión del riesgo de desastres*. 20. https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/eventos-taller/taller-internacional-03y04-julio-2014/files/segundo-dia/04-Ley-Sinagerd-y-el-Planagerd.pdf
- LEY N° 29664, (2021). <https://www.gob.pe/institucion/indeci/informes-publicaciones/2370524-ley-n-29664-ley-del-sistema-nacional-de-gestion-del-riesgo-de-desastres-sinagerd>
- Soncco Calsina, Y. H., Cuno Bayta, J. J., Núñez Juárez, S., & Cueva Sandoval, K. A. (2023). Cálculo de volumen de flujo de detritos (huaicos) y lahares secundarios. Considerando la infiltración según la teoría del número de curva (CN). *IX Foro Internacional de Peligros Volcánicos – IX FIPVO*.
- Superintendencia Nacional de Salud - SUSALUD. (n.d.). *Registro Nacional de Instituciones Prestadoras de Salud - RENIPRESS*. <http://renipress.susalud.gob.pe:8080/wb-renipress/inicio.htm#>
- Vásquez, E. (2018). Los fenómenos naturales más comunes en el Perú. In *Syria Studies* (Vol. 7, Issue 1).
- Zheng, H., Deng, Z., Guo, L., Liu, J., Liu, L., Li, T., Zheng, H., & Zheng, T. (2023). Assessment

of Building Physical Vulnerability in Earthquake-Debris Flow Disaster Chain.

International Journal of Disaster Risk Science, 14(4). [https://doi.org/10.1007/s13753-](https://doi.org/10.1007/s13753-023-00509-7)

023-00509-7

