UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y EL SER HUMANO
CARRERA DE INGENIERÍA EN RIESGOS DE DESASTRES

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN RIESGOS DE DESASTRES

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

Análisis de los Principales Riesgos Naturales en los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa, Parroquia Yanayacu, Cantón Santiago de Quero. Período Marzo – Julio 2026

AUTOR(A) (ES):

Montes Castro Joel Arnaldo
Pacho Muñoz Fiorela Abigaíl

DIRECTOR(A)

Ing. Gloria Iñiguez Jiménez

GUARANDA – ECUADOR
2026

AGRADECIMIENTO

A nuestras familias, por ser nuestro refugio y nuestra fuerza. A nuestros queridos padres, por estar presentes en cada paso de nuestras metas, de nuestros sacrificios. Nos enseñaron que el esfuerzo y la perseverancia siempre valen la pena para alcanzar todos nuestros propósitos. Ustedes son el ejemplo más claro de lo que significa luchar por lo que uno quiere. Gracias por el apoyo incondicional, este logro también es de ustedes, porque sin ustedes esto no hubiera sido lo mismo.

A nuestra tutora, la Ing. Gloria Iñiguez, quien ha sido mucho más que una guía académica. Agradecemos su paciencia infinita, por sus consejos en los momentos de duda, por compartir con nosotros su conocimiento con una generosidad y de su tiempo que no tiene precio. No solo nos enseñó sobre riesgos y metodología; nos enseñó a creer en nosotros mismos. Es usted una amiga, una compañera incondicional y un ejemplo a seguir. Hoy más que nunca, sabemos que detrás de cada logro hay alguien que cree en uno. Y usted creyó en nosotros.

A todos los que de una u otra forma pusieron un granito de arena para que este trabajo sea posible. A los moradores de los sectores Mochapata y Yanayacu - La Dolorosa, que nos abrieron las puertas de sus casas y compartieron sus historias.

Finalmente, a nosotros mismos. Por no rendirnos, por las horas de trabajo, por las madrugadas, por los momentos de estrés y también por los de satisfacción. Este logro es el resultado de un camino recorrido con esfuerzo y dedicación.

Joel y Fiorela

DEDICATORIA

A Dios, por darnos la fortaleza para seguir adelante cuando el camino se volvía cuesta arriba, por iluminar nuestra mente y nuestro corazón en cada paso de este recorrido.

A nuestros padres, que con su amor incondicional nos enseñaron que no hay obstáculo demasiado grande cuando se tiene fe. Gracias por todos los sacrificios que hicieron, por sus consejos y por cada palabra de ánimo que nos ayudó a continuar cuando las cosas se volvían difíciles.

A nuestra tutora, la Ing. Gloria Íñiguez, por acompañarnos y orientarnos durante este proceso. Le agradecemos por confiar en nosotros, por escucharnos y por brindarnos su apoyo en los momentos más difíciles. Su cercanía, comprensión y motivación fueron importantes para seguir adelante y no rendirnos.

Joel y Fiorela

CERTIFICADO DE SEGUIMIENTO AL PROCESO INVESTIGATIVO, EMITIDO POR EL TUTOR.

Guaranda, 31 de agosto de 2026.

El suscrito Ingeniera Gloria Iñiguez MsC., Directora del Trabajo de titulación de Pre Grado de la carrera de Riesgos de Desastres de la Universidad Estatal de Bolívar, en calidad de Docente – Tutor.

CERTIFICA:

Que el trabajo de titulación nombrado: "ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES RIESGOS NATURALES EN LOS SECTORES MOCHAPATA Y YANAYACU–LA DOLOROSA, PARROQUIA YANAYACU, CANTÓN SANTIAGO DE QUERO"; realizado por los señores: **Montes Castro Joel Arnaldo y Pacho Muñoz Fiorela Abigail** ha sido debidamente revisado e incorporado las observaciones realizadas durante las asesorías; en tal virtud, autorizo su presentación para la aprobación respectiva de acuerdo al reglamento de la Universidad.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a verdad.



ING. GLORIA IÑIGUEZ

TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE PRE GRADO

DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Montes Castro Joel Arnaldo portador de la Cédula de Identidad No 0202491528 y Pacho Muñoz Fiorela Abigail , portadora de la Cédula de Identidad No 0803288604 en calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales del Trabajo de Titulación: Análisis de los Principales Riesgos Naturales en los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa, Parroquia Yanayacu, Cantón Santiago de Quero. Período Marzo – Julio 2026, modalidad Proyecto de Investigació de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN concedemos a favor de la Universidad Estatal de Bolívar, una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizamos a la Universidad Estatal de Bolívar, para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Digital, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Los autores declaran que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

MONTES CASTRO JOEL ARNALDO
FIRMA

PACHO MUÑOZ FIORELA ABIGAÍL
FIRMA

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS 9
ÍNDICE DE FIGURAS 9
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES 10
INTRODUCCIÓN 11
RESUMEN 13
ABSTRACT 16
CAPÍTULO I. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO 19
1.1 Planteamiento del Problema 19
1.2 Formulación del Problema 20
1.3 Preguntas de Investigación 21
1.4 Objetivos: 21
1.4.1 General 21
1.4.2 Específicos 21
1.5 Justificación 21
1.6 Hipótesis 23
1.7 Variables 24
1.7.1 Variable Dependiente 24
1.7.2 Variable Independiente 24
1.7.3 Operacionalización de variables 25
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 27
2.1 Referencial o Georreferencial 27
2.2 Antecedentes 27
2.3 Científico 30
2.3.1 Teoría del riesgo de desastres 31
2.3.2 Enfoque de amenaza, susceptibilidad y factores condicionantes 32
2.3.3 Fundamentos teóricos de la amenaza por inundación 34
2.3.4 Fundamentos teóricos de los movimientos en masa 35
2.3.5 Fundamentos teóricos de la amenaza volcánica por caída de ceniza 37

2.3.6 Teoría de la vulnerabilidad *39*

2.3.7 Fundamentos de la vulnerabilidad física *40*

2.3.8 Fundamentos de la vulnerabilidad social *41*

2.3.9 Índices y modelación integrada del riesgo *43*

2.3.10 Sistemas de Información Geográfica aplicados al análisis del riesgo *44*

2.3.11 Integración de las bases teóricas en la investigación *45*

2.4 LEGAL 47

2.5 CONCEPTUAL 49

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA 51

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN 51

3.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN 51

3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN 52

3.3.1 Métodos Cuantitativos *52*

3.3.2 Métodos Cualitativos *53*

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOPILACIÓN DE DATOS 53

3.4.1 Amenaza por inundación *56*

3.4.2 Amenaza por deslizamiento *59*

3.4.3 Amenaza por Caída de Ceniza *61*

3.4.4 Determinación de la Vulnerabilidad *64*

3.4.5 Determinación del Riesgo *65*

3.4.6 Vulnerabilidad Social *66*

3.4.7 Vulnerabilidad Física *68*

3.4.8 Análisis de Información *70*

3.5 UNIVERSO, POBLACIÓN Y MUESTRA 71

3.5.1 Universo *71*

3.5.2 Población *71*

3.5.3 Muestra *72*

3.6 TÉCNICAS DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN 76

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN **79**

4.1 ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 79

4.1.1 Resultado del Objetivo 1 *79*

4.1.2 Resultado del Objetivo 2 *144*

4.1.3 Resultado del Objetivo 3 *161*

4.2 COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS 169

4.2.1 Aplicación de la fórmula *170*

4.2.2 Determinación del nivel de confianza y grados de libertad *171*

4.2.3 Planteamiento de la hipótesis *171*

4.2.4 Preguntas seleccionadas para el análisis *172*

4.2.5 Cálculo del Chi cuadrado *172*

4.2.6 Comparación y decisión final *174*

CONCLUSIONES 175

RECOMENDACIONES 178

BIBLIOGRAFÍA **180**

ANEXOS **188**

ANEXO 1. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES (DIAGRAMA DE GANTT) 188

ANEXO 2. INSTRUMENTOS DE RECOPILACIÓN DE DATOS 190

ANEXO 3. BASE DE DATOS DE VULNERABILIDAD SOCIAL PROCESADA EN EXCEL 195

ANEXO 4. BASE DE DATOS DE VULNERABILIDAD FÍSICA PROCESADA EN EXCEL 207

ANEXO 5. ÍNDICES DE VULNERABILIDAD FÍSICA POR TIPO DE AMENAZA Y NIVEL DE VULNERABILIDAD EN LOS SECTORES MOCHAPATA Y YANAYACU - LA DOLOROSA PROCESADA EN EXCEL 214

ANEXO 6. REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL TRABAJO DE CAMPO 219

ANEXO 7. PRESUPUESTO 221

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables para el análisis de los principales riesgos naturales en los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa, parroquia Yanayacu 25

Tabla 2 Fuentes de información para el modelamiento de amenazas 55

Tabla 3 Total de población identificada 71

Tabla 4 Distribución teórica de la muestra 73

Tabla 5 Muestra real obtenida 73

Tabla 6 Evaluación y ponderación de la vulnerabilidad física de las edificaciones por tipo de amenaza en el sector Mochapata 149

Tabla 7 Niveles de vulnerabilidad física y puntaje final del sector Mochapata 151

Tabla 8 Evaluación y ponderación de la vulnerabilidad física de las edificaciones por tipo de amenaza en el sector Yanayacu - La Dolorosa 157

Tabla 9 Niveles de vulnerabilidad física y puntaje final del sector Mochapata 159

Tabla 10 Frecuencias observadas para el cálculo del Cho cuadrado 172

Tabla 11 Frecuencias esperadas para el cálculo del Chi cuadrado 173

Tabla 12 Cálculo del Chi cuadrado 173

Tabla 13 Cronograma Tentativo (Gantt) 188

Tabla 14 Base de datos de vulnerabilidad social 195

Tabla 15 Base de datos de vulnerabilidad física 207

Tabla 16 Índices de vulnerabilidad física por tipo de amenaza y nivel de vulnerabilidad en los sectores Mochapata y Yanayacu - La Dolorosa 214

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de Amenaza a inundación del sector Mochapata 83

Figura 2 Mapa de Vulnerabilidad a Inundación del Sector Mochapata 86

Figura 3 Mapa de Riesgo a inundaciones del sector Mochapata 89

Figura 4 Mapa de Amenaza a deslizamiento del sector Mochapata 92

Figura 5 Mapa de vulnerabilidad a deslizamientos del sector Mochapata 95

Figura 6 Mapa de Riesgo a deslizamiento del sector Mochapata ____ *99*

Figura 7 Mapa de amenaza a caída de ceniza de los sectores Yanayacu la dolorosa y Mochapata ____ *103*

Figura 8 Mapa de vulnerabilidad a caída de ceniza del sector Mochapata ____ *108*

Figura 9 Mapa de riesgos a caída de ceniza del sector Mochapata ____ *112*

Figura 10 Mapa de Amenaza a inundaciones del sector Yanayacu- La Dolorosa ____ *115*

Figura 11 Mapa de vulnerabilidad a inundaciones del sector Yanayacu- la Dolorosa ____ *118*

Figura 12 Mapa de Riesgo a inundaciones del sector Yanayacu- La Dolorosa ____ *122*

Figura 13 Mapa de Amenaza a deslizamiento del sector Yanayacu – La dolorosa ____ *126*

Figura 14 Mapa de vulnerabilidad a deslizamiento del sector Yanayacu- La Dolorosa ____ *131*

Figura 15 Mapa de riesgos a deslizamientos del sector Yanayacu- la Dolorosa ____ *135*

Figura 16 Mapa de Vulnerabilidad a caída de ceniza del sector Yanayacu-La Dolorosa ____ *139*

Figura 17 Mapa de Riesgo a caída de ceniza del sector Yanayacu la dolorosa ____ *143*

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Niveles de Vulnerabilidad Social y sus Respectivos Índices en el sector Mochapata ____ *145*

Ilustración 2 Niveles de Vulnerabilidad Física Ante la Amenaza de Inundación en el sector Mochapata ____ *146*

Ilustración 3 Niveles de Vulnerabilidad Física Ante la Amenaza de Deslizamiento en el sector Mochapata ____ *147*

Ilustración 4 Niveles de Vulnerabilidad Física Ante la Amenaza de Caída de Ceniza en el sector Mochapata ___ *148*

Ilustración 5 Niveles de Vulnerabilidad Social en el sector Yanayacu - La Dolorosa ____ *152*

Ilustración 6 Niveles de Vulnerabilidad Física Ante la Amenaza de Inundación en el sector Yanayacu - La Dolorosa ____ *153*

Ilustración 7 Niveles de Vulnerabilidad Física Ante la Amenaza de Deslizamiento en el sector Yanayacu - La Dolorosa ____ *155*

Ilustración 8 Niveles de Vulnerabilidad Física Ante la Amenaza de Caída de Ceniza en el sector Yanayacu - La Dolorosa ____ *156*

INTRODUCCIÓN

Los riesgos de origen natural representan una de las principales problemáticas que afectan a las comunidades rurales, especialmente en territorios donde las condiciones geográficas y climáticas incrementan la probabilidad de ocurrencia de eventos adversos. En las zonas andinas del Ecuador, factores como la topografía accidentada, la presencia de suelos inestables y las variaciones en las precipitaciones generan escenarios propensos a deslizamientos, erosión e inundaciones, los cuales pueden afectar directamente a la población, la infraestructura y las actividades productivas (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, 2022) .

En la provincia de Tungurahua se encuentra el cantón Santiago de Quero, cuyo territorio presenta condiciones que pueden favorecer la presencia de diferentes fenómenos naturales. Dentro de este cantón está la parroquia Yanayacu, específicamente los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa. En estas zonas existen pendientes pronunciadas, cambios en el uso del suelo y viviendas ubicadas en lugares que podrían verse afectados por estos fenómenos. Estas características convierten necesario desarrollar estudios que permitan conocer con mayor precisión los riesgos presentes en el territorio. Además, la planificación territorial local reconoce la necesidad de integrar análisis de amenazas naturales para orientar decisiones de uso del suelo y protección comunitaria (GAD Municipal del Cantón Santiago de Quero, 2023).

Por esta razón, la investigación busca analizar los principales riesgos naturales que existen en estos sectores, considerando las amenazas y las condiciones de vulnerabilidad física y social de sus habitantes. El desarrollo de la investigación contempla tres actividades principales: la consulta de información geográfica, las visitas a los sectores de estudio y la aplicación de encuestas a sus habitantes. Cada una aporta datos necesarios para conocer tanto las

características del territorio como la situación de las familias que residen en él. La información recopilada se utiliza para analizar las condiciones del terreno, reconocer la ubicación de las viviendas y examinar los aspectos sociales que pueden influir en la forma en que la población enfrenta los fenómenos naturales. La revisión conjunta de estos elementos permite ir más allá de la identificación de las amenazas, pues también considera las condiciones que pueden influir en el grado de afectación de las personas y sus viviendas. Así, el estudio busca reconocer los lugares que necesitan mayor atención y aportar información útil para la gestión del riesgo en Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa. En este sentido, el riesgo no depende únicamente de la presencia de una amenaza natural, sino también de la exposición y la vulnerabilidad de la población, ya que estos factores están relacionados y permiten determinar las posibles consecuencias de un evento natural (Lavell, 2021).

Con este estudio se busca proporcionar información técnica que contribuya a la planificación territorial y a la gestión del riesgo en la parroquia Yanayacu. Asimismo, los resultados servirán como referencia para plantear medidas de mitigación que ayuden a disminuir los posibles daños a la población y mejorar su capacidad de respuesta ante la ocurrencia de fenómenos naturales. En este sentido, comprender el riesgo a escala comunitaria resulta fundamental para promover territorios más seguros y resilientes frente a futuros eventos adversos (United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2015).

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar los principales riesgos naturales en los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa, de la parroquia Yanayacu, cantón Santiago de Quero, provincia de Tungurahua, mediante la identificación de amenazas naturales y la evaluación de la vulnerabilidad física y social de la población expuesta. El estudio se desarrolló ante la necesidad de contar con información técnica a escala local que contribuya a la planificación territorial y a la formulación de medidas de reducción del riesgo.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, de tipo descriptivo y explicativo, mediante el análisis de información cartográfica, trabajo de campo y encuestas a la población. La metodología se organizó en tres fases, correspondientes a los objetivos específicos. En la primera se identificaron y modelaron las amenazas por inundación, deslizamiento y caída de ceniza volcánica mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), utilizando ArcGIS. Para las inundaciones y los deslizamientos se aplicó la metodología de la Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos (2019), mientras que para la caída de ceniza se utilizaron mapas de peligro volcánico del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (2023). Se analizaron variables territoriales como pendiente, precipitación, cobertura del suelo, permeabilidad, saturación, zonas de acumulación y proximidad a ríos y vías, según el tipo de amenaza.

En la segunda fase se evaluó la vulnerabilidad física y social de la población expuesta. Para ello, se realizaron encuestas en 67 viviendas, distribuidas en 40 en Yanayacu–La Dolorosa y 27 en Mochapata, mediante la plataforma KoboToolbox. La vulnerabilidad social se determinó a partir de una adaptación del Social Vulnerability Index (SoVI), propuesto por Cutter et al. (2003), considerando características socioeconómicas, percepción del riesgo, preparación ante

emergencias, organización comunitaria y acceso a servicios básicos. En cuanto a la vulnerabilidad física, su evaluación se realizó tomando como referencia la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2016), con algunas adaptaciones para el estudio. Para ello, se tuvieron en cuenta los materiales de construcción, el estado de conservación de las viviendas y las características del terreno. Posteriormente, los datos recopilados se organizaron y procesaron en Excel, mientras que la información espacial se trabajó mediante ArcGIS. Las variables fueron normalizadas y ponderadas para integrar los resultados y representarlos cartográficamente.

En la tercera fase se determinaron los niveles de riesgo mediante la integración de la amenaza y la vulnerabilidad, aplicando la relación $R = A \times V$. Los resultados se representaron en mapas clasificados en cinco categorías: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, de acuerdo con los criterios empleados en la investigación y los referentes de Cardona et al. (2012) y del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015–2030 (UNDRR, 2015). Adicionalmente, se aplicó la prueba estadística de Chi-cuadrado para comprobar la hipótesis de trabajo, obteniéndose un valor calculado de 79,57, superior al valor teórico de 12,59, con seis grados de libertad y un nivel de significancia de 0,05. Según el criterio de decisión adoptado, se aceptó la hipótesis de trabajo y se rechazó la hipótesis nula.

Los resultados evidenciaron diferencias entre los dos sectores. En Mochapata, la amenaza por inundación presentó un nivel medio en todo el sector, mientras que la amenaza por deslizamiento alcanzó niveles altos en zonas de pendientes pronunciadas, con puntos de riesgo alto y muy alto. La vulnerabilidad física multiamenaza registró un índice de 0,51, correspondiente al nivel medio, y el 70,4 % de los hogares presentó vulnerabilidad social baja.

Aunque se identificaron zonas de alto impacto por caída de ceniza, el riesgo asociado se clasificó en niveles bajos.

En Yanayacu–La Dolorosa, las zonas bajas presentaron niveles altos de amenaza por inundación y las áreas con pendientes pronunciadas registraron niveles altos de amenaza por deslizamiento. También se encontraron zonas de alto impacto por caída de ceniza y niveles elevados de riesgo en el sector de La Dolorosa, donde algunas viviendas se encuentran expuestas. En cuanto a la vulnerabilidad física multiamenaza, se obtuvo un índice de 0,33, que corresponde al nivel bajo. En cuanto a la vulnerabilidad social, la evaluación permitió establecer que 82,5 % de los hogares se encuentra en el nivel bajo y el 17,5 % en el nivel medio. En este último grupo, los índices alcanzan valores de hasta 0,40.

A partir del análisis de las amenazas y las condiciones encontradas en las viviendas y sus habitantes, se formularon medidas de mitigación de tipo estructural y no estructural. Las medidas planteadas están dirigidas a responder a los problemas encontrados en ambos sectores, reducir la exposición de las viviendas y fortalecer la capacidad de la población para actuar ante posibles eventos adversos.

A lo largo de la investigación se identificó que Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa presentan distintas condiciones de riesgo, que están relacionadas con las características físicas del territorio y las condiciones de vida de sus habitantes. El estudio de estos aspectos permitió reconocer las zonas que requieren mayor atención y obtener información técnica sobre la situación de ambos sectores. Estos datos pueden servir de apoyo para orientar las acciones de gestión del riesgo y los procesos de planificación territorial en la parroquia Yanayacu.

Palabras clave: riesgo natural, amenaza, vulnerabilidad física, vulnerabilidad social, inundación, deslizamiento, caída de ceniza, SoVI, SIG, mitigación.

ABSTRACT

This aimed to determine the main natural risks in the sectors of Mochapata and Yanayacu–La Dolorosa, located in Yanayacu study parish, Santiago de Quero canton, Tungurahua province, Ecuador, by identifying natural hazards and assessing the physical and social vulnerability of the exposed population. The research addressed the need for local-scale technical information to support land-use planning and the development of risk reduction measures.

The study followed a mixed-methods approach with a descriptive and explanatory scope, based on cartographic information, fieldwork, and population surveys. The methodology was organized into three phases corresponding to the specific objectives During the first phase, the study focused on identifying and mapping three natural hazards: floods, landslides, and volcanic ashfall. For this purpose, Geographic Information Systems (GIS) and ArcGIS software were used. The flood and landslide maps were developed based on the methodology of the Subsecretariat for Risk Information Management and Analysis (2019). In the case of volcanic ashfall, hazard maps prepared by the Geophysical Institute of the National Polytechnic School (2023) were used. The analysis considered different characteristics of the study area, including slope, rainfall, land cover, soil permeability and saturation, accumulation areas, and distance from rivers and roads.

In the second phase, the physical and social vulnerability of the exposed population was assessed. Surveys were conducted in 67 households, including 40 in Yanayacu–La Dolorosa and 27 in Mochapata, using the KoboToolbox platform. Social vulnerability was evaluated through an adaptation of the Social Vulnerability Index (SoVI) proposed by Cutter et al. (2003), considering socioeconomic characteristics, risk perception, emergency preparedness, community

organization, and access to basic services. Physical vulnerability was assessed using an adaptation of the methodology developed by the United Nations Development Programme (UNDP, 2016), taking into account construction materials, housing conditions, and terrain characteristics. Survey data were organized and processed in Excel, while spatial information was analyzed in ArcGIS. The variables were normalized and weighted to integrate the findings and represent them cartographically.

In the third phase, risk levels were determined by integrating hazard and vulnerability through the relationship $R = A \times V$. The results were represented on maps classified into five categories: very low, low, medium, high, and very high, following the criteria used in the study and the references provided by Cardona et al. (2012) and the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030 (UNDRR, 2015). In addition, a chi-square statistical test was applied to assess the working hypothesis. The calculated value was 79.57, exceeding the critical value of 12.59, with six degrees of freedom and a significance level of 0.05. According to the decision criterion adopted in the study, the working hypothesis was accepted and the null hypothesis was rejected.

The results revealed differences between the two sectors. In Mochapata, the flood hazard level was classified as medium throughout the sector, whereas landslide hazard levels were high in areas with steep slopes, with specific locations presenting high and very high risk. The multi-hazard physical vulnerability index was 0.51, corresponding to a medium level, and 70.4% of households presented low social vulnerability. Although areas with a high potential impact from volcanic ashfall were identified, the associated risk was classified as low.

In Yanayacu–La Dolorosa, low-lying areas presented high flood hazard levels, while areas with steep slopes showed high landslide hazard levels. Areas with a high potential impact

from volcanic ashfall were also identified, along with high risk levels in La Dolorosa, where several homes are exposed. The multi-hazard physical vulnerability index was 0.33, corresponding to a low level. Regarding social vulnerability, 82.5% of households presented low vulnerability and 17.5% presented medium vulnerability, with index values reaching up to 0.40.

Based on these findings, structural and non-structural mitigation measures were proposed to reduce exposure, address vulnerability conditions, and strengthen community preparedness and response capacity in the face of the identified hazards. In conclusion, risk levels in Mochapata and Yanayacu–La Dolorosa are associated with both the physical characteristics of the territory and the vulnerability conditions of the population. Integrating territorial and social analyses made it possible to identify priority intervention areas and provide a technical basis for guiding disaster risk management and land-use planning in Yanayacu parish.

Keywords: natural risk, hazard, physical vulnerability, social vulnerability, flood, landslide, volcanic ashfall, SoVI, GIS, mitigation.

CAPÍTULO I. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1 Planteamiento del Problema

En la actualidad, los riesgos de origen natural constituyen una problemática que afecta a muchas comunidades en diversas partes del mundo. Según la (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, 2022) estos eventos no solo ocasionan pérdidas humanas, sino también daños en viviendas, infraestructura y actividades económicas, especialmente en sectores donde no existe una adecuada planificación del territorio. Además, factores como el crecimiento poblacional, la ocupación de zonas vulnerables y el cambio climático han incrementado la exposición de las personas a amenazas naturales.

En este sentido, organismos internacionales han señalado la importancia de fortalecer la gestión del riesgo desde el conocimiento del territorio. El Marco de Sendai 2015 – 2030 señala que comprender el riesgo es uno de los primeros pasos para reducir los impactos de futuros desastres, ya que permite identificar amenazas, reconocer vulnerabilidades y plantear acciones de prevención acordes con cada realidad local (United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2015).

Ecuador es un país cuyas condiciones naturales lo vuelven propenso a eventos adversos. Su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico y la presencia de la cordillera de los Andes influyen en la ocurrencia de sismos, deslizamientos, erupciones volcánicas e inundaciones (CEPAL, 2020). Estas amenazas forman parte de la dinámica natural del territorio y, en muchos casos, afectan con mayor intensidad a las zonas rurales, donde la población se asienta en áreas de difícil acceso o en terrenos inestables (Alatorre y otros, 2020).

En la provincia de Tungurahua, las características del territorio también representan condiciones que pueden favorecer la presencia de amenazas naturales, debido principalmente a

su relieve montañoso y a los procesos geológicos y climáticos de la región andina. En esta provincia se encuentra el cantón Santiago de Quero y, dentro de este, la parroquia Yanayacu. Algunos de sus sectores presentan características que pueden facilitar la ocurrencia de deslizamientos, erosión e inundaciones. Entre ellos están Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa, donde se encuentran pendientes pronunciadas de entre 25° y 45°, cambios en el uso del suelo, poca cobertura vegetal, alteraciones en los drenajes naturales y viviendas situadas en zonas expuestas a posibles amenazas naturales. Ambos sectores se encuentran en partes donde un evento de lluvias intensas puede activar procesos erosivos, movimientos de masa.

A pesar de estas condiciones, en la parroquia no se cuenta con estudios específicos que permitan conocer en detalle cuáles son los principales riesgos naturales presentes en estos sectores. La falta de información técnica actualizada dificulta identificar las zonas más vulnerables y tomar medidas para evitar posibles daños. Además, la falta de estudios específicos en estos sectores puede hacer que sus habitantes estén más expuestos a fenómenos naturales que afecten su seguridad, sus medios de vida y las actividades que realizan a diario.

Por esta razón, es necesario realizar una investigación que permita conocer los principales riesgos naturales en los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa. Para ello, se consideran las amenazas que existen en el territorio y las condiciones de vulnerabilidad de sus habitantes. Con esto, se busca generar información que aporte a la planificación territorial y a la toma de decisiones orientadas a reducir el riesgo en la parroquia de Yanayacu.

1.2 Formulación del Problema

¿Cómo influyen las amenazas naturales y las condiciones de vulnerabilidad física y social en la determinación de los niveles de riesgo de los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa?

1.3 Preguntas de Investigación

- ¿Cuáles son las principales amenazas naturales presentes en los sectores de Mochapata y Yanayacu – La Dolorosa, de la parroquia de Yanayacu?
- ¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad física y social de la población expuesta en los sectores Mochapata y Yanayacu – La Dolorosa, de la parroquia de Yanayacu?
- ¿Qué medidas de mitigación pueden proponerse para reducir los niveles de riesgo identificados en los sectores de Mochapata y Yanayacu – La Dolorosa, en la parroquia de Yanayacu?

1.4 Objetivos:

1.4.1 General

Determinar los principales riesgos naturales en los sectores Mochapata y Yanayacu – La Dolorosa de la Parroquia Yanayacu.

1.4.2 Específicos

- Identificar las principales amenazas naturales presentes en los sectores Mochapata y Yanayacu – La Dolorosa.
- Evaluar la vulnerabilidad físico-social de la población expuesta en las zonas identificadas.
- Proponer medidas de mitigación en función del análisis de riesgo.

1.5 Justificación

Este estudio se enmarca en la línea de investigación Comprensión del riesgo, dentro de la Sublínea Análisis de riesgo, porque se enfoca en identificar los principales riesgos naturales y analizar los factores de vulnerabilidad físico-social presentes en los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa, en la parroquia de Yanayacu.

La investigación busca comprender cómo las características del territorio y las condiciones de la población influyen en la presencia del riesgo. El estudio no se enfoca únicamente en identificar amenazas como deslizamientos e inundaciones, sino que también toma en cuenta los aspectos físicos y sociales que pueden influir en el nivel de afectación de cada sector. De acuerdo con la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (2022), conocer los factores que intervienen en el riesgo es importante para prevenir desastres y mejorar las acciones de reducción a nivel local.

Esta investigación surge de la necesidad de contar con información sobre los riesgos naturales en los sectores estudiados. Esto tiene especial importancia en las comunidades rurales, donde muchas veces no se dispone de suficiente información técnica para conocer las condiciones de riesgo y tomar decisiones al respecto. Por lo general, los instrumentos de planificación territorial existentes se elaboran a nivel cantonal o provincial, por lo que resultan insuficientes para abordar las dificultades de sectores pequeños como Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa (GAD Parroquial Rural de Yanayacu, 2023). Por ello, sin un diagnóstico local que precise las zonas de amenaza y evalúe las condiciones de vulnerabilidad de los hogares, cualquier medida de prevención o mitigación corre el riesgo de convertirse en un apoyo para la toma de decisiones técnicas.

Por otro lado, el aporte académico se relaciona con la aplicación de herramientas como Sistemas de Información Geográfica, la cartografía temática y trabajo de campo. Estas herramientas permiten identificar las zonas de mayor riesgo y relacionar la información física del terreno con las condiciones de vulnerabilidad de la población. De esta manera, la investigación propone una ruta posible para abordar el análisis de riesgo en comunidades rurales andinas donde

la información es escasa y las condiciones del terreno son complejas (Puente Sotomayor y otros, 2021)

Asimismo, el estudio tiene un aporte social, ya que la información obtenida puede ser utilizada por las autoridades locales y por la propia comunidad para orientar acciones de prevención y mitigación. Conocer las áreas más expuestas facilita la planificación territorial y permite reducir posibles impactos sobre viviendas, infraestructura y actividades productivas. Los beneficiarios inmediatos no solo son los que residen de manera permanente, sino también aquella que regresa en temporadas de vacaciones o feriados ya que muchas veces se desconoce de las condiciones de riesgo del territorio (Lavell, 2021).

Finalmente, esta investigación también aporta al cumplimiento del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015–2030 y de los objetivos planteados por (NACIONES UNIDAS, 2023), especialmente el Objetivo de Desarrollo Sostenible 11, enfocado en lograr comunidades seguras, resilientes y sostenibles, encuentra en este tipo de investigaciones un camino concreto para avanzar hacia los asentamientos humanos. El Marco de Sendai establece que entender el riesgo es la base de todas las acciones de prevención (Naciones Unidas , 2015) al generar información técnica que permita identificar amenazas, evaluar vulnerabilidades y proponer medidas de mitigación.

1.6 Hipótesis

El análisis de las amenazas naturales y de la vulnerabilidad físico-social en los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa permitirá conocer los niveles de riesgo existentes y proponer lineamientos técnicos para reducir el riesgo en la parroquia de Yanayacu.

1.7 Variables

1.7.1 Variable Dependiente

Nivel de riesgo natural

1.7.2 Variable Independiente

Factores determinantes del riesgo

1.7.3 Operacionalización de variables

Tabla 1 Operacionalización de variables para el análisis de los principales riesgos naturales en los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa, parroquia Yanayacu

Nombre de la variable	**Descripción**	**Dimensión**	**Subdimensión**	**Indicador**	**Escala**	Categoría
Nivel del riesgo natural (Variable Dependiente)	Resultado integrado de la interacción entre la amenaza, la vulnerabilidad y la exposición, expresado en niveles de riesgo por sector o por vivienda.	Riesgo natural	Nivel del riesgo	Índice de riesgo	Ordinal	Muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto
			Riesgo por inundación	Nivel del riesgo por inundación	Ordinal	Muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto
			Riesgo por deslizamiento	Nivel del riesgo por deslizamiento	Ordinal	Muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto
			Riesgo por caída de ceniza	Nivel del riesgo por caída de ceniza	Ordinal	Muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto
Factores determinantes del riesgo (Variable Independiente)	Conjunto de condiciones naturales, territoriales, físicas y sociales que intervienen en la generación y configuración del riesgo	Amenaza natural	Inundación	Saturación del suelo	Ordinal	Niveles de saturación
				Permeabilidad del suelo	Ordinal	Nivel de permeabilidad
				Pendiente	Intervalo	Porcentaje
				Zonas de acumulación	Ordinal	Nivel de acumulación
				Cobertura del suelo	Nominal	Tipo de cobertura
				Precipitación	Datos de precipitación	Valor de precipitación
			Deslizamiento	Pendiente	Porcentaje	Intervalo
				Precipitación	Intervalos	Valor de precipitación
				Cobertura de suelo	Nominal	Tipo de cobertura
				Distancia a ríos	Cardinal	Distancia
				Distancia en vías	Cardinal	Distancia
			Caída de ceniza	Nivel de impacto	Ordinal	Alto impacto
				Zona de afectación	Cardinal	Zona de influencia
			Condiciones históricas	Frecuencia de eventos	Registros históricos	Número de eventos registrados
		Vulnerabilidad física	Fragilidad estructural	Materiales de los muros	Ficha técnica (modelo PNUD)	Tipo de material
				Material de cubierta	Ficha técnica (modelo PNUD)	Tipo de material
				Material cimentación	Ficha técnica (modelo PNUD)	Tipo de material
			Estado de la edificación	Estado de conversación	Ficha técnica (modelo PNUD)	Bueno, regular, malo
				Deterioro estructural	Ficha técnica (modelo PNUD)	Nivel de deterioro
			Características de la vivienda	Número de pisos	Ficha técnica (modelo PNUD)	Número de pisos

			Antigüedad de la vivienda	Ficha técnica (modelo PNUD)	Año de construcción
		Condiciones del terreno	Tipo de suelo	Ficha técnica (modelo PNUD)	Categoría de suelo
			Topografía del suelo	Ficha técnica (modelo PNUD)	Condición topográfica
			Humedad	Ficha técnica (modelo PNUD)	Presencia de humedad
			Grietas	Ficha técnica (modelo PNUD)	Presencia de grietas
			Inclinación	Ficha técnica (modelo PNUD)	Condición de inclinación del terreno
	Vulnerabilidad social	Características socioeconómicas	Nivel educativo	Encuesta	Grado de instrucción del jefe de hogar
		Percepción del riesgo	Conocimiento sobre amenazas	Encuesta	Nivel de conocimiento
			Identificación de amenazas	Encuesta	Reconocimiento de amenazas
			Percepción de afectación	Encuesta	Percepción de posibilidad de afectación
		Preparación	Medidas preventivas	Encuesta	Existencia de medidas preventivas
			Conocimiento de acciones antes una emergencia	Encuesta	Nivel de preparación
		Organización comunitaria	Participación comunitaria	Encuesta	Participación en comités
			Participación en simulacros	Encuesta	Participación
		Acceso a servicios básicos	Abastecimiento de agua	Encuesta	Disponibilidad
			Energía eléctrica	Encuesta	Disponibilidad
			Alcantarillado	Encuesta	Disponibilidad

Nota: La tabla presenta la operacionalización de las variables a partir de las dimensiones e indicadores empleados en la investigación para el análisis de amenazas, vulnerabilidad física y vulnerabilidad social en los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa. La investigación utiliza análisis geoespaciales para el modelamiento de inundaciones, deslizamientos y caída de cenizas; además, la vulnerabilidad social se aborda mediante una adaptación del índice SoVI y la vulnerabilidad física mediante encuestas aplicadas. Elaboración propia.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Referencial o Georreferencial

La parroquia Yanayacu, se encuentra ubicada en el cantón Santiago de Quero de la provincia de Tungurahua, localizada en la región andina del Ecuador, la cual presenta un territorio con pendientes pronunciadas, suelos de origen volcánico y una dinámica geomorfológica que favorece la ocurrencia de amenazas naturales como deslizamientos e inundaciones. Estas características son comunes en zonas rurales andinas donde la topografía y las precipitaciones influyen directamente en la estabilidad del terreno (GAD Parroquial Rural de Yanayacu, 2023)

En este contexto, los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa se ubican en áreas donde predominan las actividades agropecuarias y los asentamientos dispersos. Por otro lado, las modificaciones realizadas en el suelo y la pérdida de cobertura vegetal pueden favorecer la aparición de movimientos en masa, sobre todo durante los períodos de lluvias fuertes. De acuerdo con el PDOT parroquial, estas características dificultan la planificación del territorio y la aplicación de medidas para prevenir posibles riesgos en la parroquia.

2.2 Antecedentes

El análisis de los riesgos de origen natural ha pasado de enfocarse únicamente en los fenómenos a abordar también cómo se relacionan los aspectos físicos, sociales y ambientales. En el ámbito internacional, el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (2015–2030) plantea que comprender el riesgo es fundamental para prevenir y planificar de manera adecuada (Naciones Unidas , 2015). Esta propuesta guía a los países andinos, donde la combinación de una topografía compleja, un clima cambiante y diversas dinámicas sociales aumenta la exposición de las zonas rurales a diversas amenazas.

En este contexto, (Greiving y otros, 2006) destacan la necesidad de integrar el análisis multirriesgo en la planificación territorial, señalando que la gestión efectiva del riesgo debe considerar tanto los procesos naturales como los sociales. De manera similar, (Alonso-Pandavenes y otros, 2024) demuestran que la incorporación de información geofísica y conocimientos comunitarios mejora significativamente la precisión de los mapas de susceptibilidad, especialmente en zonas rurales del Ecuador. Ambos estudios coinciden en que la combinación de métodos técnicos y la participación local fortalecen la efectividad de las medidas preventivas, algo que esta investigación también busca aplicar en Yanayacu.

Por su parte, (Puente Sotomayor y otros, 2021) aplicaron modelos de regresión logística en Quito para elaborar mapas de susceptibilidad a deslizamientos, demostrando que las variables topográficas y geológicas son las más determinantes de la ocurrencia de estos eventos. Este enfoque cuantitativo respalda la decisión de emplear herramientas SIG y modelos estadísticos en la presente investigación. En contraste, (Cargua y otros, 2024) analizaron la susceptibilidad a deslizamientos mediante el método de jerarquía analítica (AHP), destacando la utilidad de integrar la experiencia de expertos cuando los datos geotécnicos son limitados. Así, mientras (Puente Sotomayor y otros, 2021) y Teller priorizan la precisión estadística, (Cargua y otros, 2024) enfatiza la aplicabilidad práctica en contextos rurales con escasa información, situación similar a la de la parroquia Yanayacu.

En relación con los estudios sobre amenazas volcánicas, (Khanam y otros, 2021) elaboraron una evaluación del riesgo de flujos de lodo (lahares) en el volcán Tungurahua, identificando los canales de flujo y las zonas de mayor exposición. Asimismo, (Vallance & Mothes, 2015) documentaron la recurrencia y magnitud de estos fenómenos en el volcán, señalando que entre 2000 y 2014 se registraron 1222 eventos de lahares, con caudales pico que

alcanzaron los 650 m^3/s en el valle del río Vascún. Los antecedentes revisados señalan que los asentamientos situados en valles de drenaje, como Yanayacu, pueden estar más expuestos a la acumulación, el desplazamiento y la Re movilización de material volcánico. Estas condiciones deben tenerse en cuenta al analizar la vulnerabilidad de las comunidades ubicadas en este tipo de terrenos.

En cuanto a la vulnerabilidad social, Bazo Zambrano (2022) analizó diferentes métodos para evaluarla en comunidades de Ecuador expuestas a inundaciones. Su investigación destaca el uso del análisis de componentes principales (PCA) y del método de ponderación experta (AHP) para reconocer los factores sociales que influyen en la vulnerabilidad de la población. Entre ellos se encuentran el nivel educativo, los ingresos familiares y las condiciones de acceso a los servicios básicos. Estos aspectos permiten comprender cómo las características de cada comunidad pueden influir en su capacidad para afrontar una situación de riesgo. Este hallazgo resulta pertinente, ya que esta tesis aplicará encuestas para construir un índice de vulnerabilidad social a nivel parroquial.

De manera complementaria, (Cobos Mora y otros, 2023) evaluaron los factores explicativos de los deslizamientos en la provincia del Azuay y concluyeron que la pendiente, el tipo de suelo y la cobertura vegetal son variables decisivas para la modelación de la susceptibilidad. Sus resultados corroboran las observaciones de (Zárate y otros, 2023), quienes habían determinado una relación directa entre la intensidad de las lluvias y la activación de movimientos en masa.

En el cantón Santiago de Quero (Morales Cruz & Erazo Macas, 2020) se desarrolló una investigación sobre los impactos derivados de la actividad del volcán Tungurahua, mediante encuestas a habitantes de tres sectores (Yanayacu, Cotaló y Pungal). Este estudio aborda la caída

de ceniza y los efectos del material volcánico sobre la población, por lo que representa un antecedente importante para esta investigación. Además, al contar con información del mismo sector de estudio, permite conocer mejor las condiciones existentes y demuestra la importancia de continuar analizando los riesgos a nivel local. Por otra parte, Morales Cruz y Erazo Macas (2020) señalan que la percepción del riesgo y los niveles de afectación no son iguales en todos los sectores, entre ellos Yanayacu.

En general, los estudios revisados muestran la importancia de combinar el análisis geoespacial con métodos estadísticos y la participación de la población. Estos elementos permiten conocer mejor los riesgos naturales y aportan información útil para plantear acciones de prevención y reducción del riesgo en las comunidades rurales. Esta investigación adopta dicho enfoque, integrando metodologías cuantitativas (SIG, FR, LR) con encuestas sociales, para determinar de manera integral los niveles de riesgo en los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa.

2.3 Científico

La presente investigación se fundamenta en un enfoque integral del riesgo de desastres, en el que los fenómenos naturales no se analizan de manera aislada, sino en relación con las condiciones físicas, sociales y territoriales que determinan sus posibles efectos sobre la población. El riesgo se produce por la relación entre las características de una amenaza y las condiciones de vulnerabilidad y exposición presentes en un territorio. Por esta razón, para analizar los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa es necesario considerar las amenazas naturales, la vulnerabilidad física y social de sus habitantes y la ubicación de las zonas expuestas.

De esta manera, el estudio no se enfoca solamente en identificar los fenómenos naturales que pueden presentarse, sino también en conocer las condiciones del territorio y de la población

que pueden aumentar el nivel de riesgo. En este sentido, las bases teóricas de esta investigación se organizan en torno a la teoría del riesgo de desastres, el análisis de amenazas y susceptibilidad, los fundamentos de las amenazas por inundación, movimientos en masa y caída de ceniza volcánica, la vulnerabilidad física y social, la construcción de índices y, finalmente, la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica como herramienta para integrar espacialmente los diferentes componentes del riesgo.

2.3.1 Teoría del riesgo de desastres

La comprensión contemporánea del riesgo de desastres parte del reconocimiento que un fenómeno natural, por sí mismo, no determina necesariamente la ocurrencia de un desastre. Las consecuencias de una amenaza están relacionadas con las condiciones del territorio y las características de la población, las viviendas, la infraestructura y las actividades que se realizan en él. La presencia de un fenómeno natural no significa, por sí sola, que exista el mismo nivel de riesgo en todos los lugares. También es necesario considerar dónde se encuentra asentada la población, las condiciones de sus viviendas y los recursos con los que cuenta para enfrentar una situación adversa. Estos factores influyen en las posibles consecuencias que puede generar un evento natural sobre una comunidad.

Esta relación se vincula con el planteamiento de Banegas González y Fuentes Alcalá (2020), quienes explican que el riesgo se construye a partir de condiciones sociales, históricas, económicas, políticas y territoriales. Desde esta perspectiva, los riesgos identificados en Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa no pueden atribuirse únicamente a las lluvias, las pendientes, los movimientos del terreno o la actividad volcánica. También deben analizarse las condiciones de la población y las características del territorio en el que se desarrollan sus actividades, ya que estas influyen en la manera en que ambos sectores pueden resultar afectados.

También están relacionados con las características de las viviendas, la forma en que se ocupa el territorio, el acceso a los servicios básicos y las condiciones de vida de la población.

Por su parte, Cardona et al. (2012) señalan que la exposición y la vulnerabilidad son factores importantes para determinar el riesgo. Esto quiere decir que una amenaza puede causar mayores afectaciones cuando existen personas, viviendas, infraestructura o actividades ubicadas en zonas expuestas y que, además, presentan condiciones que dificultan enfrentar sus efectos.

Este planteamiento también se relaciona con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, que considera el conocimiento del riesgo como un aspecto necesario para desarrollar acciones de prevención y reducción de desastres (Naciones Unidas, 2015). Por ello, en esta investigación se relaciona la ubicación de las amenazas naturales con las condiciones de vulnerabilidad física y social encontradas en los sectores estudiados. Esta concepción sustenta la estructura metodológica de la investigación, en la cual primero se identifican y modelan las amenazas, posteriormente se evalúa la vulnerabilidad física y social y finalmente se integran estos resultados para obtener los niveles de riesgo.

2.3.2 Enfoque de amenaza, susceptibilidad y factores condicionantes

El análisis de amenazas requiere diferenciar entre la ocurrencia de un fenómeno y las condiciones territoriales que favorecen su desarrollo. El análisis de susceptibilidad permite localizar las áreas donde las características del terreno pueden favorecer la ocurrencia de fenómenos naturales. Para ello, se toman en cuenta las condiciones físicas del territorio, ya que estas influyen en la posibilidad de que determinados fenómenos se desarrollen en ciertos lugares.

Yamagishi (2005) explica que la susceptibilidad del terreno frente a los movimientos en masa está relacionada con factores como la pendiente, la litología y la cobertura vegetal. Estos elementos no indican que un evento vaya a ocurrir de forma inmediata, pero permiten conocer

las características del terreno y su influencia en la posibilidad de que se produzcan estos movimientos.

Este análisis es importante para estudiar los movimientos en masa, porque la estabilidad de las laderas está relacionada con varios factores. Entre ellos se encuentra la pendiente del terreno, pero también influyen las características del suelo, la vegetación, la presencia de agua y las actividades humanas. Todos estos aspectos pueden modificar las condiciones del terreno y favorecer o disminuir la posibilidad de que se produzcan deslizamientos.

Los estudios incorporados en los antecedentes de esta investigación también respaldan este enfoque. Puente Sotomayor et al. (2021) identificaron la importancia de las variables topográficas y geológicas para la elaboración de mapas de susceptibilidad a deslizamientos, mientras que Cobos Mora et al. (2023) señalaron la importancia de la pendiente, el tipo de suelo y la cobertura vegetal en la modelación de la susceptibilidad en un contexto andino ecuatoriano. Asimismo, Zárate et al. (2023) identificaron una relación entre la intensidad de las precipitaciones y la activación de movimientos en masa.

Por otra parte, Cargua et al. (2024) demostraron la utilidad de integrar diferentes variables mediante procedimientos de análisis multicriterio en contextos donde la información geotécnica disponible es limitada. Este tipo de aproximaciones resulta pertinente para territorios rurales en los cuales no siempre se dispone de información detallada sobre las condiciones del subsuelo.

En la presente investigación, este fundamento se materializa mediante la integración de variables territoriales en un entorno SIG. Para la amenaza por inundación se consideran variables relacionadas con la saturación, permeabilidad, pendiente, zonas de acumulación, cobertura y precipitación. Para los movimientos en masa se incorporan pendiente, precipitación, cobertura

del suelo, proximidad a ríos y proximidad a vías. Estas variables son transformadas a una escala común y posteriormente integradas mediante ponderaciones, permitiendo representar espacialmente diferentes niveles de amenaza.

Por esta razón, el análisis de susceptibilidad permite relacionar las características naturales del territorio con las actividades realizadas por las personas y representar cómo estas condiciones se distribuyen en el espacio. Esto facilita la identificación de las zonas donde existen factores que pueden favorecer la ocurrencia de fenómenos naturales.

2.3.3 Fundamentos teóricos de la amenaza por inundación

Las inundaciones constituyen procesos relacionados con la acumulación y circulación del agua sobre superficies donde la capacidad de infiltración o drenaje resulta insuficiente frente al volumen de precipitación recibido. Su comportamiento espacial depende de factores topográficos, hidrológicos, edáficos y de cobertura del suelo.

Desde esta perspectiva, la pendiente constituye un factor relevante, debido a que controla en parte la velocidad con la que el agua puede desplazarse superficialmente. La distribución del agua de lluvia está relacionada con las características del relieve. El relieve del terreno influye directamente en el recorrido del agua de lluvia. En las superficies planas y las partes bajas, el agua tiende a concentrarse, mientras que en las zonas de mayor pendiente se desplaza por gravedad hacia lugares de menor elevación.

La permeabilidad constituye otro aspecto importante, porque está relacionada con la cantidad de agua que el suelo puede absorber. Si el terreno presenta poca capacidad de infiltración, una mayor cantidad de agua permanece sobre la superficie y puede desplazarse en forma de escorrentía. Esta condición también puede presentarse cuando las precipitaciones superan la cantidad de agua que el suelo es capaz de infiltrar. Por ello, tanto las características

del terreno como el comportamiento de las lluvias deben considerarse al analizar los factores que intervienen en las inundaciones y la acumulación de agua.

A estos elementos se suman la cobertura vegetal y el uso del suelo, que también modifican la forma en que el agua circula por el territorio. Dependiendo de las características de cada superficie, parte del agua puede infiltrarse, permanecer retenida o continuar su recorrido hacia otros sectores. Cuando la vegetación natural se sustituye por cultivos o áreas intervenidas, la capacidad del suelo para absorber y retener el agua puede cambiar, alterando así las condiciones naturales de circulación del agua. Esto puede alterar la forma en que circula hacia los drenajes naturales.

Bajo estos fundamentos, la presente investigación considera la saturación del suelo, permeabilidad, pendiente, zonas de acumulación, cobertura y uso del suelo y precipitación como variables para la construcción del modelo de amenaza por inundación. Las variables son normalizadas para permitir su comparación e integración espacial, y posteriormente se aplican las ponderaciones establecidas en la metodología de la Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos (2019).

La aplicación de este enfoque permite pasar de una descripción individual de las variables a una representación integrada del territorio. De esta manera, la amenaza por inundación se interpreta como el resultado de la combinación de diferentes condiciones que, actuando conjuntamente, pueden favorecer la acumulación o circulación del agua en determinados sectores.

2.3.4 Fundamentos teóricos de los movimientos en masa

Los movimientos en masa corresponden a procesos de desplazamiento de materiales que se producen principalmente en laderas cuando las condiciones de estabilidad del terreno son

alteradas. Para que se produzcan movimientos en masa intervienen varias condiciones del terreno. Entre las principales se encuentran la forma del relieve, las características del suelo, la humedad, la vegetación y los cambios que realizan las personas en el territorio.

Uno de los aspectos que se analiza es la pendiente, porque influye directamente en la estabilidad de las laderas. En terrenos con mayor inclinación pueden existir más condiciones favorables para el desplazamiento del suelo. Este factor se evaluó mediante el Modelo Digital de Elevación (MDE), que permite conocer las diferencias de altura y representar las pendientes del área de estudio.

También se consideró la precipitación, debido a que el agua de lluvia puede ingresar al suelo y modificar sus condiciones. Cuando se acumula demasiada humedad, el terreno puede perder estabilidad y facilitar la aparición de movimientos en masa. Por ello, tanto la cantidad de lluvia como la humedad del suelo son aspectos que ayudan a reconocer los lugares que presentan condiciones favorables para los deslizamientos. Esta relación ha sido señalada en estudios desarrollados en el contexto ecuatoriano, donde se ha identificado una relación entre las precipitaciones y la activación de procesos de inestabilidad (Zárate et al., 2023).

La cobertura vegetal también cumple una función importante en la estabilidad superficial del terreno. La vegetación presente en las laderas actúa como una protección natural frente a la erosión, debido a que ayuda a conservar la superficie del suelo. Sin embargo, esta protección disminuye cuando se retira la cobertura vegetal o se destinan los terrenos a otros usos. Como consecuencia, el suelo queda más expuesto a la acción del agua y a otros procesos que pueden provocar su desgaste. Estas modificaciones pueden afectar la estabilidad de las laderas y generar condiciones favorables para la ocurrencia de movimientos en masa. En su estudio, Cobos Mora

et al. (2023) identificaron la pendiente, el tipo de suelo y la cobertura vegetal como factores importantes para elaborar modelos de susceptibilidad a deslizamientos.

Además de las características naturales, también se deben considerar las actividades humanas que modifican el terreno. La apertura de vías también puede modificar las condiciones de las laderas, debido a los cortes y rellenos que se realizan durante su construcción. Las actividades que se desarrollan en el territorio pueden cambiar el recorrido natural del agua sobre el suelo. De igual manera, la presencia de ríos y drenajes influye en las condiciones del terreno, ya que el agua puede provocar erosión y aumentar la humedad en determinados sectores, lo que podría afectar la estabilidad del suelo.

En función de estos fundamentos, la presente investigación incorpora como variables para el modelamiento de la amenaza por deslizamiento la pendiente, precipitación, cobertura y uso del suelo, distancia a ríos y distancia a vías. Estas variables son normalizadas e integradas mediante ponderaciones siguiendo los lineamientos metodológicos de la Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos (2019).

Este enfoque permite comprender los movimientos en masa como procesos condicionados por múltiples factores y no como fenómenos determinados por una única variable. Por ello, la representación cartográfica obtenida busca identificar espacialmente la combinación de condiciones que favorece una mayor susceptibilidad del territorio.

2.3.5 Fundamentos teóricos de la amenaza volcánica por caída de ceniza

La actividad volcánica constituye una amenaza natural que puede generar diferentes tipos de productos y procesos capaces de afectar a la población, infraestructura, actividades económicas y ecosistemas. Entre estos procesos se encuentra la caída de ceniza volcánica, cuya

distribución depende de las características de la actividad eruptiva y de las condiciones atmosféricas durante el transporte del material.

Para el análisis de esta amenaza, la presente investigación utiliza como fuente principal la información oficial generada por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN). Los mapas de peligro volcánico permiten reconocer espacialmente las zonas que pueden presentar diferentes niveles de afectación asociados a la actividad del volcán Tungurahua (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional [IG-EPN], 2023).

La pertinencia de incorporar esta amenaza en el estudio se relaciona con los antecedentes de afectación registrados en el área de Yanayacu. Los reportes históricos recopilados en la investigación evidencian impactos asociados a la caída de ceniza del volcán Tungurahua, incluyendo afectaciones a la población y a las actividades agropecuarias (Diario El Comercio, 2015; Diario El Universo, 2011). Asimismo, Morales Cruz y Erazo Macas (2020) analizaron la percepción y los impactos relacionados con la actividad del volcán Tungurahua en sectores del cantón Santiago de Quero, incluyendo Yanayacu.

Desde el punto de vista metodológico, la amenaza por caída de ceniza requiere un tratamiento diferente al utilizado para inundaciones y movimientos en masa, debido a que se cuenta con cartografía de peligro volcánico previamente elaborada. Por esta razón, en la investigación se emplea el mapa de peligro del IG-EPN y se delimitan áreas de influencia mediante zonas concéntricas o buffers, asignando valores diferenciados de acuerdo con el nivel de impacto considerado.

De esta manera, el fundamento teórico de esta amenaza se relaciona con la utilización de información volcánica oficial y con la identificación espacial de las áreas potencialmente afectadas. Al relacionar esta información con la vulnerabilidad física, es posible observar que

una misma amenaza no afecta de igual manera a todos los elementos expuestos. Las condiciones y características de cada uno influyen en las posibles consecuencias y, por tanto, en el nivel de riesgo.

2.3.6 Teoría de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad permite entender por qué un mismo fenómeno natural no produce los mismos daños en todos los lugares ni afecta de igual manera a las personas. Para analizarla, no es suficiente revisar las características de las viviendas. También es necesario tomar en cuenta otros aspectos que influyen en la capacidad de una comunidad para enfrentar una amenaza y recuperarse después de un evento adverso.

Blaikie et al. (1996) explican que la vulnerabilidad está relacionada con factores sociales, económicos y políticos que influyen en las condiciones de vida de la población y en su capacidad para enfrentar las amenazas. Estos factores se desarrollan a lo largo del tiempo y están relacionados con los recursos disponibles, el acceso a los servicios, las características del territorio y las condiciones en las que vive cada comunidad.

Por su parte, Cardona et al. (2012) consideran que la vulnerabilidad y la exposición son factores importantes en la determinación del riesgo. Esto significa que identificar una amenaza no es suficiente para conocer las posibles consecuencias de un evento, ya que también es necesario analizar las condiciones de los elementos que se encuentran en las zonas que podrían resultar afectadas.

En esta investigación, este enfoque se aplica mediante el análisis de dos componentes principales: la vulnerabilidad física y la vulnerabilidad social. La primera considera las características de las viviendas y las condiciones que pueden influir en su afectación frente a las

amenazas identificadas. La segunda toma en cuenta aspectos sociales que pueden influir en la preparación, la respuesta y la recuperación de los hogares.

Esta diferenciación permite comprender que la vulnerabilidad está formada por varios factores que no necesariamente presentan las mismas condiciones dentro de un territorio. Por ello, el estudio considera diferentes indicadores obtenidos durante el trabajo de campo, en lugar de representar la vulnerabilidad a partir de una sola característica.

2.3.7 Fundamentos de la vulnerabilidad física

La vulnerabilidad física está relacionada con las características constructivas y estructurales de los elementos expuestos, así como con las condiciones del terreno donde se encuentran. En el caso de las viviendas, aspectos como el sistema estructural, los materiales de construcción, el estado de conservación, el número de pisos y la antigüedad de la edificación pueden influir en el nivel de afectación ante una amenaza. De igual manera, las características del terreno donde se ubican pueden aumentar o disminuir su exposición frente a determinados fenómenos naturales.

El enfoque metodológico utilizado en esta investigación se fundamenta en la adaptación de la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), mediante la cual se asignan valores a distintas características de las viviendas para obtener un índice de vulnerabilidad física (PNUD, 2016). Este procedimiento permite transformar características cualitativas observadas durante el trabajo de campo en valores comparables que posteriormente, pueden ser integrados espacialmente.

En este sentido, la evaluación de las viviendas considera características relacionadas con los materiales de muros, cubiertas y cimentación, el sistema estructural, el estado de

conservación, la configuración de la vivienda, el número de pisos, la antigüedad y las condiciones topográficas y del suelo en el que se encuentra emplazada.

La utilización de estos indicadores responde a la necesidad de analizar la capacidad relativa de las viviendas frente a diferentes amenazas. Una vivienda puede presentar diferentes condiciones de vulnerabilidad según el tipo de amenaza al que se encuentre expuesta. Por ejemplo, sus características pueden influir de una manera frente a las inundaciones y de otra frente a los movimientos en masa o la caída de ceniza. Por esta razón, en la investigación se obtienen índices de vulnerabilidad física para cada amenaza y, posteriormente, se integran los resultados para representar la vulnerabilidad física multiamenaza.

Los datos recopilados mediante las fichas técnicas de evaluación de viviendas se procesan cuantitativamente y luego se representan en el espacio mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Para ello, se utiliza la interpolación Kriging, que permite generar superficies continuas a partir de los valores obtenidos en los puntos evaluados en campo. De esta manera, se puede observar cómo se distribuye la vulnerabilidad física en los sectores estudiados y relacionar estos resultados con las capas de amenaza.

2.3.8 Fundamentos de la vulnerabilidad social

La vulnerabilidad social se relaciona con las condiciones socioeconómicas, demográficas y organizativas que pueden influir en la capacidad de una población para anticipar, enfrentar y recuperarse de un evento adverso. Su análisis permite complementar la evaluación física, debido a que las características de las personas y hogares también pueden determinar diferencias en la forma en que una amenaza afecta a una comunidad.

Cutter et al. (2003) desarrollaron el Social Vulnerability Index (SoVI) como una aproximación para analizar espacialmente la vulnerabilidad social mediante la integración de

diferentes variables. La vulnerabilidad social está relacionada con varios aspectos de la población. No se puede determinar a partir de una sola característica, ya que también depende de las condiciones sociales y demográficas que pueden facilitar o dificultar la respuesta de una comunidad frente a una amenaza.

Para esta investigación se tomó como referencia el enfoque SoVI, adaptándolo a las características de Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa. En su aplicación se incluyeron variables como el nivel educativo, la percepción del riesgo, la organización comunitaria y el acceso a servicios básicos. Estos aspectos se seleccionaron de acuerdo con la información obtenida durante el trabajo de campo y las características de los habitantes de los sectores estudiados.

Como referencia, Bazo Zambrano (2022) comparó diferentes métodos para evaluar la vulnerabilidad social en comunidades ecuatorianas expuestas a inundaciones. En su estudio destaca que es necesario considerar varias variables sociales y utilizar métodos de análisis y ponderación para conocer los niveles de vulnerabilidad de una población. Este estudio sirve como referencia para comprender las diferencias que pueden existir entre los hogares de una misma zona en cuanto a sus condiciones sociales.

La información utilizada para esta dimensión se obtuvo mediante encuestas aplicadas a los hogares y posteriormente fue codificada y procesada para obtener índices comparables. Los valores se expresan en una escala común que permite representar espacialmente las diferencias existentes entre los hogares y posteriormente relacionarlas con las áreas de amenaza.

Desde este enfoque, la vulnerabilidad social complementa el análisis de la vulnerabilidad física, ya que ambas permiten evaluar diferentes condiciones de la población y las viviendas. Al considerar estos dos aspectos, es posible comprender mejor los factores que influyen en el nivel de riesgo de los sectores estudiados.

2.3.9 Índices y modelación integrada del riesgo

La utilización de índices constituye una herramienta para sintetizar múltiples variables en un valor que facilite la comparación entre unidades territoriales. En una investigación de carácter multiamenaza, este procedimiento permite transformar información física, ambiental y social de diferente naturaleza en indicadores que pueden ser integrados mediante procedimientos matemáticos y espaciales.

En el análisis de amenazas, la presente investigación utiliza procedimientos de normalización para transformar las variables originales a una escala común de 0 a 1. Esta transformación permite comparar variables expresadas en diferentes unidades y posteriormente integrarlas mediante ponderaciones. En determinadas variables se aplican funciones seno y coseno, de acuerdo con el método establecido para el modelamiento. Después de este procedimiento, los factores se combinan mediante una ponderación que asigna un porcentaje de importancia a cada uno, considerando su influencia en el fenómeno que se analiza. Para la amenaza por inundación se otorga mayor peso a la saturación y permeabilidad, mientras que para los movimientos en masa se asigna mayor importancia a la pendiente y precipitación, de acuerdo con los criterios metodológicos empleados en la investigación y los lineamientos de la Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos (2019).

Un procedimiento similar se aplica a la vulnerabilidad. La información obtenida de las viviendas y los indicadores sociales se procesa y se convierte en valores que permiten calcular los índices de vulnerabilidad física y social. Luego, estos resultados se representan mediante herramientas SIG para conocer cómo se distribuyen las condiciones de vulnerabilidad en los sectores estudiados.

La integración de los componentes de amenaza y vulnerabilidad constituye la base para la construcción de los mapas de riesgo. En esta investigación se adopta la relación matemática:

$$R = A \times V$$

donde R representa el riesgo, A la amenaza y V la vulnerabilidad.

Esta relación permite representar que el nivel de riesgo aumenta cuando coinciden mayores condiciones de amenaza con mayores niveles de vulnerabilidad. Por tanto, una zona con amenaza elevada no necesariamente presentará el mismo nivel de riesgo que otra zona con características de vulnerabilidad diferentes.

El enfoque utilizado se encuentra relacionado con el planteamiento de Cardona et al. (2012), quienes reconocen la interacción entre los componentes que determinan el riesgo. En consecuencia, la construcción de los mapas de riesgo de esta investigación no se limita a superponer cartografía, sino que busca integrar espacialmente los resultados obtenidos en las fases de amenaza y vulnerabilidad.

2.3.10 Sistemas de Información Geográfica aplicados al análisis del riesgo

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una herramienta importante para esta investigación, ya que permiten combinar información espacial de distintas fuentes y representar cómo se distribuyen las amenazas y las condiciones de vulnerabilidad en el territorio.

Mediante estas herramientas es posible trabajar con información topográfica, hidrológica, ambiental, territorial y social dentro de un mismo análisis. Rodríguez Galeano et al. (2012) destacan que los SIG facilitan la integración de diferentes variables espaciales, lo que permite estudiar las características de un territorio y resulta útil en investigaciones relacionadas con la gestión del riesgo.

En la presente investigación, el SIG permite procesar un Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR RTC de 12,5 metros y generar productos derivados como pendiente, curvatura y dirección de flujo. Estas capas son posteriormente combinadas con información de precipitación, cobertura y uso del suelo, red hídrica, vías y otras variables utilizadas para el modelamiento de las amenazas.

El uso de SIG también permite realizar operaciones de normalización, reclasificación, ponderación, álgebra de mapas y análisis de distancia. En el caso de la caída de ceniza, por ejemplo, se utiliza el análisis de buffer para delimitar las áreas de influencia establecidas a partir del mapa de peligro volcánico del IG-EPN (2023).

Para la vulnerabilidad, las herramientas SIG permiten incorporar los puntos correspondientes a las viviendas evaluadas en campo y representar espacialmente los índices obtenidos. La utilización de técnicas de interpolación, como Kriging, permite generar superficies continuas que facilitan la comparación entre la distribución de la vulnerabilidad y las zonas de amenaza.

De esta manera, los SIG permiten integrar la información recopilada durante la investigación y relacionar los diferentes resultados en una misma representación territorial. Esto es importante para los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa, ya que la elaboración de mapas detallados facilita la identificación de las zonas que necesitan mayor atención y pueden requerir medidas de planificación y reducción del riesgo

2.3.11 Integración de las bases teóricas en la investigación

Las bases teóricas presentadas permiten relacionar los conceptos científicos con los procedimientos utilizados en esta investigación. La teoría del riesgo de desastres constituye el punto de partida para comprender que el nivel de riesgo está relacionado con la interacción entre

las amenazas y las condiciones de vulnerabilidad presentes en el territorio. A partir de esta concepción, el análisis se divide en tres componentes principales: identificación de amenazas, evaluación de vulnerabilidad e integración espacial del riesgo.

El análisis de amenazas se sustenta en el enfoque de susceptibilidad y en la consideración de múltiples factores condicionantes. En el caso de las inundaciones se incorporan variables relacionadas con las condiciones del suelo, topografía, acumulación, cobertura y precipitación; para los movimientos en masa se consideran pendiente, precipitación, cobertura, ríos y vías; mientras que para la caída de ceniza se utiliza la información oficial del peligro volcánico del Tungurahua.

La evaluación de la vulnerabilidad se fundamenta en una perspectiva multidimensional. La vulnerabilidad física se analiza mediante características constructivas, estructurales y territoriales de las viviendas, siguiendo una adaptación de la metodología del PNUD (2016). La vulnerabilidad social se aborda mediante una adaptación del SoVI de Cutter et al. (2003), incorporando variables relacionadas con las condiciones sociales y la capacidad de los hogares para enfrentar situaciones adversas.

Finalmente, los Sistemas de Información Geográfica permiten integrar estos componentes en el espacio mediante procedimientos de normalización, ponderación, álgebra de mapas e interpolación. De esta forma, la investigación articula el fundamento teórico con el procedimiento metodológico para obtener mapas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo en los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa.

En consecuencia, las bases teóricas sustentan la investigación desde una perspectiva integral del riesgo, en la cual las características naturales del territorio y las condiciones sociales y físicas de la población son analizadas conjuntamente. Esta articulación permite generar

información territorial que sirve como fundamento para la identificación de los niveles de riesgo y para la posterior formulación de medidas de mitigación acordes con las condiciones particulares de los sectores estudiados

2.4 Legal

Esta investigación se basa en un marco normativo que, en su conjunto, evidencia la preocupación persistente del gobierno ecuatoriano por anticiparse a los desastres antes de que ocurran. No es un capricho legislativo, sino una respuesta institucional a la complicada geografía del país y a los sucesos desfavorables que han influido en su progreso. Entender este marco jurídico es fundamental, ya que de él se derivan las responsabilidades, las competencias y, principalmente, la necesidad de generar conocimiento técnico que guía la toma de decisiones en el territorio.

Este edificio de normas tiene como fundamento la (Constitución de la República del Ecuador, 2008). El artículo 388 es directo y explícito: el Estado está obligado a proteger a la gente, las comunidades y la naturaleza de los impactos de los cataclismos,

La Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres (Asamblea Nacional del Ecuador, 2024) es el marco legal que desarrolla este, definiendo las competencias de las entidades públicas y estableciendo los procedimientos para prevenir, disminuir y gestionar los desastres. La gestión del riesgo requiere información que permita conocer las condiciones de cada territorio y reconocer los factores que pueden generar afectaciones en la población. Para orientar las acciones de gestión del riesgo, es necesario contar con información que permita conocer las condiciones del territorio y reconocer los lugares que presentan mayores problemas. En este sentido, los estudios de vulnerabilidad, junto con los mapas de susceptibilidad y riesgo, constituyen herramientas de apoyo para identificar las zonas que necesitan intervención. La

información obtenida puede servir a las autoridades para establecer medidas preventivas, orientar el uso y la planificación del suelo, y tomar decisiones acordes con las disposiciones de la normativa vigente.

La aplicación de estas disposiciones no es responsabilidad exclusiva del Gobierno central, sino que también involucra a otros niveles de gobierno. El Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) (Presidencia de la República del Ecuador, 2010) confiere a los gobiernos autónomos descentralizados, que incluyen los GAD parroquiales, la responsabilidad de integrar la gestión del riesgo en sus planes de desarrollo y en su organización territorial. Esta disposición es importante para Yanayacu, ya que otorga un valor específico a los resultados de esta investigación: los análisis y mapas producidos pueden utilizarse directamente en el PDOT parroquial. En otras palabras, es una conexión entre la gestión local y la academia; es una oportunidad para que los datos técnicos vayan más allá del entorno universitario y se transformen

Conforme a este marco, el Eje 3 "Sostenibilidad y resiliencia" del Plan Nacional de Desarrollo 2021-2025 (Secretaría Nacional de Planificación (SENPLADES), 2021)tiene como propósito estratégico disminuir las vulnerabilidades ante los desastres naturales y el cambio climático. Esta no es una pieza independiente, sino que está conectada de forma natural con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular con el ODS 11, cuyo objetivo es lograr asentamientos humanos y comunidades sostenibles, resilientes y seguras. Por lo tanto, la investigación se sitúa en una línea de pensamiento y acción que va más allá de las

Finalmente, todos estos instrumentos se organizan bajo el paraguas conceptual del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 (Naciones Unidas (UNDRR), 2015). El énfasis que pone en entender el riesgo como fundamento de la prevención y la toma de

decisiones se refleja en todos los niveles normativos citados. Las disposiciones revisadas muestran que los instrumentos legales y de planificación, desde la Constitución hasta el PDOT parroquial, coinciden en la necesidad de disponer de información técnica para prevenir y reducir los riesgos. En este sentido, los resultados obtenidos en Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa permiten conocer las amenazas y las condiciones de vulnerabilidad de estos sectores. Esta información puede ser tomada como referencia para la planificación territorial y para las decisiones que se adopten en la parroquia Yanayacu.

2.5 Conceptual

Amenaza Natural: "Un proceso o fenómeno natural que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos en la salud, así como daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales." (Naciones Unidas, 2009).

Exposición: "Inventario y localización de personas, bienes y sistemas en áreas susceptibles de ser afectadas por una amenaza." (Cardona y otros, 2012).

Evaluación del riesgo: "Metodología para determinar la naturaleza y el grado de riesgo mediante el análisis de amenazas potenciales y la evaluación de condicionantes de vulnerabilidad que pudieran representar una amenaza potencial o causar daño a la población, las propiedades, los medios de subsistencia y al ambiente del cual dependen." (DIPECHO LAC, 2022).

Vulnerabilidad: "Conjunto de condiciones físicas, sociales, económicas e institucionales que aumentan la propensión a sufrir daños." (Cardona y otros, 2012)

Vulnerabilidad física: "Características y circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza" (Naciones Unidas, 2009).

Vulnerabilidad social: “Es un componente clave de la ecuación del riesgo que se utiliza para comprender y predecir las consecuencias de los desastres y apoyar el desarrollo mejorando la gestión de desastres.” (Adamo y otros, 2022).

Susceptibilidad: “Propensión del terreno a experimentar deslizamientos bajo condiciones desencadenantes (pendiente, litología, cobertura vegetal).” (Yamagishi, 2005).

Riesgo: “La combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas” (Naciones Unidas, 2009).

Resiliencia: “Capacidad de un sistema o comunidad para anticipar, absorber, adaptarse y recuperarse de los efectos de una amenaza.” (UNDRR / UNISDR).

Mapa de susceptibilidad/riesgo: “Representación cartográfica que clasifica el territorio según la probabilidad (susceptibilidad) y la combinación A×V×E (riesgo), usada para priorizar acciones.” (Puente Sotomayor y otros, 2021).

Índice de Vulnerabilidad (IV): “Medida compuesta que sintetiza indicadores físicos y sociales mediante procedimientos estadísticos (PCA) o ponderación experta (AHP) para comparar unidades territoriales.” (Adamo y otros, 2022)

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo de Investigación

El presente estudio se enfoca en una investigación mixta, ya que genera información directamente útil para la gestión del riesgo en los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa, pertenecientes a la parroquia de Yanayacu, cantón Quero. Asimismo, es descriptiva, pues caracteriza los componentes de amenaza, vulnerabilidad y exposición presentes en el territorio, y, a la vez, explicativa, ya que analiza cómo interactúan estos factores para producir escenarios de riesgo. Tal como señalan (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018), los estudios descriptivos y explicativos permiten caracterizar los fenómenos estudiados y analizar las relaciones existentes entre sus componentes dentro de un contexto determinado.

3.2 Enfoque de la investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, debido a que integra información cuantitativa y cualitativa para el análisis de los riesgos naturales en los sectores Mochapata y Yanayacu – La Dolorosa. El enfoque cuantitativo se relaciona con la recopilación y procesamiento de datos obtenidos mediante encuestas, información cartográfica y variables empleadas para el análisis de las amenazas, la vulnerabilidad y el riesgo. El enfoque cualitativo se incorpora mediante la observación directa y el trabajo de campo, a partir de los cuales se identificaron características y condiciones físicas y sociales de los sectores de estudio.

Para el desarrollo de la investigación se utilizó información primaria y secundaria. La información primaria fue obtenida mediante encuestas y trabajo de campo, mientras que la información secundaria correspondió a información cartográfica y datos proporcionados por instituciones relacionadas con el territorio y la gestión del riesgo.

El análisis de las amenazas naturales se realizó mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y considerando las metodologías y fuentes de información seleccionadas para cada caso. Se analizaron de manera independiente las amenazas por inundación, deslizamiento y caída de ceniza volcánica, tomando en cuenta las características y variables correspondientes a cada una.

La vulnerabilidad se evaluó considerando sus componentes físico y social. Para la vulnerabilidad física se tomó como referencia la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), mientras que para la vulnerabilidad social se utilizó la metodología SoVI (Social Vulnerability Index), propuesta por Cutter et al. (2003). Posteriormente, la estimación del riesgo se realizó mediante la relación entre los niveles de amenaza y vulnerabilidad correspondientes a cada amenaza analizada.

De esta manera, el enfoque mixto permitió integrar los datos obtenidos mediante las diferentes técnicas e instrumentos utilizados durante la investigación y complementarlos con la información territorial procesada mediante herramientas SIG. El procedimiento detallado para la caracterización de cada amenaza, la evaluación de las vulnerabilidades y la estimación del riesgo se presenta en los apartados metodológicos correspondientes.

3.3 Métodos de Investigación

3.3.1 Métodos Cuantitativos

Métodos estadísticos: análisis de frecuencias, medidas de tendencia central, categorización de variables, construcción de escalas de vulnerabilidad social (So VI) y de vulnerabilidad física (PNUD).

Método Geoespacial: mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), permite generar capas temáticas, modelos digitales del terreno, mapas de amenaza y mapas de riesgo.

Siguiendo a (Rodríguez Galeano y otros, 2012), estos métodos permiten integrar variables físicas, sociales y ambientales en un análisis espacial coherente.

Método de Modelación Multivariable: aplicación de métodos como Frecuencia Relativa (FR), análisis estructural y ponderaciones para estimar la susceptibilidad a eventos naturales.

3.3.2 Métodos Cualitativos

Método interpretativo: realizado con los líderes comunitarios de ambos sectores, quienes aportaron información clave sobre antecedentes de amenazas, zonas críticas y prácticas de respuesta.

Visita de campo: se realizó mediante recorridos en los sectores de estudio para observar las condiciones de las viviendas, identificar posibles signos de vulnerabilidad y verificar la presencia de elementos expuestos a las amenazas naturales.

3.4 Técnicas e Instrumentos de Recopilación de Datos

Objetivo 1: Identificar las principales amenazas naturales presentes en los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa

Para cumplir con este objetivo, se utilizaron técnicas de revisión documental y trabajo de campo. En primer lugar, se recopilaron y revisaron informes técnicos, cartografía base del Instituto Geográfico Militar (IGM) y documentos de planificación territorial, como el PDOT de la parroquia Yanayacu (GAD Parroquial Rural de Yanayacu, 2023).

Esta revisión permitió reconocer los fenómenos naturales que presentan antecedentes en la zona y recopilar información sobre eventos adversos registrados anteriormente. Posteriormente, la información obtenida sirvió como referencia para el análisis de las amenazas identificadas en los sectores de estudio.

Posteriormente se realizó el análisis geoespacial mediante el software ArcGIS. Sobre la base de un Modelo Digital de Elevación (MDE) obtenido del producto ALOS PALSAR RTC de 12.5 metros descargado del portal de la Alaska Satellite Facility (EarthData - Alaska Satellite Facility, s.f.). A partir de este modelo se generaron capas temáticas de pendiente, curvatura del terreno y dirección de flujo. Estas capas se combinaron con información de cobertura vegetal, tipos de suelo, red hídrica y vías de acceso para el modelamiento de las amenazas por inundación y deslizamiento, siguiendo la metodología de la (Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos, 2019).

Para la amenaza por caída de ceniza, el procedimiento fue distinto. Se utilizaron los mapas de peligro volcánico del (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional , 2023), sobre los cuales se aplicó un análisis de buffer para delimitar las áreas de influencia sobre los sectores de estudio. Las variables consideradas para la amenaza (saturación, permeabilidad, pendiente, cobertura, precipitación, ríos y vías) fueron estandarizadas mediante funciones trigonométricas (seno y coseno) para normalizarlas en un rango de 0 a 1.

La verificación en campo fue el paso que le dio consistencia a todo lo anterior. Con un GPS diferencial, georreferenciamos los puntos de interés identificados en el análisis de gabinete: zonas con evidencia de inundaciones pasadas, laderas con signos de inestabilidad, y áreas donde se reportó caída de ceniza en eventos eruptivos anteriores (Diario El Comercio, 2015); (Diario El Universo, 2011).

Durante las visitas de campo se tomaron fotografías y se realizaron observaciones sobre las características del terreno, la cobertura vegetal y las modificaciones realizadas por las personas. Esta información permitió comparar los resultados obtenidos mediante los SIG con las condiciones encontradas en los sectores estudiados. Además, sirvió para revisar la delimitación

de las zonas de amenaza cuando se identificaron diferencias entre la información cartográfica y lo observado en el territorio.

Tabla 2 Fuentes de información para el modelamiento de amenazas

Variable	Fuente	Descripción
Modelo Digital de Elevación (MDE)	Alaska Satellite Facility (ASF) - NASA	Producto ALOS PALSAR RTC de 12.5 metros de resolución. Descargado del portal ASF Data Search (Alaska Satellite Facility, s.f.)
Precipitación	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)	Datos de precipitación media anual de estaciones cercanas a la zona de estudio
Cobertura y uso del suelo	Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) / SIGTIERRAS	Mapa de cobertura y uso del suelo del Ecuador, escala 1:25.000
Ríos y drenajes	GAD Municipal Quero	Cartografía base del IGM, escala 1:50.000
Vías de acceso	GAD Municipal Quero	Cartografía base del IGM, escala 1:50.000
Mapa de peligro volcánico	Instituto Geofísico (IG-EPN)	Mapa de peligro volcánico del volcán Tungurahua (Instituto Geofísico, 2023)
Límites parroquiales	GAD Municipal Quero	Límites administrativos del cantón Quero

Nota: La tabla detalla las fuentes oficiales utilizadas para cada variable del modelo de amenaza. El MDE proviene del producto ALOS PALSAR RTC de la NASA (ASF, s.f.); los datos de precipitación del INAMHI; la cobertura y uso del suelo del MAG/SIGTIERRAS; la cartografía base del GAD Municipal de Quero; y el mapa de peligro volcánico del (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional , 2023)*. Todas las capas fueron procesadas en ArcGIS con el sistema de referencia Sirgas 2000 UTM zona 17 S. Elaboración propia.*

Los instrumentos que se utilizaron fueron:

- GPS para georreferenciación de puntos de interés
- Modelos Digitales de Elevación (MDE) del producto ALOS PALSAR RTC
- Cartografía base del IGM
- Cámara fotográfica para registro de campo
- Software ArcGIS para análisis geoespacial

La amenaza se determinó siguiendo los lineamientos de la Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE), los cuales establecen propuestas metodológicas para el análisis de amenaza ante

inundaciones y movimientos en masa en Ecuador continental (Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos, 2019)

3.4.1 Amenaza por inundación

3.4.1.1 Variables Consideradas

Para la determinación de la amenaza a inundación se emplearon las siguientes variables, cada una con un peso específico dentro del modelo:

Saturación del suelo: variable que representa la capacidad del terreno para absorber agua. Se calculó mediante la relación entre la precipitación y la capacidad de infiltración del suelo.

Permeabilidad del suelo: relacionada con la capacidad de drenaje del suelo, considerando su textura y estructura del suelo.

Pendiente del terreno: Para su cálculo, se partió de un Modelo Digital de Terreno (MDT) obtenido a partir del archivo de elevación incluido en el producto de datos ALOS PALSAR RTC (Radiometric Terrain Correction) de 12.5 metros. Este producto fue descargado del portal de la Alaska Satellite Facility (ASF) de la NASA (EarthData - Alaska Satellite Facility, s.f.)

Zonas de acumulación: Identificación de depresiones topográficas y de áreas con baja pendiente donde el agua tiende a concentrarse, lo que incrementa la probabilidad de inundación.

Cobertura y uso del suelo: Se clasificaron las coberturas según su capacidad de retención y su influencia en la escorrentía, asignando valores numéricos a cada categoría: Bosque (1), Pasto (2), Agrícola (3), Urbano (4), Cuerpos de agua (5). Posteriormente, estos valores se normalizan entre 0 a 1 mediante la función seno para su integración en el modelo.

Precipitación: Se procesaron datos de precipitación media anual. Se normalizó utilizando la función seno para estandarizar los valores en un rango de 0 a 1.

3.4.1.2 Tratamiento y Normalización de Datos

Para garantizar la comparabilidad de las variables y su correcta integración en el modelo, se aplicaron los siguientes procedimientos:

Normalización por funciones trigonométricas: Las variables de permeabilidad, cobertura y precipitación fueron normalizadas utilizando la función seno, mientras que la saturación y la pendiente fueron normalizadas mediante la función coseno. Este enfoque permite obtener valores estandarizados en un rango de 0 a 1, manteniendo la relación proporcional entre los datos originales y su representación normalizada.

Las fórmulas utilizadas fueron:

Para las variables normalizadas con seno:

$$\sin = (\frac{\pi}{2}) \times (\frac{shp - valor_min}{valor_maximo - valor_min})$$

Para variables normalizadas con coseno:

$$\cos = (\frac{\pi}{2}) \times (\frac{shp - valor_min}{valor_maximo - valor_min})$$

3.4.1.3 Fórmula de Cálculo de la Amenaza

La amenaza por inundación se calculó mediante la siguiente expresión matemática, utilizando las ponderaciones establecidas en la metodología de referencia de la SNGR. Estas ponderaciones permiten dar mayor importancia a las variables que tienen mayor relación con la ocurrencia de inundaciones:

$$At = (saturación) \times 0{,}52 + (permeabilidad) \times 0{,}20 + (zonas\ de\ acumulación) \times 0{,}10 + (uso\ de\ suelo) \times 0{,}10 + (precipitación) \times 0{,}08$$

Donde:

- At: Amenaza total por inundación
- Saturación: Factor con mayor ponderación (52%), reflejando su importancia en la generación de escorrentía superficial
- Permeabilidad: Segundo factor en importancia (20%), determinante en la capacidad de infiltración del terreno
- Zonas de Acumulación: Representa el 10% de la ponderación total
- Uso del Suelo: Con el 10%, considerando la influencia antrópica en la dinámica hídrica
- Precipitación: Con el 8%, como desencadenante del proceso

La suma de las ponderaciones equivale al 100 %, lo que permite integrar las variables en un único valor de amenaza.

3.4.1.4 Clasificación de la Amenaza

Una vez obtenidos los valores de amenaza a través de la fórmula establecida, estos fueron clasificados en las siguientes categorías según los umbrales definidos por la SNGR:

Valores	Definición	Rango
Alta	Mayor probabilidad de ocurrencia del evento	0,67–1
Media	Probabilidad moderada de ocurrencia	0,34–0,66
Baja	Menor probabilidad de ocurrencia	0–0,33

3.4.2 Amenaza por deslizamiento

3.4.2.1 Variables Consideradas

Para la determinación de la amenaza por deslizamiento se emplearon las siguientes variables, cada una con un peso específico dentro del modelo:

Pendiente del terreno: factor determinante de la estabilidad de las laderas. A mayor pendiente, mayor probabilidad de deslizamiento. Para su cálculo, se partió de un Modelo Digital de Terreno (MDT) obtenido a partir del archivo de elevación incluido en el producto de datos ALOS PALSAR RTC (Radiometric Terrain Correction) de 12,5 metros. Este producto fue descargado del portal de la Alaska Satellite Facility (ASF) de la NASA (EarthData - Alaska Satellite Facility, s.f.). A partir de este MDT, se generó un shapefile de pendientes.

Precipitación: Las precipitaciones intensas incrementan la saturación del suelo y reducen su estabilidad. Se procesaron datos de precipitación media anual y se normalizaron mediante la función seno.

Cobertura y uso del suelo: Se clasificaron las coberturas según su influencia en la estabilidad del terreno, asignando valores numéricos a cada categoría: Páramo (1), Matorral/Arbustivo (2), Pastos (3), Agrícola (4), Cuerpos de agua (5). Estos valores fueron normalizados en un rango de 0 a 1 mediante la función seno para su integración en el modelo.

Ríos y drenajes: La cercanía a cuerpos de agua incrementa la probabilidad de deslizamientos por saturación del terreno. Se utilizó la distancia a los ríos, normalizada mediante la función coseno.

Vías de acceso: La construcción de vías puede cambiar la estabilidad de las laderas. Se utilizó la distancia a las vías, normalizada mediante la función coseno.

3.4.2.2 Tratamiento y Normalización de Datos

Para garantizar la comparabilidad de las variables y su correcta integración en el modelo, se aplicaron los siguientes procedimientos:

Normalización por funciones trigonométricas: Las variables de pendiente, precipitación y cobertura fueron normalizadas utilizando la función seno, mientras que las variables de ríos y vías fueron normalizadas mediante la función coseno. La normalización permitió llevar las diferentes variables a una misma escala de 0 a 1, para que pudieran ser integradas en las fórmulas de amenaza.

Las funciones seno y coseno fueron utilizadas de acuerdo con el procedimiento de normalización establecido en la metodología de referencia, con el propósito de transformar los valores originales a una escala común de 0 a 1.

Las fórmulas utilizadas fueron las mismas que para la amenaza por inundación.

3.4.2.3 Fórmula de Cálculo de la Amenaza

La amenaza por deslizamiento se calculó mediante la siguiente expresión matemática, con los pesos establecidos según la metodología SNGR:

$$At = (pendiente) \times 0{,}35 + (precipitación) \times 0{,}25 + (cobertura) \times 0{,}20 + (rios) \times 0{,}10 + (vias) \times 0{,}10$$

Donde:

- At: Amenaza total por deslizamiento
- Pendiente: Factor con mayor ponderación (35%), determinante en la estabilidad de laderas
- Precipitación: Segundo factor en importancia (25%), como desencadenante del proceso

- Cobertura: Con el 20%, considerando la influencia de la vegetación en la estabilidad
- Ríos: Representa el 10% de la ponderación total
- Vías: Con el 10%, considerando la influencia antrópica en la estabilidad del terreno

3.4.2.4 Clasificación de la Amenaza

Una vez obtenidos los valores de amenaza a través de la fórmula establecida, estos fueron clasificados en las siguientes categorías según los umbrales definidos por la SNGR:

Valores	Definición	Rango
Alta	Mayor probabilidad de ocurrencia del evento	0,67–1
Media	Probabilidad moderada de ocurrencia	0,34–0,66
Baja	Menor probabilidad de ocurrencia	0–0,33

3.4.3 Amenaza por Caída de Ceniza

3.4.3.1 Marco Metodológico de Referencia

La amenaza por caída de ceniza fue evaluada a partir del mapa de peligro volcánico del volcán Tungurahua, elaborado por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN). El IG-EPN es la entidad responsable del monitoreo y evaluación de la amenaza volcánica en el Ecuador, y sus mapas de amenaza constituyen un paso fundamental hacia la mitigación del riesgo para las comunidades vulnerables (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional , 2023).

3.4.3.2 Antecedentes de Afectación por Caída de Ceniza en la Zona de Estudio

La parroquia Yanayacu, donde se ubican los sectores Mochapata y Yanayacu - La Dolorosa, ha sido históricamente afectada por la caída de ceniza del volcán Tungurahua. Durante el proceso eruptivo del volcán, que se reactivó en abril de 2011, se reportaron afectaciones significativas en la zona. Según un reporte del diario (Diario El Comercio, 2015), la Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR) entregó 2.200 mascarillas en la comunidad de Yanayacu, cantón Quero, como parte de un total de 7.100 mascarillas distribuidas en la zona, debido a la caída de ceniza del volcán Tungurahua (Diario El Comercio, 2015).

Adicionalmente, un reporte periodístico de (Diario El Universo, 2011)) documenta los impactos de la caída de ceniza en la parroquia Yanayacu. Adán Gavilanes, habitante de la zona, manifestó que ante la falta de comida por la contaminación de la yerba, muchos cuyes y conejos se han muerto, así como tuvieron problemas para la alimentación del ganado. También se reportó que las plantaciones de papas no se recuperaron debido a la gran cantidad de ceniza que cayó, lo que provocó la pérdida de los cultivos. Estos antecedentes históricos justifican la necesidad de evaluar la amenaza por caída de ceniza en los sectores de estudio.

3.4.3.3 Procesamiento del Mapa de Peligro Volcánico

A partir del mapa de peligro volcánico del Tungurahua proporcionado por el IG-EPN, se delimitaron las áreas de influencia de la caída de ceniza. Para ello, se aplicó la siguiente metodología:

- **Identificación de las zonas de afectación:** Se identificaron las áreas clasificadas en el mapa de peligro volcánico como potencialmente afectadas por la caída de ceniza.

- **Generación de buffers:** Se generaron dos buffers concéntricos a partir del área con mayor probabilidad de afectación, considerando la dirección predominante del viento en la zona. Estos buffers permitieron establecer dos categorías de amenaza:
    - Ceniza_Alto_Impacto: Zona de mayor afectación, correspondiente al buffer más cercano al volcán.
    - Ceniza_Impacto_significativo: Zona de afectación intermedia, correspondiente al buffer más alejado.
- **Asignación de valores de amenaza:** Para incorporar las categorías de afectación por caída de ceniza al modelo de amenaza, se asignaron valores numéricos en una escala de 0 a 1, de acuerdo con el nivel de impacto de cada categoría. Se consideró una mayor valoración para las zonas clasificadas con mayor nivel de afectación y una menor valoración para aquellas con afectación significativa, pero de menor intensidad:
    - Para la categoría Ceniza_Alto_Impacto se asignó un valor de 0.7, debido a que representa las zonas con el mayor nivel de afectación identificado en el área de estudio.
    - Para la categoría Ceniza_Impacto_significativo se asignó un valor de 0.2, al representar zonas con un nivel de afectación menor respecto a la categoría anterior.

3.4.3.4 Clasificación de la Amenaza

Los valores de amenaza por caída de ceniza se clasificaron en las siguientes categorías para su representación cartográfica:

- **Ceniza_Alto_Impacto:** 0.7 (mayor probabilidad de afectación)
- **Ceniza_Impacto_significativo:** 0.2 (afectación moderada)

3.4.4 Determinación de la Vulnerabilidad

3.4.4.1 Enfoque Metodológico: Adaptación del Índice de Vulnerabilidad del PNUD

La vulnerabilidad fue evaluada mediante una adaptación de la metodología propuesta por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) para el cálculo de índices de vulnerabilidad. Esta metodología ha sido ampliamente utilizada en el contexto latinoamericano y ecuatoriano para la evaluación de riesgos y la planificación territorial (PNUD, 2016).

El enfoque del PNUD para la medición de la vulnerabilidad considera que esta es el resultado de la interacción entre las condiciones de vida de la población, el acceso a servicios básicos y las características de la vivienda (PNUD, 2016). Este enfoque permite cuantificar la vulnerabilidad a partir de variables demográficas y de infraestructura que influyen en la capacidad de preparación, respuesta y recuperación de una comunidad frente a eventos adversos.

Para el cálculo del índice de vulnerabilidad, se asignaron puntuaciones a cada variable según su influencia en la vulnerabilidad total, siguiendo los criterios establecidos en la metodología del PNUD (PNUD, 2016). Estas puntuaciones fueron procesadas en una hoja de cálculo de Excel, donde se calculó el índice de vulnerabilidad para cada vivienda. Revisar Anexo 3 y Anexo 4.

3.4.4.2 Interpolación Espacial - Kriging

Para generar una superficie continua de vulnerabilidad que cubra todo el territorio de los sectores de estudio, se aplicó el método de interpolación de Kriging a partir de los puntos de vulnerabilidad asignados a cada vivienda. El Kriging es una técnica geoestadística que permite estimar valores en lugares donde no se cuenta con datos, tomando como referencia los valores de los puntos cercanos. En este caso, los valores de vulnerabilidad fueron asignados previamente y

se utilizó este método para interpolarlos y obtener una superficie que represente su distribución en los sectores de estudio.

Mediante este proceso se obtuvo una capa espacial (shapefile) que permitió representar la vulnerabilidad en el área de estudio y utilizarla posteriormente para realizar el análisis de amenaza por vulnerabilidad.

Antes de realizar la interpolación, se consideró la distribución espacial de los puntos evaluados, para determinar la posibilidad de representar la vulnerabilidad mediante una superficie continua.

3.4.5 Determinación del Riesgo

El riesgo fue calculado mediante la multiplicación de los valores normalizados de amenaza y vulnerabilidad, según la expresión:

$$Riesgo = Amenaza \times Vulnerabilidad$$

Donde ambos factores se encuentran en una escala normalizada de 0 a 1, lo que permite obtener un valor de riesgo que refleja la combinación de la probabilidad de ocurrencia del evento (amenaza) y la susceptibilidad de la población y la infraestructura a ser afectadas (vulnerabilidad).

Los valores de riesgo obtenidos fueron clasificados en cinco categorías para facilitar su interpretación y aplicación en la planificación territorial:

- Muy Bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy Alto

Esta clasificación permite identificar las zonas en las que la combinación de una alta amenaza y una alta vulnerabilidad genera niveles de riesgo, orientando las medidas de intervención hacia las áreas de mayor prioridad.

El riesgo se determinó de manera independiente para cada amenaza identificada, multiplicando el valor de la amenaza por el de la vulnerabilidad correspondiente. De esta manera, se obtuvieron mapas de riesgo de inundación, de deslizamiento y de caída de ceniza.

Objetivo 2: Evaluar la vulnerabilidad físico-social de la población expuesta

3.4.6 Vulnerabilidad Social

3.4.6.1 Enfoque Metodológico: Adaptación del SoVI

La vulnerabilidad social fue evaluada mediante una adaptación del método SoVI (Social Vulnerability Index) propuesto por (Cutter y otros, 2003) y ampliamente documentado en la literatura especializada. Para estudiar la vulnerabilidad social, se consideran aspectos relacionados con la situación económica, la composición demográfica y las condiciones de vida de los habitantes. La revisión de estos factores permite conocer las características de cada comunidad y analizar cómo pueden influir en los recursos y capacidades de las personas para prepararse ante una emergencia, actuar durante su ocurrencia y recuperarse de sus efectos.

3.4.6.2 Recolección de Información Primaria

El levantamiento de información en los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa se llevó a cabo mediante encuestas estructuradas aplicadas a sus habitantes. Las respuestas se ingresaron en un formulario digital creado en KoboToolbox, herramienta que permitió reunir los datos en un mismo medio y mantener un registro organizado de cada encuesta. Durante el trabajo de campo, también fue posible comprobar la información ingresada y corregir posibles errores antes de continuar con su procesamiento y análisis.

La encuesta se organizó en seis bloques temáticos: (1) datos generales del hogar, (2) nivel educativo y acceso a información, (3) percepción del riesgo y conocimiento de medidas de autoprotección, (4) organización comunitaria y participación, (5) acceso a servicios básicos, y (6) medios de vida y prácticas productivas.

La información recolectada permitió caracterizar las siguientes dimensiones de la vulnerabilidad, considerando los lineamientos del SoVI:

- Condiciones de la vivienda: tipo de material de construcción, estado de la infraestructura, tipo de techo
- Acceso a servicios básicos: disponibilidad de agua potable, alcantarillado, energía eléctrica
- Características socioeconómicas: nivel de ingresos, actividad económica principal, nivel educativo
- Estructura familiar: número de miembros por hogar, presencia de adultos mayores o menores de edad
- Capacidad organizativa: nivel de participación comunitaria, conocimiento sobre riesgos y medidas de autoprotección
- Salud y condiciones especiales: presencia de personas con enfermedades crónicas o discapacidades

3.4.6.3 Ponderación y Asignación de Valores

A cada vivienda identificada en campo se le asignó un valor numérico que refleja su nivel de vulnerabilidad, considerando la combinación de los factores mencionados. Para este análisis se tomó como referencia el enfoque de ponderación de variables de la metodología SoVI, con adaptaciones a las características de los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa. Los

valores obtenidos se normalizaron en una escala de 0 a 1, en la que 0 corresponde al menor nivel de vulnerabilidad y 1 al mayor.

3.4.7 Vulnerabilidad Física

3.4.7.1 Enfoque Metodológico: Adaptación del Índice de Vulnerabilidad del PNUD

La vulnerabilidad física fue evaluada mediante una adaptación de la metodología propuesta por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) para el cálculo de índices de vulnerabilidad. Esta metodología ha sido ampliamente utilizada en el contexto latinoamericano y ecuatoriano para la evaluación de riesgos y la planificación territorial (Secretaría de Gestión de Riesgo, 2011).

El enfoque del PNUD para la medición de la vulnerabilidad considera que esta es el resultado de la interacción entre las condiciones de vida de la población, el acceso a servicios básicos, las características de la vivienda y la capacidad de las comunidades para enfrentar y recuperarse de eventos adversos (PNUD, 2016). Este enfoque permite evaluar la vulnerabilidad mediante variables socioeconómicas, demográficas y relacionadas con la infraestructura, las cuales pueden influir en la capacidad de una comunidad para prepararse, responder y recuperarse ante eventos adversos.

3.4.7.2 Recolección de Información Primaria

Para recopilar información sobre las condiciones físicas de las viviendas, se realizaron visitas de campo en los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa. Durante estas visitas se aplicaron fichas técnicas de evaluación de viviendas mediante la plataforma KoboToolbox. Este instrumento permitió registrar de forma ordenada las características estructurales y constructivas de cada edificación.

Los campos de la ficha incluyeron:

- Sistema estructural
- Tipo de material en paredes y cubierta
- Sistema de entrepisos
- Número de pisos
- Año aproximado de construcción
- Estado de conservación
- Características del suelo bajo la edificación
- Topografía del sitio

3.4.7.3 Forma de la construcción

Además, se evaluaron signos de vulnerabilidad específicos como presencia de humedad, fisuras en muros, inclinación de la vivienda, y su ubicación en relación con la topografía del sitio.

3.4.7.4 Ponderación y Asignación de Valores

Cada uno de los indicadores de la ficha técnica fue ponderado de acuerdo con su relevancia para cada tipo de amenaza (inundación, deslizamiento y caída de ceniza), siguiendo los criterios de la metodología del PNUD (PNUD, 2016) y los lineamientos de (Cardona O. M., 2012).

A cada vivienda se le asignaron tres índices de vulnerabilidad física (uno por cada tipo de amenaza), los cuales fueron normalizados en un rango de 0 a 1, donde 0 representa la menor vulnerabilidad y 1 la mayor vulnerabilidad.

Estas puntuaciones fueron procesadas en una hoja de cálculo Excel, donde se calcularon los índices de vulnerabilidad para cada vivienda.

Objetivo 3: Proponer medidas de mitigación en función del análisis de riesgo

3.4.8 Análisis de Información

Para la formulación de medidas de mitigación, se emplearon técnicas de análisis y síntesis de la información generada en los objetivos anteriores.

3.4.8.1 Técnicas de Investigación

Sistematización de resultados: Todos los resultados cartográficos y de vulnerabilidad fueron organizados en matrices que permitieron visualizar de manera integrada las zonas de mayor riesgo.

Revisión de literatura técnica especializada: Se priorizaron documentos como el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (Naciones Unidas (UNDRR), 2015), los lineamientos del (PNUD, 2016), y las guías de la (Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos, 2019). Esta revisión permitió recopilar diferentes medidas estructurales y no estructurales que pueden aplicarse en comunidades rurales de la región andina.

3.4.8.2 Técnicas de campo

Validación con líderes comunitarios: Las medidas propuestas se revisaron inicialmente mediante reuniones con líderes comunitarios. Durante estos encuentros se intercambiaron opiniones y se recogieron sugerencias para adaptar las recomendaciones a las condiciones y posibilidades de los sectores estudiados, considerando también su aplicación en la práctica. Las observaciones de los líderes fueron incorporadas en la versión final de las propuestas.

Instrumentos:

- Matrices de sistematización de resultados
- Revisión documental de literatura técnica especializada
- Reuniones de validación con líderes comunitarios
- Las medidas fueron clasificadas en:

- Estructurales: obras de infraestructura, drenajes, estabilización de taludes
- No estructurales: capacitación, simulacros, sistemas de alerta temprana, educación ambiental

3.5 Universo, Población y Muestra

3.5.1 Universo

El universo de la investigación está constituido por todas las viviendas ubicadas dentro del polígono de afectación identificado por el mapa de amenazas en los sectores Mochapata y Yanayacu-La Dolorosa, pertenecientes a la parroquia Yanayacu.

La delimitación del universo se realizó a partir del análisis geoespacial de amenazas (deslizamiento, inundaciones por anegamiento y caída de ceniza), identificando las áreas con mayor susceptibilidad dentro de los sectores de estudio. Se considero únicamente las viviendas asentadas en zonas donde coinciden una o más amenazas naturales, excluyendo aquellas ubicadas fuera del polígono de afectación.

Se seleccionó las casas como tema de análisis ya que responde a que el riesgo no afecta únicamente a individuos aislados, sino también a las familias y a las estructuras físicas en las que habitan. Estudiar cada vivienda ayuda en la relación física entre la exposición geográfica, las características constructivas, las condiciones sociales y la percepción comunitaria del riesgo.

3.5.2 Población

Desde el análisis geoespacial del mapa de amenazas, complementado con entrevistas comunitarias y verificación de campo, se identificó que dentro del polígono de afectación existen:

Tabla 3 Total de población identificada

Sector	Viviendas Identificadas
Yanayacu – La Dolorosa	120 viviendas

Mochapata	100 viviendas
Total	220 viviendas

Nota: 220 viviendas son la población total de estudio identificadas en el territorio para ser tomadas como objeto de análisis.

3.5.3 Muestra

3.5.3.1 Cálculo de la muestra teórica

Se aplicó la fórmula para poblaciones finitas con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5% (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018):

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{(N-1)e^2 + Z^2 pq}$$

Donde:

- N = 220 (total de viviendas dentro del polígono de afectación)
- Z = 1,96 (nivel de confianza del 95%)
- p = 0,5 (máxima variabilidad)
- q = $1 - p = 0{,}5$
- he = 0,05 (5% de error permitido)

Sustitución:

$$n = \frac{220(1{,}96)^2(0{,}5)(0{,}5)}{(220-1)(0{,}05)^2 + (1{,}96)^2(0{,}5)(0{,}5)}$$

$$n = \frac{220 \times 3{,}8416 \times 0{,}25}{219 \times 0{,}0025 + 0{,}9604}$$

$$n = \frac{211{,}288}{1{,}5079} \approx 140{,}12$$

Muestra teórica: 140 viviendas

3.5.3.2 Muestreo estratificado proporcional

En vista que los sectores presentan características geográficas y sociales distintas, se aplicó un muestreo estratificado proporcional, técnica adecuada cuando la población se distribuye en grupos diferenciados (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

$$n_{Yanayacu} = 140 \times \frac{120}{220} \approx 76$$

$$n_{Mochapata} = 140 \times \frac{100}{220} \approx 64$$

Tabla 4 Distribución teórica de la muestra

Sector	Viviendas	Muestra Teórica
Yanayacu – La Dolorosa	120 viviendas	76 viviendas
Mochapata	100 viviendas	64 viviendas
Total	220 viviendas	140 viviendas

Durante el trabajo de campo, se aplicaron encuestas y fichas de evaluación de viviendas a los hogares que accedieron a participar en la investigación.

Tabla 5 Muestra real obtenida

Sector	Viviendas	Porcentaje del Universo	Porcentaje de la muestra teórica
Yanayacu – La Dolorosa	40 viviendas	33.3%	52.6%
Mochapata	27 viviendas	27%	42.2%
Total	67 viviendas	**30.5%**	**47.9%**

3.5.3.3 Criterios de inclusión y exclusión

Para establecer las unidades que podían formar parte del levantamiento de información se definieron criterios de inclusión y exclusión, considerando las características de la unidad de

análisis y los objetivos de la investigación. Estos criterios permiten delimitar la población de estudio y establecer las condiciones que deben cumplir las unidades seleccionadas para participar en la investigación (Otzen & Manterola, 2017).

En esta investigación, la unidad de análisis correspondió a las viviendas localizadas dentro del área delimitada para los sectores Mochapata y Yanayacu – La Dolorosa.

Criterios de inclusión:

- Viviendas localizadas dentro del área de estudio delimitada.
- Viviendas destinadas a uso residencial, independientemente de que fueran de ocupación permanente o temporal.
- Viviendas en las que fuera posible realizar la observación y evaluación de sus características físicas.
- Viviendas cuyos ocupantes o responsables se encontrarán disponibles y aceptarán proporcionar la información requerida mediante los instrumentos de investigación.

Criterios de exclusión:

- Edificaciones que no correspondieran a viviendas destinadas a uso residencial.
- Viviendas en las que no fuera posible obtener la información necesaria para completar los instrumentos establecidos para la investigación.
- Viviendas en las que no se encontrara una persona disponible para proporcionar la información requerida durante el período de levantamiento.
- Estructuras que no correspondieran a viviendas, como construcciones destinadas exclusivamente a actividades agrícolas, bodegas u otros usos.

3.5.3.4 Muestra real obtenida

Una vez calculada la muestra teórica de 140 viviendas y realizada su distribución proporcional entre los dos sectores, se establecieron las viviendas seleccionadas para el levantamiento de información. Durante el trabajo de campo se realizaron visitas a las viviendas seleccionadas, incluyendo viviendas de ocupación permanente y temporal.

Sin embargo, no fue posible obtener información de la totalidad de las 140 viviendas debido principalmente a las condiciones de ocupación encontradas durante las visitas. Se identificaron viviendas utilizadas como casas vacacionales o de segunda residencia, cuyos propietarios u ocupantes no se encontraban presentes. También se identificaron viviendas deshabitadas de forma permanente o temporal debido a procesos de migración, en las cuales no se encontró una persona que pudiera proporcionar la información requerida.

Asimismo, se presentaron algunos casos en los que, a pesar de encontrarse personas en las viviendas, no fue posible completar los instrumentos de investigación debido a la falta de participación. Para incrementar la posibilidad de encontrar a los ocupantes de las viviendas de uso temporal, se realizaron nuevos intentos de visita, incluyendo una jornada durante un día sábado. No obstante, no fue posible completar la información correspondiente a todas las viviendas seleccionadas.

En consecuencia, la muestra real o efectiva estuvo conformada por 67 viviendas, de las cuales 40 correspondieron al sector Yanayacu – La Dolorosa y 27 al sector Mochapata.

Sector	Viviendas del universo	Muestra teórica	Muestra real	Cobertura de la muestra teórica

Yanayacu – La Dolorosa	120	76	40	52,6 %
Mochapata	100	64	27	42,2 %
Total	220	140	67	47,9 %

La muestra real obtenida corresponde al 47,9 % de la muestra teórica calculada y al 30,5 % del universo de 220 viviendas. Las 67 viviendas que conformaron la muestra efectiva fueron aquellas en las que se logró completar los instrumentos de investigación y obtener la información necesaria para el análisis de las condiciones de vulnerabilidad y riesgo.

3.6 Técnicas de análisis y procesamiento de la Información

Objetivo 1: Identificar las principales amenazas naturales presentes en los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa

Para la modelación de la amenaza por inundación y deslizamiento, se trabajó con un enfoque de análisis multicriterio dentro del software ArcGIS. Las capas temáticas (pendiente, precipitación, cobertura vegetal, permeabilidad del suelo, saturación, zonas de acumulación, ríos y vías) fueron estandarizadas mediante funciones trigonométricas para normalizar sus valores en un rango de 0 a 1.

Normalización para inundación:

- Seno: permeabilidad, cobertura, precipitación
- Coseno: saturación, pendiente

Normalización para deslizamiento:

- Seno: pendiente, precipitación, cobertura
- Coseno: ríos, vías

Las fórmulas utilizadas fueron:

Para las variables normalizadas con seno:

$$\sin = (\frac{\pi}{2}) \times (\frac{shp - valor_min}{valor_maximo - valor_min})$$

Para variables normalizadas con coseno:

$$\cos = (\frac{\pi}{2}) \times (\frac{shp - valor_min}{valor_maximo - valor_min})$$

Una vez normalizadas las variables, se aplicaron las ponderaciones establecidas por la metodología de la (Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos, 2019) y se generaron los mapas de amenaza mediante la suma ponderada de las capas. El resultado fue una clasificación del territorio en categorías de amenaza: Alta, Media y Baja.

Para la caída de ceniza, el procesamiento fue diferente. Se partió del mapa de peligro volcánico del IG-EPN (2023) y se aplicó un análisis de buffer para generar dos zonas concéntricas de influencia, a las cuales se les asignó un valor de 0.7 y 0.2 según su cercanía al foco emisor, considerando reportes históricos de afectación en la zona (Diario El Universo, 2011). El resultado se representó como una capa de amenaza con dos categorías: Ceniza_Alto_Impacto y Ceniza_Impacto_significativo.

Objetivo 2: Evaluar la vulnerabilidad físico - social de la población expuesta

La información de vulnerabilidad social recogida a través de las encuestas fue procesada en una hoja de cálculo Excel. Cada pregunta fue codificada y se calcularon los índices de vulnerabilidad para cada hogar, siguiendo la metodología SoVI de (Cutter y otros, 2003). Este enfoque considera que la vulnerabilidad es el resultado de la interacción entre las condiciones de vida de la población, el acceso a servicios básicos, las características de la vivienda y la capacidad de las comunidades para enfrentar y recuperarse de eventos adversos (Blaikie y otros,

1996) Una vez calculados los índices de vulnerabilidad social, se expresaron en valores entre 0 y 1 para facilitar su comparación. En esta escala, los valores cercanos a 0 indican menor vulnerabilidad, mientras que los próximos a 1 representan condiciones de mayor vulnerabilidad. Con estos datos se trabajó en ArcGIS, donde se aplicó el método de interpolación Kriging para generar un mapa que muestra cómo se distribuye la vulnerabilidad social en Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa.

Para la vulnerabilidad física, el procesamiento fue similar. Cada ítem de la ficha técnica (sistema estructural, material de paredes, tipo de cubierta, etc.) fue ponderado de acuerdo a su relevancia para cada tipo de amenaza, siguiendo los criterios del (PNUD, 2016). Se obtuvieron tres índices de vulnerabilidad física por vivienda (inundación, deslizamiento y caída de ceniza), los cuales fueron normalizados en un rango de 0 a1.

Objetivo 3: Proponer medidas de mitigación en función del análisis de riesgo

El riesgo fue calculado mediante la multiplicación de los valores normalizados de amenaza y vulnerabilidad, según la expresión:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

Este proceso se realizó en el entorno SIG utilizando la calculadora ráster. El resultado fue una serie de mapas de riesgo (para cada amenaza y de manera multiamenaza) clasificados en cinco categorías: Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto, siguiendo los criterios establecidos por (Cardona y otros, 2012) y el Marco de Sendai (Naciones Unidas (UNDRR), 2015).

Para elaborar las propuestas de medidas de mitigación, se organizaron los resultados tomando en cuenta los niveles de riesgo, la vulnerabilidad y las características de cada sector. Esto permitió identificar qué acciones eran más necesarias y plantear medidas de acuerdo con las condiciones encontradas en Mochapata y Yanayacu - La Dolorosa.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados

4.1.1 Resultado del Objetivo 1

“Identificar las principales amenazas naturales presentes en los sectores Mochapata y Yanayacu – La Dolorosa.”

En los sectores Mochapata y Yanayacu – La Dolorosa se identificaron tres amenazas naturales principales: inundaciones, deslizamientos y caída de ceniza volcánica. Para su identificación se consideraron las características físicas del territorio, los antecedentes de eventos registrados y la información recopilada durante el trabajo de campo. A partir de estos elementos, cada amenaza fue analizada de manera independiente para conocer su nivel y distribución dentro de los sectores de estudio.

La amenaza por inundación se consideró debido a las condiciones del terreno y a la presencia de factores que pueden favorecer la acumulación y circulación del agua durante periodos de lluvia. Para su análisis se tomaron en cuenta variables como la saturación y permeabilidad del suelo, la pendiente, las zonas de acumulación, la cobertura y uso del suelo y la precipitación.

La amenaza por deslizamiento se relaciona con la presencia de laderas y zonas con pendientes pronunciadas, donde las condiciones del terreno pueden favorecer procesos de inestabilidad. En su análisis se consideraron la pendiente, la precipitación, la cobertura y uso del suelo, la cercanía a ríos y drenajes y la presencia de vías.

Por otra parte, la amenaza por caída de ceniza volcánica se consideró debido a la influencia que pueden tener las emisiones del volcán Tungurahua sobre el área de estudio. La

identificación de esta amenaza se sustentó en la información de peligro volcánico disponible y en los antecedentes de caída de ceniza registrados en la zona durante eventos eruptivos anteriores.

Con base en estas condiciones, a continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada amenaza en los sectores Mochapata y Yanayacu – La Dolorosa, mediante su representación cartográfica y el análisis correspondiente.

Para el desarrollo de este objetivo se consideró la información recopilada mediante las preguntas 14, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 y 36 de la encuesta de vulnerabilidad social, relacionadas con el conocimiento de las amenazas naturales, la presencia de grietas o deslizamientos, las construcciones en zonas inestables y las actividades que pueden modificar las condiciones del terreno. Esta información permitió complementar la interpretación de las condiciones presentes en los sectores de estudio. La identificación y clasificación de las amenazas por inundación, deslizamiento y caída de ceniza volcánica se realizó mediante el análisis de las variables geográficas y la elaboración de los mapas correspondientes en ArcGIS.

4.1.1.1 Sector Mochapata

4.1.1.1.1 Mapa de Amenaza a Inundación del sector Mochapata

El mapa de amenaza por inundaciones del sector Mochapata representa la distribución espacial de la probabilidad de ocurrencia de este fenómeno, obtenido mediante la metodología propuesta por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR), la cual integra variables físicas e hidrológicas normalizadas en un rango de 0 a 1. Para la elaboración del modelo se consideraron la saturación del suelo, la permeabilidad, la pendiente del terreno, las zonas de acumulación, la cobertura y uso del suelo y la precipitación, cuya interacción permitió determinar el nivel de amenaza presente en el área total de estudio el cual fue de 36,11795 ha.

Los resultados evidencian que la totalidad del sector Mochapata se clasifica dentro de la categoría de amenaza media con color amarillo, sin registrarse áreas correspondientes a las categorías alta o baja. Esta distribución muestra que las características naturales del terreno presentan condiciones similares frente a la posibilidad de inundaciones, debido a la combinación de las variables utilizadas en el modelo multicriterio.

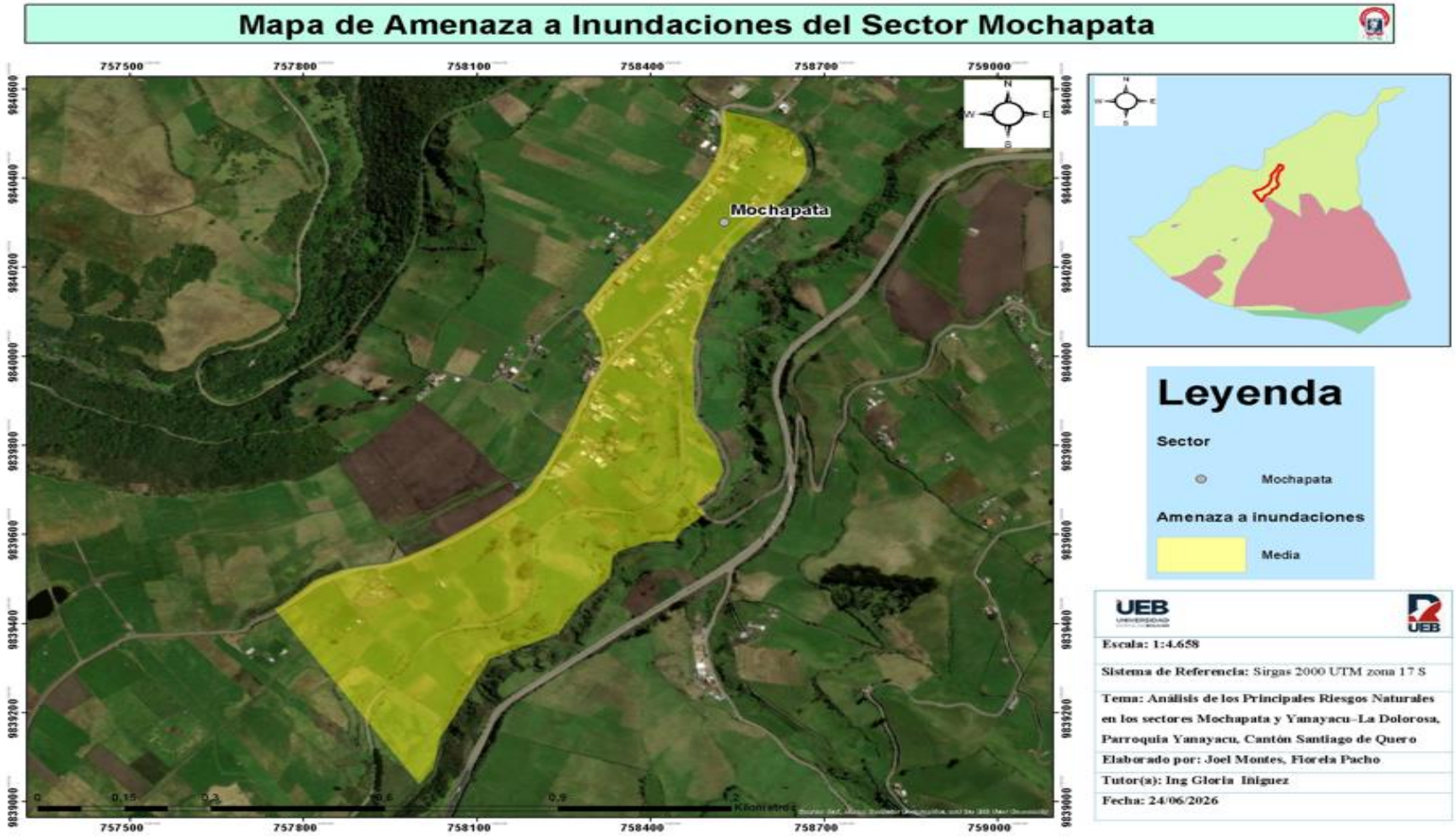
Los resultados también muestran que, aunque existen zonas donde se puede acumular y circular el agua superficial, estas condiciones no son suficientes para alcanzar un nivel de amenaza alta. De igual manera, la combinación de la pendiente, la permeabilidad del suelo, la cobertura vegetal, la precipitación y la saturación del terreno tampoco genera condiciones suficientemente favorables para que existan sectores con amenaza baja. Como resultado, el índice de amenaza presenta un comportamiento uniforme a lo largo de todo el sector.

La distribución espacial observada evidencia que la amenaza por inundación en Mochapata no está condicionada por un único factor físico, sino por la interacción de todas las variables incorporadas en la metodología de la SNGR. Esto demuestra que el territorio presenta condiciones intermedias de susceptibilidad frente al fenómeno, donde las características topográficas, hidrológicas y de uso del suelo mantienen un equilibrio que limita la presencia de valores extremos dentro del modelo.

En términos generales, el mapa obtenido constituye el componente de amenaza para la evaluación integral del riesgo por inundaciones en el sector Mochapata. La información generada representa la probabilidad espacial de ocurrencia del fenómeno considerando las condiciones naturales del territorio y será integrada posteriormente con el análisis de vulnerabilidad, desarrollado mediante la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

(PNUD), para determinar la distribución espacial del riesgo por inundaciones en el área de estudio

Figura 1 Mapa de Amenaza a inundación del sector Mochapata



Nota: Mapa de amenaza a inundaciones del sector Mochapata, elaborado mediante la metodología de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR), que integra variables físicas e hidrológicas normalizadas en un rango de 0 a 1. La categoría representada es Media, ocupando la totalidad del sector. Escala 1:4.658, Sistema de Referencia Sirgas 2000 UTM zona 17 S. Elaborado por: Joel Montes, Fiorela Pacho. Tutoría: Ing. Gloria Iñiguez. Fecha: 24/06/2026.

4.1.1.1.2 Mapa de vulnerabilidad a inundaciones del sector Mochapata

El mapa de vulnerabilidad a inundaciones del sector Mochapata representa la distribución espacial del grado de vulnerabilidad de los elementos expuestos frente a este fenómeno, elaborado mediante la metodología propuesta por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Para su construcción se emplearon los indicadores establecidos en dicha metodología, los cuales fueron normalizados en un rango de 0 a 1 con el propósito de estandarizar la información y obtener un índice único de vulnerabilidad. Posteriormente, se utilizó el método Kriging en ArcGIS para interpolar los valores de vulnerabilidad y obtener una superficie que permita observar cómo se distribuye en el área de estudio.

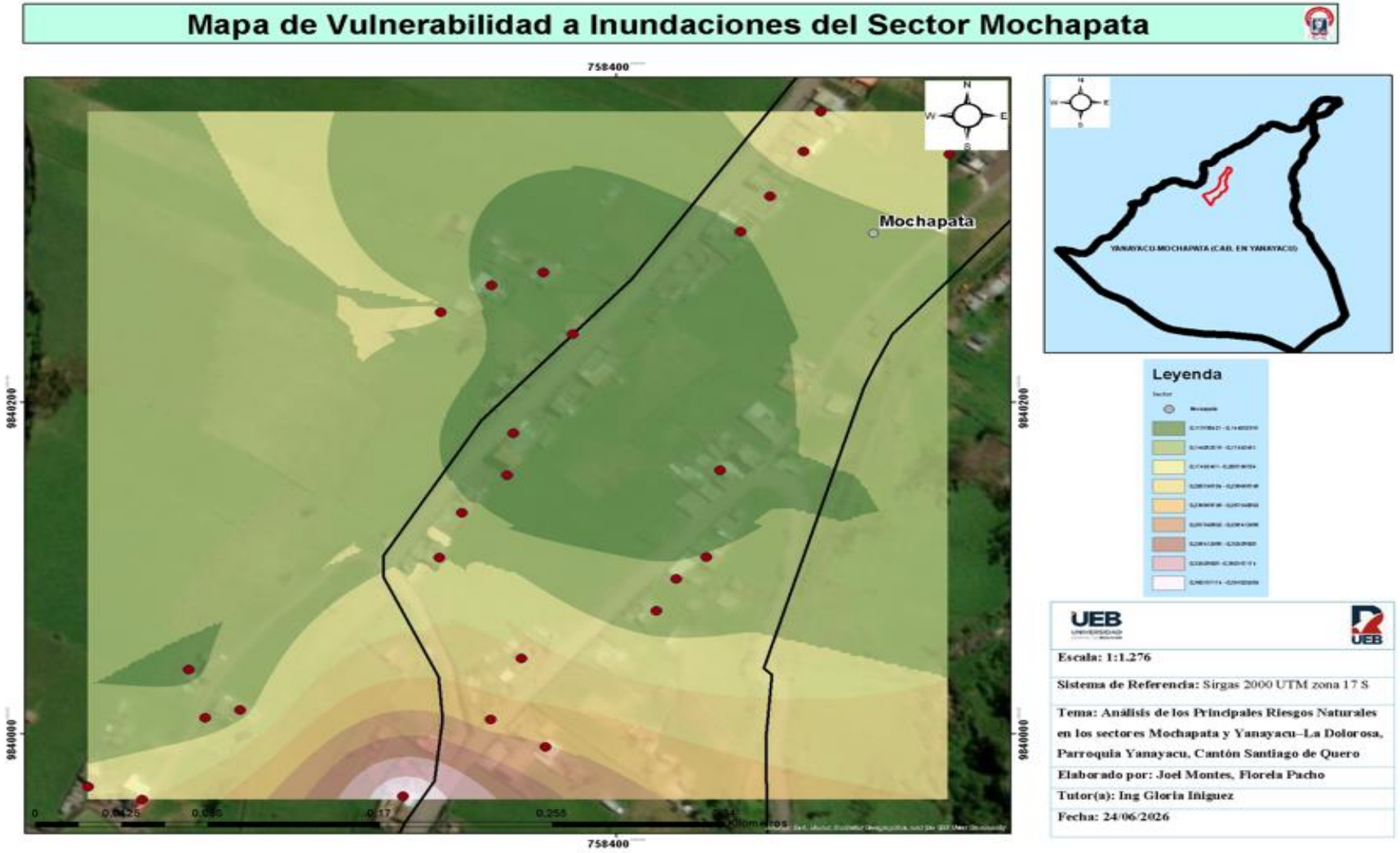
Los resultados presentan valores entre 0,113 y 0,391, distribuidos en diez intervalos, lo que muestra que la vulnerabilidad no es igual en todo el territorio. Los valores más altos se encuentran principalmente en la parte sur y suroccidental del área de estudio, donde se presentan condiciones que aumentan la vulnerabilidad de las viviendas y demás elementos expuestos. Esta distribución responde al comportamiento conjunto de los indicadores evaluados mediante la metodología del PNUD, reflejando sectores con una mayor susceptibilidad frente a los efectos potenciales de una inundación.

Por otra parte, los valores intermedios y bajos predominan en la mayor parte del sector Mochapata, especialmente alrededor del área donde se concentra la población. Esto indica que, aunque existen elementos expuestos distribuidos dentro del territorio, las condiciones evaluadas mediante los indicadores de vulnerabilidad presentan un comportamiento relativamente homogéneo, sin cambios abruptos entre un sector y otro. En consecuencia, la vulnerabilidad muestra una transición gradual que caracteriza la distribución espacial de los elementos analizados.

La superficie obtenida mediante la interpolación Kriging evidencia un comportamiento continuo entre los diferentes niveles de vulnerabilidad, permitiendo estimar valores en áreas donde no se dispone de información puntual a partir de la dependencia espacial existente entre los datos. Este procedimiento proporciona una representación más consistente de la variabilidad espacial de la vulnerabilidad y facilita la identificación de sectores donde los índices aumentan o disminuyen progresivamente dentro del área de estudio.

En términos generales, los resultados demuestran que la vulnerabilidad en el sector Mochapata presenta una distribución heterogénea, determinada por la interacción de los indicadores considerados en la metodología del PNUD y por la distribución espacial de los elementos expuestos. El mapa obtenido constituye uno de los componentes fundamentales para la evaluación integral del riesgo, ya que posteriormente será integrado con el mapa de amenaza por inundaciones mediante el procedimiento metodológico de la investigación, permitiendo determinar la distribución espacial del riesgo por inundaciones en el sector Mochapata.

Figura 2 Mapa de Vulnerabilidad a Inundación del Sector Mochapata



Nota: Mapa de vulnerabilidad a inundaciones del sector Mochapata, elaborado mediante la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), basada en indicadores normalizados en un rango de 0 a 1 y procesados mediante interpolación Kriging. La escala de representación es 1:1.276, Sistema de Referencia Sirgas 2000 UTM zona 17 S. Elaborado por: Joel Montes, Fiorela Pacho. Tutoría: Ing. Gloria Iñiguez. Fecha: 24/06/2026.

4.1.1.1.3 Mapa de riesgo a inundaciones del sector Mochapata

El mapa de riesgo a inundaciones del sector Mochapata con un área total de 17,6404 ha representa la distribución espacial del nivel de riesgo frente a este fenómeno, obtenido mediante la integración de los mapas de amenaza y vulnerabilidad, de acuerdo con la metodología establecida en la presente investigación. Este proceso combinó la probabilidad de ocurrencia del fenómeno (amenaza), calculada a partir de variables físicas e hidrológicas normalizadas en un rango de 0 a 1, con la susceptibilidad de los elementos expuestos (vulnerabilidad), determinada mediante indicadores del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y especializada a través de interpolación Kriging. El resultado ha permitido identificar cinco categorías de riesgo: Muy Bajo representado con color verde claro, con un área de 10,0564 ha el cual representa un porcentaje de 57,01%, Bajo representado con color verde, con un área de 4,9500 ha (28,06%), Medio representado con color amarillo, con un área de 1,8990 ha (10,77%), Alto representado con color naranja, con un área de 0,3675 ha (2,08%) y Muy Alto representado con color rojo, con un área de 0,3675 ha (2,08%), las cuales han sido representadas cartográficamente a escala 1:1.276, lo que facilita identificar la distribución del riesgo y observar la ubicación de las viviendas dentro del sector Mochapata.

En el mapa se identifican zonas con niveles de riesgo Alto y Muy Alto, cada una con una superficie de 0.003675 km². Estas zonas se encuentran en lugares puntuales de Mochapata, donde coinciden niveles altos de amenaza por inundación y vulnerabilidad. Esto muestra que el riesgo presenta diferencias dentro del sector, dependiendo de las condiciones de cada lugar, su ubicación respecto a los cauces de agua y la presencia de viviendas expuestas.

Por otra parte, el riesgo Medio ocupa 0.018966 km², La categoría Bajo ocupa 0.047296 km², mientras que Muy Bajo abarca 0.100584 km². Al comparar estas superficies, se puede

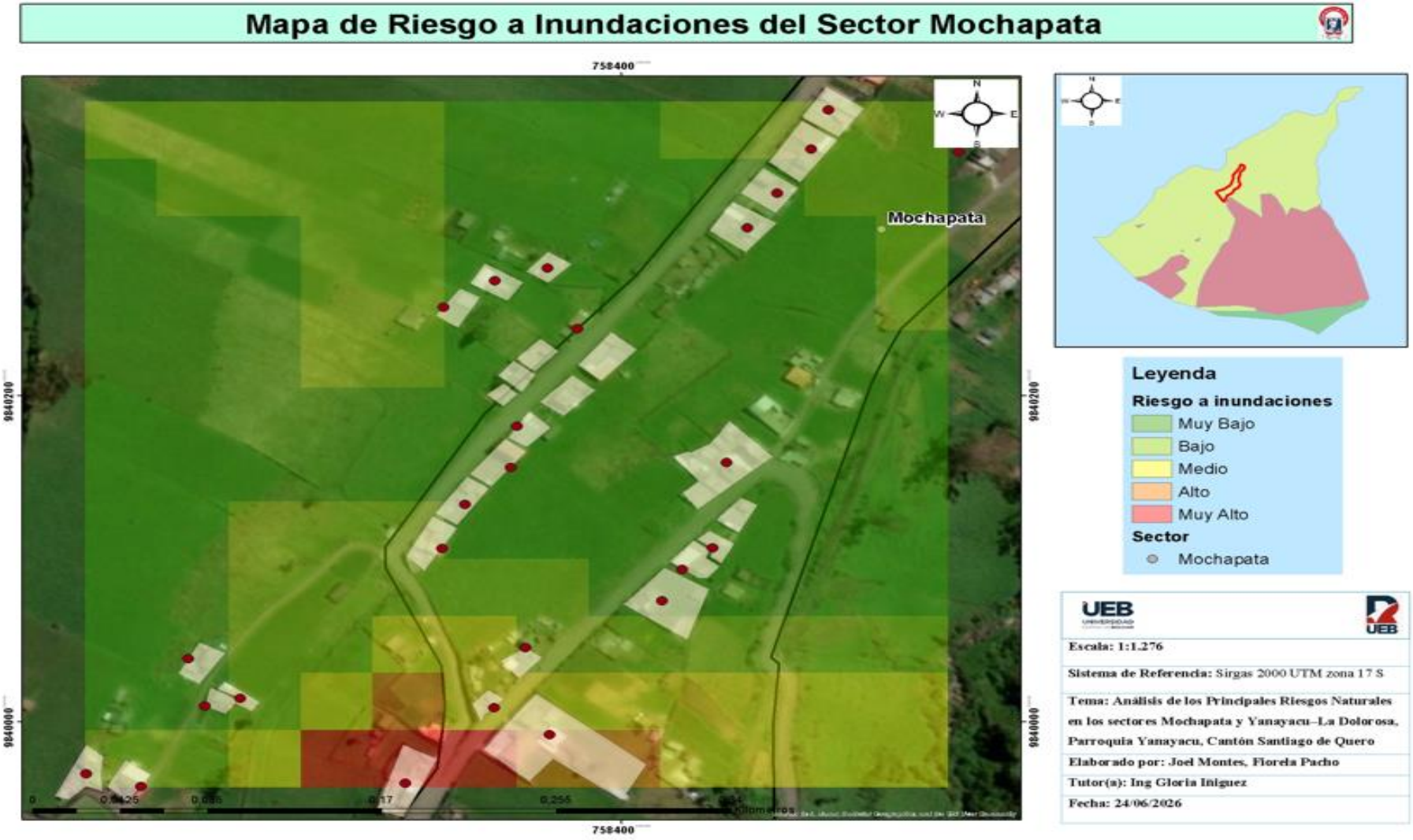
observar que en Mochapata predominan los niveles de riesgo Bajo y Muy Bajo. En cambio, las categorías Alto y Muy Alto abarcan áreas más pequeñas del territorio. Sin embargo, las zonas clasificadas como riesgo Medio también deben ser tomadas en cuenta, ya que sus condiciones podrían cambiar ante un aumento de las precipitaciones o cambios en las características del territorio que incrementen la vulnerabilidad.

La escala utilizada también permite identificar con mayor claridad las viviendas que se encuentran dentro de las diferentes categorías de riesgo. Esto facilita reconocer cuáles están ubicadas en zonas con mayor posibilidad de afectación y conocer cómo se relacionan con las áreas identificadas en el mapa.

En general, los resultados muestran que el riesgo por inundaciones en Mochapata se concentra en áreas pequeñas, mientras que la mayor parte del sector presenta niveles bajos y muy bajos. Esto demuestra la importancia de analizar tanto la amenaza como la vulnerabilidad, ya que no todas las zonas que presentan condiciones favorables para una inundación necesariamente tienen el mismo nivel de riesgo.

Finalmente, el mapa obtenido representa la integración de los resultados de amenaza y vulnerabilidad mediante el análisis espacial realizado en ArcGIS. Este producto sirve como base para el desarrollo del tercer objetivo de la investigación, en el que se plantean medidas de mitigación de acuerdo con las condiciones encontradas en el sector. Además, permite identificar las zonas que requieren mayor atención y puede servir como apoyo para la planificación y la toma de decisiones en la gestión del riesgo.

Figura 3 Mapa de Riesgo a inundaciones del sector Mochapata



Nota: Mapa de riesgo a inundaciones del sector Mochapata, obtenido mediante la integración de los mapas de amenaza y vulnerabilidad, aplicando la multiplicación de ambos índices previamente normalizados en un rango de 0 a 1. Las categorías representadas son: Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto. Escala 1:1.276, Sistema de Referencia Sirgas 2000 UTM zona 17 S. Elaborado por: Joel Montes, Fiorela Pacho. Tutoría: Ing. Gloria Iñiguez. Fecha: 24/06/2026.

4.1.1.1.4 Mapa de Amenaza a deslizamiento del sector Mochapata

El mapa de amenaza a deslizamientos del sector Mochapata con un área total de 36,1179 ha evidencia la distribución espacial de las áreas con mayor probabilidad de ser afectadas por procesos de inestabilidad de laderas, obtenida mediante la metodología propuesta por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR), la cual integra variables físicas y ambientales normalizadas en un rango de 0 a 1. Para elaborar el mapa de amenaza por deslizamientos se tomaron en cuenta factores como la pendiente del terreno, la precipitación, la cobertura y uso del suelo, la proximidad a ríos y drenajes, y la distancia a las vías de acceso. La combinación de estas variables permitió establecer las diferentes categorías de amenaza por deslizamientos en el sector Mochapata. El mapa está representado a una escala de 1:4.658, mediante la cual se pueden distinguir las características del terreno y la ubicación de las zonas clasificadas.

La zona de amenaza Alta, identificada con color rojo, comprende 1,7762 ha y se encuentra principalmente en lugares con pendientes pronunciadas. En estas zonas, la inclinación del terreno y las precipitaciones pueden influir en la cantidad de agua que se infiltra en el suelo. La humedad del suelo es una condición que puede modificar el comportamiento de las laderas, ya que su incremento puede disminuir la estabilidad del terreno y favorecer la ocurrencia de deslizamientos. A esto se suman otros elementos del territorio, como las carreteras y los cursos de agua. Su ubicación y las modificaciones que pueden generar en el terreno influyen en las condiciones de las laderas y pueden contribuir al desgaste del suelo por erosión.

Por otra parte, la categoría de amenaza media, representada con color amarillo, ocupa la mayor parte del sector, con una superficie de 34,3417 ha. Esta categoría se encuentra principalmente en zonas de pendiente moderada, donde también existe cierta susceptibilidad a

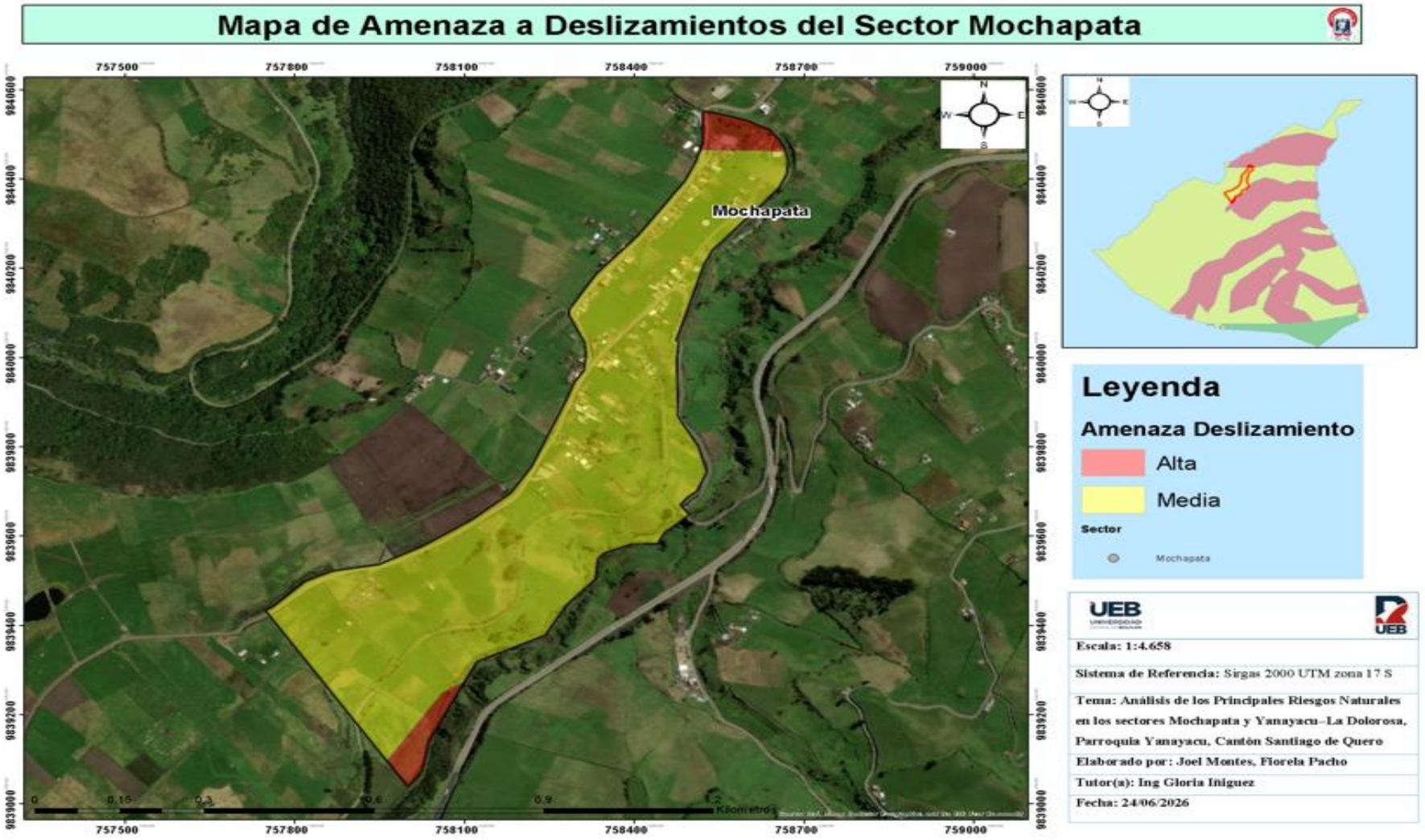
los deslizamientos debido a la combinación de las condiciones del terreno, las precipitaciones y la cobertura del suelo.

Un aspecto que se debe destacar es que no se encontraron áreas clasificadas con amenaza baja, lo que indica que todo el sector Mochapata presenta algún grado de susceptibilidad frente a los deslizamientos. Sin embargo, esto no quiere decir que las condiciones sean iguales en todo el territorio, ya que los niveles de amenaza cambian según las características del relieve y los demás factores incluidos en el modelo.

La distribución de la amenaza no es igual en ambos sectores. En Mochapata, los niveles Altos se concentran en áreas puntuales, ubicadas principalmente en terrenos con pendientes pronunciadas. Esta distribución presenta diferencias respecto a Yanayacu–La Dolorosa, donde se identificaron otras características en la ubicación de las zonas de amenaza. En cambio, en Yanayacu–La Dolorosa, estas áreas se localizan sobre todo en las laderas que rodean los valles. Estas diferencias muestran que cada sector tiene características propias, por lo que es importante realizar el análisis por separado.

Finalmente, el mapa de amenaza por deslizamientos constituye uno de los insumos para elaborar el mapa de riesgo, ya que permite identificar las zonas que presentan mayores condiciones de susceptibilidad frente a este fenómeno. Para su elaboración se utilizaron datos del Modelo Digital de Terreno (MDT) de ALOS PALSAR RTC, información de precipitación del INAMHI, cobertura del suelo del MAG y cartografía base del IGM. Posteriormente, este resultado se integró con los mapas de vulnerabilidad para obtener el mapa de riesgo por deslizamientos del sector Mochapata, que servirá como base para plantear medidas de mitigación de acuerdo con las condiciones encontradas.

Figura 4 Mapa de Amenaza a deslizamiento del sector Mochapata



Nota: Mapa de amenaza a deslizamientos del sector Mochapata, elaborado mediante la metodología de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR), que integra variables físicas y ambientales normalizadas en un rango de 0 a 1. Las categorías representadas son: Alta y Media. Escala 1:4.658, Sistema de Referencia Sirgas 2000 UTM zona 17 S. Elaborado por: Joel Montes, Fiorela Pacho. Tutoría: Ing. Gloria Iñiguez. Fecha: 24/06/2026.

4.1.1.1.5 Mapa de vulnerabilidad a deslizamientos del sector Mochapata

El mapa de vulnerabilidad a deslizamientos del sector Mochapata representa la distribución espacial del nivel de vulnerabilidad de los elementos expuestos frente a este fenómeno, elaborado mediante la metodología propuesta por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Para elaborar el mapa se utilizaron indicadores normalizados en una escala de 0 a 1, cuyos valores fueron interpolados mediante el método Kriging en ArcGIS. Con este proceso se obtuvo una superficie que permite observar cómo se distribuye la vulnerabilidad dentro del sector Mochapata. La representación cartográfica se realizó a una escala de 1:276, que permite distinguir con mayor precisión cómo se distribuye la vulnerabilidad física en el sector.

Los índices obtenidos van de 0,116 a 0,270 y se agruparon en ocho intervalos para facilitar la lectura del mapa. Los valores más elevados, entre 0,236 y 0,270, se presentan en determinados puntos del sector, donde las características evaluadas muestran mayores condiciones de vulnerabilidad física frente a los deslizamientos.

En cambio, los índices más bajos, que van de 0,116 a 0,133, se ubican principalmente en las zonas periféricas. En estos lugares, los resultados reflejan condiciones de menor vulnerabilidad física. Los demás valores se distribuyen entre estas zonas, mostrando los cambios de vulnerabilidad dentro del sector.

Al comparar los resultados con Yanayacu - La Dolorosa, se observa que Mochapata presenta valores de vulnerabilidad entre 0,116 y 0,270, mientras que en Yanayacu - La Dolorosa se encuentran entre 0,180 y 0,378. Esto muestra que los valores máximos de Mochapata son menores. Sin embargo, es importante considerar que estos resultados corresponden a las

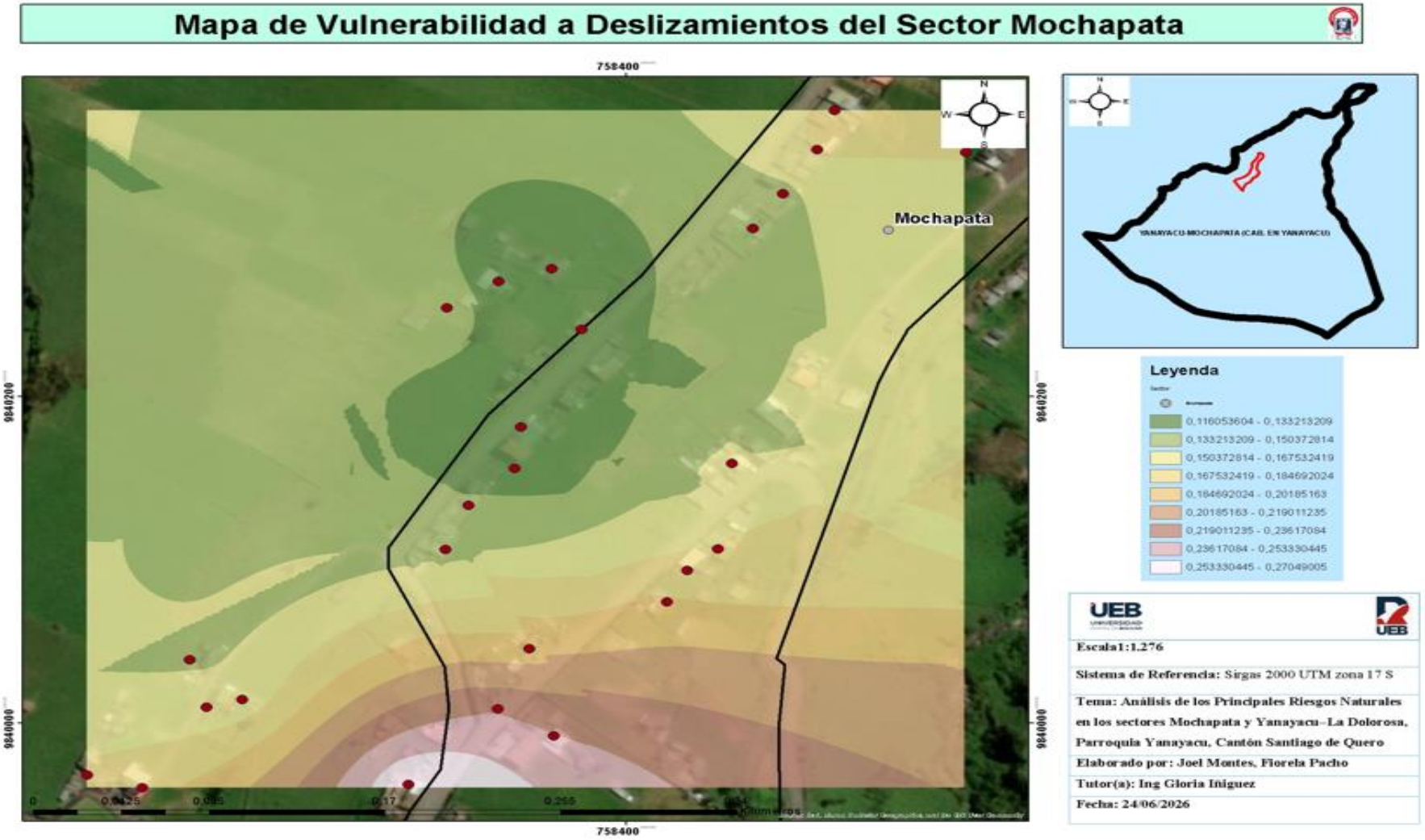
condiciones de cada sector y que, por sí solos, no determinan el nivel de riesgo, ya que también es necesario tomar en cuenta la amenaza.

La distribución de la vulnerabilidad muestra diferencias dentro del sector Mochapata, principalmente por la ubicación de las viviendas y los demás elementos expuestos. Las zonas donde existe una mayor concentración de estos elementos presentan valores más elevados, mientras que en los lugares donde se encuentran más dispersos los valores son menores.

En comparación con Yanayacu - La Dolorosa, donde los valores más altos se concentran principalmente en La Dolorosa, en Mochapata se distribuyen en diferentes puntos del sector. Estas diferencias muestran que cada zona presenta características propias, por lo que es importante analizar sus condiciones por separado.

Finalmente, el mapa de vulnerabilidad a deslizamientos del sector Mochapata constituye un componente fundamental para la evaluación del riesgo, ya que será integrado con el mapa de amenaza por deslizamientos mediante el procedimiento establecido en la metodología de la investigación (multiplicación de capas ráster normalizadas). La combinación de la amenaza (que representa la probabilidad de ocurrencia del fenómeno, determinada a partir de variables como pendiente, precipitación, cobertura del suelo, proximidad a ríos y distancia a vías) con la vulnerabilidad (que representa la susceptibilidad de los elementos expuestos) permitirá obtener la distribución espacial del riesgo por deslizamiento en el sector Mochapata. Esta integración constituye el siguiente paso dentro de la metodología de la investigación, y permitirá identificar las zonas donde la combinación de alta amenaza y alta vulnerabilidad genera las condiciones más críticas en términos de riesgo, orientando así los esfuerzos hacia la reducción de la vulnerabilidad y el fortalecimiento de la resiliencia comunitaria frente a este fenómeno.

Figura 5 Mapa de vulnerabilidad a deslizamientos del sector Mochapata



Nota: Mapa de vulnerabilidad a deslizamientos del sector Mochapata, elaborado mediante la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), basada en indicadores normalizados en un rango de 0 a 1 y procesados mediante interpolación Kriging. Los valores representados varían desde 0,116 hasta 0,270. Escala 1:1.276, Sistema de Referencia Sirgas 2000 UTM zona 17 S. Elaborado por: Joel Montes, Fiorela Pacho. Tutoría: Ing. Gloria Iñiguez. Fecha: 24/06/2026.

4.1.1.1.6 Mapa de Riesgo a deslizamiento del sector Mochapata

El mapa de riesgo a deslizamientos del sector Mochapata representa la distribución espacial del nivel de riesgo obtenido mediante la integración del mapa de amenaza por deslizamientos y el mapa de vulnerabilidad, aplicando la multiplicación de ambos índices previamente normalizados en un rango de 0 a 1. Este procedimiento permitió identificar las áreas de afectación donde coinciden una mayor probabilidad de ocurrencia del fenómeno con condiciones de vulnerabilidad más elevadas, obteniendo una representación integral del riesgo dentro del área total del estudio, la cual fue de 17,6380 ha.

Los resultados muestran una clasificación del riesgo en cinco categorías: Muy Bajo representado con color verde claro, con un área de afectación de 8,5348 ha, equivalente al 48,39 % del área de estudio; Bajo representado con color verde, con un área de afectación de 2,9031 ha (16,46 %); Medio representado con color amarillo, con un área de afectación de 0,0839 ha (0,48 %); Alto representado con color naranja, con un área de afectación de 4,1296 ha (23,41 %); y Muy Alto representado con color rojo, con un área de afectación de 1,9866 ha (11,26 %). Se evidencia que la categoría Muy Bajo predomina en el área de estudio, ocupando casi la mitad del territorio, mientras que las categorías Alto y Muy Alto representan conjuntamente el 34,67 % del área total, donde coinciden mayores niveles de amenaza y vulnerabilidad, evidenciando una distribución espacial diferenciada a lo largo del sector.

Las categorías Muy Bajo y Bajo, que en conjunto representan el 64,85 % del área de estudio, predominan en las zonas donde la amenaza por deslizamientos presenta niveles medios o bajos y, simultáneamente, los niveles de vulnerabilidad presentan valores relativamente bajos. Como consecuencia, la interacción entre ambos componentes genera niveles reducidos de riesgo en estas zonas. La presencia de estas categorías en una proporción significativa del territorio

indica que, aunque el sector presenta condiciones de susceptibilidad frente a deslizamientos, gran parte del área mantiene niveles de riesgo relativamente manejables.

La categoría de riesgo medio, con tan solo 0,0839 ha (0,48 % del área total), se presenta como una franja de transición extremadamente reducida entre las zonas de menor y mayor riesgo, reflejando sectores donde alguno de los componentes del riesgo incrementa su intensidad, ya sea por un aumento de la amenaza o por mayores niveles de vulnerabilidad. La extensión tan limitada de esta categoría sugiere que la transición entre los niveles de riesgo en el sector es relativamente abrupta, sin áreas de amortiguamiento significativas entre las zonas de bajo y alto riesgo.

Los niveles de riesgo alto y muy alto, que representan conjuntamente el 34,67 % del área de estudio (4,1296 ha y 1,9866 ha, respectivamente), se concentran en áreas específicas del sector Mochapata, coincidiendo con las zonas donde el modelo de amenaza identificó mayor probabilidad de deslizamiento (áreas de pendiente pronunciada) y donde el análisis de vulnerabilidad evidenció una mayor concentración de elementos expuestos. La relación entre los niveles de amenaza y vulnerabilidad permite identificar las zonas donde se presentan los valores más altos del índice de riesgo. Estas áreas podrían experimentar mayores afectaciones ante la ocurrencia de un deslizamiento. Respecto a la superficie que ocupa cada categoría, el riesgo Alto representa el 23,41 % y el Muy Alto el 11,26 %. La distribución porcentual de las categorías permite reconocer que el riesgo no se presenta de la misma manera en todo el sector y que determinados lugares requieren mayor atención. Esta situación se aprecia con mayor claridad al representar las edificaciones mediante la capa «Casas Mochapata», ya que algunas viviendas coinciden espacialmente con las áreas delimitadas como de riesgo Alto y Muy Alto. Su ubicación evidencia la presencia de elementos expuestos en estos sectores y permite relacionar la

zonificación obtenida con las viviendas que podrían verse afectadas ante un deslizamiento. Esta ubicación indica que podrían estar expuestas a posibles deslizamientos. Por tanto, la representación de las viviendas permite relacionar los niveles de riesgo con los elementos presentes en el territorio y evidencia la importancia de considerar la amenaza, la vulnerabilidad y la exposición al momento de evaluar el riesgo.

La escala utilizada para elaborar el mapa es de 1:1.276, lo que permite apreciar la ubicación de las diferentes categorías de riesgo y su relación con las viviendas del sector. De esta manera, se pueden reconocer los puntos que requieren mayor atención y contar con información para orientar las medidas de prevención y reducción del riesgo en el sector Mochapata.

En términos generales, el mapa de riesgo sintetiza los resultados obtenidos durante el proceso metodológico desarrollado en la investigación, integrando la evaluación de la amenaza mediante la metodología de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) y el análisis de vulnerabilidad basado en la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). La distribución espacial obtenida permite identificar con claridad los sectores que presentan diferentes niveles de riesgo dentro del área de estudio, constituyendo el principal resultado cartográfico de la investigación y la base técnica para el planteamiento de las estrategias de reducción del riesgo desarrolladas en los capítulos posteriores.

Figura 6 Mapa de Riesgo a deslizamiento del sector Mochapata



Nota: Mapa de riesgo a deslizamientos del sector Mochapata, obtenido mediante la integración de los mapas de amenaza y vulnerabilidad, aplicando la multiplicación de ambos índices previamente normalizados en un rango de 0 a 1. Las categorías representadas son: Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto. Escala 1:1.276, Sistema de Referencia Sirgas 2000 UTM zona 17 S. Elaborado por: Joel Montes, Fiorela Pacho. Tutoría: Ing. Gloria Piedad Iñiguez. Fecha: 24/06/2026.

4.1.1.1.7 Mapa de amenaza a caída de ceniza de los sectores Yanayacu la dolorosa y Mochapata

El mapa de amenaza a caída de ceniza para los sectores Yanayacu - La Dolorosa y Mochapata representa la distribución espacial de las áreas con mayor probabilidad de ser afectadas por este fenómeno, elaborado a partir del mapa de peligro volcánico del volcán Tungurahua proporcionado por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN). Para su construcción, se delimitaron las áreas de influencia por caída de ceniza mediante la generación de dos buffers concéntricos, considerando la dirección predominante de los vientos en la zona, lo que permitió establecer dos categorías de amenaza: Ceniza_Alto_Impacto representado con color rojo y Ceniza_Impacto_significativo representado con color naranja, cada una con valores normalizados asignados con base en investigaciones previas y reportes históricos de afectación en la parroquia Yanayacu.

Los resultados muestran que la categoría Ceniza_Alto_Impacto, correspondiente al buffer más cercano al volcán y con un valor de amenaza de 0,7, abarca una superficie de 34.630.421 ha, distribuidas en dos áreas principales: 18.412.514 ha y 16.217.907 ha. Esta categoría representa la zona de mayor probabilidad de afectación por caída de ceniza, donde se esperan los impactos más severos en caso de una erupción del volcán Tungurahua, de acuerdo con los reportes históricos documentados en la zona (El Comercio, 2015; El Universo, 2011). La superficie que ocupa esta categoría muestra que una parte importante del territorio está ubicada en la zona de mayor impacto por caída de ceniza volcánica.

En cambio, la categoría *Ceniza_Impacto_significativo* se ubica a mayor distancia del volcán, tiene un valor de amenaza de 0,2 y ocupa 0,921071 ha. En las zonas de menor impacto, las afectaciones podrían ser menos intensas; sin embargo, la caída de ceniza todavía representa

una amenaza para las viviendas, las actividades productivas y la salud de la población. Su posible afectación dependerá, entre otros aspectos, de la dirección del viento y de las características que presente una eventual erupción.

En cambio, Yanayacu–La Dolorosa se encuentra completamente dentro de la categoría *Ceniza_Alto_Impacto*. Por su ubicación, las viviendas, los habitantes y las actividades productivas del sector están expuestos a los efectos que podría generar la caída de ceniza del volcán Tungurahua. Por ello, esta amenaza debe tomarse en cuenta al evaluar el riesgo y desarrollar la planificación territorial. También es importante que la población esté preparada y cuente con información oportuna mediante sistemas de alerta ante posibles cambios en la actividad volcánica.

Por otra parte, el sector Mochapata aparece en el mapa como referencia, ya que también se encuentra dentro del área de influencia de la caída de ceniza. Sin embargo, en el mapa no se especifica su categoría de amenaza, por lo que únicamente se puede señalar que este sector también está expuesto a este fenómeno.

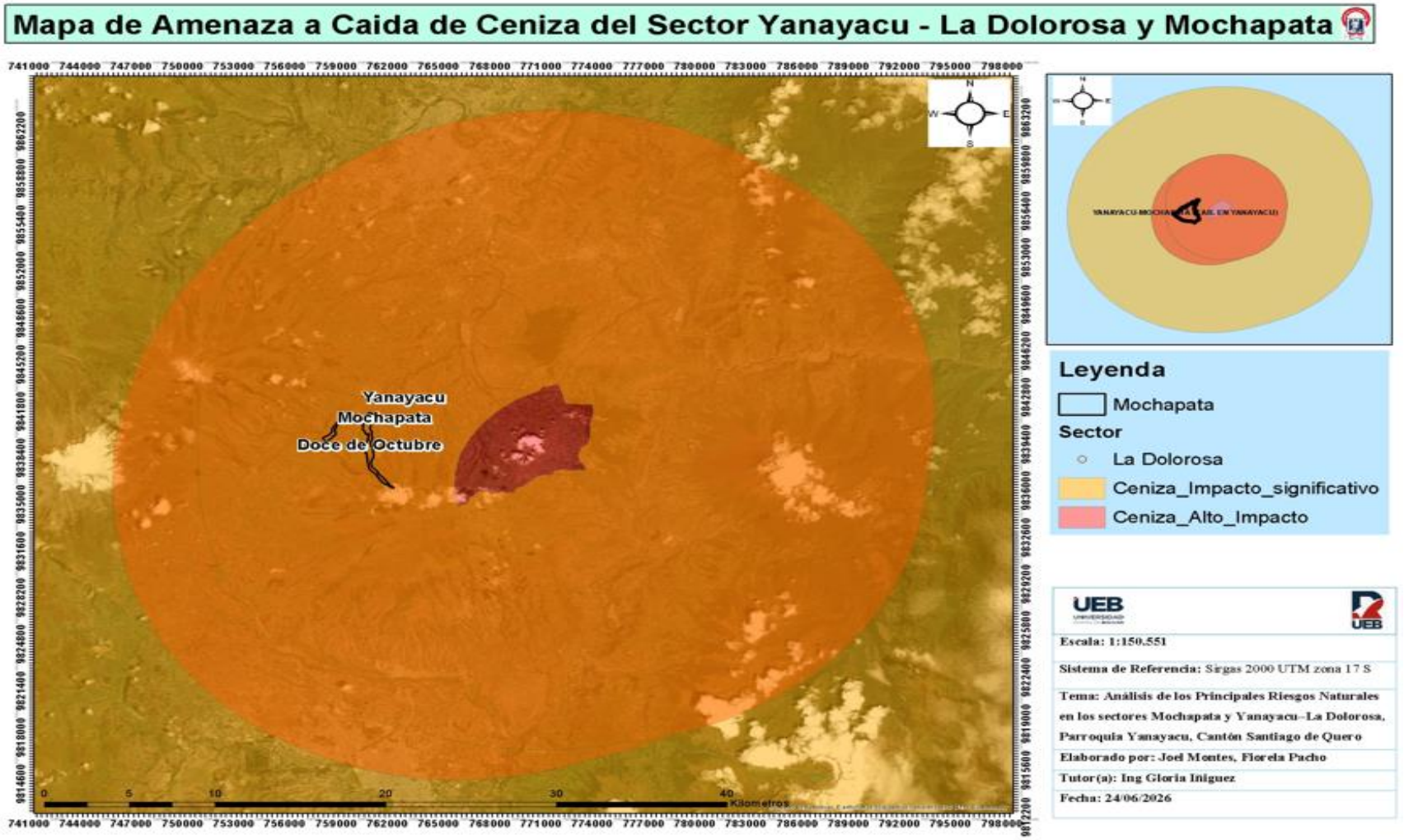
La escala de representación 1:150.551, considerablemente menor que la utilizada en los mapas de amenaza por inundación y deslizamiento, permite una visualización de conjunto del área de influencia del fenómeno, abarcando una extensión territorial mayor que incluye ambos sectores de estudio y sus alrededores. La escala del mapa permite apreciar hasta dónde se extiende la zona de amenaza y cómo se relaciona con los sectores de estudio. Esta representación ofrece una vista general de la distribución de la amenaza por caída de ceniza, a diferencia de los mapas que muestran áreas más pequeñas con mayor detalle.

En el área que muestra el mapa no se identifican zonas con amenaza baja o nula. Esto significa que todo el territorio representado tiene algún nivel de amenaza frente a la caída de

ceniza volcánica. Sin embargo, la posible afectación no sería igual en todas las zonas, ya que dependería de la cantidad de ceniza expulsada durante una erupción y de la dirección en la que se desplace por efecto del viento.

Este mapa también se utiliza como referencia para elaborar el mapa de riesgo, debido a que permite identificar cómo se distribuye la amenaza por caída de ceniza en el territorio. Para su elaboración se tomaron como referencia las zonas de peligro volcánico establecidas por el IG-EPN, a partir de las cuales se delimitaron áreas mediante buffers concéntricos. Posteriormente, se asignaron valores de amenaza normalizados considerando los reportes históricos. De esta manera, se obtuvo una representación espacial que permite relacionar la amenaza volcánica con las condiciones de los sectores estudiados. Posteriormente, esta información será integrada con los mapas de vulnerabilidad, elaborados mediante indicadores normalizados de acuerdo con la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), permitiendo obtener una representación más precisa del riesgo por caída de ceniza en los sectores Yanayacu - La Dolorosa y Mochapata

Figura 7 Mapa de amenaza a caída de ceniza de los sectores Yanayacu la dolorosa y Mochapata



Mapa de amenaza a caída de ceniza de los sectores Yanayacu - La Dolorosa y Mochapata, elaborado a partir del mapa de peligro volcánico del volcán Tungurahua proporcionado por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN), mediante la generación de dos buffers concéntricos que establecen las categorías: Ceniza_Alto_Impacto y Ceniza_Impacto_significativo. Escala 1:150.551, Sistema de Referencia Sirgas 2000 UTM zona 17 S. Elaborado por: Joel Montes, Fiorela Pacho. Tutoría: Ing. Gloria Iñiguez. Fecha: 24/06/2026.

4.1.1.1.8 Mapa de vulnerabilidad a caída de ceniza del sector Mochapata

El mapa de vulnerabilidad a caída de ceniza del sector Mochapata representa la distribución espacial del nivel de vulnerabilidad de los elementos expuestos frente a este fenómeno, elaborado mediante la metodología propuesta por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Para su construcción se utilizaron indicadores normalizados en un rango de 0 a 1, los cuales fueron procesados mediante interpolación espacial utilizando el método Kriging, permitiendo obtener una superficie continua que refleja las variaciones de vulnerabilidad dentro del área de estudio, representada cartográficamente a escala La escala de 1:1.276 permite observar con detalle la distribución de la vulnerabilidad física en el sector Mochapata.

Los valores registrados van de 0,011 a 0,136 y se agruparon en nueve intervalos para facilitar la interpretación del mapa. Los índices más altos, entre 0,122 y 0,136, se ubican principalmente en determinados puntos de Mochapata. En estas zonas, los indicadores utilizados en la evaluación muestran condiciones de mayor vulnerabilidad física. Esta distribución refleja que, de acuerdo con los indicadores evaluados por la metodología del PNUD, dichas áreas presentan condiciones que incrementan su susceptibilidad ante los efectos de una caída de ceniza, debido a la mayor presencia de población, infraestructura y otros componentes expuestos que podrían resultar afectados.

Por otra parte, los valores más bajos de vulnerabilidad, comprendidos entre 0,011 y 0,025, se localizan en áreas periféricas del sector Mochapata, donde la densidad de viviendas es menor y los elementos expuestos se encuentran más dispersos. Esta distribución espacial refleja una menor concentración de componentes susceptibles de sufrir daños, razón por la cual los índices de vulnerabilidad disminuyen progresivamente en estas áreas. La diferencia entre los

valores extremos, que abarca aproximadamente 0,125 unidades en la escala normalizada, resulta significativa desde el punto de vista del análisis espacial, ya que permite diferenciar claramente las zonas que presentan mayor susceptibilidad frente a aquellas con condiciones más favorables.

Los intervalos intermedios de vulnerabilidad (0,025 - 0,122) se distribuyen de manera gradual entre las zonas de mayor y menor vulnerabilidad, reflejando el comportamiento continúo generado por el proceso de interpolación Kriging. Esta técnica permite estimar los valores de las zonas donde no existen datos puntuales a partir de la relación espacial y la autocorrelación entre los indicadores evaluados, evitando cambios abruptos entre una categoría y otra y facilitando la identificación de sectores con diferentes niveles de susceptibilidad. La transición gradual observada entre los diferentes intervalos demuestra que la vulnerabilidad en el sector no presenta límites definidos, sino que varía de manera continua en el espacio, lo cual resulta consistente con la naturaleza de los fenómenos sociales y de exposición.

Un aspecto relevante del análisis es que los valores de vulnerabilidad en el sector Mochapata (0,011 - 0,136) son considerablemente más bajos que los observados en el sector Yanayacu - La Dolorosa (0,180 - 0,378) para el mismo fenómeno. Esta diferencia significativa sugiere que el sector Mochapata presenta una menor concentración de elementos expuestos o condiciones socioeconómicas más favorables que reducen su vulnerabilidad frente a la caída de ceniza, posiblemente asociadas a una menor densidad poblacional o a diferencias en las características de la infraestructura y servicios disponibles en el sector.

La escala de representación 1:1.276 permite una visualización extremadamente precisa de las zonas de vulnerabilidad, facilitando la identificación de áreas específicas con condiciones críticas y su relación con los elementos expuestos presentes en el sector. Este nivel de detalle resulta fundamental para comprender la magnitud del problema y su impacto potencial sobre la

comunidad, ya que permite establecer una correspondencia directa entre los niveles de vulnerabilidad y la ubicación de viviendas e infraestructura representadas en el mapa.

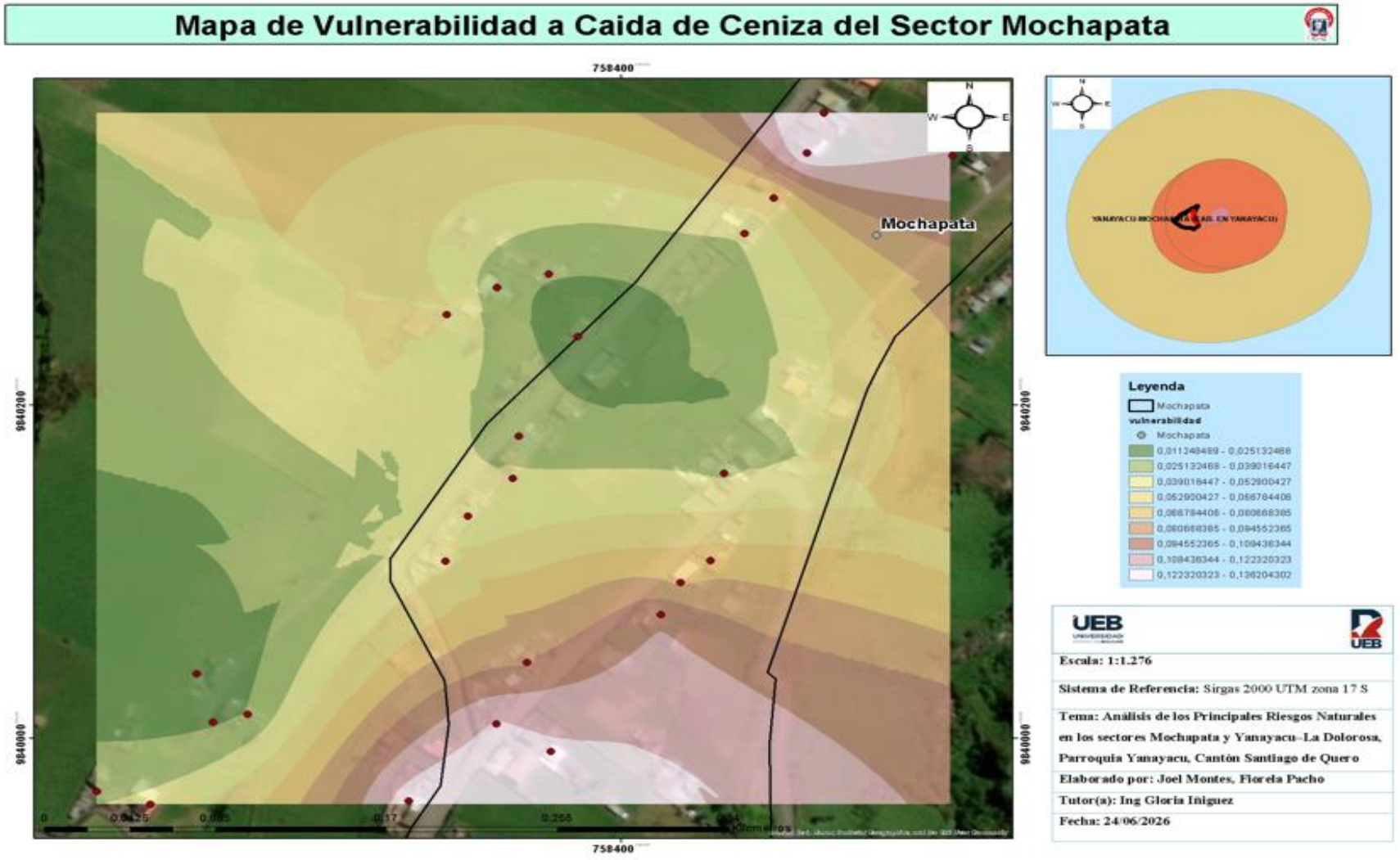
La distribución espacial de la vulnerabilidad evidencia una estrecha relación con la localización de los asentamientos humanos y la infraestructura existente en el sector Mochapata. Las áreas de mayor vulnerabilidad coinciden con las zonas de mayor concentración poblacional, lo que refleja la lógica del modelo utilizado, donde la exposición y la susceptibilidad de los elementos son los principales determinantes del índice de vulnerabilidad. Por el contrario, las zonas menos vulnerables corresponden a áreas con menor intervención antrópica y menor densidad de elementos expuestos, lo que confirma la coherencia de los resultados obtenidos.

Desde la perspectiva metodológica, el uso de la interpolación Kriging ha permitido generar una superficie continua de vulnerabilidad que captura adecuadamente las variaciones espaciales del territorio, superando las limitaciones de los métodos de clasificación discreta. Esta técnica resulta especialmente adecuada para el análisis de vulnerabilidad, ya que los fenómenos sociales no presentan límites definidos, sino que varían de manera gradual en el espacio, y el Kriging permite estimar valores en ubicaciones no muestreadas basándose en la autocorrelación espacial de los datos, proporcionando una representación más realista de la distribución de la vulnerabilidad.

Finalmente, el mapa de vulnerabilidad a caída de ceniza del sector Mochapata constituye un componente fundamental para la evaluación del riesgo, ya que será integrado con el mapa de amenaza por caída de ceniza mediante el procedimiento establecido en la metodología de la investigación (multiplicación de capas ráster normalizadas). La combinación de la amenaza (que representa la probabilidad de ocurrencia del fenómeno, determinada a partir del mapa de peligro volcánico del IG-EPN) con la vulnerabilidad (que representa la susceptibilidad de los elementos

expuestos) permitirá obtener la distribución espacial del riesgo por caída de ceniza en el sector Mochapata. Esta integración constituye el siguiente paso dentro de la metodología de la investigación, y permitirá identificar las zonas donde la combinación de alta amenaza y alta vulnerabilidad genera las condiciones más críticas en términos de riesgo, orientando así los esfuerzos hacia la reducción de la vulnerabilidad y el fortalecimiento de la resiliencia comunitaria frente a este fenómeno.

Figura 8 Mapa de vulnerabilidad a caída de ceniza del sector Mochapata



Nota: Mapa de vulnerabilidad a caída de ceniza del sector Mochapata, elaborado mediante la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), basada en indicadores normalizados en un rango de 0 a 1 y procesados mediante interpolación Kriging. Los valores representados varían desde 0,011 hasta 0,136. Escala 1:1.276, Sistema de Referencia Sirgas 2000 UTM zona 17 S. Elaborado por: Joel Montes, Fiorela Pacho. Tutoría: Ing. Gloria Iñiguez. Fecha: 24/06/2026.

4.1.1.1.9 Mapa de riesgos de caída de ceniza en el sector Mochapata

El mapa de riesgo a caída de ceniza del sector Mochapata representa la distribución espacial del nivel de riesgo obtenido mediante la integración del mapa de amenaza por caída de ceniza y el mapa de vulnerabilidad, aplicando la multiplicación de ambos índices previamente normalizados en un rango de 0 a 1. Este procedimiento permitió identificar las áreas de afectación donde coinciden una mayor probabilidad de ocurrencia del fenómeno con condiciones de vulnerabilidad más elevadas, obteniendo una representación integral del riesgo dentro del área total del estudio, la cual fue de 18,49 ha.

Los resultados muestran que la totalidad del sector Mochapata (18,49 ha) se encuentra clasificada dentro de la categoría de riesgo Bajo representado con color verde, lo que representa el 100 % del área de estudio. Esta clasificación única evidencia que en el sector Mochapata no se identifican zonas con niveles de riesgo medio o alto, lo que indica una distribución homogénea del riesgo en todo el territorio.

Es importante señalar que el riesgo Bajo en este sector no significa que no exista peligro por caída de ceniza. Como se observa en el mapa de amenaza a caída de ceniza, el sector Mochapata se encuentra dentro de la zona de Ceniza_Alto_Impacto, lo que indica que la amenaza es Alta (con un valor de 0,7). Sin embargo, al multiplicar la amenaza por la vulnerabilidad para obtener el riesgo, el resultado final es Bajo. Esto se debe a que la población y las viviendas del sector Mochapata presentan condiciones de baja vulnerabilidad frente a la caída de ceniza, lo que influye en que el nivel de riesgo general también sea bajo.

Esta baja vulnerabilidad puede estar relacionada con algunas características de las viviendas, como el tipo de techo, ya que varios presentan inclinación y resistencia, lo que facilita que la ceniza se acumule en menor cantidad y disminuye la posibilidad de daños en la estructura

por su peso. De igual manera, la disponibilidad de agua potable en el sector constituye un elemento que disminuye la vulnerabilidad, ya que permite a la población realizar acciones de limpieza y mantenimiento durante y después de un evento de caída de ceniza.

El nivel de conocimiento de la comunidad sobre cómo actuar ante una caída de ceniza también contribuye a la reducción de la vulnerabilidad, esto porque ya existieron antecedentes de caída de ceniza anteriormente. Una población que conoce los posibles efectos de la caída de ceniza y está preparada para este tipo de eventos puede aplicar medidas de protección, como el uso de mascarillas, la limpieza de los techos y el cuidado de las fuentes de agua. Estas acciones ayudan a reducir las posibles afectaciones. Además, la menor cantidad de viviendas y población en el sector Mochapata influye en que la exposición y la vulnerabilidad sean menores.

La escala de representación 1:1.276 permite observar con mayor detalle las viviendas y su ubicación dentro de la categoría de riesgo Bajo. Al incluir la capa de "Casas Mochapata", se puede observar que todas las viviendas del sector se encuentran dentro de esta categoría. Esto indica que, aunque la amenaza por caída de ceniza es alta, los bajos valores de vulnerabilidad hacen que el nivel de riesgo obtenido sea bajo.

Este comportamiento demuestra que el riesgo no depende exclusivamente de la probabilidad de ocurrencia de la caída de ceniza, sino de la interacción conjunta entre las condiciones físicas del territorio (determinadas por la dirección de los vientos y la proximidad al volcán) y las características de los elementos expuestos (concentración poblacional, tipo de infraestructura, nivel de preparación comunitaria, entre otros). La comprensión de esta dinámica resulta fundamental para la planificación de estrategias de reducción del riesgo, ya que permite identificar que, en sectores con amenaza alta, la reducción de la vulnerabilidad constituye la vía más efectiva para disminuir el riesgo general.

En términos generales, el mapa de riesgo sintetiza los resultados obtenidos durante el proceso metodológico desarrollado en la investigación, integrando la evaluación de la amenaza mediante la metodología de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) y el análisis de vulnerabilidad basado en la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). La distribución espacial obtenida permite identificar con claridad los sectores que presentan diferentes niveles de riesgo dentro del área de estudio, constituyendo el principal resultado cartográfico de la investigación y la base técnica para el planteamiento de las estrategias de reducción del riesgo desarrolladas en los capítulos posteriores.

Figura 9 Mapa de riesgos a caída de ceniza del sector Mochapata



Nota: Mapa de riesgo a caída de ceniza del sector Mochapata, obtenido mediante la integración de los mapas de amenaza y vulnerabilidad, aplicando la multiplicación de ambos índices previamente normalizados en un rango de 0 a 1. La categoría representada es Bajo, ocupando la totalidad del sector (18,49 ha). Escala 1:1.276, Sistema de Referencia Sirgas 2000 UTM zona 17 S. Elaborado por: Joel Montes, Fiorela Pacho. Tutoría: Ing. Gloria Iñiguez. Fecha: 24/06/2026.

4.1.1.2 Sector Yanayacu – La Dolorosa

4.1.1.2.1 Mapa de Amenaza a inundaciones del sector Yanayacu- La Dolorosa

El mapa de amenaza a inundaciones para el sector Yanayacu - La Dolorosa presenta dos categorías: Alta en color rojo con un área de 8,.434473 ha y Media en color amarillo con un área de 96,350005 ha. Este mapa representa la distribución espacial de las áreas con mayor probabilidad de ser afectadas por procesos de inundación, obtenido mediante la metodología propuesta por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR), la cual integra variables físicas e hidrológicas normalizadas en un rango de 0 a 1. La combinación de factores como la saturación, la permeabilidad y la pendiente del suelo, las zonas de acumulación, la cobertura y uso del suelo y la precipitación permitió determinar los distintos niveles de amenaza por inundación en el área de estudio.

En el mapa se observa que las zonas de amenaza alta se ubican principalmente en la parte central y sur del sector. Estas áreas siguen el recorrido del cauce principal y se encuentran en terrenos de menor elevación. Esto se debe a que en estas zonas existen terrenos con poca inclinación, donde el agua tiende a permanecer acumulada. Durante las lluvias intensas, esta situación puede dificultar su salida y aumentar la posibilidad de que se produzcan inundaciones. A esto se suma la cercanía a los cauces, que aumenta la posibilidad de afectación cuando se incrementa el caudal.

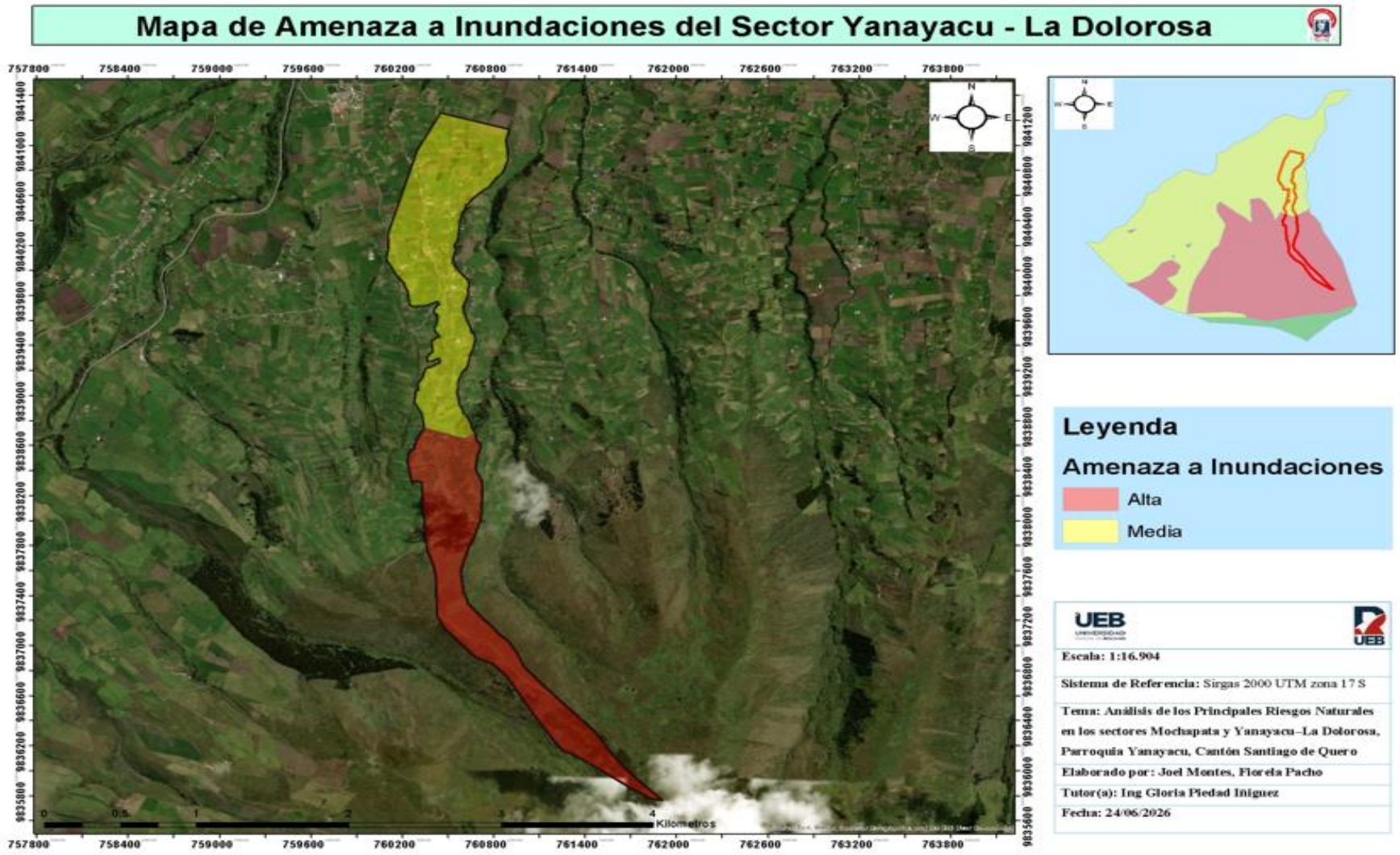
Por otra parte, la amenaza media ocupa la mayor parte del área de estudio y se presenta principalmente hacia el norte. Aunque en estas zonas existen condiciones algo más favorables para el drenaje, todavía pueden producirse inundaciones debido a la influencia de la precipitación y a las características de permeabilidad y cobertura del suelo. Estos resultados muestran que la

amenaza por inundación depende de la combinación de varios factores del territorio y no de una sola característica del terreno.

Por otra parte, no se encontraron zonas clasificadas con amenaza baja, por lo que todo el sector Yanayacu–La Dolorosa presenta algún grado de amenaza frente a las inundaciones. Esto se relaciona con las características del relieve, la red de drenaje y las condiciones del suelo consideradas en el modelo. Por esta razón, las áreas que podrían verse afectadas no se limitan únicamente a las cercanías del cauce principal, sino que también incluyen otros lugares del sector donde se presentan condiciones favorables para la acumulación de agua.

Estos resultados constituyen un aporte para el análisis integral del riesgo, debido a que permiten reconocer cómo las características naturales del territorio influyen en la probabilidad de ocurrencia de inundaciones. Posteriormente, esta información será integrada con los resultados del análisis de vulnerabilidad, elaborados mediante la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), con el propósito de obtener el mapa de riesgo por inundaciones del sector Yanayacu – La Dolorosa.

Figura 10 Mapa de Amenaza a inundaciones del sector Yanayacu- La Dolorosa



Nota: Mapa de amenaza a inundaciones del sector Yanayacu - La Dolorosa, elaborado mediante la metodología de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR), que integra variables físicas e hidrológicas normalizadas en un rango de 0 a 1. Las categorías representadas son: Alta (8,434473 ha) y Media (96,350005 ha). Escala 1:16.904, Sistema de Referencia Sirgas 2000 UTM zona 17 S. Elaborado por: Joel Montes, Fiorela Pacho. Tutoría: Ing. Gloria Iñiguez. Fecha: 24/06/2026.

4.1.1.2.2 Mapa de vulnerabilidad a inundaciones del sector Yanayacu- la Dolorosa

El mapa de vulnerabilidad a inundaciones del sector Yanayacu – La Dolorosa representa la distribución espacial del nivel de vulnerabilidad de los elementos expuestos frente a este fenómeno, elaborado mediante la metodología propuesta por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Para su construcción se utilizaron indicadores normalizados en un rango de 0 a 1, los cuales fueron procesados mediante interpolación espacial utilizando el método Kriging, permitiendo obtener una superficie continua que refleja las variaciones de vulnerabilidad dentro del área de estudio.

Los resultados muestran valores comprendidos aproximadamente entre 0,167 y 0,305, clasificados en diez intervalos, evidenciando una variación gradual de la vulnerabilidad en el territorio. Los valores más altos se concentran principalmente en el sector sur, donde se localiza la comunidad de La Dolorosa y existe una mayor concentración de viviendas y elementos expuestos. Esta distribución refleja que, de acuerdo con los indicadores evaluados por la metodología del PNUD, dichas áreas presentan condiciones que incrementan su susceptibilidad ante los efectos de una inundación, debido a la mayor presencia de población, infraestructura y otros componentes expuestos.

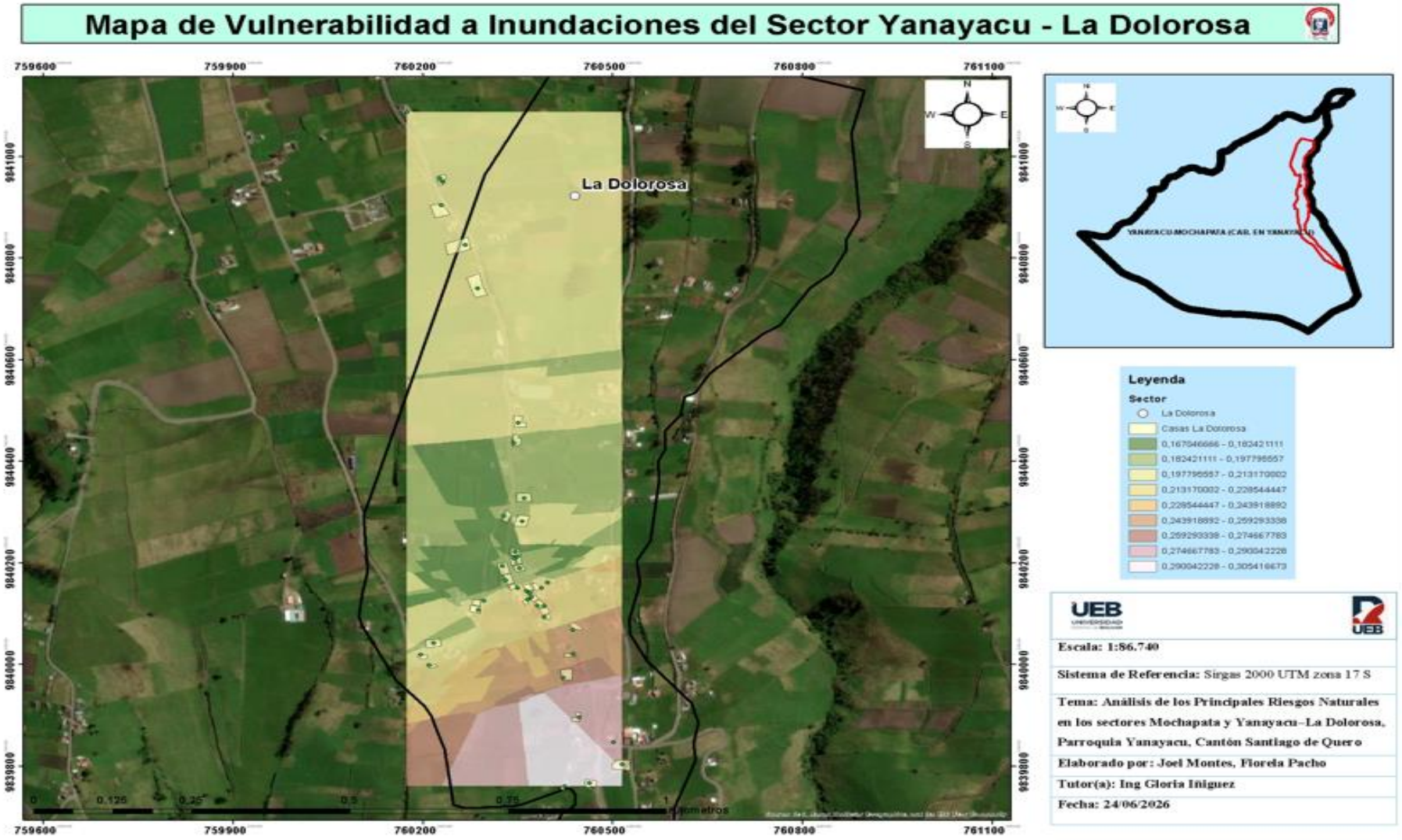
Por otra parte, los valores más bajos de vulnerabilidad, cercanos a 0,16 se localizan principalmente hacia el sector norte del área de estudio, donde la densidad de viviendas es menor y los elementos expuestos se encuentran más dispersos. Esta distribución espacial refleja una menor concentración de componentes susceptibles de sufrir daños, razón por la cual los índices de vulnerabilidad disminuyen progresivamente en estas áreas.

La transición gradual observada entre los diferentes intervalos de vulnerabilidad demuestra el comportamiento continúo generado por el proceso de interpolación Kriging, el cual

permite estimar los valores de las zonas donde no existen datos puntuales a partir de la relación espacial entre los indicadores evaluados. De esta manera, el mapa representa de forma más realista la distribución de la vulnerabilidad dentro del territorio, evitando cambios abruptos entre una categoría y otra y facilitando la identificación de sectores con diferentes niveles de susceptibilidad.

En términos generales, los resultados evidencian que la vulnerabilidad dentro del sector Yanayacu – La Dolorosa no presenta una distribución homogénea, sino que varía de acuerdo con la localización y concentración de los elementos expuestos considerados en el análisis. Esta variabilidad espacial constituye un componente fundamental para la evaluación del riesgo, ya que posteriormente será integrada con el mapa de amenaza por inundaciones mediante el procedimiento establecido en la metodología de la investigación, permitiendo obtener la distribución espacial del riesgo por inundación en el área de estudio.

Figura 11 Mapa de vulnerabilidad a inundaciones del sector Yanayacu- la Dolorosa



Nota: Mapa de vulnerabilidad a inundaciones del sector Yanayacu - La Dolorosa, elaborado mediante la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), basada en indicadores normalizados en un rango de 0 a 1 y procesados mediante interpolación Kriging. Escala 1:86.740, Sistema de Referencia Sirgas 2000 UTM zona 17 S. Elaborado por: Joel Montes, Fiorela Pacho. Tutoría: Ing. Gloria Iñiguez. Fecha: 24/06/2026.

4.1.1.2.3 Mapa de Riesgo a inundaciones del sector Yanayacu- La Dolorosa

El mapa de riesgo por inundaciones del sector Yanayacu – La Dolorosa representa la distribución espacial del nivel de riesgo obtenido mediante la integración del mapa de amenaza por inundaciones y el mapa de vulnerabilidad, aplicando la multiplicación de ambos índices previamente normalizados en un rango de 0 a 1. Este procedimiento permitió identificar las áreas de afectación donde coinciden una mayor probabilidad de ocurrencia del fenómeno con condiciones de vulnerabilidad más elevadas, obteniendo una representación integral del riesgo dentro del área total del estudio el cual fue de 46,5645 ha.

Los resultados muestran una clasificación del riesgo en cinco categorías: Muy Bajo representado con un color verde claro, con un área de afectación de 8,9920 ha, equivalente al 19,31 % del área de estudio; Bajo representado con color verde, con un área de afectación de 25,8007 ha (55,41 %); Medio representado con color amarillo, con un área de afectación de 4,2234 ha (9,07 %); Alto representado con color naranja, con un área de afectación de 2,7927 ha (6,00 %); y Muy Alto representado con color rojo, con un área de afectación de 4,7559 ha (10,21 %). Se evidencia que la categoría Bajo predomina en el área de estudio, ocupando más de la mitad del territorio, mientras que las categorías Alto y Muy Alto representan conjuntamente el 16,21 % del área total, donde coinciden mayores niveles de amenaza y vulnerabilidad evidenciando una distribución espacial diferenciada a lo largo del sector.

Las categorías Muy Bajo y Bajo predominan en la mayor parte del área de estudio y, simultáneamente, los niveles de vulnerabilidad presentan valores relativamente bajos. Como consecuencia, la interacción entre ambos componentes genera niveles reducidos de riesgo en estas zonas.

La categoría de riesgo medio se presenta como una franja de transición entre las zonas de menor y mayor riesgo, reflejando sectores donde alguno de los componentes del riesgo incrementa su intensidad, ya sea por un aumento de la amenaza o por mayores niveles de vulnerabilidad. Esta distribución demuestra que el riesgo no depende exclusivamente de la probabilidad de ocurrencia de una inundación, sino de la interacción conjunta entre las condiciones físicas del territorio y las características de los elementos expuestos.

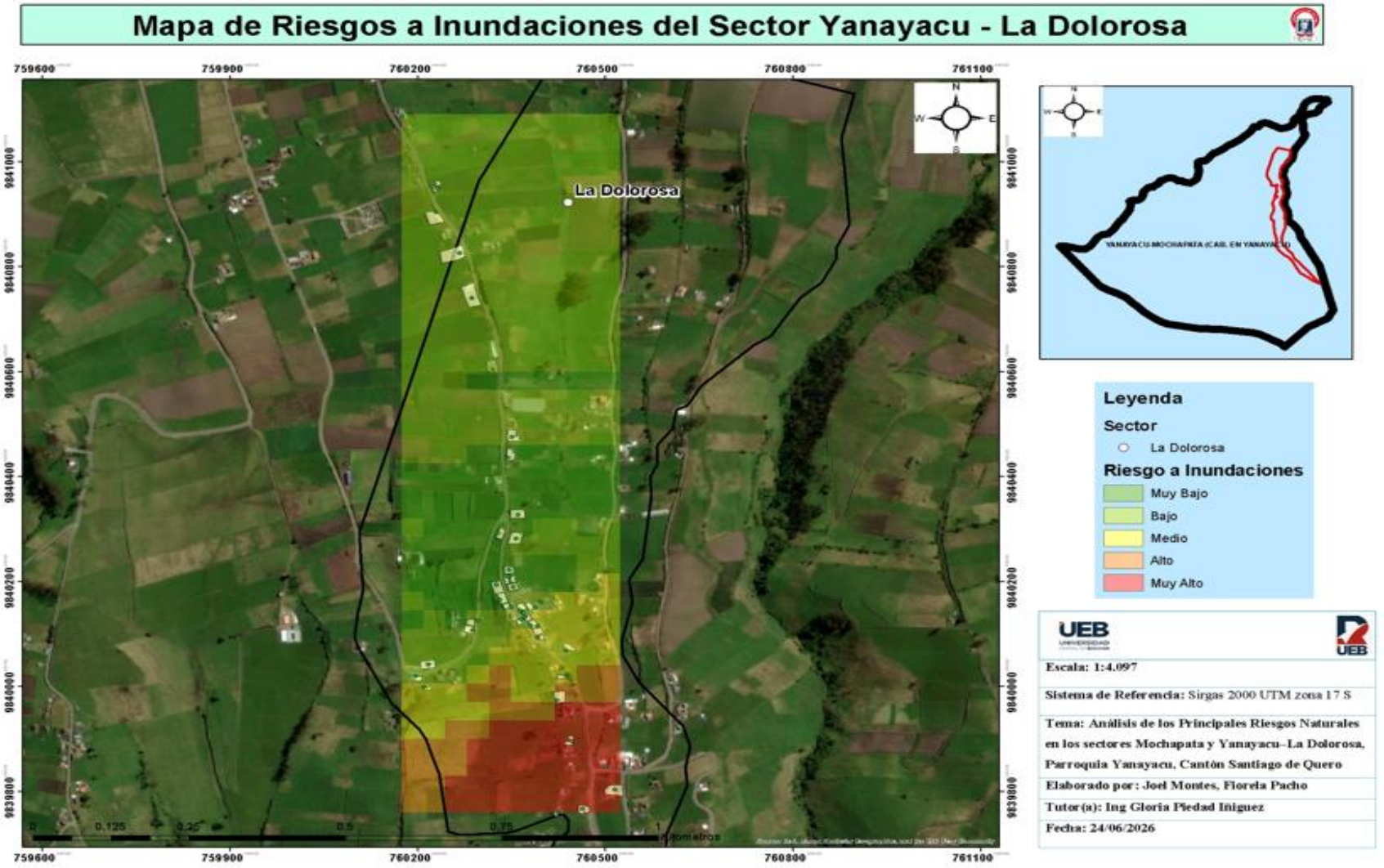
Los niveles de riesgo alto y muy alto se concentran principalmente en la parte sur del sector Yanayacu – La Dolorosa, coincidiendo con las áreas donde el modelo de amenaza identificó mayor probabilidad de inundación y donde el análisis de vulnerabilidad evidenció una mayor concentración de elementos expuestos. La superposición de ambos factores origina los valores más elevados del índice de riesgo, indicando que estas zonas presentan la mayor probabilidad de experimentar impactos significativos en caso de producirse un evento de inundación.

La incorporación de la ubicación de las viviendas dentro del mapa permite observar que una parte de la población se encuentra localizada en áreas clasificadas con riesgo alto y muy alto. Este resultado evidencia la existencia de elementos expuestos dentro de las zonas más críticas del territorio, aspecto que confirma la importancia de considerar simultáneamente la amenaza y la vulnerabilidad para comprender el comportamiento espacial del riesgo y determinar las áreas con mayor potencial de afectación.

En términos generales, el mapa de riesgo sintetiza los resultados obtenidos durante el proceso metodológico desarrollado en la investigación, integrando la evaluación de la amenaza mediante la metodología de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) y el análisis de vulnerabilidad basado en la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el

Desarrollo (PNUD). La distribución espacial obtenida permite identificar con claridad los sectores que presentan diferentes niveles de riesgo dentro del área de estudio, constituyendo el principal resultado cartográfico de la investigación y la base técnica para el planteamiento de las estrategias de reducción del riesgo desarrolladas en los capítulos posteriores.

Figura 12 Mapa de Riesgo a inundaciones del sector Yanayacu- La Dolorosa



Mapa de riesgo a inundaciones del sector Yanayacu - La Dolorosa, obtenido mediante la integración de los mapas de amenaza y vulnerabilidad, aplicando la multiplicación de ambos índices previamente normalizados en un rango de 0 a 1. Las categorías representadas son: Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto. Escala 1:4.097, Sistema de Referencia Sirgas 2000 UTM zona 17 S. Elaborado por: Joel Montes, Fiorela Pacho. Tutoría: Ing. Gloria Iñiguez. Fecha: 24/06/2026.

4.1.1.2.4 Mapa de Amenaza a deslizamiento del sector Yanayacu – La Dolorosa

El mapa de amenaza a deslizamientos del sector Yanayacu – La Dolorosa con un área total de 177,7844 ha evidencia la distribución espacial de las áreas con mayor probabilidad de ser afectadas por procesos de inestabilidad de laderas, obtenida mediante la metodología propuesta por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR), la cual integra variables físicas y ambientales normalizadas en un rango de 0 a 1. La combinación de factores como la pendiente, la precipitación, la cobertura y el uso del suelo, la cercanía a ríos y drenajes y la distancia a las vías permitió identificar las zonas con diferentes niveles de amenaza por deslizamientos en el sector Yanayacu–La Dolorosa.

En el mapa se observa que la categoría de amenaza Alta, representada con color rojo, ocupa una superficie de 82,2447 ha. Las zonas de amenaza Alta se encuentran principalmente en las laderas que rodean los valles y en otros puntos donde existe una mayor inclinación del terreno. La inclinación del terreno tiene una influencia importante en la estabilidad de las laderas, principalmente durante los períodos de lluvia, cuando el incremento de humedad puede modificar las condiciones del suelo. Sin embargo, la pendiente no es el único aspecto que interviene en la ocurrencia de deslizamientos. En el modelo también se consideraron la cobertura vegetal, la proximidad a los cursos de agua y la distancia respecto a las vías. Estos factores pueden generar cambios en las características naturales del terreno. Por ejemplo, durante la construcción de carreteras se realizan cortes que modifican la forma original de las laderas y pueden alterar el drenaje natural del agua.

En el mapa de amenaza, la categoría Media, identificada con el color amarillo, ocupa una extensión de 95,5397 ha, superior a la superficie correspondiente a la categoría Alta. Su distribución se concentra principalmente en terrenos con pendientes moderadas y en áreas donde

las laderas dan paso a superficies de menor inclinación. Aunque estas zonas presentan un relieve menos pronunciado, todavía pueden reunir condiciones que favorecen la ocurrencia de deslizamientos. La combinación de factores como las precipitaciones, la cobertura vegetal y el uso del suelo también puede influir en la estabilidad de estos terrenos, especialmente durante períodos de lluvias intensas o persistentes.

En el mapa tampoco se encontraron áreas clasificadas con amenaza Baja. Esto indica que en todo el sector existe algún grado de amenaza por deslizamientos, aunque no con la misma intensidad. Las diferencias observadas entre las categorías responden a las características del relieve y a los demás factores incluidos en el modelo. Las modificaciones realizadas por las personas también pueden influir en las condiciones de las laderas. Actividades como la construcción de vías y la alteración de los drenajes pueden cambiar las características del terreno y afectar su estabilidad.

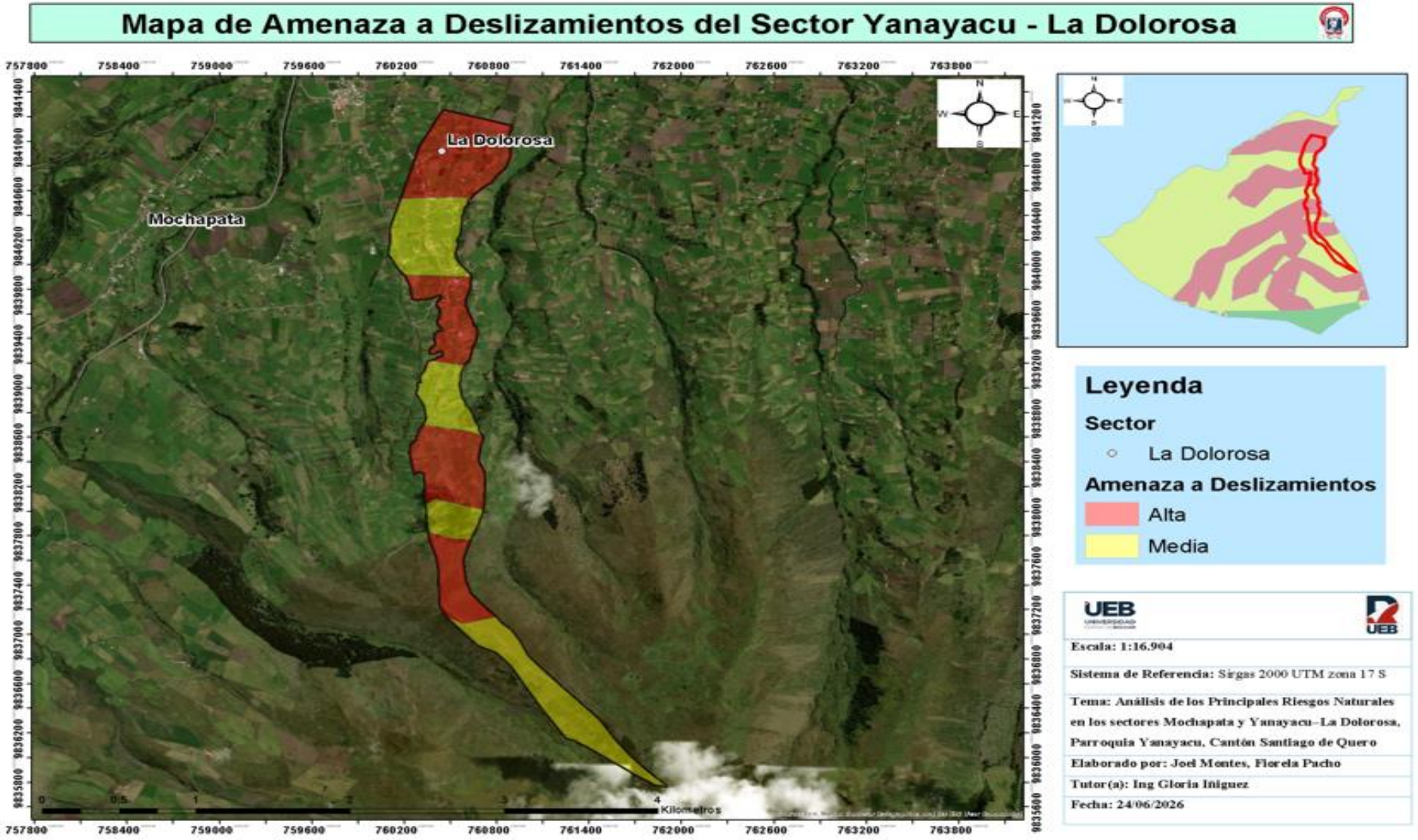
En cuanto a los niveles de amenaza, las categorías más elevadas se ubican principalmente en las zonas con pendientes pronunciadas. En cambio, en los terrenos con menor inclinación predomina la categoría Media. Esta distribución refleja la relación que existe entre las características del relieve y los niveles de amenaza identificados. Esta distribución guarda relación con la ponderación aplicada en el modelo, en el que la pendiente tiene el mayor peso, seguida de la precipitación y la cobertura del suelo. Los resultados permiten ubicar las áreas de Yanayacu–La Dolorosa que necesitan mayor atención frente a los posibles deslizamientos. La transición entre las categorías de amenaza alta y media muestra cómo varían las condiciones del terreno dentro del sector. Esta distribución se presenta de forma gradual, de acuerdo con las características topográficas y ambientales del área de estudio.

El mapa de amenaza a deslizamientos es uno de los insumos utilizados para elaborar el mapa de riesgo, ya que permite identificar las zonas con mayor probabilidad de ocurrencia de estos eventos. El mapa, elaborado a escala 1:16.904, presenta el territorio con un nivel de detalle que facilita la identificación de las áreas donde las condiciones del relieve y las características del suelo favorecen una mayor susceptibilidad a los deslizamientos. Además, facilita identificar la ubicación de elementos como viviendas e infraestructura, cuya exposición se toma en cuenta en el análisis del riesgo.

Para elaborar este mapa se utilizó el Modelo Digital de Terreno (MDT) de ALOS PALSAR RTC, junto con los datos de precipitación del INAMHI, la información de cobertura y uso del suelo del MAG y la cartografía base del IGM. La combinación de estas fuentes permitió analizar las características del terreno y establecer las zonas que presentan mayores condiciones para la ocurrencia de movimientos en masa.

Finalmente, el mapa de amenaza por deslizamientos será integrado con los mapas de vulnerabilidad, elaborados mediante indicadores normalizados de acuerdo con la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y especializados a través de interpolación de Kriging, permitiendo obtener una representación más precisa del riesgo por deslizamiento en el sector Yanayacu – La Dolorosa. Esta integración constituye el paso siguiente dentro de la metodología de la investigación, y permitirá identificar las zonas donde la combinación de alta amenaza y alta vulnerabilidad genera las condiciones más críticas en términos de riesgo, orientando así los esfuerzos hacia la reducción de la vulnerabilidad y el fortalecimiento de la resiliencia comunitaria frente a este fenómeno.

Figura 13 Mapa de Amenaza a deslizamiento del sector Yanayacu – La dolorosa



Nota: Mapa de amenaza a deslizamientos del sector Yanayacu - La Dolorosa, elaborado mediante la metodología de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR), que integra variables físicas y ambientales normalizadas en un rango de 0 a 1. Las categorías representadas son: Alta y Media. Escala 1:16.904, Sistema de Referencia Sirgas 2000 UTM zona 17 S. Elaborado por: Joel Montes, Fiorela Pacho. Tutoría: Ing. Gloria Iñiguez. Fecha: 24/06/2026.

4.1.1.2.5 Mapa de vulnerabilidad a deslizamiento del sector Yanayacu- La Dolorosa

El mapa de vulnerabilidad a deslizamientos del sector Yanayacu – La Dolorosa representa la distribución espacial del nivel de vulnerabilidad de los elementos expuestos frente a este fenómeno, elaborado mediante la metodología propuesta por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Para su construcción se utilizaron indicadores normalizados en un rango de 0 a 1, los cuales fueron procesados mediante interpolación espacial utilizando el método Kriging, permitiendo obtener una superficie continua que refleja las variaciones de vulnerabilidad dentro del área de estudio.

Los valores obtenidos se encuentran aproximadamente entre 0,180 y 0,378, distribuidos en nueve intervalos para su representación en el mapa. La distribución de los valores permite observar que la vulnerabilidad física no presenta el mismo nivel en todo el territorio. Los índices más elevados, comprendidos entre 0,356 y 0,378, se concentran principalmente en el sector de La Dolorosa, donde los indicadores analizados reflejan condiciones de mayor vulnerabilidad física. Esta distribución refleja que, de acuerdo con los indicadores evaluados por la metodología del PNUD (que consideran aspectos como la densidad poblacional, tipología de vivienda, acceso a servicios básicos y nivel educativo), dichas áreas presentan condiciones que incrementan su susceptibilidad ante los efectos de un deslizamiento, debido a la mayor presencia de población, infraestructura y otros componentes expuestos que podrían resultar afectados.

Por otra parte, los valores más bajos de vulnerabilidad, comprendidos entre 0,180 y 0,202, se localizan principalmente hacia las zonas periféricas del sector Yanayacu, donde la densidad de viviendas es menor y los elementos expuestos se encuentran más dispersos. Esta distribución espacial refleja una menor concentración de componentes susceptibles de sufrir daños, razón por la cual los índices de vulnerabilidad disminuyen progresivamente en estas

áreas. La diferencia entre los valores extremos, que abarca aproximadamente 0,198 unidades en la escala normalizada, resulta significativa desde el punto de vista del análisis espacial, ya que permite diferenciar claramente las zonas que presentan mayor susceptibilidad frente a aquellas con condiciones más favorables.

Los intervalos intermedios de vulnerabilidad (0,202 - 0,356) se distribuyen de manera gradual entre las zonas de mayor y menor vulnerabilidad, reflejando el comportamiento continúo generado por el proceso de interpolación Kriging. Esta técnica permite estimar los valores de las zonas donde no existen datos puntuales a partir de la relación espacial y la autocorrelación entre los indicadores evaluados, evitando cambios abruptos entre una categoría y otra y facilitando la identificación de sectores con diferentes niveles de susceptibilidad. La transición gradual observada entre los diferentes intervalos demuestra que la vulnerabilidad en el sector no presenta límites definidos, sino que varía de manera continua en el espacio, lo cual resulta consistente con la naturaleza de los fenómenos sociales y de exposición.

Un aspecto relevante del análisis es que los valores de vulnerabilidad en el sector Yanayacu – La Dolorosa se encuentran en un rango relativamente moderado (0,180 - 0,378), lo que indica que, aunque existen diferencias espaciales significativas, ninguna zona alcanza niveles extremadamente altos de vulnerabilidad. Sin embargo, esto no disminuye la importancia del análisis, ya que la vulnerabilidad debe interpretarse en términos relativos dentro del área de estudio y en combinación con los niveles de amenaza para determinar el riesgo real. La identificación de las zonas con mayores índices de vulnerabilidad, particularmente en La Dolorosa, permite focalizar la atención en los sectores donde la combinación de factores sociales y físicos genera las condiciones más críticas.

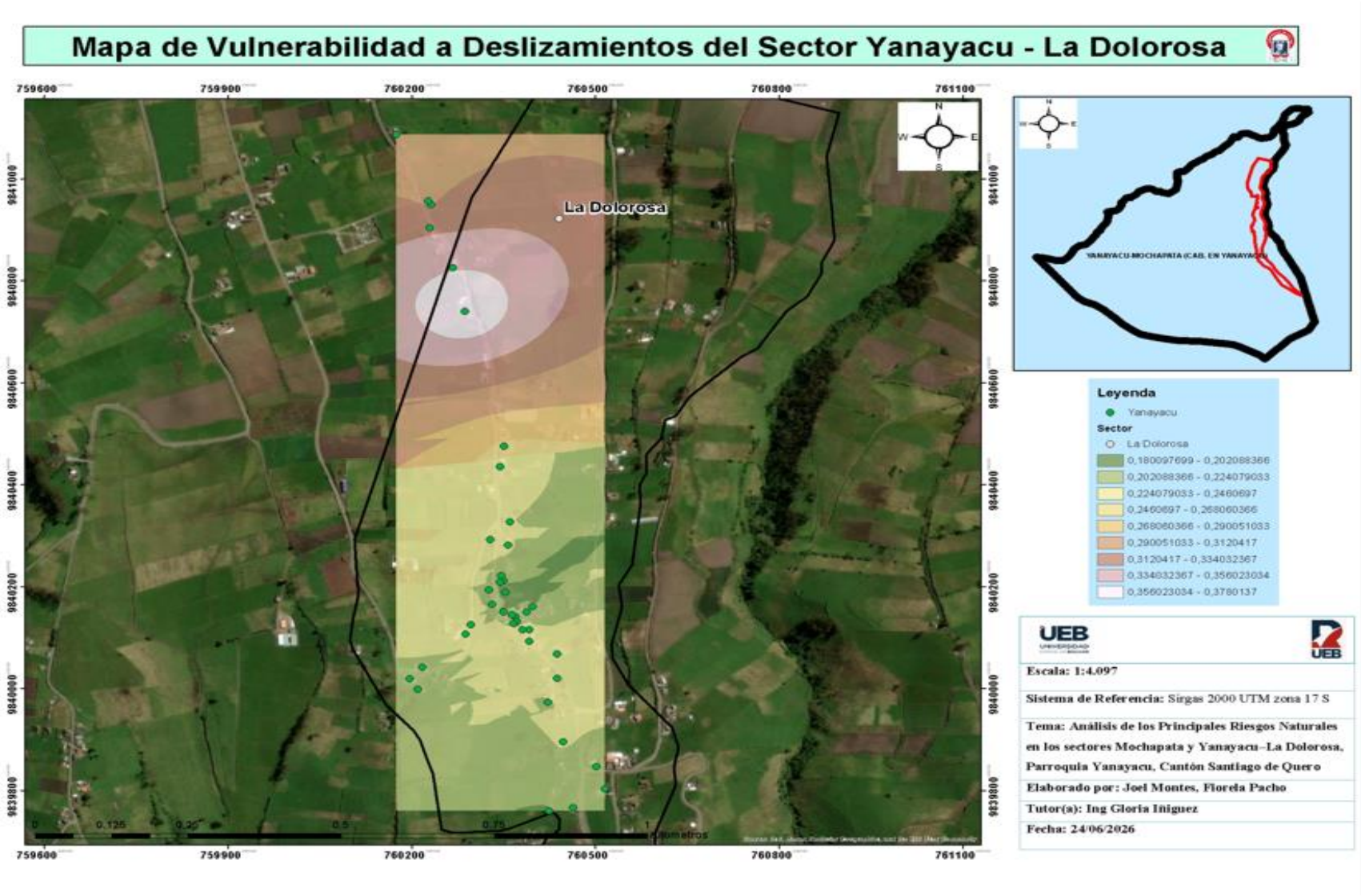
La distribución espacial de la vulnerabilidad evidencia una estrecha relación con la localización de los asentamientos humanos y la infraestructura existente en el sector. Las áreas de mayor vulnerabilidad coinciden con las zonas de mayor concentración poblacional, lo que refleja la lógica del modelo utilizado, donde la exposición y la susceptibilidad de los elementos son los principales determinantes del índice de vulnerabilidad. Por el contrario, las zonas menos vulnerables corresponden a áreas con menor intervención antrópica y menor densidad de elementos expuestos, lo que confirma la coherencia de los resultados obtenidos.

Desde la perspectiva metodológica, el uso de la interpolación Kriging ha permitido generar una superficie continua de vulnerabilidad que captura adecuadamente las variaciones espaciales del territorio, superando las limitaciones de los métodos de clasificación discreta. Esta técnica resulta especialmente adecuada para el análisis de vulnerabilidad, ya que los fenómenos sociales no presentan límites definidos, sino que varían de manera gradual en el espacio, y el Kriging permite estimar valores en ubicaciones no muestreadas basándose en la autocorrelación espacial de los datos, proporcionando una representación más realista de la distribución de la vulnerabilidad.

Finalmente, el mapa de vulnerabilidad a deslizamientos constituye un componente fundamental para la evaluación del riesgo, ya que será integrado con el mapa de amenaza por deslizamientos mediante el procedimiento establecido en la metodología de la investigación (multiplicación de capas ráster normalizadas). La combinación de la amenaza (que representa la probabilidad de ocurrencia del fenómeno, determinada a partir de variables como pendiente, precipitación, cobertura del suelo, proximidad a ríos y distancia a vías) con la vulnerabilidad (que representa la susceptibilidad de los elementos expuestos) permitirá obtener la distribución espacial del riesgo por deslizamiento en el sector Yanayacu – La Dolorosa. Esta integración

constituye el siguiente paso dentro de la metodología de la investigación, y permitirá identificar las zonas donde la combinación de alta amenaza y alta vulnerabilidad genera las condiciones más críticas en términos de riesgo, orientando así los esfuerzos hacia la reducción de la vulnerabilidad y el fortalecimiento de la resiliencia comunitaria frente a este fenómeno.

Figura 14 Mapa de vulnerabilidad a deslizamiento del sector Yanayacu- La Dolorosa



Nota: Mapa de vulnerabilidad a deslizamientos del sector Yanayacu - La Dolorosa, elaborado mediante la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), basada en indicadores normalizados en un rango de 0 a 1 y procesados mediante interpolación Kriging. Los valores representados varían desde 0,180 hasta 0,378. Escala 1:4.097, Sistema de Referencia Sirgas 2000 UTM zona 17 S. Elaborado por: Joel Montes, Fiorela Pacho. Tutoría: Ing. Gloria Iñiguez. Fecha: 24/06/2026

4.1.1.2.6 Mapa de riesgos a deslizamientos del sector Yanayacu- La Dolorosa

El mapa de riesgo a deslizamientos del sector Yanayacu – La Dolorosa representa la distribución espacial del nivel de riesgo obtenido mediante la integración del mapa de amenaza por deslizamientos y el mapa de vulnerabilidad, aplicando la multiplicación de ambos índices previamente normalizados en un rango de 0 a 1. Este procedimiento permitió identificar las áreas de afectación donde coinciden una mayor probabilidad de ocurrencia del fenómeno con condiciones de vulnerabilidad más elevadas, obteniendo una representación integral del riesgo dentro del área total del estudio, la cual fue de 48,4426 ha.

Los resultados muestran una clasificación del riesgo en cinco categorías: Muy Bajo representado con color verde claro, con un área de afectación de 19,7819 ha, equivalente al 40,84 % del área de estudio; Bajo representado con color verde, con un área de afectación de 6,9972 ha (14,44 %); Medio representado con color amarillo, con un área de afectación de 0,1709 ha (0,35 %); Alto representado con color naranja, con un área de afectación de 8,8248 ha (18,22 %); y Muy Alto representado con color rojo, con un área de afectación de 10,7752 ha (22,24 %). Se evidencia que la categoría Muy Bajo predomina en el área de estudio, ocupando más de un tercio del territorio, mientras que las categorías Alto y Muy Alto representan conjuntamente el 40,46 % del área total, donde coinciden mayores niveles de amenaza y vulnerabilidad, evidenciando una distribución espacial diferenciada a lo largo del sector.

Las categorías Muy Bajo y Bajo, que en conjunto representan el 55,28 % del área de estudio, predominan en las zonas donde la amenaza por deslizamientos presenta niveles medios o bajos y, simultáneamente, los niveles de vulnerabilidad presentan valores relativamente bajos. Como consecuencia, la interacción entre ambos componentes genera niveles reducidos de riesgo en estas zonas. La presencia de estas categorías en una proporción significativa del territorio

indica que, aunque el sector presenta condiciones de susceptibilidad frente a deslizamientos, gran parte del área mantiene niveles de riesgo relativamente manejables.

La categoría de riesgo medio, con tan solo 0,1709 ha (0,35 % del área total), se presenta como una franja de transición extremadamente reducida entre las zonas de menor y mayor riesgo, reflejando sectores donde alguno de los componentes del riesgo incrementa su intensidad, ya sea por un aumento de la amenaza o por mayores niveles de vulnerabilidad. La extensión tan limitada de esta categoría sugiere que la transición entre los niveles de riesgo en el sector es relativamente abrupta, sin áreas de amortiguamiento significativas entre las zonas de bajo y alto riesgo.

Los niveles de riesgo alto y muy alto, que representan conjuntamente el 40,46 % del área de estudio (8,8248 ha y 10,7752 ha, respectivamente), se concentran en áreas específicas del sector Yanayacu – La Dolorosa, coincidiendo con las zonas donde el modelo de amenaza identificó mayor probabilidad de deslizamiento (áreas de pendiente pronunciada) y donde el análisis de vulnerabilidad evidenció una mayor concentración de elementos expuestos. La superposición de ambos factores origina los valores más elevados del índice de riesgo, indicando que estas zonas presentan la mayor probabilidad de experimentar impactos significativos en caso de producirse un evento de deslizamiento. Es particularmente relevante que la categoría Muy Alto (22,24 %) supere en extensión a la categoría Alto (18,22 %), lo que evidencia que una porción considerable del sector presenta condiciones críticas de riesgo.

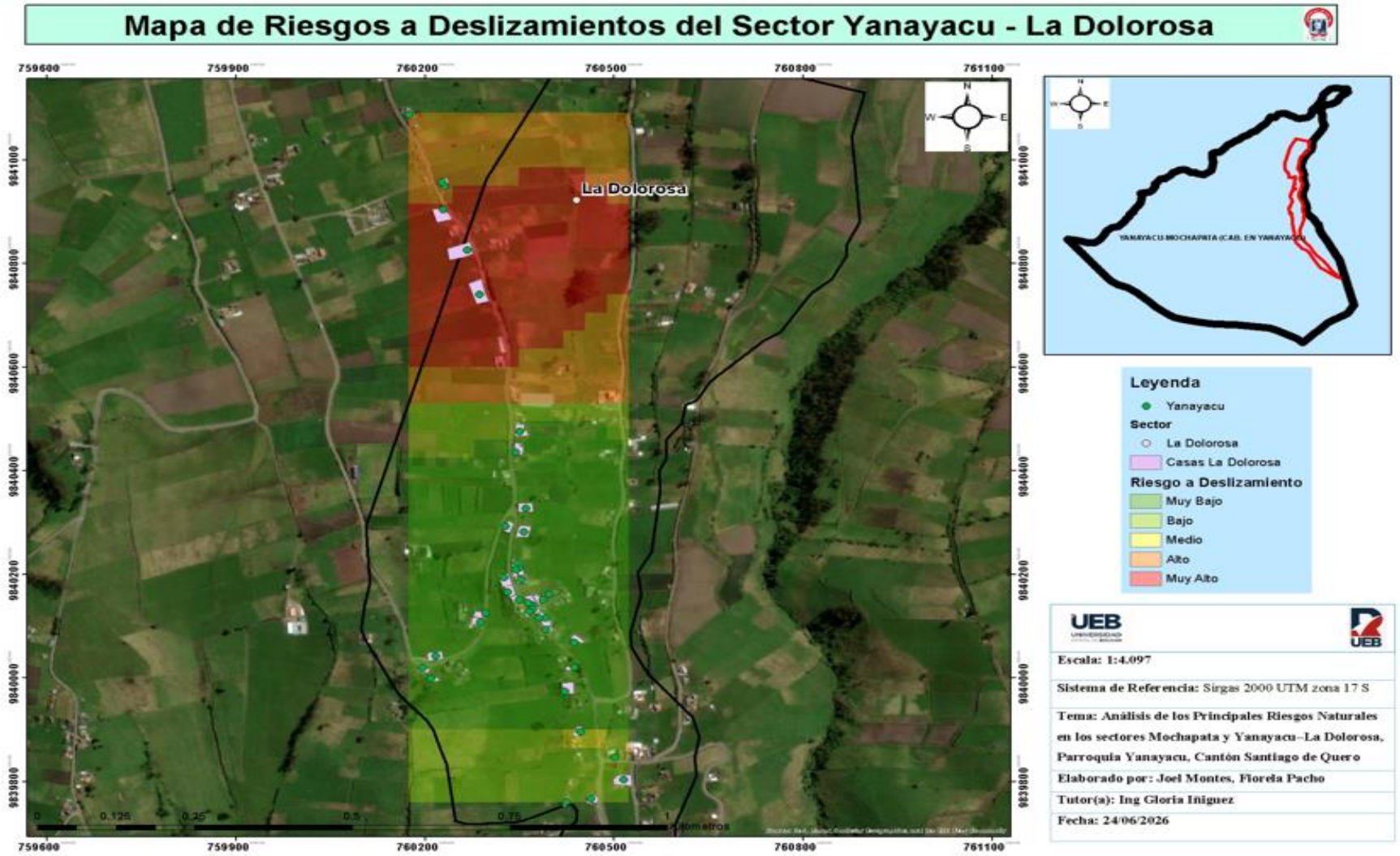
La incorporación de la ubicación de las viviendas dentro del mapa permite observar que una parte de la población se encuentra localizada en áreas clasificadas con riesgo alto y muy alto, identificadas como "Casas La Dolorosa". Este resultado evidencia la existencia de elementos expuestos dentro de las zonas más críticas del territorio, aspecto que confirma la importancia de

considerar simultáneamente la amenaza y la vulnerabilidad para comprender el comportamiento espacial del riesgo y determinar las áreas con mayor potencial de afectación. La visualización de las viviendas en relación con las categorías de riesgo permite establecer una correspondencia directa entre la exposición de la población y los niveles de riesgo identificados en el modelo.

La escala de representación 1:4.097, con un nivel de detalle significativamente mayor que el mapa de riesgo por inundaciones del mismo sector (1:16.904), permite una visualización más precisa de las zonas de riesgo y su relación con los elementos expuestos. Esta mayor resolución facilita la identificación de áreas específicas con condiciones críticas y su correspondencia con las viviendas representadas en el mapa, proporcionando información valiosa para la comprensión de la dinámica del riesgo a escala local.

En términos generales, el mapa de riesgo sintetiza los resultados obtenidos durante el proceso metodológico desarrollado en la investigación, integrando la evaluación de la amenaza mediante la metodología de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) y el análisis de vulnerabilidad basado en la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). La distribución espacial obtenida permite identificar con claridad los sectores que presentan diferentes niveles de riesgo dentro del área de estudio, constituyendo el principal resultado cartográfico de la investigación y la base técnica para el planteamiento de las estrategias de reducción del riesgo desarrolladas en los capítulos posteriores.

Figura 15 Mapa de riesgos a deslizamientos del sector Yanayacu- la Dolorosa



Nota: Mapa de riesgo a deslizamientos del sector Yanayacu - La Dolorosa, obtenido mediante la integración de los mapas de amenaza y vulnerabilidad, aplicando la multiplicación de ambos índices previamente normalizados en un rango de 0 a 1. Las categorías representadas son: Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto. Escala 1:4.097, Sistema de Referencia Sirgas 2000 UTM zona 17 S. Elaborado por: Joel Montes, Fiorela Pacho. Tutoría: Ing. Gloria Iñiguez. Fecha: 24/06/2026.

4.1.1.2.7 Mapa de vulnerabilidad a caída de ceniza del sector Yanayacu-La Dolorosa

El mapa de vulnerabilidad a caída de ceniza del sector Yanayacu – La Dolorosa representa la distribución espacial del nivel de vulnerabilidad de los elementos expuestos frente a este fenómeno, elaborado mediante la metodología propuesta por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Para su construcción se utilizaron indicadores normalizados en un rango de 0 a 1, los cuales fueron procesados mediante interpolación espacial utilizando el método Kriging, permitiendo obtener una superficie continua que refleja las variaciones de vulnerabilidad dentro del área de estudio.

Los valores de vulnerabilidad obtenidos se encuentran entre 0,180 y 0,378 y se agruparon en nueve intervalos para facilitar su representación en el mapa. Los resultados muestran que la vulnerabilidad presenta diferencias dentro del territorio. Los valores más altos, entre 0,356 y 0,378, se ubican principalmente en el sector de La Dolorosa, donde los indicadores evaluados reflejan mayores niveles de vulnerabilidad física. Esta distribución refleja que, de acuerdo con los indicadores evaluados por la metodología del PNUD, dichas áreas presentan condiciones que incrementan su susceptibilidad ante los efectos de una caída de ceniza, debido a la mayor presencia de población, infraestructura y otros componentes expuestos que podrían resultar afectados.

Por otra parte, los valores más bajos de vulnerabilidad (0,180–0,202) se encuentran principalmente hacia las zonas periféricas del sector Yanayacu, donde existe una menor concentración de viviendas y los elementos expuestos están más dispersos. Estas condiciones se relacionan con los índices más bajos registrados en estas áreas. La diferencia entre el valor mínimo y el máximo es de 0,198 unidades, lo que permite identificar las variaciones de vulnerabilidad presentes en el sector.

Los valores intermedios, comprendidos entre 0,202 y 0,356, se distribuyen entre las zonas con mayor y menor vulnerabilidad. En el mapa, estas diferencias se representan de manera gradual mediante el método de interpolación Kriging, que permite calcular valores estimados en lugares donde no se dispone de datos puntuales, tomando en cuenta la relación espacial entre los puntos evaluados.

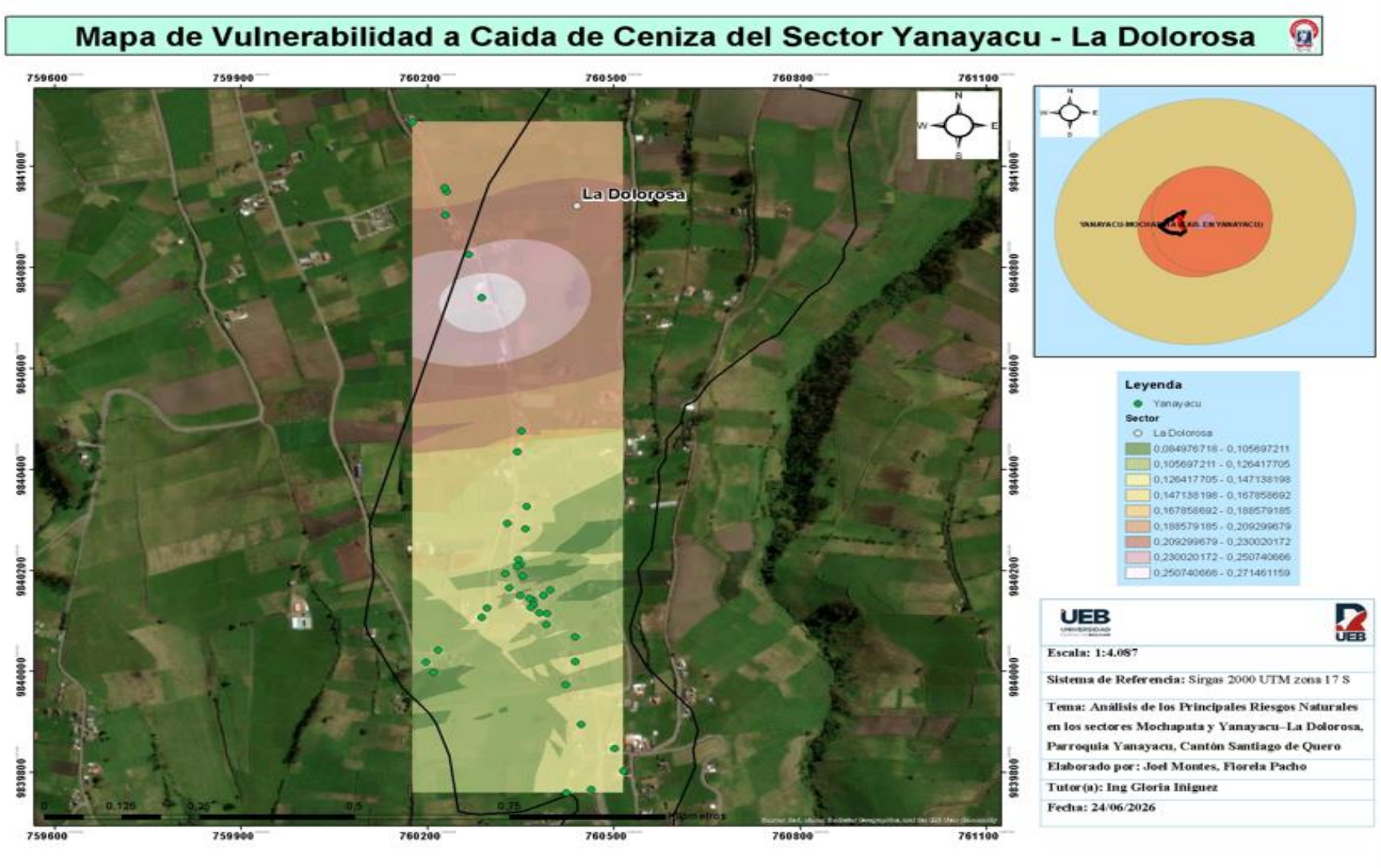
En general, los valores de vulnerabilidad del sector Yanayacu–La Dolorosa se encuentran entre 0,180 y 0,378. Aunque los resultados no alcanzan valores cercanos al límite superior de la escala, existen diferencias entre las zonas que deben considerarse en el análisis. Estos resultados también deben relacionarse con los niveles de amenaza para determinar el riesgo, debido a que una zona con mayor vulnerabilidad no necesariamente presenta un nivel de riesgo elevado si no existe una amenaza asociada. En este caso, La Dolorosa requiere mayor atención por presentar los valores más altos de vulnerabilidad.

Al comparar el mapa con la ubicación de las viviendas y la infraestructura, se observa que en La Dolorosa coinciden los valores más altos con una mayor concentración de elementos expuestos. En los sectores más alejados del centro, las viviendas se encuentran distribuidas de manera dispersa y registran valores de vulnerabilidad más bajos. Esta diferencia permite apreciar cómo cambia la distribución de las edificaciones dentro del territorio y cómo su ubicación coincide con los distintos niveles de vulnerabilidad obtenidos en el análisis.

Desde el punto de vista metodológico, el método Kriging permitió representar los datos recopilados mediante una superficie continua, lo que facilita observar las diferencias en los niveles de vulnerabilidad entre las distintas zonas del sector. Es importante considerar que los valores estimados en los lugares sin datos corresponden a una interpolación y no a mediciones directas de todas las viviendas.

Finalmente, el mapa de vulnerabilidad a caída de ceniza constituye un componente fundamental para la evaluación del riesgo, ya que será integrado con el mapa de amenaza por caída de ceniza mediante el procedimiento establecido en la metodología de la investigación (multiplicación de capas ráster normalizadas). La combinación de la amenaza (que representa la probabilidad de ocurrencia del fenómeno, determinada a partir del mapa de peligro volcánico del IG-EPN) con la vulnerabilidad (que representa la susceptibilidad de los elementos expuestos) permitirá obtener la distribución espacial del riesgo por caída de ceniza en el sector Yanayacu – La Dolorosa. Esta integración constituye el siguiente paso dentro de la metodología de la investigación, y permitirá identificar las zonas donde la combinación de alta amenaza y alta vulnerabilidad genera las condiciones más críticas en términos de riesgo, orientando así los esfuerzos hacia la reducción de la vulnerabilidad y el fortalecimiento de la resiliencia comunitaria frente a este fenómeno.

Figura 16 Mapa de Vulnerabilidad a caída de ceniza del sector Yanayacu-La Dolorosa



Nota: Mapa de vulnerabilidad a caída de ceniza del sector Yanayacu - La Dolorosa, elaborado mediante la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), basada en indicadores normalizados en un rango de 0 a 1 y procesados mediante interpolación Kriging. Los valores representados varían desde 0,085 hasta 0,271. Escala 1:4.087, Sistema de Referencia Sirgas 2000 UTM zona 17 S. Elaborado por: Joel Montes, Fiorela Pacho. Tutoría: Ing. Gloria Iñiguez. Fecha: 24/06/2026.

4.1.1.2.8 Mapa de Riesgo a caída de ceniza del sector Yanayacu la dolorosa

El mapa de riesgo a caída de ceniza del sector Yanayacu – La Dolorosa representa la distribución espacial del nivel de riesgo obtenido mediante la integración del mapa de amenaza por caída de ceniza y el mapa de vulnerabilidad, aplicando la multiplicación de ambos índices previamente normalizados en un rango de 0 a 1. Este procedimiento permitió identificar las áreas de afectación donde coinciden una mayor probabilidad de ocurrencia del fenómeno con condiciones de vulnerabilidad más elevadas, obteniendo una representación integral del riesgo dentro del área total del estudio, la cual fue de 55,47 ha.

Los resultados muestran una clasificación del riesgo en dos categorías: Bajo representado con color verde claro, con un área de afectación de 36,98 ha, equivalente al 66,67 % del área de estudio; y Alto representado con color rojo, con un área de afectación de 18,49 ha (33,33 %). Se evidencia que la categoría Bajo predomina en el área de estudio, ocupando dos tercios del territorio, mientras que la categoría Alto representa un tercio del área total, donde coinciden mayores niveles de amenaza y vulnerabilidad, evidenciando una distribución espacial diferenciada a lo largo del sector.

La categoría de riesgo Bajo, que representa el 66,67 % del área de estudio, se localiza en las zonas donde la amenaza por caída de ceniza presenta niveles moderados (Ceniza_Impacto_significativo con valor de 0,2) y, simultáneamente, los niveles de vulnerabilidad presentan valores relativamente bajos. Como consecuencia, la interacción entre ambos componentes genera niveles reducidos de riesgo en estas zonas. La presencia de esta categoría en una proporción significativa del territorio indica que, aunque el sector presenta condiciones de susceptibilidad frente a la caída de ceniza, gran parte del área mantiene niveles de riesgo relativamente manejables.

La categoría de riesgo Alto, con un área de afectación de 18,49 ha (33,33 % del área total), se concentra en el sector de La Dolorosa, coincidiendo con las zonas donde el modelo de amenaza identificó mayor probabilidad de afectación por caída de ceniza (Ceniza_Alto_Impacto con valor de 0,7) y donde el análisis de vulnerabilidad evidenció una mayor concentración de elementos expuestos. La relación entre la amenaza y la vulnerabilidad permite identificar las zonas con mayores valores de riesgo, donde podrían producirse afectaciones más importantes ante una posible erupción del volcán Tungurahua. En el sector La Dolorosa, toda el área está clasificada en la categoría de riesgo Alto, lo que muestra la necesidad de prestar mayor atención a las posibles afectaciones por caída de ceniza.

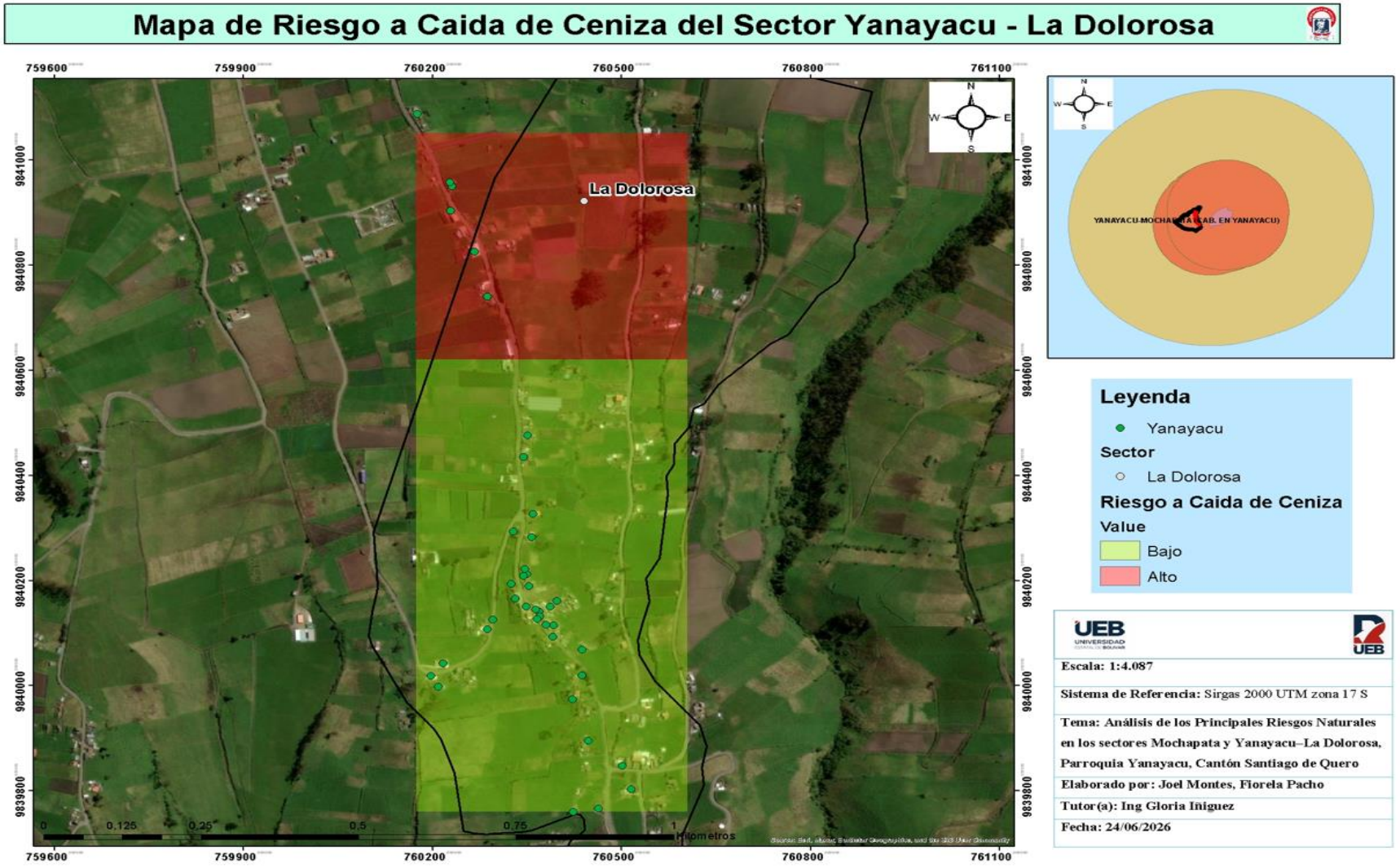
El mapa se elaboró a una escala de 1:4.087, que permite apreciar con mayor detalle cómo se distribuye el riesgo y dónde se encuentran los elementos expuestos. Para este análisis se establecieron dos categorías: riesgo Bajo y riesgo Alto. Esta clasificación está relacionada con los niveles de amenaza por caída de ceniza definidos para el área de estudio, considerando la zonificación de peligro volcánico y los factores utilizados en la metodología.

Aunque la categoría de riesgo Alto ocupa aproximadamente un tercio del territorio, dentro de esta se encuentra el sector habitado de La Dolorosa, donde existe una concentración importante de viviendas y otros elementos expuestos. Esto permite observar que, además de las condiciones de amenaza y vulnerabilidad, la ubicación de los asentamientos es importante para reconocer los lugares que podrían resultar afectados. Por esta razón, La Dolorosa debe considerarse como una zona prioritaria al momento de plantear medidas de preparación y reducción del riesgo ante una posible caída de ceniza.

En términos generales, el mapa de riesgo sintetiza los resultados obtenidos durante el proceso metodológico desarrollado en la investigación, integrando la evaluación de la amenaza

mediante la metodología de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) y el análisis de vulnerabilidad basado en la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). La distribución espacial obtenida permite identificar con claridad los sectores que presentan diferentes niveles de riesgo dentro del área de estudio, constituyendo el principal resultado cartográfico de la investigación y la base técnica para el planteamiento de las estrategias de reducción del riesgo desarrolladas en los capítulos posteriores.

Figura 17 Mapa de Riesgo a caída de ceniza del sector Yanayacu la dolorosa



Nota: Mapa de riesgo a caída de ceniza del sector Yanayacu - La Dolorosa, obtenido mediante la integración de los mapas de amenaza y vulnerabilidad, aplicando la multiplicación de ambos índices previamente normalizados en un rango de 0 a 1. Las categorías representadas son: Bajo (36,98 ha) y Alto (18,49 ha). Escala 1:4.087, Sistema de Referencia Sirgas 2000 UTM zona 17 S. Elaborado por: Joel Montes, Fiorela Pacho. Tutoría: Ing. Gloria Iñiguez. Fecha: 24/06/2026.

4.1.2 Resultado del Objetivo 2

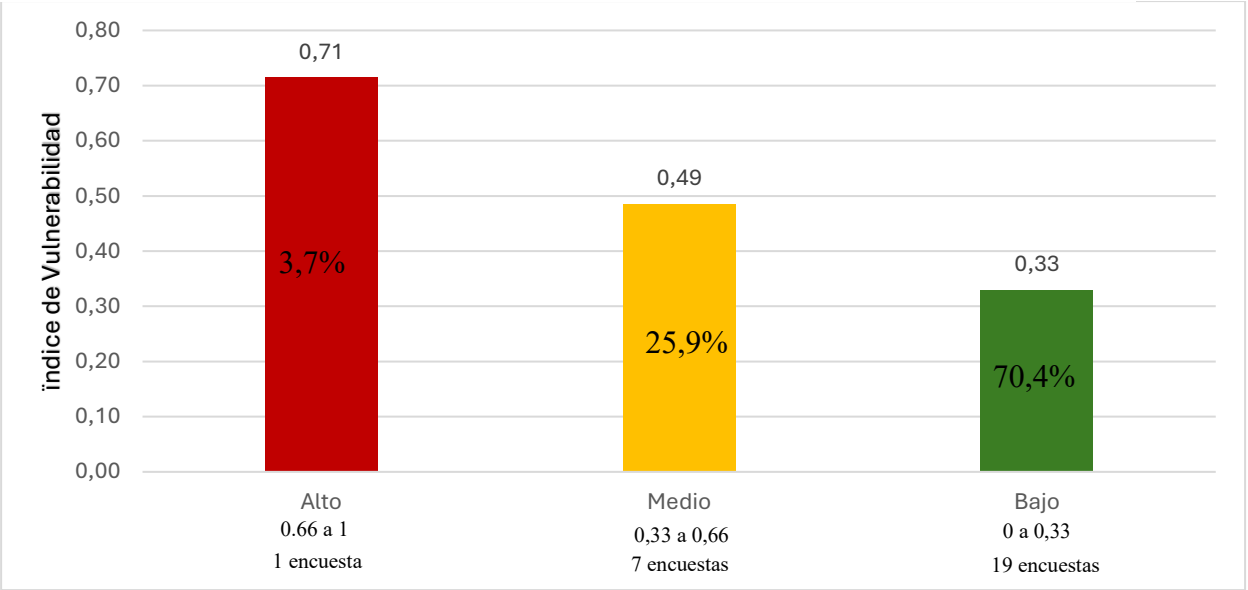
“Evaluar la vulnerabilidad física - social de la población expuesta en las zonas identificadas.”

Para la evaluación de la vulnerabilidad social se utilizó la información recopilada mediante las preguntas 4 a 10 y 11 a 36 de la encuesta aplicada a los habitantes de los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa. Estas preguntas permitieron recopilar información sobre las características de los hogares, el nivel educativo, el conocimiento y la preparación frente a las amenazas naturales, la organización comunitaria, el acceso a servicios básicos y las actividades desarrolladas en el entorno. Las respuestas se procesaron de acuerdo con los indicadores y criterios establecidos en la metodología de evaluación de la vulnerabilidad social, con el propósito de determinar los niveles correspondientes en las viviendas estudiadas.

4.1.2.1 Sector Mochapata

4.1.2.1.1 Vulnerabilidad Social

Ilustración 1 Niveles de Vulnerabilidad Social y sus Respectivos Índices en el sector Mochapata



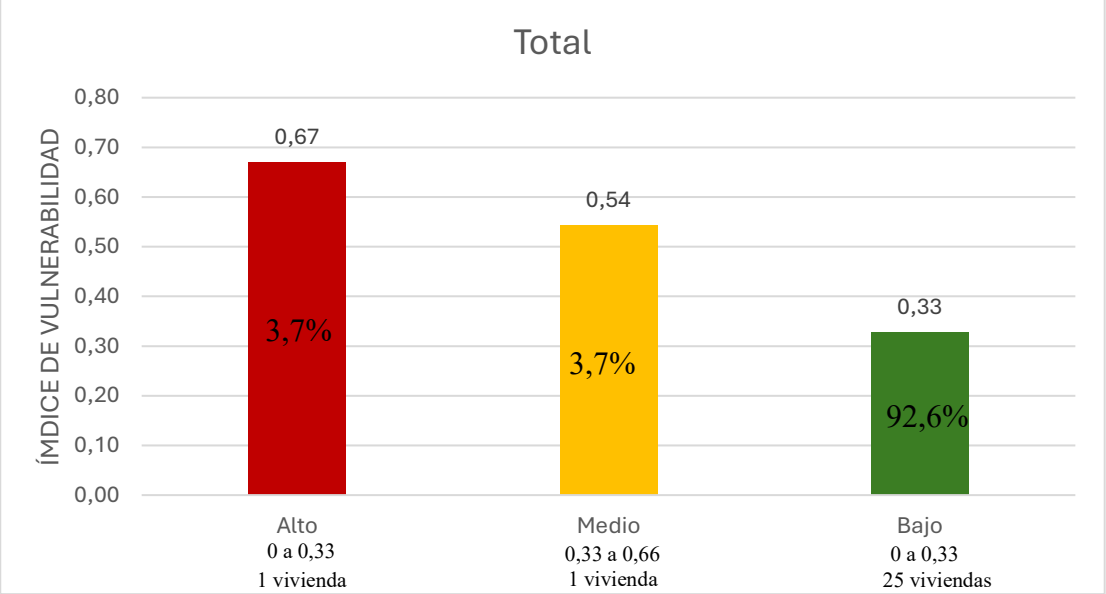
Nota: El índice de vulnerabilidad se expresa en una escala de 0 a 1, donde los valores más cercanos a 1 indican una mayor vulnerabilidad. La categoría Bajo (0,23) agrupa a 19 viviendas (70,4%), la categoría Medio (0,34) a 7 viviendas (25,9%) y la categoría Alto (0,71) a 1 vivienda (3,7%). Fuente: elaboración propia.

La distribución de la vulnerabilidad social en el sector Mochapata muestra una concentración mayoritaria en el nivel Bajo, con 19 viviendas (70,4% del total). El nivel Medio agrupa a 7 viviendas (25,9%), mientras que el nivel Alto registra únicamente 1 vivienda (3,7%). Los resultados muestran diferencias entre los tres niveles de vulnerabilidad social. El nivel Bajo presenta un índice de 0,23, el Medio alcanza 0,34 y el Alto registra 0,71. Al comparar estos valores, se observa que la diferencia entre los niveles Medio y Alto es mayor que la existente entre los niveles Bajo y Medio. Esto indica que las condiciones de vulnerabilidad social varían entre los sectores y que en algunos de ellos se presentan más factores que pueden dificultar la capacidad de los hogares para enfrentar una amenaza natural. Ver Anexo 3.

Para evaluar la vulnerabilidad física se utilizó la ficha de caracterización de las viviendas, compuesta por 13 apartados relacionados con el sistema estructural, el tipo de terreno, los materiales de las paredes, las características de la cubierta, el sistema de entrepisos, el número y año de construcción, el estado de conservación, las condiciones del suelo, la topografía y la forma de la edificación. La información recopilada permitió caracterizar las viviendas y aplicar los criterios establecidos en la metodología seleccionada para determinar sus niveles de vulnerabilidad física.

4.1.2.1.2 Vulnerabilidad Física ante la Amenaza de Inundación

Ilustración 2 Niveles de Vulnerabilidad Física Ante la Amenaza de Inundación en el sector Mochapata



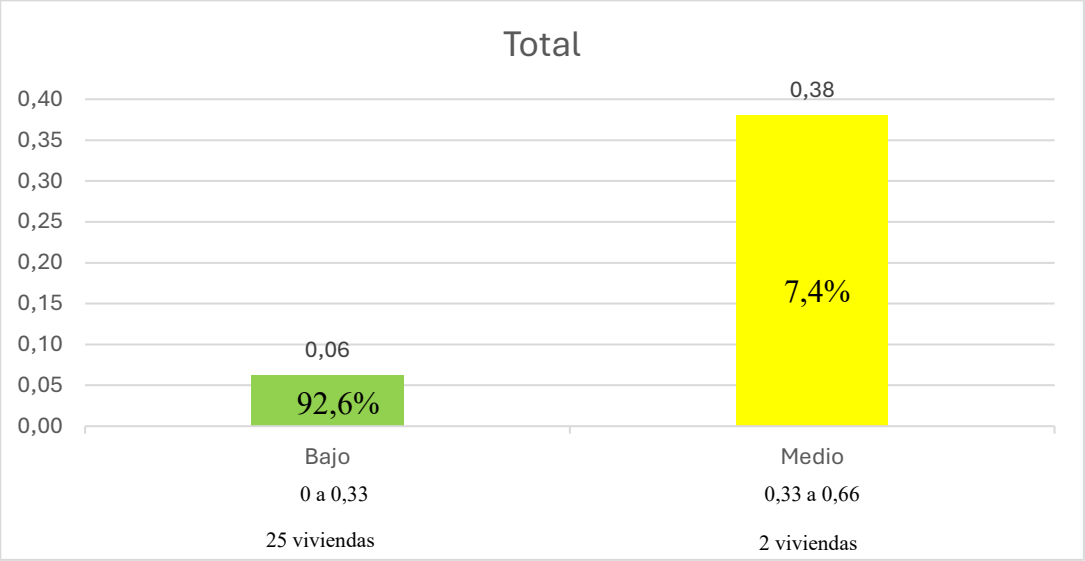
Nota: El índice de vulnerabilidad se expresa en una escala de 0 a 1, donde los valores más cercanos a 1 indican una mayor vulnerabilidad. La amenaza considerada corresponde a inundación por anegamiento. La categoría Bajo (0,33) agrupa a 25 viviendas (92,6%), la categoría Medio (0,54) a 1 vivienda (3,7%) y la categoría Alto (0,67) a 1 vivienda (3,7%). Fuente: Elaboración propia.

La vulnerabilidad física frente a la amenaza de inundación por anegamiento en el sector Mochapata se concentra abrumadoramente en el nivel Bajo, con 25 viviendas (92,6% del total). Los niveles Medio y Alto registran una vivienda cada uno (3,7% respectivamente). Los valores establecidos para cada categoría son 0,33 en el nivel Bajo, 0,54 en el Medio y 0,67 en el Alto. En cuanto a la distribución de las viviendas, la mayoría se ubica en el nivel Bajo, lo que refleja

condiciones constructivas menos desfavorables frente a la amenaza analizada. Sin embargo, no todas las edificaciones presentan las mismas características. Aquellas que fueron clasificadas en los niveles Medio y Alto necesitan mayor atención, ya que sus condiciones físicas podrían incrementar la posibilidad de sufrir daños ante la ocurrencia de este fenómeno. Ver Anexo 5.

4.1.2.1.3 Vulnerabilidad Física ante la Amenaza de Deslizamiento

Ilustración 3 Niveles de Vulnerabilidad Física Ante la Amenaza de Deslizamiento en el sector Mochapata

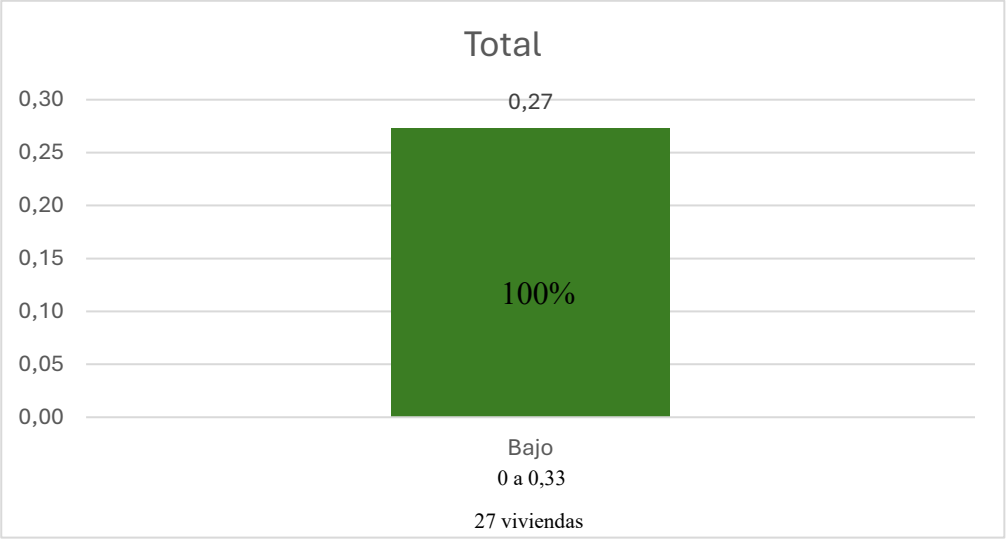


Nota: El índice de vulnerabilidad se expresa en una escala de 0 a 1, donde los valores más cercanos a 1 indican una mayor vulnerabilidad. La amenaza considerada corresponde a deslizamientos. La categoría Bajo (0,06) agrupa a 25 viviendas (92,6%), la categoría Medio (0,38) a 2 viviendas (7,4%) y la categoría Alto no registra viviendas. Fuente: Elaboración propia.

La vulnerabilidad física frente a la amenaza de deslizamiento en el sector Mochapata presenta una marcada concentración en el nivel Bajo, con 25 viviendas (92,6% del total). El nivel Medio agrupa a 2 viviendas (7,4%), mientras que el nivel Alto no registra viviendas. Los índices de vulnerabilidad muestran una brecha significativa entre el nivel Bajo (0,06) y el nivel Medio (0,38), lo que evidencia que el salto entre ambas categorías no es gradual, sino que implica condiciones estructurales sustancialmente distintas. La ausencia de viviendas en el nivel Alto sugiere que no existen hogares con vulnerabilidad física extrema ante esta amenaza en el sector. Ver Anexo 5.

4.1.2.1.4 Vulnerabilidad Física ante la Amenaza de Caída de Ceniza

Ilustración 4 Niveles de Vulnerabilidad Física Ante la Amenaza de Caída de Ceniza en el sector Mochapata



Nota: El índice de vulnerabilidad se expresa en una escala de 0 a 1, donde los valores más cercanos a 1 indican una mayor vulnerabilidad. La amenaza considerada corresponde a caída de ceniza volcánica. La categoría Bajo (0,27) agrupa a la totalidad de las viviendas evaluadas (27 viviendas, 100%), sin registro de viviendas en las categorías Medio o Alto. Fuente: Elaboración propia.

La vulnerabilidad física frente a la amenaza de caída de ceniza en el sector Mochapata presenta un comportamiento homogéneo: la totalidad de las viviendas evaluadas (27, 100%) se clasifica en el nivel Bajo, sin registro de viviendas en los niveles Medio o Alto. El índice de vulnerabilidad para el nivel Bajo es de 0,27, un valor que, aunque bajo en términos relativos, sugiere la existencia de un componente mínimo de vulnerabilidad asociado probablemente al tipo de cubierta o la calidad de los materiales. La ausencia de viviendas en niveles superiores indica que las condiciones estructurales predominantes en el sector no constituyen un factor que amplifique los efectos de una eventual caída de ceniza. Ver Anexo 5.

4.1.2.1.5 Vulnerabilidad Física de las Edificaciones por Tipo de Amenaza en el Sector de Mochapata

Tabla 6 Evaluación y ponderación de la vulnerabilidad física de las edificaciones por tipo de amenaza en el sector Mochapata

Variables de Vulnerabilidad	Indicadores	Vulnerabilidad a Amenaza de Inundaciones			Vulnerabilidad a Amenaza de Deslizamiento			Vulnerabilidad a Amenaza de Volcánica		
		Valor Indicador	Peso ponderación	Valor máximo	Valor Indicador	Peso ponderación	Valor máximo	Valor Indicador	Peso ponderación	Valor máximo
Sistema estructural	Hormigón armado	22	0,05	0,01	22	0,20	0,04	22	0,05	0,01
	Estructura metálica	0			0			0		
	Estructura de madera	3			3			3		
	Estructura de caña	0			0			0		
	Estructura de pared portante (adobe)	0			0			0		
	Mixta madera-hormigón	2			2			2		
	Mixta metálica-hormigón	0			0			0		
Tipo de material en paredes	Pared de ladrillo	0	0,11	0,03	0	0,10	0,03	0	0,08	0,02
	Pared de bloque	27			27			27		
	Pared de piedra	0			0			0		
	Pared de adobe	0			0			0		
	Pared de Tapia-	0			0			0		

	bahareque-madera									
Tipo de cubierta	Cubierta metálica	9	0,03	0,00	9	0,08	NA	9	0,3	0,03
	Loza de hormigón armado	11			11			11		
	Vigas de madera y zinc	2			2			2		
	Caña, zinc, eternit	2			2			2		
	Vigas de madera y Teja	3			3			3		
Sistema de entrepisos	Loza de hormigón armado	17	NA	NA	17	0,07	NA	17	NA	NA
	Vigas y entramada de madera	5			5			5		
	Entramado madera-caña	3			3			3		
	Entramado metálico	2			2			0		
	Entramado hormigón-metálica	0			0			0		
Número de pisos	1 piso	17	0,11	0,02	17	0,10	0,02	17	0,10	0,02
	2 pisos	9			9			9		
	3 pisos	1			1			1		
	4 pisos	0			0			0		
	5 pisos o más	0			0			0		
Año de Construcción	Antes de 1970	1	0,05	0,01	1	0,10	0,02	1	0,04	0,01
	Entre 1071 y 1980	3			3			3		
	Entre 1981 y 1990	1			1			1		
	Entre 1991 y 2010	15			15			15		
Estado de	Bueno	20	0,05	0,01	20	0,10	0,02	20	0,05	0,01
	Aceptable	5			5			5		
	Regular	0			0			0		

	Malo	2			2			2		
Características del suelo bajo la	Firme, Seco	23	0,30	0,07	23	0,15	0,03	23	0,08	0,02
	Inundable	3			3			3		
	Ciénega	0			0			0		
	Húmedo-blando-relleno	1			1			1		
Topografía del sitio	A nivel, terreno plano	13	0,30	0,04	13	0,07	0,01	13	0,30	0,04
	Bajo nivel calzada	4			4			4		
	Sobre nivel calzada	8			8			8		
	Escarpe positivo o negativo	2			2			2		
Forma de la construcció	Regular	24	NA	NA	24	0,03	NA	24	NA	NA
	Irregular	3			3			3		
	Irregularidad severa	0			0			0		
	Total		**1,00**	**0,19**		**1,00**	**0,17**		**1,00**	**0,16**
	Nivel de Vulnerabilidad	Bajo			**Nivel de Vulnerabilidad**	Bajo		**Nivel de Vulnerabilidad**	Bajo	

Nota: Los índices de vulnerabilidad física para el sector Mochapata alcanzaron valores de 0,19 para inundaciones, 0,17 para deslizamientos y 0,16 para caída de ceniza, todos ellos ubicados en un nivel bajo de manera individual. No obstante, al integrar las tres amenazas en un análisis conjunto, el índice final se situó en 0,51, lo que clasifica al sector dentro de un nivel medio de vulnerabilidad física.

Tabla 7 Niveles de vulnerabilidad física y puntaje final del sector Mochapata

Puntajes de los niveles de vulnerabilidad

Nivel de Vulnerabilidad	Puntaje (Rango)
Bajo	0,1 a 0,33 puntos
Medio	0,34 a 0,66 puntos
Alto	0,67 a 1 puntos
	0,51
Nivel de Vulnerabilidad	Medio

Nota: El índice final de vulnerabilidad física para el sector Mochapata alcanzó un valor de 0,51, lo que lo ubica dentro del rango establecido para el nivel medio (0,34 a 0,66 puntos). Este resultado refleja la condición estructural general del sector ante la exposición conjunta a amenazas de inundación, deslizamiento y caída de ceniza.

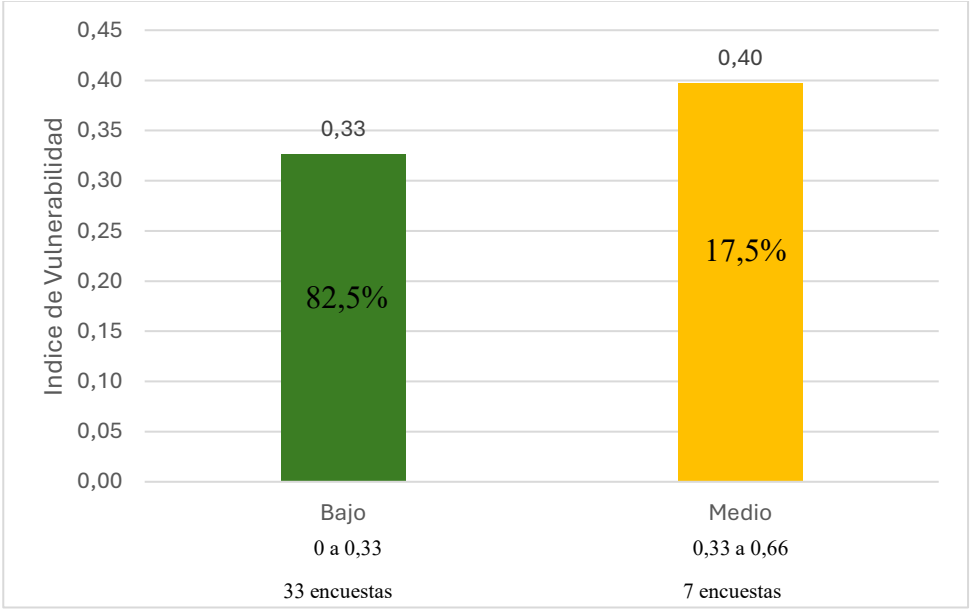
El análisis integrado de la vulnerabilidad física, evaluado desde un enfoque multiamenaza para el sector Mochapata, determinó que los índices correspondientes a inundaciones (0,19), deslizamientos (0,17) y caída de ceniza (0,16) se encuentran en un nivel bajo, lo que demuestra que, de manera individual, las edificaciones no presentan condiciones críticas de fragilidad estructuralSin embargo, al considerar la exposición conjunta a las tres amenazas evaluadas, el índice final fue de 0,51, correspondiente a un nivel de vulnerabilidad física medio.

Este resultado muestra que, aunque las amenazas analizadas por separado presentan condiciones menos desfavorables, al evaluarlas en conjunto se identifican factores físicos y estructurales que incrementan la vulnerabilidad del sector. Por esta razón, el área de estudio mantiene condiciones que deben considerarse ante la posible ocurrencia de eventos naturales.

4.1.2.2 Sector Yanayacu – La Dolorosa

4.1.2.2.1 Vulnerabilidad Social

Ilustración 5 Niveles de Vulnerabilidad Social en el sector Yanayacu - La Dolorosa



Nota El gráfico representa la distribución de los índices de vulnerabilidad social en el sector Yanayacu – La Dolorosa, a partir de una muestra de 40 viviendas. Las barras indican el valor mínimo (izquierda) y máximo (derecha) de cada nivel. Los resultados muestran que 33 viviendas (82,5 %) se encuentran en nivel bajo, con índices entre 0,20 y 0,33; mientras que 7 viviendas (17,5 %) se ubican en nivel medio, con índices entre 0,33 y 0,40. No se registraron viviendas en nivel alto de vulnerabilidad social. Fuente: Elaboración propia a partir de encuestas aplicadas en campo (2026).

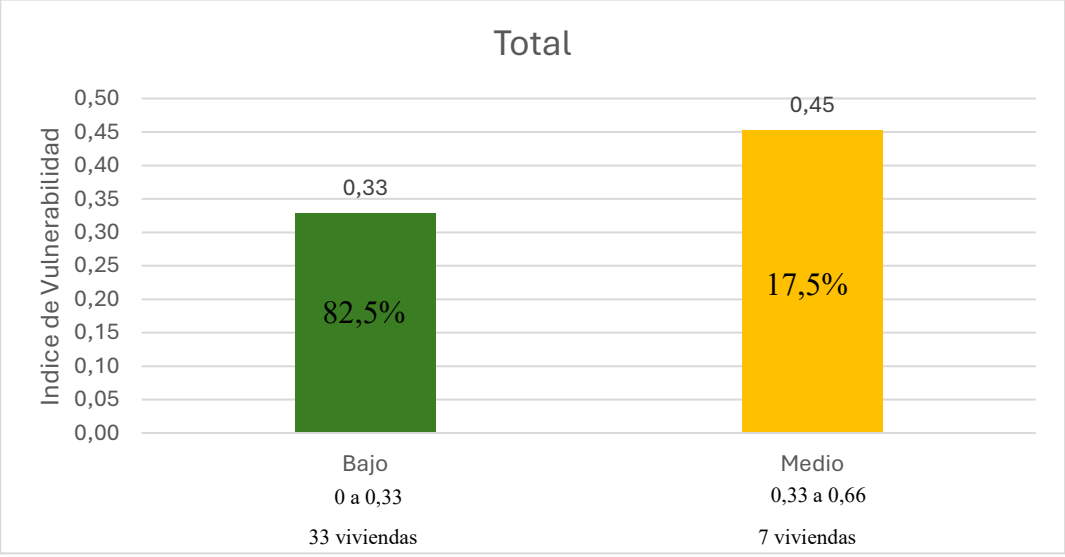
El análisis de la vulnerabilidad social en el sector Yanayacu – La Dolorosa, realizado sobre un total de 40 viviendas, evidencia una clara predominancia de condiciones sociales favorables. Del total de hogares evaluados, 33 viviendas (equivalentes al 82,5 % de la muestra) se clasificaron en el nivel bajo de vulnerabilidad, con un índice mínimo de 0,20 y un máximo de 0,33 puntos. Por otro lado, únicamente 7 viviendas (representando el 17,5 % restante) se ubicaron en el nivel medio, con un rango que inicia en 0,33 y alcanza un máximo de 0,40 puntos.

Es importante destacar que no se registró ningún hogar en el nivel alto de vulnerabilidad social, lo que demuestra que, en términos generales, la población del sector cuenta con condiciones educativas, organizativas y de acceso a servicios que no la exponen a un riesgo social crítico.

Sin embargo, el hecho de que el valor máximo del nivel medio alcance los 0,40 puntos indica que aún persisten brechas sociales en ciertos hogares que deben ser atendidas para evitar que estas condiciones se agraven. Ver Anexo 5.

4.1.2.2.2 Vulnerabilidad física ante la amenaza de inundación

Ilustración 6 Niveles de Vulnerabilidad Física Ante la Amenaza de Inundación en el sector Yanayacu - La Dolorosa

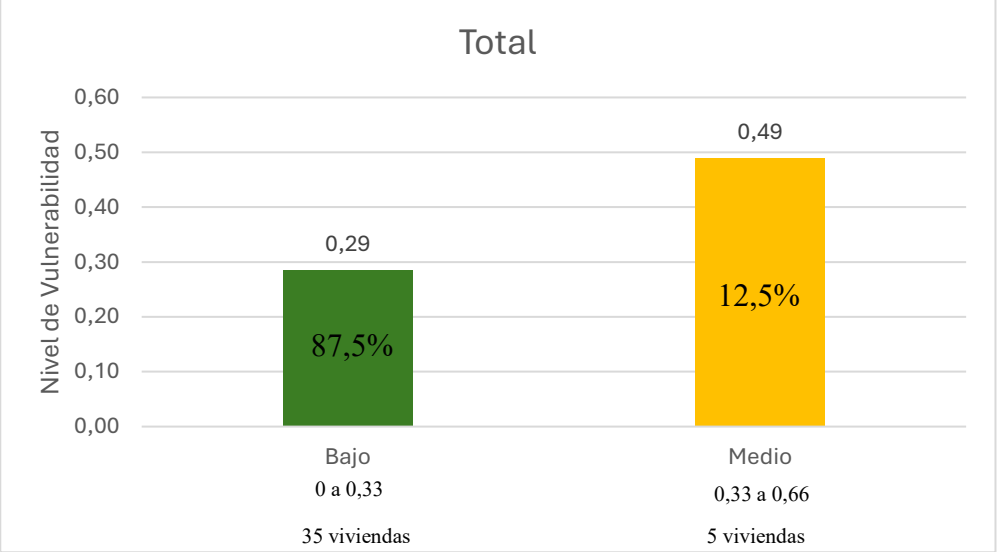


Nota: El gráfico muestra la distribución de los índices de vulnerabilidad física ante la amenaza de inundación en el sector Yanayacu – La Dolorosa, a partir de una muestra de 40 viviendas. Las barras representan el valor mínimo (izquierda) y máximo (derecha) de cada nivel. Los resultados indican que 33 viviendas (82,5 %) se encuentran en nivel bajo, con índices entre 0,05 y 0,33; mientras que 7 viviendas (17,5 %) se ubican en nivel medio, con índices entre 0,34 y 0,45. No se registraron viviendas en nivel alto de vulnerabilidad. Fuente: Elaboración propia a partir de fichas técnicas aplicadas en campo (2026).

La evaluación de la vulnerabilidad física ante la amenaza de inundación en el sector Yanayacu – La Dolorosa, aplicada a una muestra de 40 viviendas, muestra un panorama estructuralmente favorable para la mayoría de los hogares. Del total de edificaciones evaluadas, 33 viviendas (equivalentes al 82,5 % de la muestra) se clasificaron en el nivel bajo de vulnerabilidad, con un índice mínimo de 0,05 y un máximo de 0,33 puntos. Los resultados muestran que la mayoría de las viviendas tienen condiciones favorables en sus sistemas de cimentación y pisos frente a posibles inundaciones. En cuanto al nivel Medio, se identificaron 7 viviendas, equivalentes al 17,5 %, cuyos valores se encuentran entre 0,34 y 0,45. Por su parte, no se registraron edificaciones dentro de la categoría Alta. En general, las viviendas evaluadas presentan condiciones de vulnerabilidad física que se ubican entre los niveles Bajo y Medio frente a esta amenaza. Sin embargo, es importante prestar mayor atención a las viviendas que se encuentran en el nivel medio.

4.1.2.2.3 Vulnerabilidad Física ante la Amenaza de Deslizamiento

Ilustración 7 Niveles de Vulnerabilidad Física Ante la Amenaza de Deslizamiento en el sector Yanayacu - La Dolorosa



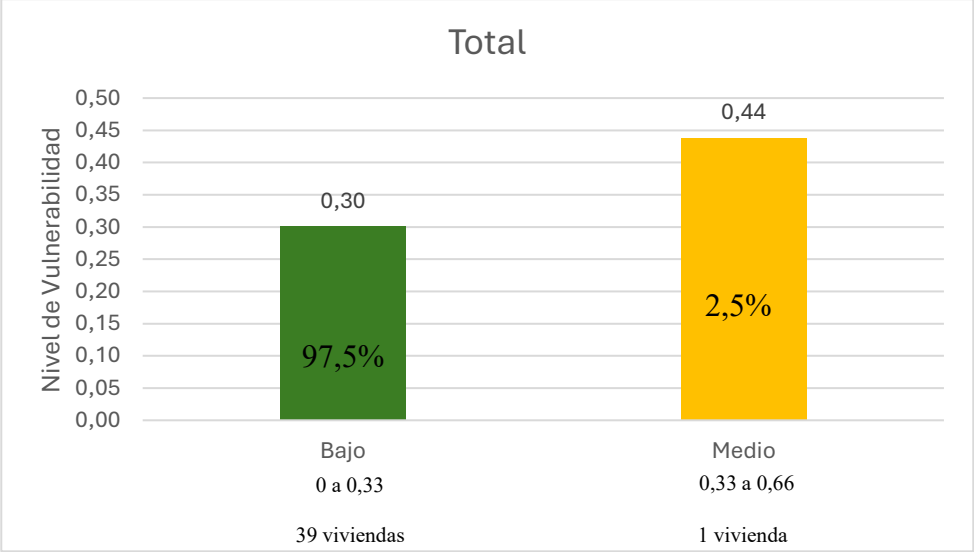
Nota: El gráfico representa la distribución de los índices de vulnerabilidad física ante la amenaza de deslizamiento en el sector Yanayacu – La Dolorosa, a partir de una muestra de 40 viviendas. Las barras indican el valor mínimo (izquierda) y máximo (derecha) de cada nivel. Los resultados muestran que 35 viviendas (87,5 %) se encuentran en nivel bajo, con índices entre 0,15 y 0,29; mientras que 5 viviendas (12,5 %) se ubican en nivel medio, con índices entre 0,35 y 0,49. No se registraron viviendas en nivel alto de vulnerabilidad. Fuente: Elaboración propia a partir de fichas técnicas aplicadas en campo (2026).

La evaluación de la vulnerabilidad física ante la amenaza de deslizamiento en el sector Yanayacu – La Dolorosa, aplicada a un total de 40 viviendas, revela que la gran mayoría de las edificaciones del sector presentan condiciones estructurales estables frente a este tipo de evento. Del total de la muestra, 35 viviendas, que representan el 87,5 % de los hogares evaluados, se clasificaron en el nivel bajo de vulnerabilidad, con un índice mínimo de 0,15 y un máximo de 0,29 puntos. Este rango indica que la mayoría de las viviendas cuentan con sistemas de cimentación y muros que les otorgan una resistencia adecuada para soportar posibles movimientos en masa. Por otro lado, únicamente 5 viviendas, equivalentes al 12,5 % restante, se ubicaron en el nivel medio de vulnerabilidad, con un rango que inicia en 0,35 y alcanza un máximo de 0,49 puntos.

Cabe destacar que no se registró ninguna vivienda en el nivel alto, lo que demuestra que, a pesar de que existe un grupo reducido con condiciones físicas regulares (cuyo máximo se acerca al límite superior del nivel medio), el sector en su conjunto no presenta una fragilidad estructural crítica frente a la amenaza de deslizamiento. Ver Anexo 5.

4.1.2.2.4 Vulnerabilidad Física ante la Amenaza de Caída de Ceniza

Ilustración 8 Niveles de Vulnerabilidad Física Ante la Amenaza de Caída de Ceniza en el sector Yanayacu - La Dolorosa



Nota: El gráfico muestra la distribución de los índices de vulnerabilidad física ante la amenaza de caída de ceniza en el sector Yanayacu – La Dolorosa, a partir de una muestra de 40 viviendas. Las barras representan el valor mínimo (izquierda) y máximo (derecha) de cada nivel. Los resultados indican que 39 viviendas (97,5 %) se encuentran en nivel bajo, con índices entre 0,02 y 0,30; mientras que 1 vivienda (2,5 %) se ubica en nivel medio, con un índice de 0,44. No se registraron viviendas en nivel alto de vulnerabilidad. Fuente: Elaboración propia a partir de fichas técnicas aplicadas en campo (2026).

La evaluación de la vulnerabilidad física ante la amenaza de caída de ceniza en el sector Yanayacu – La Dolorosa, aplicada a un total de 40 viviendas, evidencia que la práctica totalidad de las edificaciones del sector presentan condiciones estructurales altamente resistentes frente a este tipo de evento. Del total de la muestra, 39 viviendas, que representan el 97,5 % de los hogares evaluados, se clasificaron en el nivel bajo de vulnerabilidad, con un índice mínimo de 0,02 y un máximo de 0,30 puntos. Estos resultados indican que la mayoría de las viviendas presentan condiciones estructurales y cubiertas adecuadas para soportar la acumulación de ceniza volcánica sin afectar significativamente su estabilidad. Por otra parte, solo 1 vivienda (2,5 %) se

ubicó en el nivel medio de vulnerabilidad, con un índice de 0,44. No se registraron viviendas en el nivel alto, lo que muestra que, en general, el sector no presenta condiciones de vulnerabilidad estructural elevada frente a la caída de ceniza. Ver Anexo 5.

4.1.2.2.5 Vulnerabilidad Física de las Edificaciones por Tipo de Amenaza en el Sector de Yanayacu – La Dolorosa

Tabla 8 Evaluación y ponderación de la vulnerabilidad física de las edificaciones por tipo de amenaza en el sector Yanayacu - La Dolorosa

Variables de Vulnerabilidad	Indicadores	Vulnerabilidad a Amenaza de Inundaciones			Vulnerabilidad a Amenaza de Deslizamiento			Vulnerabilidad a Amenaza de Volcánica		
		Valor Indicador	Peso ponderación	Valor máximo	Valor Indicador	Peso ponderación	Valor máximo	Valor Indicador	Peso ponderación	Valor máximo
Sistema estructural	Hormigón armado	59	0,05	0,03	59	0,20	0,12	59	0,05	0,03
	Estructura metálica	1			1			1		
	Estructura de madera	3			3			3		
	Estructura de caña	0			16			0		
	Estructura de pared portante (adobe)	0			0			0		
	Mixta madera-hormigón	5			5			5		
	Mixta metálica-hormigón	0			0			0		
Tipo de material en	Pared de ladrillo	0	0,11	0,01	0	0,10	0,01	0	0,08	0,01
	Pared de bloque	8			8			8		

	Pared de piedra	0			0			0		
	Pared de adobe	0			0			0		
	Pared de Tapia-bahareque-madera	0			0			0		
Tipo de cubierta	Cubierta metálica	3	0,03	0,00	3	0,08	NA	3	0,3	0,01
	Loza de hormigón armado	3			3			3		
	Vigas de madera y zinc	1			1			1		
	Caña, zinc, eternit	1			1			1		
	Vigas de madera y Teja	0			0			0		
Sistema de entrepisos	Loza de hormigón armado	6	NA	NA	6	0,07	NA	6	NA	NA
	Vigas y entramada de madera	1			1			1		
	Entramado madera-caña	1			1			1		
	Entramado metálico	0			0			0		
	Entramado hormigón-metálica	0			0			0		
Número de pisos	1 piso	4	0,11	0,00	4	0,10	0,00	4	0,10	0,00
	2 pisos	3			3			3		
	3 pisos	1			1			1		
	4 pisos	0			0			0		
	5 pisos o más	0			0			0		
Año de Construcción	Antes de 1970	0	0,05	0,00	0	0,10	0,00	0	0,04	0,00
	Entre 1071 y 1980	2			2			2		
	Entre 1981 y 1990	1			1			1		

	Entre 1991 y 2010	4			4			4		
Estado de conservación	Bueno	4	0,05	0,00	4	0,10	0,00	4	0,05	0,00
	Aceptable	4			4			4		
	Regular	0			0			0		
	Malo	0			0			0		
Características del suelo bajo la ...	Firme, Seco	7	0,30	0,02	7	0,15	0,01	7	0,08	0,01
	Inundable	1			1			1		
	Ciénega	0			0			0		
	Húmedo-blando-relleno	0			0			0		
Topografía del sitio	A nivel, terreno plano	8	0,30	0,02	8	0,07	0,01	8	0,30	0,02
	Bajo nivel calzada	0			0			0		
	Sobre nivel calzada	0			0			0		
	Escarpe positivo o negativo	0			0			0		
Forma de la construcció	Regular	7	NA	NA	7	0,03	NA	7	NA	NA
	Irregular	1			1			1		
	Irregularidad severa	0			0			0		
Total			**1,00**	**0,09**		**1,00**	**0,15**		**1,00**	**0,08**
			Nivel de Vulnerabilidad	Bajo		**Nivel de Vulnerabilidad**	Bajo		**Nivel de Vulnerabilidad**	Bajo

Nota: Los índices finales de vulnerabilidad física para el sector Yanayacu – La Dolorosa, calculados a partir de la evaluación de 40 viviendas, alcanzaron valores de 0,09 para inundaciones, 0,15 para deslizamientos y 0,08 para caída de ceniza, todos ellos ubicados en un nivel bajo de manera individual. No obstante, al integrar las tres amenazas en un análisis conjunto, el índice multiamenaza final se situó en 0,33, clasificando al sector dentro del nivel bajo de vulnerabilidad física, aunque en el límite superior de dicha categoría.

Tabla 9 Niveles de vulnerabilidad física y puntaje final del sector Mochapata

Puntajes de los niveles de vulnerabilidad

Nivel de Vulnerabilidad	Puntaje (Rango)
Bajo	0,1 a 0,33 puntos
Medio	0,34 a 0,66 puntos
Alto	0,67 a 1 puntos

	0,33
Nivel de Vulnerabilidad	Bajo

Nota: El índice multiamenaza final de vulnerabilidad física para el sector Mochapata alcanzó un valor de 0,33, lo que lo ubica en el límite superior del rango establecido para el nivel bajo (0,1 a 0,33 puntos). Este resultado refleja que, Aunque el sector se encuentra dentro del nivel bajo de vulnerabilidad física, el índice multiamenaza de 0,33 se ubica en el límite superior de esta categoría, por lo que resulta importante prestar atención a las condiciones de las viviendas frente a las tres amenazas analizadas.

El análisis de la vulnerabilidad física del sector Yanayacu–La Dolorosa se realizó considerando las condiciones de 40 viviendas frente a las tres amenazas identificadas: inundaciones, deslizamientos y caída de ceniza. Los resultados muestran que, al evaluar cada amenaza por separado, los índices obtenidos corresponden al nivel bajo. Para inundaciones se obtuvo un valor de 0,09, para deslizamientos 0,15 y para caída de ceniza 0,08.

Estos valores indican que, según los aspectos físicos y constructivos evaluados, las viviendas presentan condiciones de vulnerabilidad bajas frente a cada una de las amenazas analizadas. Sin embargo, también es necesario considerar los resultados de la evaluación conjunta, ya que permiten tener una visión general de las condiciones de las edificaciones frente a los diferentes fenómenos naturales.

Al integrar los resultados de las tres amenazas, el índice de vulnerabilidad física multiamenaza alcanzó un valor de 0,33. De acuerdo con los rangos de clasificación utilizados en la investigación, este resultado corresponde al nivel bajo, aunque se encuentra en el límite con el nivel medio. Aunque los valores obtenidos por vivienda son bajos, su evaluación conjunta permite reconocer algunos aspectos que deben considerarse al analizar la vulnerabilidad física de las edificaciones.

El mantenimiento de las viviendas y la revisión de sus características constructivas son aspectos que deben formar parte de las acciones preventivas en Yanayacu–La Dolorosa. Estas actividades permiten detectar posibles deterioros y atender oportunamente las condiciones que puedan afectar el estado de las edificaciones. A partir de la información obtenida en el estudio, también es posible establecer qué aspectos necesitan mayor atención y orientar futuras medidas destinadas a reducir la vulnerabilidad física de las viviendas del sector.

4.1.3 Resultado del Objetivo 3

“Proponer medidas de mitigación en función del análisis de riesgo.”

Las medidas que se presentan no son una lista de buenas intenciones. Son el resultado de cruzar lo que dicen los mapas de amenaza con las condiciones de vulnerabilidad que se registraron en campo. No se trata de intervenciones de gran escala; son soluciones prácticas, pensadas para comunidades rurales con recursos limitados, donde la gestión del riesgo depende tanto de la organización comunitaria como de pequeñas obras que pueden ejecutarse con mano de obra local.

4.1.3.1 Sector Mochapata

El mapa de amenaza clasifica todo el sector en nivel medio para inundaciones por anegamiento, mientras que el riesgo por deslizamiento se concentra en los extremos del territorio, donde la pendiente es pronunciada. La vulnerabilidad social es baja en un 70,4% de los hogares, pero el 25,9% restante se encuentra en nivel medio, con un caso aislado en nivel alto. Esto revela que existe un grupo de población con menor capacidad de respuesta. La vulnerabilidad física presenta niveles bajos al evaluar cada amenaza por separado, pero al integrar los resultados alcanza un índice de 0,51, correspondiente al nivel medio. Esto muestra que, al considerar las tres amenazas en conjunto, las condiciones físicas de las viviendas

presentan una mayor vulnerabilidad, por lo que es necesario prestar atención a los posibles efectos que podrían generar estos fenómenos en el sector.

Medidas estructurales y de infraestructura:

- **Manejo de drenajes con mano de obra comunitaria**. Las zonas con riesgo alto y muy alto por inundación requieren la limpieza y apertura de zanjas y cunetas perimetrales. Estas obras pueden realizarse con mingas comunitarias, utilizando herramientas manuales, para evacuar la escorrentía de lluvias intensas antes de que se acumule. Responsables: GAD Parroquial Rural de Yanayacu, representado por Sr. Pedro Cherres, y moradores del sector. El GAD Municipal de Santiago de Quero podrá brindar apoyo técnico.
- **Prácticas agrícolas para mejorar la infiltración**. En los terrenos agrícolas se plantea implementar zanjas de infiltración y colocar barreras vivas con vegetación nativa. Estas medidas ayudan a que el agua de lluvia ingrese al suelo y disminuyen la cantidad de agua que circula por la superficie, reduciendo así su acumulación en el terreno. Su aplicación puede realizarse con recursos locales y la participación de los agricultores y moradores del sector. Los responsables de esta actividad serían los agricultores y habitantes de la comunidad, con el apoyo del GAD Parroquial Rural de Yanayacu, representado por el Sr. Pedro Cherres, y la asistencia técnica del Ministerio de Agricultura y Ganadería
- **Estabilización de taludes con bioingeniería**. En los lugares identificados con amenaza y riesgo alto por deslizamientos, se recomienda utilizar especies vegetales nativas que ayuden a mantener el suelo mediante sus raíces. También se pueden colocar barreras de contención elaboradas con materiales disponibles en la zona, como troncos y piedras, para contribuir a reducir la erosión y mejorar la estabilidad del terreno. Responsables: GAD

Municipal de Santiago de Quero y GAD Parroquial Rural de Yanayacu, representado por Sr. Pedro Cherres, con participación de los moradores y apoyo técnico especializado.

Medidas no estructurales y de organización social:

- **Capacitación en manejo de drenajes y primeros auxilios**. El 25,9% de hogares en nivel medio de vulnerabilidad social y el caso en nivel alto evidencian una brecha en la preparación. Se propone un programa de talleres prácticos, impartidos en las propias comunidades, para enseñar a los habitantes a mantener los drenajes y actuar en primeros auxilios. Responsables: GAD Parroquial Rural de Yanayacu, representado por Sr. Pedro Cherres, y Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, con participación de los moradores del sector.
- **Sistema de alerta temprana basado en la comunidad**. Debido a que las lluvias intensas pueden favorecer la acumulación de agua y provocar inundaciones, se propone implementar un sistema de alerta que permita informar oportunamente a los habitantes. Para ello, se pueden utilizar pluviómetros comunitarios y medios de comunicación como la radio y los grupos de WhatsApp. De esta manera, la población podrá conocer cuándo existen condiciones de alerta y tomar medidas preventivas. Los responsables serían el GAD Parroquial Rural de Yanayacu, representado por el Sr. Pedro Cherres, y la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, con la participación de los moradores y líderes comunitarios.

4.1.3.2 Sector Yanayacu – La Dolorosa

En este sector se identifican diferentes condiciones de amenaza. Las zonas más bajas presentan un nivel alto de amenaza por inundaciones debido a la acumulación de agua, mientras que las laderas que rodean los valles registran niveles altos de amenaza por deslizamientos. A esto se suma la caída de ceniza, clasificada como de alto impacto. La vulnerabilidad social es

baja en el 82,5% de los hogares, pero el 17,5% restante está en nivel medio, con índices que alcanzan 0,40.

La vulnerabilidad física multiamenaza es baja (0,33), pero está en el límite superior de la categoría, a punto de transitar a un nivel medio. Los mapas de riesgo muestran zonas con niveles alto y muy alto para deslizamientos y caída de ceniza, con varias viviendas ubicadas dentro de esas áreas. La presencia de diferentes amenazas, el índice de vulnerabilidad próximo al nivel medio y la ubicación de viviendas en zonas de riesgo alto muestran la importancia de reforzar las medidas de prevención y preparación en el sector.

Medidas estructurales y de infraestructura:

- **Drenajes de coronación para interceptar el agua de lluvia** Esta medida puede disminuir la cantidad de agua que ingresa al terreno y reducir las condiciones que favorecen la inestabilidad de las laderas. Estas obras pueden ejecutarse con herramientas manuales y participación comunitaria. Responsables: GAD Municipal de Santiago de Quero y GAD Parroquial Rural de Yanayacu, representado por el Sr. Pedro Cherres, con participación de los moradores.

- **Estabilización de taludes con obras y bioingeniería**. En las laderas que presentan riesgo alto y muy alto por deslizamientos, principalmente en las zonas cercanas a las viviendas, se propone analizar la posibilidad de construir muros de contención utilizando materiales disponibles en el sector, como piedra o gaviones. Esta medida también puede acompañarse de la siembra de especies nativas en las zonas menos críticas, ya que sus raíces ayudan a dar estabilidad al suelo. No obstante, antes de ejecutar estas obras, es necesario evaluar las características del terreno y disponer de la valoración de profesionales especializados. Para ello, se propone la participación del GAD Municipal de Santiago de Quero y del GAD Parroquial

Rural de Yanayacu, representado por el Sr. Pedro Cherres, junto con los moradores y profesionales especializados.

- **Refuerzo de viviendas con materiales locales**. Debido a la exposición de las viviendas a inundaciones y caída de ceniza, y considerando que el índice de vulnerabilidad física se encuentra cerca del límite del nivel medio, es necesario plantear medidas para mejorar sus condiciones constructivas. Entre ellas se propone reforzar las cubiertas con materiales adecuados, como la madera, para mejorar su capacidad de soportar la acumulación de ceniza. También se recomienda impermeabilizar los cimientos y pisos para disminuir los posibles daños causados por el anegamiento. Responsables: propietarios de las viviendas, con apoyo y gestión del GAD Parroquial Rural de Yanayacu, representado por el Sr. Pedro Cherres, y del GAD Municipal de Santiago de Quero.

Medidas no estructurales y de organización social:

- **Simulacros de evacuación en la comunidad**. La ubicación de viviendas en zonas de riesgo alto y muy alto, tanto por deslizamiento como por caída de ceniza, hace que la preparación sea una prioridad. Realizar ejercicios periódicos, caminando las rutas de evacuación y señalando los puntos de encuentro, permitiría que la comunidad interiorice los protocolos. Responsables: GAD Parroquial Rural de Yanayacu, representado por el Sr. Pedro Cherres, y Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, con participación de los moradores y líderes comunitarios.

- **Formación de brigadas comunitarias de gestión de riesgos**. El 17,5% de los hogares en nivel medio de vulnerabilidad social, sumado a la complejidad de las amenazas, hace necesaria la creación de una brigada local. Esta organización tendría a su cargo coordinar las actividades de prevención, comunicar las alertas tempranas y brindar apoyo en las acciones de

primeros auxilios y evacuación. Los responsables serían el GAD Parroquial Rural de Yanayacu, representado por el Sr. Pedro Cherres, y la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, con la participación voluntaria de los moradores y líderes comunitarios.

- **Programa de educación ambiental y buenas prácticas agrícolas**. La falta de árboles y la quema de restos de las actividades agrícolas son prácticas que pueden dejar el suelo más expuesto a la erosión y modificar sus condiciones naturales. Estos cambios pueden favorecer la aparición de procesos que contribuyen a los deslizamientos y las inundaciones. Como medida preventiva, se propone recuperar la cobertura vegetal mediante la siembra de especies nativas y promover formas de trabajo agrícola que permitan conservar el suelo y aprovechar los terrenos sin afectar sus condiciones naturales. Con estas acciones se busca proteger el suelo y reducir los factores que pueden contribuir a la ocurrencia de estos fenómenos a mediano y largo plazo. La ejecución de esta propuesta estaría a cargo del GAD Parroquial Rural de Yanayacu, representado por el Sr. Pedro Cherres, y del Ministerio de Agricultura y Ganadería, con la colaboración de los agricultores y habitantes del sector.

Resultados Esperados

La puesta en práctica de las estrategias de mitigación propuestas para Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa busca generar mejoras en distintos aspectos de la gestión del riesgo. Entre los resultados esperados se encuentran la disminución del riesgo físico, el desarrollo de las capacidades de la comunidad, la protección del ambiente, una mayor coordinación entre las instituciones y la participación activa de los habitantes. Estos resultados no son fruto de la improvisación, sino que cumplen con lo establecido en los marcos normativos del Ecuador, como el Plan de Creación de Oportunidades, la Constitución de la República, los Objetivos de

Desarrollo Sostenible y la Agenda 2030 (NACIONES UNIDAS, 2023), además de responder a las necesidades detectadas en el diagnóstico de campo.

Se plantea que, al aplicar las estrategias de mitigación en las áreas de Mochapata y Yanayacu-La Dolorosa, se logren resultados importantes en varias dimensiones: la disminución del riesgo físico, el fortalecimiento de las capacidades a nivel comunitario, la sostenibilidad en términos medioambientales, la articulación institucional y la inclusión social. Estos resultados no son fruto de la improvisación, sino que cumplen con lo establecido en los marcos normativos del Ecuador, como el Plan de Creación de Oportunidades, la Constitución de la República, los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la Agenda 2030 (NACIONES UNIDAS, 2023), además de responder a las necesidades detectadas en el diagnóstico de campo.

Se espera que la puesta en marcha de zanjas de infiltración y drenajes perimetrales en el área de Mochapata disminuirá y garantizará una mayor resiliencia de la infraestructura local, disminuyendo los daños materiales y las pérdidas económicas que enfrentan las familias ante eventos adversos.

Esta propuesta tiene como objetivo que los ciudadanos de ambos sectores desarrollen habilidades prácticas y conocimientos para responder a una emergencia de manera eficaz y oportuna en lo que respecta al fortalecimiento de capacidades comunitarias. Los talleres que propongo ofrecer en las mismas comunidades para el manejo de drenajes y primeros auxilios ayudarán a reducir la falta de preparación que muestran los hogares con vulnerabilidad social media y alta. Además, estoy seguro de que el sistema de alerta temprana comunitario, a través de pluviómetros y la difusión de avisos por medio de grupos de WhatsApp y la radio, permitirá que los tiempos de respuesta sean más cortos y que la gente pueda actuar preventivamente antes de que se forme una acumulación de agua o un deslizamiento La formación de brigadas

comunitarias de gestión de riesgos es otro de los resultados que espero consolidar, pues estas estructuras organizativas locales serán las encargadas de coordinar la prevención, difundir alertas y apoyar en tareas de evacuación y primeros auxilios, fortaleciendo así la autonomía y la capacidad de respuesta de las comunidades frente a las amenazas naturales.

Desde el punto de vista ambiental y productivo, se propone aplicar prácticas agrícolas que ayuden a conservar las condiciones del suelo. Como parte de estas acciones se plantea la construcción de zanjas de infiltración y la instalación de barreras vivas con especies nativas. Estas prácticas ayudan a controlar el desplazamiento del agua por la superficie del terreno y a disminuir la pérdida de suelo por erosión. También permiten mantener condiciones adecuadas en las áreas destinadas a la agricultura. Otra medida consiste en recuperar la vegetación de las laderas y promover un manejo apropiado de los cultivos, con el fin de conservar el suelo y reducir las condiciones que pueden propiciar deslizamientos e inundaciones. La aplicación de estas medidas a mediano y largo plazo busca proteger los ecosistemas locales, mantener las actividades agrícolas y contribuir a la seguridad de las comunidades.

En cuanto al ámbito institucional, se espera que las medidas propuestas puedan incorporarse en los Planes Operativos Anuales de los Gobiernos Autónomos Descentralizados y de las instituciones relacionadas con la gestión de riesgos. Esto permitiría dar continuidad a las acciones planteadas y facilitar su aplicación a lo largo del tiempo. La participación conjunta del GAD parroquial, el GAD cantonal, el Ministerio de Ambiente, la Secretaría de Gestión de Riesgos y otras entidades competentes ayudaría a organizar las actividades, utilizar de mejor manera los recursos disponibles e incorporar la gestión del riesgo en la planificación territorial. La vinculación de estas propuestas con los instrumentos legales y de planificación vigentes, entre ellos la Constitución del Ecuador, el Plan de Creación de Oportunidades, los Objetivos de

Desarrollo Sostenible y la Agenda 2030, proporciona un sustento para que las instituciones puedan considerarlas e incorporarlas en sus actividades y planes de trabajo.

Respecto a la participación comunitaria y la inclusión social, las acciones planteadas contemplan la intervención tanto de mujeres como de hombres en las diferentes etapas de su desarrollo. Esta participación incluye la ejecución de obras comunitarias, la organización de brigadas y la toma de decisiones sobre la gestión del riesgo. Asimismo, las capacitaciones estarán dirigidas a los habitantes de ambos sectores, prestando especial atención a los hogares que presentan niveles medios y altos de vulnerabilidad social. Con ello se busca que los distintos grupos de la población tengan la oportunidad de participar y formar parte de las medidas propuestas. La colaboración entre los habitantes también puede contribuir a fortalecer la organización comunitaria y mejorar la capacidad de respuesta frente a posibles eventos adversos.

En conjunto, los resultados de la investigación y las medidas planteadas están orientados a mejorar las condiciones relacionadas con la vulnerabilidad en Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa. Para alcanzar este propósito, se proponen acciones que consideran la intervención física, el involucramiento de la comunidad, el cuidado del ambiente, la coordinación entre instituciones y la inclusión social. Estas medidas, relacionadas con las políticas nacionales e internacionales, pueden servir como referencia para orientar una gestión del riesgo basada en información técnica y en la participación de las comunidades, especialmente en las zonas que presentan mayor exposición a las amenazas naturales.

4.2 Comprobación de la hipótesis

Para comprobar si los resultados respaldan o rechazan la idea planteada en la investigación, se aplicó la prueba estadística Chi-cuadrado. La prueba de chi-cuadrado se utiliza para analizar si existe una relación entre dos variables categóricas, mediante la comparación de

las frecuencias observadas con las que se esperarían si no hubiera asociación entre ellas. El procedimiento consiste en calcular las diferencias entre ambos grupos de frecuencias y contrastar el resultado con el valor crítico correspondiente. Si el valor calculado supera este límite, se considera que existe una asociación estadísticamente significativa entre las variables; de lo contrario, no se cuenta con evidencia suficiente para descartar que las diferencias encontradas se deban al azar.

La fórmula empleada para el cálculo es la siguiente:

$$X^2 = \sum \frac{(f_\circ - f_e)^2}{f_e}$$

Donde:

- $\boldsymbol{X^2}$ es el valor del Ch i cuadrado calculado.
- $\sum$ representa la sumatoria de todos los términos.
- **fo** Corresponde a las frecuencias observadas (datos obtenidos de la encuesta).
- **fe** Corresponde a las frecuencias esperadas (los valores que se calcularían si no existiera ninguna relación entre las variables).

4.2.1 Aplicación de la fórmula

El proceso de cálculo se desarrolló en tres pasos consecutivos. En primer lugar, se calcularon las frecuencias esperadas para cada celda de la tabla de contingencia, tomando como base los totales marginales de las frecuencias observadas. A continuación, para cada celda se restó la frecuencia esperada de la observada, se elevó esa diferencia al cuadrado y se dividió el resultado entre la frecuencia esperada. Finalmente, se sumaron todos los valores obtenidos para llegar al Chi cuadrado calculado.

4.2.2 Determinación del nivel de confianza y grados de libertad

El cálculo se realizó con un nivel de confianza del 95%, lo que equivale a un margen de error del 5% (0,05). Este valor es el estándar en investigaciones sociales y permite buscar el valor crítico en la tabla de distribución del Chi cuadrado.

Los grados de libertad se calcularon mediante la siguiente fórmula:

$$GL = (C - 1) \times (H - 1)$$

Donde C es el número de columnas (preguntas) y H es el número de filas (categorías de respuesta: Sí / No). Para este estudio, se trabajó con 7 preguntas y 2 categorías de respuesta, por lo que los grados de libertad son:

$$GL = (7 - 1) \times (2 - 1) = 6 \times 1 = 6$$

Consultando la tabla de distribución del Chi cuadrado para 6 grados de libertad y un nivel de confianza de 0,05, se obtiene un valor teórico de:

$$X_t^2 = 12{,}5916$$

4.2.3 Planteamiento de la hipótesis

Para la comprobación, se definieron dos hipótesis opuestas:

4.2.3.1 Hipótesis de trabajo (Hi)

El análisis de las amenazas naturales y de la vulnerabilidad físico-social en los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa permitirá conocer los niveles de riesgo existentes y proponer lineamientos técnicos para la reducción del riesgo en la parroquia Yanayacu.

4.2.3.2 Hipótesis nula (Ho)

El análisis de las amenazas naturales y de la vulnerabilidad físico-social en los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa no permitirá conocer los niveles de riesgo existentes ni proponer lineamientos técnicos para la reducción del riesgo en la parroquia Yanayacu.

4.2.4 Preguntas seleccionadas para el análisis

Para llevar a cabo la prueba, se seleccionaron siete preguntas de la encuesta. Estas preguntas fueron elegidas porque representan las dimensiones clave que conectan la percepción del riesgo, la capacidad de respuesta y la evidencia física del territorio. Las preguntas son las siguientes:

- **Pregunta 16:** ¿Sabe usted cómo actuar ante una emergencia para proteger a su familia?
- **Pregunta 17:** ¿Alguna vez ha recibido charlas o capacitaciones sobre cómo prevenir desastres naturales?
- **Pregunta 24:** ¿Su actividad económica depende del uso de su terreno?
- **Pregunta 27:** ¿Ha realizado cortes o nivelaciones en el terreno para sus actividades?
- **Pregunta 28:** ¿Ha observado grietas, hundimientos o pequeños deslizamientos cerca de su vivienda o terreno?
- **Pregunta 29:** ¿Existen construcciones en laderas o zonas inestables cerca de su vivienda?
- **Pregunta 30:** ¿Cree que estos cambios o alteraciones del terreno se deben a la actividad humana?

4.2.5 Cálculo del Chi cuadrado

A partir de las frecuencias obtenidas en el trabajo de campo, se construyó la siguiente tabla de contingencia con las frecuencias observadas y esperadas.

Tabla 10 Frecuencias observadas para el cálculo del Cho cuadrado

Frecuencias Observadas							
Categoría	Pregunta 16	Pregunta 17	Pregunta 24	Pregunta 27	Pregunta 28	Pregunta 29	Pregunta 30	Total

Si	25	19	41	46	11	18	9	169
No	42	48	26	21	56	49	58	300
Total	67	67	67	67	67	67	67	469

Nota: La tabla presenta las frecuencias observadas a partir de las encuestas aplicadas a los jefes de hogar de los sectores Mochapata y Yanayacu-La Dolorosa. Los valores corresponden al número de respuestas afirmativas (Sí) y negativas (No) para cada una de las siete preguntas seleccionadas. Fuente: Elaboración propia a partir de encuestas aplicadas en campo (2026).

Tabla 11 Frecuencias esperadas para el cálculo del Chi cuadrado

Frecuencias Esperadas

Categoría	Pregunta 16	Pregunta 17	Pregunta 24	Pregunta 27	Pregunta 28	Pregunta 29	Pregunta 30	Total
Si	24,14	24,14	24,14	24,14	24,14	24,14	24,14	169
No	42,86	42,86	42,86	42,86	42,86	42,86	42,86	300
Total	67	67	67	67	67	67	67	469

Nota: Las frecuencias esperadas se calcularon a partir de los totales marginales de la tabla de frecuencias observadas, asumiendo la independencia entre las variables. Fuente: Elaboración propia.

A partir de estos datos, se procedió a calcular el valor del Chi cuadrado:

Tabla 12 Cálculo del Chi cuadrado

Cálculo de Frecuencias

fo	**fe**	$(\mathbf{fo} - \mathbf{fe}$	$(\mathbf{fo} - \mathbf{fe})^2$	$\frac{(\mathbf{fo} - \mathbf{fe})^2}{\boldsymbol{fe}}$
25	24,14	0,86	0,73	0,030
42	42,86	-0,86	0,73	0,017
19	24,14	-5,14	26,45	1,096
48	42,86	5,14	26,45	0,617
41	24,14	16,86	284,16	11,770
26	42,86	-16,86	284,16	6,630
46	24,14	21,86	477,73	19,788
21	42,86	-21,86	477,73	11,147
11	24,14	-13,14	172,73	7,155
56	42,86	13,14	172,73	4,030
18	24,14	-6,14	37,73	1,563
49	42,86	6,14	37,73	0,880
9	24,14	-15,14	229,31	9,498
58	42,86	15,14	229,31	5,350
			TOTAL	79,57

Nota: La tabla resume el proceso de cálculo del Chi cuadrado. La columna FO representa las frecuencias observadas (extraídas de la Tabla 9), mientras que FE corresponde a las frecuencias esperadas (extraídas de la Tabla 10). La sumatoria de la última columna $\frac{(fo-fe)^2}{fe}$ *da como resultado el valor del Chi cuadrado calculado. Fuente: Elaboración propia.*

4.2.6 Comparación y decisión final

Los resultados obtenidos se resumen a continuación:

Datos	Valor
Grados de libertad	6
X^2 **teórico**	12,59
X^2 **calculado**	79,57
Nivel de confianza	0,05

Nota: La tabla resume los resultados finales del análisis estadístico. El valor del X² teórico se obtuvo de la tabla de distribución del Chi cuadrado para 6 grados de libertad y un nivel de confianza del 0,05. El X² calculado es el resultado de la sumatoria presentada en la Tabla 11. Fuente: Elaboración propia.

La regla de decisión establece que, si el X² calculado es mayor que el X² teórico, se acepta la hipótesis de trabajo y se rechaza la nula. En este caso, el valor calculado (79,57) es considerablemente superior al valor teórico (12,59).

Por lo tanto, la hipótesis de trabajo se acepta, mientras que la hipótesis nula se rechaza. Esto confirma que las variables analizadas (la percepción del riesgo, la preparación comunitaria y las evidencias de intervención humana en el terreno) están directamente relacionadas. El análisis conjunto de las amenazas y las condiciones de vulnerabilidad permite comprender los niveles de riesgo presentes en los sectores estudiados y, a partir de estos resultados, plantear lineamientos técnicos para su reducción. De esta manera, la investigación cumple con su propósito de generar información que sirva de base para una gestión del riesgo en Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa.

Para comprobar la hipótesis, se aplicó la prueba estadística de Chi-cuadrado a las siete preguntas relacionadas con la percepción del riesgo, la preparación comunitaria y la intervención

humana en el terreno. Como resultado, se obtuvo un valor calculado de 79,57, superior al valor crítico de 12,59. Al trabajar con un nivel de confianza del 95 %, esta diferencia indica que existe una asociación estadísticamente significativa entre las variables analizadas. Por tanto, de acuerdo con el criterio establecido para la prueba, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de trabajo.

En consecuencia, los resultados respaldan la hipótesis planteada, ya que muestran que el análisis de las amenazas naturales y de la vulnerabilidad física y social permite identificar los niveles de riesgo y proponer lineamientos técnicos para su reducción. Así, la investigación aporta información que puede servir de apoyo a la gestión del riesgo en los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- ***Para el sector Mochapata:***

Se determinó que el sector Mochapata presenta una amenaza por inundación (anegamiento por lluvias intensas) de nivel Medio en la totalidad de su territorio, mientras que la amenaza por deslizamiento se concentra en las zonas de pendiente pronunciada. El riesgo por deslizamientos presenta niveles Alto y Muy Alto en puntos específicos del sector, donde se combinan pendientes pronunciadas y condiciones de vulnerabilidad. En cuanto a la caída de ceniza volcánica, la amenaza se clasifica como de Alto Impacto; sin embargo. El riesgo asociado se mantiene en el nivel Bajo, de acuerdo con las condiciones de vulnerabilidad física identificadas en el sector.

Los resultados del análisis de amenaza por deslizamientos guardan relación con los antecedentes revisados para la provincia de Tungurahua, en los que se señala la influencia de la

pendiente y las características del terreno en la ocurrencia de movimientos en masa. De forma similar, en esta investigación, las zonas con mayores niveles de amenaza se ubicaron principalmente en terrenos con pendientes pronunciadas. Esto muestra que las condiciones físicas del terreno tienen influencia en la distribución de la amenaza por deslizamientos. Sin embargo, los niveles obtenidos son particulares de los sectores analizados, debido a que el modelo considera además otras variables utilizadas para determinar la amenaza.

Asimismo, el análisis de vulnerabilidad física muestra diferencias entre los resultados obtenidos para cada amenaza en el sector Mochapata. Para inundación se obtuvo un índice de 0,19, para deslizamiento 0,17 y para caída de ceniza 0,16, todos correspondientes a un nivel Bajo según la clasificación utilizada. El valor de 0,51 obtenido mediante la integración de estos resultados corresponde a un nivel Medio. Este resultado muestra que la valoración conjunta de los índices de vulnerabilidad presenta un valor diferente al obtenido al analizar cada amenaza de manera independiente.

- **Para el sector Yanayacu - La Dolorosa:**

Se determinó que el sector Yanayacu-La Dolorosa presenta diferentes niveles de amenaza según el fenómeno analizado. Las zonas bajas presentan una amenaza por inundación (anegamiento) de nivel Alto, mientras que las laderas que bordean los valles muestran una amenaza por deslizamiento también de nivel Alto. La amenaza por caída de ceniza volcánica es de Alto Impacto y el riesgo asociado alcanza un nivel Alto en el área de La Dolorosa, donde afecta directamente a varias viviendas.

En el sector Yanayacu-La Dolorosa, el valor de vulnerabilidad física obtenido mediante la integración de los resultados correspondientes a las amenazas analizadas alcanza un índice de 0,33, lo que sitúa al sector en el nivel Bajo según la clasificación utilizada. La interpretación de

este resultado requiere considerar también los niveles de amenaza obtenidos para cada fenómeno, sobre todo en las áreas donde se identificaron categorías Altas, ya que las condiciones de vulnerabilidad social deben analizarse en relación con las amenazas presentes en el territorio.

En Yanayacu–La Dolorosa, la distribución de los resultados indica que el 82,5 % de los hogares se encuentra en el nivel Bajo de vulnerabilidad social, mientras que el 17,5 % corresponde al nivel Medio, con índices de hasta 0,40 puntos. Esta diferencia refleja que las condiciones sociales no son iguales en todos los hogares. Aunque predomina el nivel Bajo, las familias ubicadas en la categoría Media necesitan una atención particular al momento de planificar actividades de prevención y preparación comunitaria. Por ello, es importante considerarlos dentro de las actividades de prevención y preparación comunitaria.

Las diferencias identificadas entre los sectores y las amenazas evaluadas pueden explicarse por las características de cada zona. A pesar de que ambos pertenecen a la misma parroquia, presentan variaciones en el terreno, la ubicación de las viviendas, la cobertura del suelo y otros factores que fueron considerados en los modelos. Estas diferencias ayudan a comprender por qué los niveles de amenaza y riesgo no son iguales en ambos sectores y por qué los resultados de vulnerabilidad varían frente a las inundaciones, los deslizamientos y la caída de ceniza volcánica.

En consecuencia, el análisis de las amenazas naturales y de la vulnerabilidad física y social permitió determinar los niveles de riesgo por inundación, deslizamiento y caída de ceniza volcánica en los sectores Mochapata y Yanayacu–La Dolorosa. A partir de estos resultados, se identificaron las zonas que requieren mayor atención y se plantearon recomendaciones orientadas a prevenir y reducir el riesgo, tomando en cuenta las características de cada sector.

RECOMENDACIONES

- ***Para el sector Mochapata:***

Para el tema de sistema de drenaje pluvial superficial recomendamos implementar un sistema de zanjas y cunetas perimetrales, ejecutado mediante mingas comunitarias con herramientas manuales, para evacuar la escorrentía generada por lluvias intensas antes de que se acumule en las depresiones topográficas.

En las prácticas de infiltración en terrenos agrícolas se puede promover la implementación de zanjas de infiltración y barreras vivas con especies nativas en los terrenos de cultivo, con el fin de aumentar la capacidad del suelo para absorber agua y reducir la escorrentía superficial responsable de los anegamientos.

Para la estabilidad de los taludes en los puntos de amenaza Alta por deslizamiento, implementar la siembra de especies vegetales con sistemas radiculares profundos. En los cortes de terreno más expuestos, se recomienda la colocación de barreras de contención con materiales locales (troncos o piedras).

Para el área de capacitación comunitaria en drenaje y primeros auxilios es fundamental desarrollar un programa de talleres prácticos, impartidos en las propias comunidades, para enseñar a los habitantes a mantener los drenajes y a actuar en primeros auxilios, reduciendo así la brecha de vulnerabilidad social identificada.

Recomendamos que para el sistema de alerta temprana basado en la comunidad se requiera implementar un sistema de alerta simple, que funcione con pluviómetros comunitarios o mediante la difusión de avisos por radio y grupos de WhatsApp, para que la población tome medidas preventivas antes de que se activen las lluvias intensas.

- **Para el sector Yanayacu - La Dolorosa:**

Para el control de escorrentía en laderas se considera construir zanjas de coronación en la parte alta de las laderas, con participación comunitaria y herramientas manuales, para interceptar el agua de lluvia antes de que gane velocidad y sature el suelo en las partes bajas.

La estabilización de los taludes en las laderas con riesgo Alto y Muy Alto por deslizamiento, donde se ubican viviendas, se propone la construcción de muros de contención con materiales locales (gaviones o piedra), complementada con la siembra de especies nativas para fijar el suelo a largo plazo.

Desde la perspectiva estructural de viviendas recomendamos implementar un programa de mejoramiento de viviendas que se centre en reforzar las cubiertas con madera o materiales locales (para soportar la acumulación de ceniza volcánica) e impermeabilizar cimientos y pisos para mitigar los daños por anegamiento.

En función a lo que son los simulacros de evacuación se debería realizar ejercicios periódicos de evacuación que integren los escenarios de deslizamiento, anegamiento y caída de ceniza, permitiendo que la comunidad interiorice las rutas seguras y los puntos de encuentro.

Para la formación de brigadas comunitarias de gestión de riesgos para empezar se debe crear una brigada local, conformada por líderes comunitarios, que se encargue de coordinar la prevención, difundir alertas tempranas y apoyar en tareas de primeros auxilios y evacuación, reduciendo la dependencia de la ayuda externa.

Como ultima recomendación se indica promover la reforestación de laderas con especies nativas y el manejo responsable de los terrenos agrícolas, atacando la raíz de las amenazas de deslizamiento e inundación a mediano y largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

Adamo, S., Ayala , F., Bazo , J., Carnicería, A., Colleen , N., Hultquist, C., & Kruczkiewicz, A. (2022). *Comparación de índices de vulnerabilidad social específicos para inundaciones en Ecuador*. https://www.researchgate.net/publication/359246943_A_comparison_of_social_vulnerability_indices_specific_to_flooding_in_Ecuador_Principal_component_analysis_PCA_and_expert_knowledge

Alatorre, J., Peres Núñez, W., Bárcena Ibarra, A., & Samaniego, J. (2020). *La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe: ¿seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?* CEPAL.

Alonso-Pandavenes, O., Torrijo Echarri, F., & Garzón-Roca, J. (10 de 12 de 2024). Gestión sostenible de deslizamientos de tierra en Ecuador: aprovechamiento de estudios geofísicos para una reducción eficaz del riesgo. *Sustainability*, pág. 16 (24). https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su162410797

Asamblea Nacional del Ecuador. (30 de 01 de 2024). *Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres. Registro Oficial Suplementario No. 488.* https://procuraduria.utpl.edu.ec/NormativaExterna/LEY%20ORG%C3%81NICA%20PARA%20LA%20GESTI%C3%93N%20INTEGRAL%20DEL%20RIESGO%20DE%20DESASTRES.pdf

Banegas González, I., & Fuentes Alcalá, M. (2020). Construcción social del riesgo: Apuntes para una gestión inclusiva y participativa del riesgo de desastres en México. En U. N. Programa Universitario de Estudios del Desarrollo, *A 10 años de la Gran Recesión.*

Desastres y desarrollo. Versión ejecutiva (págs. 77-98). R. Cordera & E. Provencio (Coords.).

Bazo Zambrano, J. C. (15 de 04 de 2022). Comparación de índices de vulnerabilidad social específicos para inundaciones en Ecuador: análisis de componentes principales (ACP) y conocimiento de expertos. *Revista Internacional de Reducción del Riesgo de Desastres*. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.102897

Blaikie, P., Cannon, T., David, I., & Wisner, B. (1996). *Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres.* La Red. https://doi.org/https://www.desenredando.org/public/libros/1996/vesped/vesped-todo_sep-09-2002.pdf

Cardona, O. D., Van Aalst, m. k., Birkmann, J., Fordham, M., McGregor, G., Pérez, R., & Lavell, A. (2012). *Determinants of risk: Conceptual framework for understanding disaster risk. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR)*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX-Chap2_FINAL-1.pdf

Cardona, O. M. (2012). *Determinantes del riesgo: Exposición y vulnerabilidad.* https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX-Chap2_FINAL-1.pdf

Cargua, C., Espin, R., Valencia, B., Simbaña, M., Araujo, S., Ocampos, A., & Cornejo, C. (28 de 06 de 2024). *Análisis de susceptibilidad a deslizamientos empleando el proceso de jerarquía analítica en una carretera Amazónica del Ecuador.* https://doi.org/https://doi.org/10.17163/lgr.n39.2024.07

CEPAL. (2020). *Efectos del cambio climático en la agricultura de América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.*

Cobos Mora, S., Reodriguez Galiano, V., & Lima Aracely. (15 de 09 de 2023). Análisis de los factores explicativos de los deslizamientos de tierra y elaboración de mapas de susceptibilidad en un contexto andino: El caso de la provincia de Azuay (Ecuador). *PubMed*. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20170

Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Registro Oficial No. 449.* https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf

Cutter, S., Boruff, B., & Shirley, L. (19 de 05 de 2003). *Vulnerabilidad social ante los peligros ambientales.* https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002

Diario El Comercio. (18 de 11 de 2015). Secretaría de Riesgos entregó 7 100 mascarillas en Quero. https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/volcantungurahua-secretariaderiesgos-mascarillas-ceniza/

Diario El Universo. (7 de 05 de 2011). Lluvia lava la ceniza volcánica de Tungurahua. https://www.eluniverso.com/2011/05/07/1/1447/lluvia-lava-ceniza-volcanica-tungurahua.html/

DIPECHO LAC. (Junio de 2022). *Programa de preparación ante Desastres de la Comisión Europea*. Terminología: https://dipecholac.net/contenido/40-terminologia.html

Duran Gaglay, V., Iñiguez Jimenes, G., & Barragán Aroca, G. (2025). *Análisis del índice de tres componentes de la Gestión de Riesgos en el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Santiago de Quero, Provincia de Tungurahua.* Revista Pertenencia Académica: https://doi.org/10.5281/zenodo.14901426

EarthData - Alaska Satellite Facility. (s.f.). *ASF Data Search (Portal de búsqueda y descarga de datos)*. NASA: https://search.asf.alaska.edu/#/

GAD Municipal del Cantón Santiago de Quero. (2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2023–2027.* Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santiago de Quero.

GAD Parroquial Rural de Yanayacu. (2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial GAD Parroquial Rural Yanayacu 2023–2027.* https://gadyanayacu.gob.ec/wp-content/uploads/2025/09/PDOT-Yanayacu-2023_2027-Registrado.pdf

Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Tungurahua. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Tungurahua 2019-2023.* https://www.tungurahua.gob.ec/inc/uploads/2020/07/PDyOT-TUNGURAHUA-2019-2023-Version-2.pdf

Greiving, S., Fleischhauer, M., & Flex, F. (2006). Evaluación integrada de riesgos de múltiples peligros: una nueva metodología. Peligros y riesgos naturales y tecnológicos que afectan el desarrollo espacial de las regiones europeas. *Servicio Geológico de Finlandia,* págs. 42, 75–82, 2 figuras, 1 tabla. https://www.researchgate.net/publication/228501072_Integrated_Risk_Assessment_of_Multi-Hazards_A_New_Methodology

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* Mc Graw Hill Education. https://doi.org/https://doi.org/10.22201/fesc.20072236e.2019.10.18.6

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (2023). *Amenaza Volcánica.* Escuela Politécnica Nacional: https://www.igepn.edu.ec/amenaza-volcanica

Khanam, M., Giulia, S., Koukoula, M., Lazin, R., Nikolopoulos, E., Shen, X., & Anagnostou, E. (11 de 02 de 2021). *Impacto de un evento de inundación compuesto en infraestructuras*

críticas costeras considerando el clima actual y futuro. European Geosciences Union: https://nhess.copernicus.org/articles/21/587/2021/

Lavell, A. (2021). *Los conceptos, estudios y práctica en torno al tema de los riesgos y desastres en América Latina: evolución y cambio, 1980-2004 : el rol de la red, sus miembros y sus instituciones de apoyo.* FLACSO - Secretaria General. al tema de los riesgos y desastres en América Latina: evolución y cambio, 1980-2004: el rol de la red, sus miembros y sus instituciones de apoyo: https://www.flacsoandes.edu.ec/buscador/Record/clacso-CLACSO724/Details

Morales Cruz, V., & Erazo Macas, E. (2020). *Evaluación de la incidencia de la ceniza del volcán Tungurahua y su impacto ambiental en suelos agrícolas de las provincias de Tungurahua y Chimborazo.* Escuela Politécnica del Chimborazo: https://dspace.espoch.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/3bb542d3-58f5-4f09-a040-1afd5066cc36/content

Naciones Unidas. (2015). *Naciones Unidas - Sede Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR)*. https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030

Naciones Unidas (UNDRR). (18 de 03 de 2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030.* https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030

Naciones Unidas. (2009). *Terminología sobre reducción del Riesgo de Desastres.* https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf

NACIONES UNIDAS. (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023: Edición especial.* NACIONES UNIDAS. https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf

Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. (2022). *Global assessment report on disaster risk reduction 2022: Our world at risk—Transforming governance for a resilient future.* UNDRR: https://www.undrr.org/sites/default/files/2022-07/Global%20Assessment%20Report%20on%20Disaster%20Risk%20Reduction%202022%20corrected.pdf?startDownload=true&utm_source=chatgpt.com?startDownload=true

PNUD. (2016). *Informe sobre Desarrollo Humano 2014.*

Presidencia de la República del Ecuador. (2010). *Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD). Registro Oficial Suplemento No. 303, 19 de octubre de 2010.* Presidencia de la República del Ecuador.

Puente Sotomayor, F., Mustafa, A., & Teller, J. (20 de 08 de 2021). *Mapeo de la susceptibilidad a deslizamientos de tierra en áreas urbanas: Regresión logística y análisis de sensibilidad aplicados a Quito, Ecuador*. Springer Nature Link: https://link.springer.com/article/10.1186/s40677-021-00184-0

Quilloturo Landslide Study. (2024). *Geological and Social Factors Related to Disasters Caused by Complex Mass Movements: The Quilloturo Landslide in Ecuador.* https://www.mdpi.com/2624-795X/7/1/4

Rodríguez Galeano, V., Chica, M., Rogan, J., & Ghimire, B. (2012). *Evaluación de la efectividad de un clasificador de bosques aleatorios para la clasificación de la cobertura del suelo.* Revista ISPRS de Fotogrametría y Teledetección. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.11.002

Secretaría de Gestión de Riesgo. (10 de 2011). *Propuesta Metodológica para el análisis de vulnerabilidades en función de amenazas a nivel municipal.* https://doi.org/https://biblioteca.gestionderiesgos.gob.ec:8443/items/show/122

Secretaría Nacional de Planificación (SENPLADES). (23 de 09 de 2021). *ES). (2021). Plan Nacional de Desarrollo 2021–2025: Creando oportunidades.* https://iste.edu.ec/wp-content/uploads/2022/08/PLAN-NACIONAL-DE-DESARROLLO-2021-2025.pdf

Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de Riesgos. (2019). *Metodología para estimación del nivel de exposición de los elementos esenciales a movimientos en masa e inundaciones.* https://es.scribd.com/document/464439066/Metodologia-Exposicion-de-los-elementos#google_vignette

Toulkeridis, T. (2015). *Amenazas de origen natural y gestión de riesgo en el Ecuador.* Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas–ESPE.

United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2015). *Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030*. https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030

Vallance, J., & Mothes, P. (2015). *Capítulo 6: Lahares en los volcanes Cotopaxi y Tungurahua, Ecuador: Aspectos destacados de la estratigrafía y los registros de observación, y los peligros relacionados aguas abajo.* Volcanic Hazards, Risks and Disasters, Elsevier. https://doi.org/https://www.sciencedirect.com/science/chapter/edited-volume/abs/pii/B978012396453300006X?via%3Dihub

Yamagishi, H. (02 de 2005). *Instituto Asiatico de Información Espacial*. ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/222830581_The_application_of_GIS-

based_logistic_regression_for_landslide_susceptibility_mapping_in_the_Kakuda-Yahiko_Mountains_Central_Japan

Zárate, B., El Hamdouni, R., & Fernandez del Castillo, T. (27 de 07 de 2023). Caracterización y análisis de la evolución de deslizamientos de tierra en zonas intramontañosas de Loja (Ecuador) mediante productos fotogramétricos RPAS. *MDPI*. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs15153860

ANEXOS

Anexo 1. Cronograma de actividades (Diagrama de Gantt)

Tabla 13 Cronograma Tentativo (Gantt)

FASE / ACTIVIDAD	Semana 1 (9-13 mar)	Semana 2 (16-20 mar)	Semana 3 (23-27 mar)	Semana 4 (30 mar-3 abr)	Semana 5 (6-10 abr)	Semana 6 (13-17 abr)	Semana 7 (20-24 abr)	Semana 8 (27 abr-1 May)	Semana 9 (4-8 May)	Semana 10 (11-15 May)	Semana 11 (18-22 May)	Semana 12 (25-30 May)	Semana 13 (1-5 jun)	Semana 14 (8-12 jun)	Semana 15 (15-19 jun)	Semana 16 (22-26 jun)
PREPARACIÓN Y PLANIFICACIÓN																
Revisión bibliográfica y documental	■	■														
Elaboración de instrumentos de investigación		■														
TRABAJO DE CAMPO																
2da salida de campo (14-15 May 2026)										■	■					
Georreferenciación y verificación complementaria										■	■					
Aplicación de encuestas y fichas técnicas										■	■					
Entrevistas a líderes comunitarios										■	■					
Validación y complementación de datos										■	■					
PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS																
Digitalización y depuración de datos			■	■												
Procesamiento de encuestas (vulnerabilidad social)				■	■											
Procesamiento de fichas técnicas (vulnerabilidad física)				■	■											
Análisis SIG para amenazas					■	■										
Interpolación Originó para vulnerabilidad						■	■									
Integración de modelos de riesgo								■	■							
ELABORACIÓN DE RESULTADOS																
Entrega 1er borrador (Semana 4)																
Redacción de capítulos				■	■	■	■									
Generación de mapas y gráficos				■	■	■	■									

Entrega 2do borrador (Semana 8)	
Correcciones y ajustes	
Análisis estadístico y comprobación de hipótesis	
Entrega 3er borrador (Semana 12)	
Revisión y ajustes finales de contenido	
Elaboración de medidas de mitigación	
REVISIÓN Y FINALIZACIÓN	
Revisión por director	
Entrega borrador final (Semana 16)	
Correcciones y ajustes finales	
Elaboración de resumen ejecutivo y abstracto	
Formato final y revisión de anexos	

Nota: Las salidas de campo se realizaron en fechas específicas: 21-22 de noviembre de 2025 (1ra salida) y 14-15 de mayo de 2026 (2da salida). En ambas salidas se ejecutaron actividades de georreferenciación, aplicación de instrumentos, entrevistas y validación de datos. La semana 17 corresponde a supletorios. El cronograma incluye las 16 semanas de clases más la semana de supletorios. Elaborado por: Montes Castro Joel Arnaldo, Pacho Muñoz Fiorela Abigaíl.

Anexo 2. Instrumentos de recopilación de datos

Este cuestionario se ejecutó para el resultado del objetivo 2 obteniendo así el nivel de vulnerabilidad social de cada casa.

CUESTIONARIO DE ENCUESTA PARA VULNERABILIDAD SOCIAL A LOS SECTORES DE MOCHAPATA Y YANAYACU – LA DOLOROSA

UBICACIÓN

1. **Parroquia**

   Quero Matriz Yanayacu Rumipamba

2. **Sector**

   _____

3. **Coordenadas:**

   Latitud x _____ y

   _____

   Longitud x _____ y

   _____

   Altitud (m), _____

   Precisión (m)_____

DATOS GENERALES

4. **Nombre del jefe de Hogar**

   _____

5. **Ocupación**

   _____

6. **Sexo**

   Femenino Masculino Otro:

   _____

7. **Edad**

_____

8. **N° de integrantes del hogar**

_____

9. **¿Existe persona o personas con discapacidad en su hogar?**

SI NO

10. **En caso de responder SÍ, ¿cuántas personas con discapacidad viven con usted en su hogar?**

VULNERABILIDAD SOCIAL

Nivel de educación

11. **¿Cuál es su nivel educativo alcanzado?**

Ninguno Primaria Secundaria Bachillerato Universidad

12. **¿Sabe leer y escribir bien?**

SI NO

Percepción del riesgo

13. **¿Qué tan seguido usa la radio, la televisión o el celular para saber cómo está el clima o si hay noticias importantes de la parroquia?**

Nunca Rara vez Ocasionalmente Frecuentemente Diariamente

14. **¿Sabe qué tipo de riesgos naturales pueden ocurrir en su comunidad (como deslaves, inundaciones, lluvias fuertes)?**

SI NO

15. **¿Conoce las rutas de evacuación y puntos seguros?**

SI NO

16. **¿Sabe usted cómo actuar ante una emergencia para proteger a su familia?**

SI NO

Organización comunitaria

17. **¿Alguna vez ha recibido charlas o capacitaciones sobre cómo prevenir desastres naturales?**

SI NO

18. ¿Con qué frecuencia participa usted en esas reuniones o mingas comunitarias?

19. Nunca Rara vez Ocasionalmente Frecuentemente Diariamente

20. ¿En su comunidad existen grupos o brigadas que ayuden en caso de emergencias?

SI NO

Acceso a servicios básicos

21. ¿En su casa cuentan con servicio de agua potable?

SI NO

22. ¿En su casa cuentan con servicio de luz?

SI NO

23. ¿En su casa cuentan con servicio de alcantarillado?

SI NO

24. ¿Cuenta su localidad con señal de celular o internet?

SI NO

25. ¿Su actividad económica depende del uso de su terreno?

SI NO

26. ¿Realiza cultivos o actividades en laderas o pendientes?

SI NO

27. ¿Aplica prácticas para evitar erosión (zanjas, drenajes, barreras vivas)?

SI NO

28. ¿Ha realizado cortes o nivelaciones en el terreno para sus actividades?

SI NO

29. ¿Ha observado grietas, hundimientos o pequeños deslizamientos cerca de su vivienda o terreno?

SI NO

30. ¿Existen construcciones en laderas o zonas inestables cerca de su vivienda?

SI NO

31. ¿Cree que estos cambios o alteraciones del terreno se deben a la actividad humana?

SI NO

32. **¿Se han realizado zanjas o drenajes para manejar el agua?**

SI NO

33. **¿En la zona se realiza la tala de árboles?**

SI NO

34. **¿Se han realizado actividades de reforestación o siembra de árboles?**

SI NO

35. **¿Qué tipo de vegetación predomina actualmente en la zona?**

Bosque Pasto Cultivo Suelo desnudo Urbano

36. **¿Se realiza quema de rastrojos o maleza en el terreno?**

SI NO

Este cuestionario se aplicó para obtener información utilizada en los Objetivos 1 y 2 de la investigación. Los datos obtenidos permitieron determinar el nivel de vulnerabilidad física de cada vivienda, correspondiente al Objetivo 2. Posteriormente, estos valores fueron relacionados con los resultados de los mapas de amenaza por inundación, deslizamiento y caída de ceniza para obtener los respectivos mapas de riesgo, correspondientes al Objetivo 1

CUESTIONARIO DE ENCUESTA PARA VULNERABILIDAD FÍSICA LOS SECTORES DE MOCHAPATA Y YANAYACU – LA DOLOROSA

1. **Sistema Estructural**

Hormigón armado Estructura metálica Estructura de madera

Estructura de caña Estructura de pared portante Estructura mixta (Madera - Hormigón)

2. **Tipo de terreno**

Ladera fuerte Ladera media Ladera baja

3. **Tipo de Material en Pared**

Ladrillo Bloque Piedra Adobe Tapia - Bahareque - Madera

4. **Tipo de Cubierta**

Metálica Loza de hormigón armado Vigas de madera y zinc Vigas de madera y teja

5. **Sistema de Entrepisos**

Loza de hormigón armado Vigas y entramado de madera Entramado de madera – caña Entramado metálico Entramado hormigón - metálico

6. **Número de pisos**

1 2 3 4 5 o más

7. **Año de Construcción**

Antes de 1970 Entre 1971 y 1980 Entre 1981 y 1990 Entre 1991 y 2000 Entre 2001 y 2010 Entre 2011 y 2020 Entre 2021 y la actualidad No sabe

8. **Estado de Conservación**

Bueno Aceptable Regular Malo

9. **Características del Suelo Bajo la Edificación**

Firme – Seco Inundable Ciénaga Húmedo - Blando - Relleno

10. **Topografía del Sitio**

A nivel - Terreno Plano Bajo nivel calzada Sobre nivel calzada Escarpe positivo Escarpe negativo

11. **Forma de la Construcción**

Regular Irregular Irregularidad Severa

Anexos

12. **Foto referencial**

Foto 1 Foto 2 Foto 3

13. **Observaciones**

_____

_____

Anexo 3. Base de datos de vulnerabilidad social procesada en Excel

Esta base de datos contiene la información obtenida mediante las encuestas aplicadas a los hogares de los sectores Mochapata y Yanayacu – La Dolorosa, la cual fue procesada en Excel para determinar los valores correspondientes a la vulnerabilidad social. Los resultados obtenidos fueron utilizados en el Objetivo 2 para establecer el nivel de vulnerabilidad social de la población de los sectores de estudio. Asimismo, estos resultados fueron considerados junto con los niveles de amenaza y vulnerabilidad física para el análisis del riesgo y la definición de las medidas de reducción del riesgo propuestas en el Objetivo 3.

Tabla 14 Base de datos de vulnerabilidad social

N°	Parroquia	Sector	Apellido	Nombre	Nivel Educativo	Alfabetización	Personas con	Conocimiento de radio/TV/celular	Conocimiento de	Sabe actuar en	Recibió	Mingas	Existen brigadas	Agua potable	Alcantarillado	Electricidad	Internet/señal	Depende del	Actividades en	Prácticas anti-	Cortes/nivelacione	Observa grietas	Construcciones	Zanjas/drenajes	Tala	Reforestación	Vegetación natural	Quema de	ÍNDICE	NIVEL
1	Yanayacu	Mochapata	Cando	Leticia	Primaria	SI		Nunca	No	No	No	Ocasionalm	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	No	No	No	Si	No	No	Pasto	No	0,45	Medio
2	Yanayacu	Mochapata	Morales	Edison	Bachillerato	SI		Ocasionalm	No	No	No	Ocasionalm	No	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	No	No	Cultivo	No	0,29	Bajo

Bajo	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
0,31	0,45	0,26	0,31	0,24	0,23
No	No	No	Si	Si	No
Pasto	Cultivo	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto
No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No
No	Si	No	Si	Si	Si
No	No	Si	No	No	No
No	No	No	No	No	Si
No	No	No	No	No	No
No	No	Si	No	Si	Si
No	No	No	Si	Si	Si
Si	No	No	Si	Si	Si
Si	No	Si	Si	No	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
SI	No	SI	No	SI	SI
Ocasionalm	Ocasionalm	Frecuentem	Ocasionalm	Ocasionalm	Ocasionalm
SI	No	SI	No	SI	SI
No	No	SI	No	SI	SI
No	No	No	No	SI	SI
SI	No	SI	No	SI	No
Ocasionalm	Nunca	Diariament	Ocasionalm	Rara Vez	Rara Vez
	1			1	
SI	SI	SI	SI	SI	SI
Secundaria	Primaria	Primaria	Secundaria	Ninguno	Primaria
Aida	Segundo	Segundo	0	Antonina	Alfonso
Cando	Panata	Soria	0	Cando	Bajantes
Mochapata	Mochapata	Mochapata	Mochapata	Mochapata	Mochapata
Yanayacu	Yanayacu	Yanayacu	Yanayacu	Yanayacu	Yanayacu
3	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**

Medio	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Bajo
0,49	0,31	0,29	0,71	0,23	0,33
No	Si	No	No	No	No
Pasto	Pasto	Cultivo	Cultivo	Cultivo	Cultivo
No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No
No	Si	Si	Si	Si	Si
No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	Si	Si
No	No	No	No	No	No
No	No	No	Si	Si	No
No	Si	Si	Si	Si	No
No	Si	Si	Si	Si	No
No	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
No	No	No	No	No	No
Nunca	Ocasionalm	Ocasionalm	Ocasionalm	Ocasionalm	Ocasionalm
No	No	No	No	No	SI
No	SI	SI	No	No	SI
No	No	No	No	No	No
No	No	No	SI	SI	No
Rara Vez	Rara Vez	Ocasionalm	Ocasionalm	Ocasionalm	Frecuentem
SI	SI	SI	No	SI	SI
Primaria	Secundaria	Universidad	Ninguno	Bachillerato	Primaria
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
Mochapata	Mochapata	Mochapata	Mochapata	Mochapata	Mochapata
Yanayacu	Yanayacu	Yanayacu	Yanayacu	Yanayacu	Yanayacu
9	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**

Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
0,38	0,43	0,30	0,28	0,27	0,27
Si	No	No	No	No	No
Pasto	Pasto	Cultivo	Cultivo	Cultivo	Cultivo
No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No
Si	No	No	No	No	Si
No	No	No	No	No	Si
Si	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No
No	No	Si	No	No	No
No	No	Si	Si	Si	Si
No	No	Si	Si	Si	Si
No	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
No	No	SI	SI	SI	No
Rara Vez	Ocasionalm	Rara Vez	Ocasionalm	Ocasionalm	Ocasionalm
SI	No	No	No	SI	No
No	No	SI	No	SI	SI
No	No	SI	SI	No	No
No	No	No	SI	SI	No
Diariament	Ocasionalm	Nunca	Rara Vez	Rara Vez	Frecuentem
SI	SI	SI	SI	SI	SI
Primaria	Primaria	Primaria	Secundaria	Secundaria	Secundaria
0	Nelson	0	0	0	0
0	Silva	0	0	0	0
Mochapata	Mochapata	Mochapata	Mochapata	Mochapata	Mochapata
Yanayacu	Yanayacu	Yanayacu	Yanayacu	Yanayacu	Yanayacu
15	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**

Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Bajo	Medio
0,25	0,26	0,34	0,26	0,23	0,35
No	Si	No	No	No	No
Cultivo	Pasto	Cultivo	Cultivo	Cultivo	Pasto
No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No
Si	Si	No	No	Si	Si
No	No	No	No	No	No
Si	No	No	Si	No	No
No	No	No	No	No	No
Si	No	Si	No	No	No
Si	Si	Si	Si	Si	No
Si	Si	No	No	Si	No
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
No	No	SI	SI	SI	No
Frecuentem	Frecuentem	Ocasionalm	Ocasionalm	Rara Vez	Ocasionalm
SI	No	No	No	SI	No
No	No	No	SI	SI	No
No	SI	No	SI	SI	No
No	No	No	SI	SI	No
Ocasionalm	Diariament	Ocasionalm	Ocasionalm	Ocasionalm	Frecuentem
SI	SI	SI	SI	SI	SI
Secundaria	Secundaria	Primaria	Primaria	Secundaria	Bachillerato
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
Mochapata	Mochapata	Mochapata	Mochapata	Mochapata	Mochapata
Yanayacu	Yanayacu	Yanayacu	Yanayacu	Yanayacu	Yanayacu
21	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**

Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
0,25	0,20	0,24	0,31	0,21	0,32
No	No	Si	No	Si	No
Cultivo	Cultivo	Pasto	Pasto	Cultivo	Cultivo
No	Si	No	No	No	No
No	No	No	Si	No	No
Si	Si	Si	No	Si	Si
No	No	Si	No	Si	No
Si	No	Si	Si	No	No
No	No	No	No	Si	Si
Si	Si	No	No	Si	No
Si	Si	Si	Si	Si	No
Si	Si	Si	No	Si	No
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
No	No	No	No	SI	No
Frecuentem	Diariament	Frecuentem	Ocasionalm	Ocasionalm	Ocasionalm
No	SI	No	No	No	No
No	SI	No	No	SI	SI
No	SI	No	No	No	No
SI	SI	SI	SI	No	No
Rara Vez	Diariament	Ocasionalm	Nunca	Rara Vez	Frecuentem
	1	1			
SI	SI	SI	SI	SI	SI
Secundaria	Primaria	Primaria	Secundaria	Secundaria	Secundaria
0	Manuel	Edwin	Ines	0	0
0	Mesías	Carran	Santana	0	0
Mochapata	Yanayacu- -	Yanayacu- -	Yanayacu- -	Yanayacu- -	Yanayacu- -
Yanayacu	Yanayacu	Yanayacu	Yanayacu	Yanayacu	Yanayacu
27	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**

Bajo	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
0,31	0,33	0,36	0,28	0,20	0,22
No	No	No	No	Si	No
Cultivo	Pasto	Pasto	Cultivo	Pasto	Cultivo
No	Si	Si	No	No	No
No	No	No	No	No	No
Si	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	Si
No	Si	Si	No	No	No
Si	Si	Si	No	No	No
No	No	No	Si	Si	No
Si	No	No	No	Si	Si
No	No	No	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
No	No	No	No	SI	SI
Rara Vez	Frecuentem	Rara Vez	Frecuentem	Ocasionalm	Ocasionalm
No	No	No	No	SI	SI
SI	No	No	No	No	No
No	No	No	SI	SI	SI
No	SI	SI	No	SI	SI
Frecuentem	Rara Vez	Rara Vez	Diariament	Diariament	Diariament
	2				
SI	SI	SI	SI	SI	SI
Secundaria	Primaria	Primaria	Bachillerato	Secundaria	Secundaria
0	Marcelo	Walter	0	0	0
0	Carranza	0	0	0	0
Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu
33	**34**	**35**	**36**	**37**	**38**

Bajo	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
0,20	0,37	0,34	0,31	0,26	0,26
No	No	Si	No	No	No
Cultivo	Cultivo	Pasto	Cultivo	Cultivo	Cultivo
No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No
Si	Si	Si	No	Si	No
No	No	No	No	No	Si
Si	No	No	No	Si	No
Si	No	No	No	Si	No
No	Si	Si	No	No	No
No	Si	Si	Si	No	Si
Si	No	No	Si	No	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
SI	No	No	No	No	SI
Frecuentem	Rara Vez	Ocasionalm	Ocasionalm	Frecuentem	Ocasionalm
No	No	No	SI	No	No
SI	No	No	No	SI	SI
SI	No	No	SI	No	No
SI	No	No	No	SI	SI
Diariament	Ocasionalm	Ocasionalm	Rara Vez	Ocasionalm	Rara Vez
SI	SI	SI	SI	SI	SI
Primaria	Primaria	Ninguno	Bachillerato	Secundaria	Secundaria
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu
39	**40**	**41**	**42**	**43**	**44**

Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
0,25	0,29	0,22	0,32	0,31	0,28
No	Si	No	No	No	Si
Cultivo	Pasto	Cultivo	Cultivo	Cultivo	Pasto
Si	Si	Si	No	No	No
No	No	No	No	No	No
No	Si	Si	Si	No	Si
No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No
No	No	Si	No	No	Si
No	No	Si	Si	Si	No
Si	No	Si	Si	Si	Si
No	Si	Si	Si	Si	No
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
SI	No	No	No	No	No
Ocasionalm	Ocasionalm	Frecuentem	Diariament	Frecuentem	Frecuentem
SI	No	No	SI	No	No
No	No	SI	No	No	No
SI	No	No	No	No	No
SI	SI	No	No	No	SI
Frecuentem	Frecuentem	Frecuentem	Rara Vez	Ocasionalm	Diariament
SI	SI	SI	SI	SI	SI
Secundaria	Secundaria	Secundaria	Primaria	Secundaria	Primaria
0	0	0	0	0	Leonor
0	0	0	0	0	Valverde
Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu
45	**46**	**47**	**48**	**49**	**50**

Bajo	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
0,24	0,40	0,25	0,23	0,31	0,32
No	No	No	Si	Si	No
Cultivo	Pasto	Cultivo	Cultivo	Cultivo	Cultivo
No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No
No	No	Si	Si	Si	Si
Si	No	No	No	No	No
Si	No	Si	Si	No	No
No	No	Si	Si	No	No
No	No	Si	Si	No	No
Si	No	Si	Si	Si	No
No	No	Si	Si	Si	Si
Si	No	No	No	No	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
SI	No	No	No	No	SI
Ocasionalm	Frecuentem	Ocasionalm	Ocasionalm	Ocasionalm	Rara Vez
No	No	No	No	No	No
SI	No	No	No	No	No
SI	No	No	No	SI	SI
No	SI	No	No	No	No
Ocasionalm	Frecuentem	Diariament	Diariament	Diariament	Ocasionalm
SI	SI	SI	SI	SI	SI
Secundaria	Primaria	Bachillerato	Bachillerato	Secundaria	Secundaria
0	Sara	0	0	0	0
0	Sánchez	0	0	0	0
Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu
51	**52**	**53**	**54**	**55**	**56**

Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
0,37	0,36	0,33	0,29	0,20	0,30
No	No	No	Si	Si	Si
Pasto	Cultivo	Cultivo	Cultivo	Cultivo	Cultivo
No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No
No	No	Si	Si	Si	No
No	Si	No	No	No	Si
No	No	No	No	No	No
No	No	No	No	No	No
No	Si	No	No	Si	Si
No	No	Si	Si	Si	No
No	No	Si	No	Si	No
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si	Si
SI	No	No	SI	No	No
Rara Vez	Ocasionalm	Frecuentem	Ocasionalm	Ocasionalm	Ocasionalm
SI	No	No	SI	SI	SI
SI	No	No	No	SI	SI
No	No	No	SI	SI	No
No	SI	SI	No	SI	No
Rara Vez	Rara Vez	Rara Vez	Rara Vez	Ocasionalm	Ocasionalm
SI	SI	SI	SI	SI	SI
Secundaria	Primaria	Primaria	Secundaria	Secundaria	Secundaria
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu
57	**58**	**59**	**60**	**61**	**62**

Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
0,28	0,27	0,27	0,24	0,31
No	No	No	Si	Si
Pasto	Cultivo	Pasto	Pasto	Pasto
No	No	Si	Si	No
No	No	No	No	No
No	No	Si	Si	No
No	No	No	No	No
No	No	No	Si	No
No	No	No	No	No
Si	No	No	Si	No
Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si
Si	Si	Si	Si	Si
No	Sl	No	No	Sl
Rara Vez	Diariament	Frecuentem	Ocasionalm	Ocasionalm
No	No	No	No	No
Sl	Sl	No	No	No
Sl	No	Sl	No	No
Sl	No	No	No	No
Rara Vez	Frecuentem	Frecuentem	Diariament	Diariament
Sl	Sl	Sl	Sl	Sl
Secundaria	Secundaria	Secundaria	Secundaria	Primaria
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu	Yanayacu- - Yanayacu
63	**64**	**65**	**66**	**67**

Nota: La tabla presenta la matriz de datos procesados para el cálculo del índice de vulnerabilidad social en los sectores Mochapata y Yanayacu - La Dolorosa. El índice se expresa en una escala de 0 a 1, donde los valores más cercanos a 1 indican mayor vulnerabilidad. La categorización de los niveles se estableció según los rangos: Bajo (0,00 a 0,33), Medio (0,34 a 0,66) y Alto (0,67 a 1,00). La información fue recolectada mediante encuestas aplicadas a 67 jefes de hogar, procesadas en KoboToolbox y analizadas en Excel. El índice se calculó siguiendo la metodología SoVI (Cutter y otros, 2003), *adaptada al contexto local. Elaboración propia a partir de encuestas aplicadas en campo (2026).*

Anexo 4. Base de datos de vulnerabilidad física procesada en Excel

Esta base de datos contiene la información obtenida mediante las fichas de evaluación de viviendas, procesada en Excel para determinar el nivel de vulnerabilidad física de cada vivienda. Los resultados obtenidos corresponden al Objetivo 2 de la investigación y fueron utilizados posteriormente para el análisis del riesgo de cada amenaza estudiada.

Tabla 15 Base de datos de vulnerabilidad física

N°	Parroquia	Sector	Sistema Estructural	Tipo de Ladera	Material en paredes	Tipo de cubierta	Entrepisos	Número de pisos	Rango de año de construcción	Estado de conservación	Forma de la construcción	Características bajo el suelo
1	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Media	Pared de bloque	Cubierta metálica	Vigas y entramada de madera	1 piso	Entre 1071 y 1980	Aceptable	Irregular	Firme, Seco
2	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Baja	Pared de bloque	Cubierta metálica	Loza de Hormigón Armado	3 piso	Entre 2001 y2010	Aceptable	Regular	Firme, Seco
3	Yanayacu	Mochapata	Mixta Madera-Hormigón	Ladera Baja	Pared de bloque	Loza de hormigón armado	Loza de Hormigón Armado	2 piso	Entre 2011 y2020	Bueno	Regular	Inundable
4	Yanayacu	Mochapata	Mixta Madera-Hormigón	Ladera Baja	Pared de bloque	Caña, zinc, eternit	Entramado madera-caña	1 piso	Entre 1071 y 1980	Aceptable	Regular	Firme, Seco
5	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Baja	Pared de bloque	Loza de hormigón armado	Loza de Hormigón Armado	1 piso	Entre 1081 y1090	Bueno	Regular	Firme, Seco
6	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Vigas de madera y zinc	Loza de Hormigón Armado	2 piso	Entre 1091 y2000	Bueno	Regular	Firme, Seco

7	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Media	Pared de bloque	Loza de hormigón armado	Loza de Hormigón Armado	2 piso	Entre 2001 y2010	Bueno	Regular	Firme, Seco
8	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Media	Pared de bloque	Cubierta metálica	Loza de Hormigón Armado	1 piso	Entre 2001 y2010	Aceptable	Regular	Firme, Seco
9	Yanayacu	Mochapata	Estructura de madera	Ladera Media	Pared de bloque	Vigas de madera y Teja	Vigas y entramada de madera	1 piso	Entre 1071 y 1980	Malo	Regular	Inundable
10	Yanayacu	Mochapata	Estructura de madera	Ladera Baja	Pared de bloque	Vigas de madera y Teja	Entramado madera-caña	1 piso	Antes de 1970	Malo	Regular	Firme, Seco
11	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Baja	Pared de bloque	Loza de hormigón armado	Loza de Hormigón Armado	2 piso	Entre 2011 y2020	Bueno	Regular	Firme, Seco
12	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Baja	Pared de bloque	Vigas de madera y Teja	Loza de Hormigón Armado	1 piso	Entre 2011 y2020	Bueno	Regular	Firme, Seco
13	Yanayacu	Mochapata	Estructura de madera	Ladera Baja	Pared de bloque	Cubierta metálica	Entramado madera-caña	1 piso	Entre 2011 y2020	Aceptable	Regular	Firme, Seco
14	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Baja	Pared de bloque	Cubierta metálica	Loza de Hormigón Armado	2 piso	Entre 2011 y2020	Bueno	Regular	Firme, Seco
15	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Baja	Pared de bloque	Cubierta metálica	Estructura de caña	1 piso	Entre 2001 y2010	Bueno	Regular	Firme, Seco
16	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Baja	Pared de bloque	Vigas de madera y zinc	Vigas y entramada de madera	1 piso	Entre 2001 y2010	Bueno	Regular	Firme, Seco

17	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Baja	Pared de bloque	Loza de hormigón armado	Vigas y entramada de madera	1 piso	Entre 1091 y2000	Bueno	Regular	Firme, Seco
18	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Media	Pared de bloque	Cubierta metálica	Loza de Hormigón Armado	1 piso	Entre 1091 y2000	Bueno	Irregular	Firme, Seco
19	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Media	Pared de bloque	Cubierta metálica	Loza de Hormigón Armado	1 piso	Entre 2001 y2010	Bueno	Irregular	Firme, Seco
20	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Cubierta metálica	Estructura de caña	1 piso	Entre 2001 y2010	Bueno	Regular	Firme, Seco
21	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Media	Pared de bloque	Loza de hormigón armado	Loza de Hormigón Armado	1 piso	Entre 2001 y2010	Bueno	Regular	Firme, Seco
22	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Media	Pared de bloque	Loza de hormigón armado	Loza de Hormigón Armado	2 piso	Entre 2001 y2010	Bueno	Regular	Inundable
23	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Media	Pared de bloque	Caña, zinc, eternit	Vigas y entramada de madera	1 piso	Entre 1091 y2000	Bueno	Regular	Firme, Seco
24	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Baja	Pared de bloque	Loza de hormigón armado	Loza de Hormigón Armado	2 piso	Entre 2011 y2020	Bueno	Regular	Firme, Seco
25	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Media	Pared de bloque	Loza de hormigón armado	Loza de Hormigón Armado	1 piso	Entre 1091 y2000	Bueno	Regular	Húmedo-blando-relleno
26	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Baja	Pared de bloque	Loza de hormigón armado	Loza de Hormigón Armado	2 piso	Entre 2001 y2010	Bueno	Regular	Firme, Seco

27	Yanayacu	Mochapata	Hormigón Armado	Ladera Baja	Pared de bloque	Loza de hormigón armado	Loza de Hormigón Armado	2 piso	Entre 2011 y2020	Bueno	Regular	Firme, Seco
28	Yanayacu	Yanayacu-- La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Cubierta metálica	Loza de Hormigón Armado	1 piso	Entre 2011 y2020	Bueno	Regular	Inundable
29	Yanayacu	Yanayacu-- La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Media	Pared de bloque	Cubierta metálica	Loza de Hormigón Armado	2 piso	Entre 1071 y 1980	Bueno	Regular	Húmedo-blando-relleno
30	Yanayacu	Yanayacu-- La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Caña, zinc, eternit	Loza de Hormigón Armado	1 piso	Entre 2001 y2010	Bueno	Irregular	Húmedo-blando-relleno
31	Yanayacu	Yanayacu-- La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Cubierta metálica	Loza de Hormigón Armado	1 piso	Desde el 2021 en adelante	Regular	Regular	Inundable
32	Yanayacu	Yanayacu-- La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Cubierta metálica	Loza de Hormigón Armado	1 piso	Desde el 2021 en adelante	Malo	Irregularidad severa	Húmedo-blando-relleno
33	Yanayacu	Yanayacu-- La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Media	Pared de bloque	Cubierta metálica	Loza de Hormigón Armado	1 piso	Desde el 2021 en adelante	Regular	Regular	Inundable
34	Yanayacu	Yanayacu-- La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Loza de hormigón armado	Loza de Hormigón Armado	2 piso	Desde el 2021 en adelante	Bueno	Regular	Inundable
35	Yanayacu	Yanayacu-- La Dolorosa	Mixta Madera-Hormigón	Ladera Media	Pared de bloque	Vigas de madera y zinc	Vigas y entramada de madera	1 piso	Entre 1081 y1090	Regular	Irregular	Húmedo-blando-relleno
36	Yanayacu	Yanayacu-- La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Media	Pared de bloque	Cubierta metálica	Loza de Hormigón Armado	1 piso	Desde el 2021 en adelante	Regular	Regular	Inundable

37	Yanayacu	Yanayacu-- La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Media	Pared de bloque	Cubierta metálica	entramada Hormigón-metálica	2 piso	Desde el 2021 en adelante	Regular	Regular	Inundable
38	Yanayacu	Yanayacu-- La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de ladrillo	Caña, zinc, eternit	Loza de Hormigón Armado	1 piso	Entre 1081 y1090	Aceptable	Regular	Firme, Seco
39	Yanayacu	Yanayacu-- La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Loza de hormigón armado	Loza de Hormigón Armado	2 piso	Entre 2001 y2010	Bueno	Regular	Firme, Seco
40	Yanayacu	Yanayacu-- La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Loza de hormigón armado	Vigas y entramada de madera	2 piso	Entre 2001 y2010	Bueno	Regular	Firme, Seco
41	Yanayacu	Yanayacu-- La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Vigas de madera y zinc	Loza de Hormigón Armado	2 piso	Entre 2001 y2010	Aceptable	Irregular	Ciénega
42	Yanayacu	Yanayacu-- La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Vigas de madera y zinc	Vigas y entramada de madera	1 piso	Entre 2001 y2010	Aceptable	Irregular	Firme, Seco
43	Yanayacu	Yanayacu-- La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Vigas de madera y zinc	Estructura de caña	1 piso	Entre 2001 y2010	Aceptable	Regular	Firme, Seco
44	Yanayacu	Yanayacu-- La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Vigas de madera y zinc	Vigas y entramada de madera	1 piso	Entre 1091 y2000	Bueno	Irregular	Inundable
45	Yanayacu	Yanayacu-- La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Vigas de madera y zinc	Vigas y entramada de madera	1 piso	Entre 1091 y2000	Aceptable	Irregular	Inundable
46	Yanayacu	Yanayacu-- La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Vigas de madera y zinc	Estructura de caña	1 piso	Entre 2001 y2010	Bueno	Irregular	Inundable

47	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Vigas de madera y zinc	Vigas y entramada de madera	1 piso	Entre 2001 y2010	Aceptable	Regular	Húmedo-blando-relleno
48	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Vigas de madera y zinc	Vigas y entramada de madera	1 piso	Entre 2001 y2010	Bueno	Regular	Inundable
49	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Vigas de madera y zinc	Vigas y entramada de madera	1 piso	Entre 2001 y2010	Bueno	Regular	Húmedo-blando-relleno
50	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Caña, zinc, eternit	Vigas y entramada de madera	1 piso	Entre 1091 y2000	Bueno	Regular	Inundable
51	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Caña, zinc, eternit	Vigas y entramada de madera	1 piso	Entre 1091 y2000	Malo	Irregular	Inundable
52	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Media	Pared de bloque	Vigas de madera y zinc	Loza de Hormigón Armado	1 piso	Entre 2001 y2010	Bueno	Regular	Firme, Seco
53	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Loza de hormigón armado	Loza de Hormigón Armado	2 piso	Entre 1091 y2000	Regular	Regular	Húmedo-blando-relleno
54	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Media	Pared de bloque	Vigas de madera y Teja	Loza de Hormigón Armado	1 piso	Entre 1091 y2000	Bueno	Regular	Húmedo-blando-relleno
55	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Media	Pared de bloque	Cubierta metálica	Estructura de caña	1 piso	Entre 2001 y2010	Bueno	Irregular	Inundable
56	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Media	Pared de bloque	Cubierta metálica	Estructura de caña	1 piso	Entre 2011 y2020	Bueno	Regular	Firme, Seco

57	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	Estructura Metálica	Ladera Baja	Pared de ladrillo	Vigas de madera y Teja	Vigas y entramada de madera	1 piso	Entre 2011 y2020	Bueno	Regular	Inundable
58	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	Hormigón Armado		Pared de bloque	Vigas de madera y Teja	Vigas y entramada de madera	1 piso	Entre 1071 y 1980	Bueno	Regular	Firme, Seco
59	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Media	Pared de bloque	Cubierta metálica	Loza de Hormigón Armado	2 piso	Entre 1091 y2000	Bueno	Regular	Húmedo-blando-relleno
60	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	Mixta Madera-Hormigón	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Vigas de madera y zinc	Entramado madera-caña	1 piso	Entre 2001 y2010	Malo	Irregularidad severa	Húmedo-blando-relleno
61	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Loza de hormigón armado	Loza de Hormigón Armado	2 piso	Entre 2011 y2020	Bueno	Regular	Firme, Seco
62	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Media	Pared de bloque	Vigas de madera y Teja	Estructura de caña	1 piso	Entre 1081 y1090	Regular	Regular	Firme, Seco
63	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Loza de hormigón armado	Loza de Hormigón Armado	1 piso	Entre 1091 y2000	Aceptable	Regular	Húmedo-blando-relleno
64	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Vigas de madera y zinc	Loza de Hormigón Armado	1 piso	Entre 2001 y2010	Bueno	Regular	Húmedo-blando-relleno
65	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Fuerte	Pared de bloque	Vigas de madera y Teja	Vigas y entramada de madera	1 piso	Entre 1091 y2000	Bueno	Irregular	Húmedo-blando-relleno
66	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Media	Pared de bloque	Vigas de madera y Teja	Loza de Hormigón Armado	1 piso	Entre 1091 y2000	Bueno	Irregular	Húmedo-blando-relleno

67	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	Hormigón Armado	Ladera Media	Pared de bloque	Vigas de madera y zinc	Loza de Hormigón Armado	2 piso	Entre 2001 y2010	Bueno	Irregular	Húmedo-blando-relleno

Nota: La tabla presenta las características estructurales de las 67 viviendas evaluadas en los sectores Mochapata y Yanayacu - La Dolorosa, organizadas por variables de vulnerabilidad física: sistema estructural, tipo de ladera, material en paredes, tipo de cubierta, entrepisos, número de pisos, rango de año de construcción, estado de conservación, forma de la construcción y características del suelo bajo la edificación. La información fue recolectada mediante fichas técnicas de evaluación de vivienda aplicadas durante el trabajo de campo, procesadas en KoboToolbox y sistematizadas en Excel. Los datos constituyen la base para el cálculo de los índices de vulnerabilidad física por tipo de amenaza (inundación, deslizamiento y caída de ceniza), siguiendo la metodología del (PNUD, 2016). Elaboración propia a partir de fichas técnicas aplicadas en campo (2026).

Anexo 5. Índices de vulnerabilidad física por tipo de amenaza y nivel de vulnerabilidad en los sectores Mochapata y Yanayacu - La Dolorosa procesada en Excel

En este anexo se presentan los índices de vulnerabilidad física obtenidos para las viviendas de los sectores Mochapata y Yanayacu, diferenciados según el tipo de amenaza analizada: inundación, deslizamiento y caída de ceniza, corresponden a los resultados del Objetivo 2. Estos índices fueron utilizados posteriormente para relacionarlos con los niveles de amenaza correspondientes y obtener los respectivos mapas de riesgo.

Tabla 16 Índices de vulnerabilidad física por tipo de amenaza y nivel de vulnerabilidad en los sectores Mochapata y Yanayacu - La Dolorosa

N°	Parroquia	Sector	IVI	NVI	IVD	NVD	IVV	NVV
1	Yanayacu	Mochapata	0,16	Bajo	0,18	Bajo	0,07	Bajo
2	Yanayacu	Mochapata	0,05	Bajo	0,06	Bajo	0,05	Bajo
3	Yanayacu	Mochapata	0,27	Bajo	0,14	Bajo	0,05	Bajo
4	Yanayacu	Mochapata	0,30	Bajo	0,24	Bajo	0,23	Bajo
5	Yanayacu	Mochapata	0,15	Bajo	0,16	Bajo	0,00	Bajo
6	Yanayacu	Mochapata	0,07	Bajo	0,08	Bajo	0,02	Bajo
7	Yanayacu	Mochapata	0,07	Bajo	0,08	Bajo	0,00	Bajo
8	Yanayacu	Mochapata	0,15	Bajo	0,16	Bajo	0,02	Bajo
9	Yanayacu	Mochapata	0,67	Alto	0,39	Medio	0,16	Bajo

10	Yanayacu	Mochapata	0,54	Medio	0,38	Medio	0,27	Bajo
11	Yanayacu	Mochapata	0,05	Bajo	0,08	Bajo	0,00	Bajo
12	Yanayacu	Mochapata	0,13	Bajo	0,16	Bajo	0,00	Bajo
13	Yanayacu	Mochapata	0,33	Bajo	0,22	Bajo	0,09	Bajo
14	Yanayacu	Mochapata	0,05	Bajo	0,08	Bajo	0,02	Bajo
15	Yanayacu	Mochapata	0,15	Bajo	0,16	Bajo	0,09	Bajo
16	Yanayacu	Mochapata	0,14	Bajo	0,16	Bajo	0,04	Bajo
17	Yanayacu	Mochapata	0,15	Bajo	0,16	Bajo	0,02	Bajo
18	Yanayacu	Mochapata	0,20	Bajo	0,23	Bajo	0,05	Bajo
19	Yanayacu	Mochapata	0,13	Bajo	0,16	Bajo	0,03	Bajo
20	Yanayacu	Mochapata	0,13	Bajo	0,23	Bajo	0,16	Bajo
21	Yanayacu	Mochapata	0,12	Bajo	0,16	Bajo	0,00	Bajo
22	Yanayacu	Mochapata	0,20	Bajo	0,15	Bajo	0,07	Bajo
23	Yanayacu	Mochapata	0,28	Bajo	0,23	Bajo	0,12	Bajo
24	Yanayacu	Mochapata	0,05	Bajo	0,08	Bajo	0,00	Bajo
25	Yanayacu	Mochapata	0,17	Bajo	0,28	Bajo	0,15	Bajo
26	Yanayacu	Mochapata	0,12	Bajo	0,15	Bajo	0,02	Bajo
27	Yanayacu	Mochapata	0,07	Bajo	0,08	Bajo	0,00	Bajo
28	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,28	Bajo	0,16	Bajo	0,02	Bajo
29	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,19	Bajo	0,29	Bajo	0,21	Bajo
30	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,24	Bajo	0,28	Bajo	0,24	Bajo
31	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,37	Medio	0,25	Bajo	0,07	Bajo
32	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,27	Bajo	0,36	Medio	0,30	Bajo
33	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,30	Bajo	0,18	Bajo	0,05	Bajo

34	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,27	Bajo	0,15	Bajo	0,02	Bajo
35	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,33	Bajo	0,43	Medio	0,29	Bajo
36	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,37	Medio	0,25	Bajo	0,07	Bajo
37	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,30	Bajo	0,17	Bajo	0,07	Bajo
38	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,20	Bajo	0,16	Bajo	0,08	Bajo
39	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,05	Bajo	0,15	Bajo	0,07	Bajo
40	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,05	Bajo	0,15	Bajo	0,09	Bajo
41	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,20	Bajo	0,17	Bajo	0,14	Bajo
42	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,15	Bajo	0,16	Bajo	0,05	Bajo
43	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,15	Bajo	0,23	Bajo	0,16	Bajo
44	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,30	Bajo	0,23	Bajo	0,12	Bajo
45	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,37	Medio	0,23	Bajo	0,07	Bajo
46	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,34	Medio	0,23	Bajo	0,12	Bajo
47	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,19	Bajo	0,28	Bajo	0,19	Bajo
48	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,30	Bajo	0,16	Bajo	0,04	Bajo

49	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,18	Bajo	0,28	Bajo	0,19	Bajo
50	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,36	Medio	0,16	Bajo	0,10	Bajo
51	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,45	Medio	0,24	Bajo	0,21	Bajo
52	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,16	Bajo	0,16	Bajo	0,02	Bajo
53	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,12	Bajo	0,29	Bajo	0,25	Bajo
54	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,17	Bajo	0,28	Bajo	0,15	Bajo
55	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,28	Bajo	0,23	Bajo	0,17	Bajo
56	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,19	Bajo	0,23	Bajo	0,11	Bajo
57	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,27	Bajo	0,17	Bajo	0,02	Bajo
58	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,15	Bajo	0,25	Bajo	0,11	Bajo
59	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,09	Bajo	0,20	Bajo	0,17	Bajo
60	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,40	Medio	0,49	Medio	0,44	Medio
61	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,05	Bajo	0,15	Bajo	0,07	Bajo
62	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,15	Bajo	0,25	Bajo	0,17	Bajo
63	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,24	Bajo	0,35	Medio	0,17	Bajo

64	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,19	Bajo	0,35	Medio	0,24	Bajo
65	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,17	Bajo	0,28	Bajo	0,18	Bajo
66	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,16	Bajo	0,28	Bajo	0,16	Bajo
67	Yanayacu	Yanayacu- - La Dolorosa	0,11	Bajo	0,20	Bajo	0,18	Bajo

Nota: La tabla presenta los índices de vulnerabilidad física calculados para cada vivienda evaluada en los sectores Mochapata y Yanayacu - La Dolorosa, desagregados por tipo de amenaza: inundación (IVI), deslizamiento (IVD) y caída de ceniza (IVV). Los índices se expresan en una escala de 0 a 1, donde los valores más cercanos a 1 indican mayor vulnerabilidad. La categorización de los niveles de vulnerabilidad se estableció según los siguientes rangos: Bajo (0,00 a 0,33), Medio (0,34 a 0,66) y Alto (0,67 a 1,00). La información fue recolectada mediante fichas técnicas de evaluación de vivienda aplicadas durante el trabajo de campo, procesadas en KoboToolbox y analizadas en Excel. La metodología de cálculo siguió los lineamientos del (PNUD, 2016) para la evaluación de vulnerabilidad física. Elaboración propia a partir de fichas técnicas aplicadas en campo (2026).

Anexo 6. Registro fotográfico del trabajo de campo

Fotografía del 1, 2 y 3: Reunión con el coordinador de la Unidad de Gestión de Riesgos (UGR) del cantón Santiago de Quero para la organización de la información existente y la planificación del cronograma de salidas de campo a los sectores Mochapata y Yanayacu - La Dolorosa.



Fecha:20/03/2026
Fuente: Elaboración Propia



Fecha:20/03/2026
Fuente: Elaboración Propia



Fecha:20/03/2026
Fuente: Elaboración Propia

Fotografía de 4, 5, 6, 7 y 8: Trabajo de campo en el sector Mochapata. Se evidencia la aplicación de encuestas y fichas técnicas de evaluación de vivienda a los moradores del sector, así como el registro de las condiciones estructurales de las edificaciones y la verificación de zonas de amenaza.



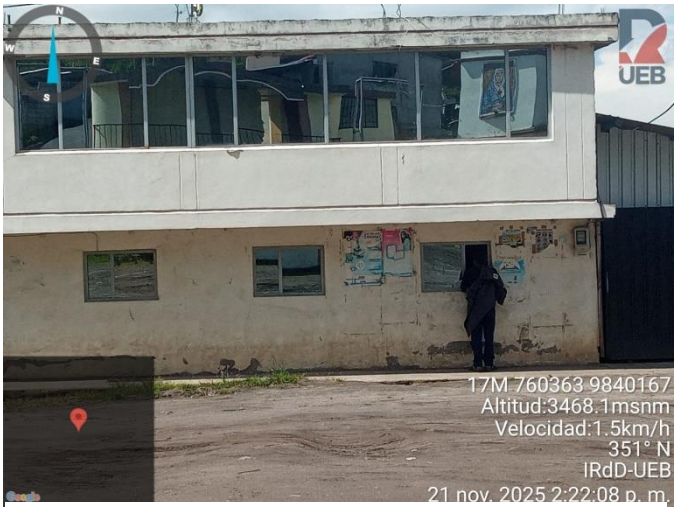
Fecha:14/05/2026
Fuente: Elaboración Propia



Fecha:14/05/2026
Fuente: Elaboración Propia



Fecha:14/05/2026
Fuente: Elaboración Propia



Fecha:14/05/2026
Fuente: Elaboración Propia

Fotografía del 9 a 10: Trabajo de campo en el sector Yanayacu - La Dolorosa. Se documenta la aplicación de instrumentos de recopilación de información a los habitantes del sector y el registro de las características del territorio y las viviendas expuestas.



Fecha:15/05/2026
Fuente: Elaboración Propia



Fecha:15/05/2026
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 7. Presupuesto

El presente presupuesto considera la ejecución del proyecto de investigación desde octubre 2025 hasta abril 2026, con un total de 8 salidas de campo. Se han priorizado los costos estrictamente necesarios, optimizando recursos mediante el uso de software libre y aprovechando los recursos institucionales disponibles, aunque de igual manera se los colocaron con un valor de 0$, también dando a conocer que es solo una proyección de lo que se va a gastar.

SALIDAS DE CAMPO				
Concepto	**Cantidad**	**Unitario (USD)**	**Subtotal (USD)**	**Justificación**
Salida 1 (25/10/2025 - 1 día)	2 personas	$12,50 c/u	$25,00	Pasajes + alimentación básica
Salida 2 (20-21/11/2025 - 2 días)	2 personas × 2 días	$17,50 c/u/día	$70,00	Incluye hospedaje 1 noche
Salida 3 (18/12/2025 - 1 día)	2 personas	$12,50 c/u	$25,00	Entrega borrador
Salida 4 (15-16/01/2026 - 2 días)	2 personas × 2 días	$17,50 c/u/día	$70,00	Validación datos
Salida 5 (12-13/02/2026 - 2 días)	2 personas × 2 días	$17,50 c/u/día	$70,00	Socialización avances
Salida 6 (05/03/2026 - 1 día)	2 personas	$12,50 c/u	$25,00	Presentación preliminar
Salida 7 (19/03/2026 - 1 día)	2 personas	$12,50 c/u	$25,00	Toma datos finales
Salida 8 (02/04/2026 - 1 día)	2 personas	$12,50 c/u	$25,00	Socialización final
Materiales de campo	1 lote	$ -	$ -	Encuestas, mapas, materiales
Subtotal Trabajo de Campo			**335,00**	

SOFTWARE Y LICENCIAS				
Concepto	**Cantidad**	**Unitario (USD)**	**Subtotal (USD)**	**Justificación**
QGIS (Sistema de Información Geográfica)	-	$0.00	$0.00	Software libre de código abierto

KoboToolbox (plataforma encuestas)	-	$0.00	$0.00	Versión gratuita para investigación
Google Earth Pro	-	$0.00	$0.00	Software gratuito para análisis espacial
LibreOffice (suite ofimática)	-	$0.00	$0.00	Software libre alternativo a Office
Subtotal Software			**$0.00**	

EQUIPOS Y MATERIALES				
Concepto	**Cantidad**	**Unitario (USD)**	**Subtotal (USD)**	**Justificación**
Materiales de oficina (préstamo institucional)	-	$0.00	$0.00	Aportados por la universidad
Equipos de medición (préstamo)	-	$0.00	$0.00	GPS, cintas métricas, otros
Dispositivo de almacenamiento USB	1 unidad	$8.00	$8.00	Backup de datos de investigación
Subtotal Equipos y Materiales			**$8.00**	

IMPREVISTOS				
Concepto	**Cantidad**	**Unitario (USD)**	**Subtotal (USD)**	**Justificación**
Contingencias varias	15% del subtotal A+B+C	-	$53.70	Para gastos no previstos, cambios de última hora o incrementos en costos
Subtotal Imprevistos			**$53.70**	

FINANCIAMIENTO			
FUENTE DE FINANCIAMIENTO	**MONTO (USD)**	**PORCENTAJE**	**CONDICIONES**
Recursos Propios (autofinanciamiento)	$411,70	100%	Aportados directamente por los investigadores
Becas Universitarias (aporte institucional)	$0	0%	Apoyo en calidad de materiales y logística

Aporte GAD Santiago de Quero	$0.00	0.0%	Sin confirmación de apoyo institucional
TOTAL, FINANCIADO	**$411,70**	**100%**	

DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DEL PRESUPUESTO				
PERÍODO	**ACTIVIDAD PRINCIPAL**	**RUBRO**	**MONTO (USD)**	**FUENTE**
oct-25	Salida 1: Planificación y delimitación	Trabajo de Campo	$25.00	Recursos propios
nov-25	Salida 2: Implementación de encuestas	Trabajo de Campo	$70.00	Recursos propios
dic-25	Salida 3: Entrega borrador	Trabajo de Campo	$25.00	Recursos propios
ene-26	Salida 4: Validación de datos	Trabajo de Campo	$70.00	Recursos propios
feb-26	Salida 5: Socialización de avances	Trabajo de Campo	$70.00	Recursos propios
mar-26	Salida 6: Presentación preliminar	Trabajo de Campo	$25.00	Recursos propios
mar-26	Salida 7: Toma de datos finales	Trabajo de Campo	$25.00	Recursos propios
abr-26	Salida 8: Socialización final	Trabajo de Campo	$40.00	Recursos propios
abr-26	Materiales de campo	Equipos y Materiales	$8.00	Becas universitarias
Distribuido	Contingencias varias	Imprevistos	$53.70	Recursos propios
TOTAL			**$411.70**	