

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS**

**EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CASERÍO**  
**CARAHUANGA I – LOS BAÑOS DEL INCA**

**Para Optar El Título Profesional de:**  
**INGENIERO GEÓLOGO**

**Autor:**  
**Bach. LLANOS HUAMÁN ELVIS**

**Asesor:**  
**M. Cs. Ing. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO**

**CAJAMARCA – PERÚ**  
**2025**

## **CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD**

### **- FACULTAD DE INGENIERÍA -**

**1. Investigador:** ELVIS LLANOS HUAMÁN

**DNI:** 75657288

**Escuela Profesional:** ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

**2. Asesor:** M. Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino

**Facultad:** Ingeniería

**3. Grado académico o título profesional**

☐ Bachiller

☒ Título profesional

☐ Segunda especialidad

☐ Maestro

☐ Doctor

**4. Tipo de Investigación:**

☒ Tesis

☐ Trabajo de investigación

☐ Trabajo de suficiencia profesional

☐ Trabajo académico

**5. Título de Trabajo de Investigación:**

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CASERÍO CARAHUANGA I - LOS BAÑOS DEL INCA

**Fecha de evaluación:** 16/08/2025

**6. Software antiplagio:**

☒ TURNITIN

☐ URKUND (OURIGINAL) (\*)

**7. Porcentaje de Informe de Similitud:** 6%

**8. Código Documento:** Oide:3117: 483985573

**9. Resultado de la Evaluación de Similitud:**

☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 16/08/2025



**FIRMA DEL ASESOR**  
**Roberto Severino Gonzales Yana**



Firmado digitalmente por:  
BAZAN DIAZ Laura Sofia  
FAU 20148258601 soft  
Motivo: En señal de  
conformidad  
Fecha: 16/08/2025 17:53:21-0500

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI**



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



## ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : *EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CASERÍO CARAHUANGA I - LOS BAÑOS DEL INCA*

ASESOR : *M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0508-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 21 de agosto de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **diez días del mes de setiembre de 2025**, siendo las diez horas (10:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

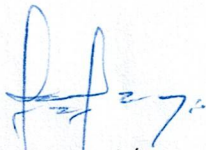
Presidente : Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.  
Vocal : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.  
Secretario : M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CASERÍO CARAHUANGA I - LOS BAÑOS DEL INCA*, presentado por el Bachiller en Ingeniería Geológica **ELVIS LLANOS HUAMÁN**, asesorado por el M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana, para la obtención del Título Profesional

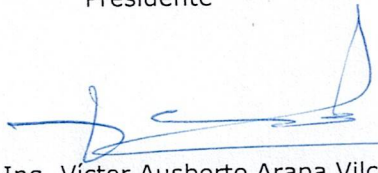
Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : ..... <sup>04</sup> ..... PTS.  
EVALUACIÓN PÚBLICA : ..... <sup>11</sup> ..... PTS.  
EVALUACIÓN FINAL : ..... <sup>15</sup> ..... PTS ..... <sup>Quince</sup> ..... (En letras)

En consecuencia, se lo declara <sup>APROBADO</sup> ..... con el calificativo de <sup>Quince</sup> ..... acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las <sup>11.00 am</sup> ..... horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

  
Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.  
Presidente

  
Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.  
Vocal

  
M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.  
Secretario

  
M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.  
Asesor

## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia, quienes me brindaron su incondicional respaldo y comprensión en todo momento, de igual manera a mi asesor M. Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana, por sus valiosas sugerencias y consejos han sido fundamental para llevar a cabo esta investigación. A mis docentes y compañeros de estudio, por sus comentarios y críticas constructivas que enriquecieron el contenido de este trabajo, a mi alma mater, Universidad Nacional de Cajamarca, especialmente a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica.

E.L.L.H.



## **DEDICATORIA**

Dedico esta investigación a mis padres, en especial a María Delicia mi madre, por el sacrificio y apoyo constante para lograr mis objetivos. A mi esposa Lesli, la mujer que me acompaña desde el colegio, por sus palabras de aliento y estar siempre presente en los momentos de dificultad y alegría. A los mentores que han iluminado mi camino académico, demostrando que el conocimiento es la clave para un mejor futuro.

E.L.L.H.

## **CONTENIDO**

|                              | <b>Pág.</b> |
|------------------------------|-------------|
| <b>AGRADECIMIENTO</b>        | <b>ii</b>   |
| <b>DEDICATORIA</b>           | <b>iii</b>  |
| <b>CONTENIDO</b>             | <b>iv</b>   |
| <b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> | <b>xv</b>   |
| <b>RESUMEN</b>               | <b>xvi</b>  |
| <b>ABSTRACT</b>              | <b>xvii</b> |

### **CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN**

### **CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO**

|                |                                                    |           |
|----------------|----------------------------------------------------|-----------|
| <b>2.1.</b>    | <b>ANTECEDENTES DE LAS INVESTIGACIÓN</b>           | <b>3</b>  |
| <b>2.1.1.</b>  | <b>Antecedentes Internaciones</b>                  | <b>3</b>  |
| <b>2.1.2.</b>  | <b>Antecedentes Nacionales</b>                     | <b>4</b>  |
| <b>2.1.3.</b>  | <b>Antecedentes Locales</b>                        | <b>4</b>  |
| <b>2.2.</b>    | <b>BASES TEÓRICAS</b>                              | <b>5</b>  |
| <b>2.2.1.</b>  | <b>Peligros</b>                                    | <b>5</b>  |
| <b>2.2.2.</b>  | <b>Peligros Geológicos</b>                         | <b>6</b>  |
| <b>2.2.3.</b>  | <b>Niveles de Peligro</b>                          | <b>6</b>  |
| <b>2.2.4.</b>  | <b>Movimiento en Masa (MM)</b>                     | <b>8</b>  |
| <b>2.2.5.</b>  | <b>Clasificación de los Movimientos en Masa</b>    | <b>8</b>  |
| <b>2.2.6.</b>  | <b>Geomorfometría</b>                              | <b>14</b> |
| <b>2.2.7.</b>  | <b>Riesgo</b>                                      | <b>18</b> |
| <b>2.2.8.</b>  | <b>Sismos</b>                                      | <b>18</b> |
| <b>2.2.9.</b>  | <b>Método Heurístico o Empírico</b>                | <b>19</b> |
| <b>2.2.10.</b> | <b>Método de Saaty</b>                             | <b>19</b> |
| <b>2.2.11.</b> | <b>Parámetros estadísticos</b>                     | <b>20</b> |
| <b>2.2.12.</b> | <b>Método probabilístico</b>                       | <b>20</b> |
| <b>2.2.13.</b> | <b>Análisis Estadístico Univariado o Divariado</b> | <b>21</b> |

iv

|                                                     | Pág. |
|-----------------------------------------------------|------|
| 2.2.14. Matriz de Jerarquías Múltiples (MJM)        | 21   |
| 2.2.15. Cálculo de los pesos ponderados             | 21   |
| 2.2.16. Cálculo de la Relación de Consistencia (RC) | 22   |
| 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS                         | 24   |

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| 3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE EVALUACIÓN               | 26 |
| 3.1.1. Ubicación Geográfica                         | 26 |
| 3.1.2. Ubicación Política                           | 26 |
| 3.1.3. Accesibilidad                                | 28 |
| 3.1.4. Clima                                        | 30 |
| 3.1.5. Vegetación                                   | 30 |
| 3.2. PROCEDIMIENTO                                  | 31 |
| 3.2.1. Tipo, Diseño y Método de Investigación       | 31 |
| 3.2.2. Población de Estudio                         | 32 |
| 3.2.3. Muestra                                      | 32 |
| 3.2.4. Unidad de Análisis                           | 32 |
| 3.3. DEFINICIÓN DE VARIABLES                        | 32 |
| 3.4. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS               | 32 |
| 3.4.1. Fase pre – campo                             | 33 |
| 3.4.2. Fase campo                                   | 33 |
| 3.4.3. Fase post – campo                            | 33 |
| 3.5. EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS | 33 |
| 3.6. GEOLOGÍA LOCAL                                 | 35 |
| 3.6.1. Grupo Pulluicana (Ks-pu)                     | 35 |
| 3.6.2. Grupo Quilquiñan – Mujarrum                  | 36 |
| 3.6.3. Volcanico Huambos (Nm-sj/1)                  | 36 |
| 3.6.4. Depósitos Cuaternarios                       | 37 |
| 3.7. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL                           | 39 |
| 3.7.1. Diaclasas                                    | 39 |

|                                       | Pág. |
|---------------------------------------|------|
| 3.7.2. Pliegue                        | 40   |
| 3.8. GEOMORFOMETRÍA                   | 41   |
| 3.8.1. Unidades Geomorfométricas (UG) | 41   |
| 3.9. GEOMORFOLOGÍA                    | 44   |
| 3.9.1. Ambiente Antrópico             | 44   |
| 3.9.2. Ambiente Denudacional          | 45   |
| 3.9.3. Ambiente Estructural           | 45   |
| 3.9.4. Ambiente Fluvial               | 46   |
| 3.9.5. Ambiente Volcánico             | 46   |
| 3.10. HIDROLOGÍA                      | 47   |
| 3.10.1. Nivel Freático                | 47   |
| 3.10.2. Precipitación                 | 48   |
| 3.10.3. Escorrentía                   | 57   |
| 3.10.4. Infiltración                  | 57   |
| 3.10.5. Balance Hidrológico           | 58   |

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| 4.1. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN                      | 60 |
| 4.2. IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO                         | 61 |
| 4.3. DESCRIPCIÓN DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA             | 61 |
| 4.4. IDENTIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA | 62 |
| 4.4.1. Descripción de los movimientos en masa           | 63 |
| 4.5. ANÁLISIS DE INESTABILIDAD                          | 82 |
| 4.6. APLICACIÓN DEL MÉTODO SAATY                        | 82 |
| 4.6.1. Unidades Geomorfométricas                        | 82 |
| 4.6.2. Unidades Geomorfológicas                         | 83 |
| 4.6.3. Unidades Geológicas                              | 85 |
| 4.6.4. Unidades de Hidrología                           | 87 |
| 4.6.5. Unidades Sísmicas                                | 88 |
| 4.6.6. Parámetro de evaluación                          | 89 |

|      |                                                   | Pág. |
|------|---------------------------------------------------|------|
| 4.7. | FACTOR CONDICIONANTE A LA INESTABILIDAD           | 91   |
| 4.8. | CÁLCULO PARA LA ELABORACIÓN DEL PLANO DE PELIGROS | 92   |
| 4.9. | CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS                        | 95   |

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

|      |                            |    |
|------|----------------------------|----|
| 5.1. | CONCLUSIONES               | 96 |
| 5.2. | RECOMENDACIONES            | 96 |
|      | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 97 |

## ANEXOS



## ÍNDICE DE CUADROS

|                                                                                                                                                                             | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Cuadro 01: Clasificación de Peligros                                                                                                                                        | 5    |
| Cuadro 02: Clasificación de peligros geológicos                                                                                                                             | 6    |
| Cuadro 03: Niveles de peligros y su rango                                                                                                                                   | 7    |
| Cuadro 04: Clasificación de unidades geomorfométricas                                                                                                                       | 15   |
| Cuadro 05: Estimación de valor de importancia                                                                                                                               | 20   |
| Cuadro 06: Ejemplo de matriz de doble entrada                                                                                                                               | 21   |
| Cuadro 07: Los valores de Índice Aleatorio y número de variables usadas en el análisis                                                                                      | 23   |
| Cuadro 08: Delimitación del área de evaluación                                                                                                                              | 26   |
| Cuadro 09: Localización política del área                                                                                                                                   | 26   |
| Cuadro 10: Accesibilidad al área de evaluación                                                                                                                              | 28   |
| Cuadro 11: Promedio de datos climatológicos de Cajamarca                                                                                                                    | 30   |
| Cuadro 12: Variables independientes y dependientes                                                                                                                          | 32   |
| Cuadro 13: Clasificación de Unidades Geomorfométricas y su asociación a eventos                                                                                             | 44   |
| Cuadro 14: Unidades Geomorfométricas asociadas a las Unidades Geomorfogenéticas                                                                                             | 47   |
| Cuadro 15: Transposición de precipitación de la Estación Augusto Weberbauer –<br>Laderas del Caserío Carahuanga I                                                           | 50   |
| Cuadro 16: Precipitación mensual durante el periodo 1985 – 2024                                                                                                             | 51   |
| Cuadro 17: Trasposición de Precipitación de la Estación Augusto Weberbauer – UNC a<br>la zona de estudio (Laderas del Caserío Carahuanga I) desde el año 1985<br>hasta 2024 | 52   |
| Cuadro 18: Balance hidrológico de la zona de evaluación                                                                                                                     | 59   |
| Cuadro 19: Proceso de análisis de información obtenida                                                                                                                      | 60   |
| Cuadro 20: Registro de los movimientos en masa en el área de evaluación                                                                                                     | 62   |
| Cuadro 21: Áreas totales afectadas por tipo de movimiento en masa                                                                                                           | 62   |
| Cuadro 22: Unidades geomorfométricas y su intervalo                                                                                                                         | 82   |
| Cuadro 23: Matriz de comparación de pares del parámetro geomorfométrico                                                                                                     | 83   |
| Cuadro 24: Matriz de normalización de pares del parámetro geomorfométrico                                                                                                   | 83   |
| Cuadro 25: Matriz de relación de consistencia de pares del parámetro geomorfométrico                                                                                        | 83   |

|            | Pág.                                                                        |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Cuadro 26: | Valor del índice aleatorio para el parámetro geomorfométrico 83             |
| Cuadro 27: | Valor del índice y relación de consistencia del factor geomorfométrico 83   |
| Cuadro 28: | Unidades de geomorfológicas y su nomenclatura 84                            |
| Cuadro 29: | Matriz de comparación de pares del parámetro geomorfológico 84              |
| Cuadro 30: | Matriz de normalización de pares del parámetro geomorfológico 84            |
| Cuadro 31: | Matriz de relación de consistencia de pares del parámetro geomorfológico 85 |
| Cuadro 32: | Valor del índice aleatorio para el parámetro geomorfológico 85              |
| Cuadro 33: | Valor del índice y relación de consistencia del factor geomorfológico 85    |
| Cuadro 34: | Unidades de geológicas y su nomenclatura 85                                 |
| Cuadro 35: | Matriz de comparación de pares del parámetro geológico 86                   |
| Cuadro 36: | Matriz de normalización de pares del parámetro geológico 86                 |
| Cuadro 37: | Matriz de relación de consistencia de pares del parámetro geológico 86      |
| Cuadro 38: | Valor del índice aleatorio para el parámetro geológico 87                   |
| Cuadro 39: | Valor del índice y relación de consistencia del factor geológico 87         |
| Cuadro 40: | Unidades de hidrología 87                                                   |
| Cuadro 41: | Matriz de comparación de pares del parámetro de hidrología 87               |
| Cuadro 42: | Matriz de normalización de pares del parámetro de hidrología 87             |
| Cuadro 43: | Matriz de relación de consistencia del parámetro de hidrología 88           |
| Cuadro 44: | Valor del índice aleatorio para el parámetro de hidrología 88               |
| Cuadro 45: | Valor del índice y relación de consistencia del factor hidrológico 88       |
| Cuadro 46: | Matriz de comparación de pares del parámetro de sismicidad 88               |
| Cuadro 47: | Matriz de normalización de pares del parámetro de sismicidad 89             |
| Cuadro 48: | Matriz de relación de consistencia del parámetro de sismicidad 89           |
| Cuadro 49: | Valor del índice aleatorio para el parámetro de sismicidad 89               |
| Cuadro 50: | Valor del índice y relación de consistencia del factor de sismicidad 89     |
| Cuadro 51: | Parámetro de evaluación sobre el tiempo de retorno 89                       |
| Cuadro 52: | Matriz de comparación de pares del parámetro de evaluación 90               |
| Cuadro 53: | Matriz de normalización de pares del parámetro de evaluación 90             |
| Cuadro 54: | Matriz de relación de consistencia del parámetro de evaluación 90           |
| Cuadro 55: | Valor del índice aleatorio para el parámetro de evaluación 90               |
| Cuadro 56: | Valor del índice y relación de consistencia del parámetro de evaluación 90  |
| Cuadro 57: | Factores condicionantes y su puntuación 91                                  |

|            | Pág.                                                                          |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Cuadro 58: | Matriz de comparación de pares del parámetro de factores condicionantes 91    |
| Cuadro 59: | Matriz de normalización de pares de los factores condicionantes 91            |
| Cuadro 60: | Matriz de Relación de consistencia de pares de los factores condicionantes 92 |
| Cuadro 61: | Valor del índice aleatorio para los factores condicionantes 92                |
| Cuadro 62: | Valor del índice y relación de consistencia de los factores condicionantes 92 |
| Cuadro 63: | Pesos de los factores, parámetros y descriptor 93                             |
| Cuadro 64: | Cálculo para la peligrosidad 94                                               |
| Cuadro 65: | Rangos y nivel de peligrosidad 94                                             |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                        | Pág. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 01: Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG (Asociación Internacional de Ingeniería Geológica) | 8    |
| Figura 02: Nomenclatura de las partes de un deslizamiento                                                              | 9    |
| Figura 03: Deslizamiento rotacional                                                                                    | 10   |
| Figura 04: Deslizamiento traslacional                                                                                  | 10   |
| Figura 05: Caída de rocas                                                                                              | 11   |
| Figura 06: Vuelco por flexión                                                                                          | 12   |
| Figura 07: Vuelco en bloques                                                                                           | 12   |
| Figura 08: Tipos de flujos (A) Flujo de detritos, (B) Flujo de suelo, (C) Avalancha de escombros y (D) Reptación       | 14   |
| Figura 09: Valle de Yosemite en California                                                                             | 15   |
| Figura 10: Esbozo paisajístico de las montañas                                                                         | 16   |
| Figura 11: Nomenclatura de ladera de origen natural                                                                    | 16   |
| Figura 12: Nomenclatura de talud de origen antrópico                                                                   | 17   |
| Figura 13: Fuerza actuante y resistente en un talud                                                                    | 18   |
| Figura 14: Zonificación sísmica en el Perú                                                                             | 19   |
| Figura 15: Matriz de comparaciones pareadas                                                                            | 22   |
| Figura 16: Ecuación para cálculo del vector suma y prioridad                                                           | 22   |
| Figura 17: Ecuación para el cálculo de lambda máxima                                                                   | 22   |
| Figura 18: Ecuación para el cálculo del Índice de Consistencia                                                         | 23   |
| Figura 19: Ecuación para el cálculo de la Relación de Consistencia                                                     | 23   |
| Figura 20: Plano de ubicación del área de evaluación                                                                   | 27   |
| Figura 21: Accesibilidad al área de evaluación, vista en una imagen satelital                                          | 29   |

## ÍNDICE DE FOTOS

|                                                                                                                                                                     | Pág. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Foto 01: Vegetación de la zona con arbustos y eucaliptos, orientación de foto de E – W                                                                              | 31   |
| Foto 02: Intercalación de calizas y lutitas de la Formación Yumagual en corte de carretera y cubierta por depósito Cuaternario, orientación de foto de SW – NE      | 35   |
| Foto 03: Afloramiento de calizas nodulares de color grises con intercalación de lutitas y limolitas del Grupo Quilquiñan – Mujarrum, orientación de foto de NW – SE | 36   |
| Foto 04: Afloramiento del Volcánico Huambos, orientación de foto de SW – NE                                                                                         | 37   |
| Foto 05: Depósitos coluviales con contenido de bloques de diferentes dimensiones, orientación de foto de NW – SE                                                    | 38   |
| Foto 06: Los depósitos aluviales son zonas de cultivo, orientación de foto de S – N                                                                                 | 38   |
| Foto 07: Depósitos fluviales del Río Chonta con bloques de hasta 150 cm. de longitud por 105 cm. de ancho, orientación de foto de NW – SE                           | 39   |
| Foto 08: Diaclasas de 1.5 cm. en rocas volcánicas, orientación de foto de SW – NE                                                                                   | 40   |
| Foto 09: Plegamiento en la Formación Yumagual, orientación de foto de S – N                                                                                         | 40   |
| Foto 10: Planicie ubicada en la parte alta del Caserío Carahuanga I esta área es usada para cultivos, orientación de foto de NW – SE                                | 41   |
| Foto 11: Lomada con baja pendiente usada para cultivo; orientación de foto de N – S                                                                                 | 42   |
| Foto 12: Ladera con pendiente de 40°, orientación de foto de N – S                                                                                                  | 43   |
| Foto 13: Escarpas de 65° resultado de una erosión, orientación de foto de NW – SE                                                                                   | 43   |
| Foto 14: Zona de actividad antrópica, áreas usadas para el cultivo y/o agricultura, orientación de foto de NW – SE                                                  | 44   |
| Foto 15: Movimiento en masa el cual se ha generado un proceso denudacional, orientación de foto de NE – SW                                                          | 45   |
| Foto 16: Ambiente Fluvial con geoformas tipo terrazas, orientación de foto de NW – SE                                                                               | 46   |
| Foto 17: Escarpa en un Ambiente Volcánico, orientación de foto de NW – SE                                                                                           | 47   |

|          | Pág.                                                                                                                               |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Foto 18: | Evidencia del nivel freático en una calicata de 0.80 metros de profundidad y 0.50 metros de ancho, orientación de foto de W – E 48 |
| Foto 19: | Meteorológica Augusto Weberbauer – UNC, orientación de foto de NW – SE 49                                                          |
| Foto 20: | Trabajo en campo para la obtención de datos, orientación de foto de W – E 61                                                       |
| Foto 21: | Caídas de rocas en un escarpe, orientación de foto de NW – SE 63                                                                   |
| Foto 22: | Rocas volcánicas caídas de un escarpe, orientación de foto de E – W 64                                                             |
| Foto 23: | Bloques que estan propensos a una futura caída, orientación de foto de N – S 65                                                    |
| Foto 24: | Deslizamiento con poco transporte de material, orientación de foto de N – S 66                                                     |
| Foto 25: | Escarpa del deslizamiento con altura de 60 cm., orientación de foto de W – E 66                                                    |
| Foto 26: | Escarpa de 0.85 metros de alto, orientación de foto de NE – SW 67                                                                  |
| Foto 27: | Grieta con un espaciamiento de 0.22 metros, orientación de foto de W – E 67                                                        |
| Foto 28: | Movimiento en masa con doble deslizamiento, orientación de foto de W – E 68                                                        |
| Foto 29: | Movimiento en masa con doble deslizamiento, orientación de foto de W – E 69                                                        |
| Foto 30: | Margen derecho del deslizamiento rotacional, orientación de foto de W – E 69                                                       |
| Foto 31: | Agrietamiento de 22 cm. en el margen izquierdo del deslizamiento rotacional, orientación de foto de W – E 70                       |
| Foto 32: | Deslizamiento de tipo rotacional en un pre – deslizamiento en un depósito coluvial, orientación de foto de NW – SE 71              |
| Foto 33: | Masa desplazada del del deslizamiento rotacional, orientación de foto de W – E 71                                                  |
| Foto 34: | Zona de acumulación del deslizamiento, orientación de foto de SW – NE 72                                                           |
| Foto 35: | Deslizamiento rotacional y presencia de tobas, orientación de foto de SW – NE 73                                                   |

|          | Pág.                                                                                                 |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Foto 36: | Agrietamiento y afloramiento de rocas volcánicas, orientación de foto de N – S 73                    |
| Foto 37: | Deslizamiento rotacional con desplazamiento lento de tipo cóncava, orientación de foto de SW – NE 75 |
| Foto 38: | Grieta en el flanco derecho del deslizamiento, orientación de foto de W – E 75                       |
| Foto 39: | Masa deslizada en dirección NE – SO, orientación de foto de NW – SE 76                               |
| Foto 40: | Grieta entre la zona superior y la escarpa, orientación de foto de SW – NE 77                        |
| Foto 41: | Deslizamiento reciente en un paleodeslizamiento; orientación de foto de W – E 77                     |
| Foto 42: | Masa deslizada cubriendo parte de la quebrada, orientación de foto de E – W 78                       |
| Foto 43: | Deslizamiento rotacional de poco recorrido, orientación de foto de NW – SE 79                        |
| Foto 44: | Masa desplazada con poco recorrido, orientación de foto de S – N 80                                  |
| Foto 45: | Pequeños deslizamientos en paleodeslizamiento, orientación de foto de W – E 80                       |
| Foto 46: | Flujo de detritos de distintas composiciones, orientación de foto de E – W 81                        |

## LISTA DE ABREVIATURAS

|                 |   |                                           |
|-----------------|---|-------------------------------------------|
| <b>C</b>        | : | Cota                                      |
| <b>Dz</b>       | : | Deslizamiento                             |
| <b>Fm</b>       | : | Formación Geológica                       |
| <b>GPS</b>      | : | Global Positioning System                 |
| <b>F</b>        | : | Infiltración                              |
| <b>INGEMMET</b> | : | Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico |
| <b>MDE</b>      | : | Modelo Digital de Elevaciones             |
| <b>MJM</b>      | : | Matriz de Jerarquías Múltiples            |
| <b>MM</b>       | : | Movimiento en Masa                        |
| <b>UG</b>       | : | Unidades Geomorfométricas                 |
| <b>UH</b>       | : | Unidades Hidrogeológicas                  |
| <b>UG</b>       | : | Unidades Geológicas                       |
| <b>UTM</b>      | : | Universal Transversal de Mercator         |
| <b>VFC</b>      | : | Valor del Factor Condicionante            |
| <b>VFD</b>      | : | Valor del Factor desencadenante           |
| <b>VPEV</b>     | : | Valor del Parámetro Evaluador             |
| <b>VSuscp</b>   | : | Valor de la Susceptibilidad               |
| <b>WGS - 84</b> | : | World Geodetic System 1984                |



## RESUMEN

El caserío Carahuanga I integrada en la jurisdicción del Distrito de Los Baños Del Inca, se sitúa al Noreste de la ciudad de Cajamarca, se han evidenciado calizas, margas y lutitas del Grupo Pulluycana y Quilquiñan Mujarrum, además de, rocas volcánicas correspondientes al Neógeno, en donde, gran extensión de estas unidades está cubiertas por Depósitos Cuaternarios coluvial, siendo este último, el terreno en donde se han desarrollado la mayoría de los movimientos en masa de tipo deslizamiento. Se ha determinado los Factores Condicionantes como, la geomorfometría, geomorfología y la geología, así mismo, el factor desencadenante como la hidrología (precipitación, infiltración, escorrentía y evaporación), cabe mencionar que la sismicidad también es una Factor desencadenante, pero en esta evaluación no se ha tomado en cuenta por su poca ocurrencia en la zona. Se logró identificar 12 (doce) movimientos en masa, 2 (dos) de tipo caídas de rocas, 9 (nueve) de tipo deslizamientos y 1 de tipo flujo de detritos, así mismo, se realizó el cálculo de comparación de pares a través del método de Saaty para la elaboración del plano de peligros geológicos, el cual, se ha intersecado (VFC), (VFD), (VSuscp) y (VPEV); luego se calcula el Peligro usando la fórmula  $(VSuscp \times \text{Peso de Suscp} + VPEV \times \text{Peso de Pev})$ , para finalmente, clasificar el peligro geológico que incide en la zona.

Palabras Claves: Peligro geológico, Susceptibilidad, Vulnerabilidad, Deslizamiento, Ladera

## ABSTRACT

The Carahuanga I hamlet, part of the jurisdiction of the Los Baños Del Inca District, is located northeast of the city of Cajamarca. Evidence of limestone, marls, and shale from the Pulluycana and Quilquiñan Mujarrum Groups has been found, as well as Neogene volcanic rocks. A large extent of these units are covered by Quaternary colluvial deposits, with the latter being the terrain where most landslide type mass movements have occurred. The study identified conditioning factors such as geomorphometry, geomorphology, and geology, as well as the triggering factor of hydrology (precipitation, infiltration, runoff, and evaporation). It's worth noting that seismicity is also a triggering factor, but it was not considered in this evaluation due to its low occurrence in the area. Twelve mass movements were identified: two rockfalls, nine landslides, and one debris flow. A pairwise comparison was also conducted using the Saaty method to create a geological hazard map. This map intersects (VFC), (VFD), (VSuscp), and (VPEV). Hazard is then calculated using the formula:  $(VSuscp \times \text{Peso de Suscp} + VPEV \times \text{Peso de Pev})$ . Finally, the geological hazard affecting the area is classified.

Keywords: Geological hazard, Susceptibility, Vulnerability, Landslide, Hillside

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

El fenómeno de movimientos en masas, especialmente los deslizamientos de tierra, ha causado destrucciones a lo largo del tiempo. Estos deslizamientos son provocados por factores condicionantes como la geomorfometría, geología y geomorfología. Estos factores condicionantes junto con el factor desencadenante como la precipitación e infiltración generan movimientos en masas que pueden causar una gran destrucción dependiendo de la ubicación, por lo que es fundamental estudiar estos fenómenos para monitorearlos y encontrar soluciones que mitiguen los peligros para las personas.

El caserío Carahuanga I, se caracteriza por su gran extensión de laderas, con grado de pendientes altas y 6 manantiales ubicadas en diferentes partes del caserío, se han producido considerables deslizamientos en las últimas décadas amenazando la integridad y seguridad de sus habitantes. Debido a estos eventos naturales e impredecibles, es necesario realizar una evaluación de peligros geológicos. Por ello, surge la pregunta: ¿Por qué es importante realizar una evaluación de peligros geológicos en el Caserío Carahuanga I – Los Baños Del Inca? La hipótesis sugiere que estos procesos representan una amenaza geológica debido a la presencia de agrietamientos y factores desencadenantes, facilitando el conocimiento del comportamiento del terreno, identificando las áreas de mayor peligro.

Esta investigación será de tipo exploratorio, descriptivo y explicativo a través del método de la observación; se realiza el análisis de los efectos potenciales de los movimientos en masa en el Caserío, por lo que, podría afectar significativamente a sus habitantes. El Caserío Carahuanga I en el Distrito de Los Baños Del Inca de la Provincia de Cajamarca será el área de evaluación, aunque la falta de herramientas especializadas para el análisis de movimientos en masas y restricciones de los habitantes a algunas zonas, representan limitaciones.

El objetivo principal de esta investigación es la evaluación de peligros geológicos enfocados a movimientos en masas en el Caserío Carahuanga I – Los Baños Del Inca. Los objetivos específicos incluyen la realización de un cartografiado geológico, la identificación de los factores desencadenantes que causan los movimientos en masa, la elaboración de un plano de peligros geológicos y sugerir recomendaciones para mitigar los efectos de estos peligros.

La investigación se ha estructurado en V capítulos, cuya secuencia se desarrollado de la siguiente manera, como inicio el Capítulo I, comprende la Introducción, describiendo características del área de investigación. En el Capítulo II, Comprende el Marco teórico que consiste en los antecedentes teóricos (Internacionales, Nacionales y Locales), las Bases Teóricas y la Definición de Términos. En el Capítulo III, Comprende los Materiales y Métodos que contiene la ubicación de la investigación, el procedimiento y metodología utilizada, identificación de variables, técnicas de investigación, la descripción de los materiales y equipos utilizados en campo y gabinete. En el Capítulo IV, Comprende el Análisis y Discusión de resultados que contiene los resultados obtenidos y la contrastación de la hipótesis y finalmente el Capítulo V, Comprende las Conclusiones en base a los objetivos y se plantea algunas Recomendaciones.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE LAS INVESTIGACIÓN**

Los peligros geológicos han sido un tema de discusión en todo el mundo y más aún en países geomorfológicamente diversos, con precipitaciones intensas y actividad sísmica.

##### **2.1.1. Antecedentes Internaciones**

Coliente (2010), en su tesis magistral, “Inestabilidad en Laderas y Taludes”, concluye que las superficies de fallas generadas en suelos dependen del material que lo integra y las fallas en macizos rocosos están condicionadas por la orientación, discontinuidad y fracturamiento, así mismo, las fallas en laderas y taludes ocurren debido a factores que las condicionan y las desencadenan. Estos factores modifican las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno, disminuyendo la resistencia al corte y aumentando los esfuerzos. Esto hace posible el movimiento de una masa de suelo o roca, lo que provoca la falla además de, que el uso de Software es un arma de doble filo, por un lado, realiza infinidad de cálculos generándonos seguridad y, por otro lado, si factores determinantes se eluden o no lo detecta, así se realicen infinidad de cálculos el resultado será erróneo.

Cando (2020), en su tesis doctoral, “Geomática Aplicada al Análisis de Peligros Geológicos”, desarrolla 5 métodos Geomáticos aplicados a la reducción de peligros geológicos, entre los cuales alude al Modelo Hidrológico Básico D8, Modelo Numérico de Patrones de Flujo de escorrentía superficial como generador de movimientos en masas, resaltando le desarrolló y aplicación de un quinto método que integró una herramienta de análisis espacial urbano en las ciudades, conocida como Sintaxis del Espacio, con la Interferometría Diferencial. concluyendo que, los sismos y precipitación, activan los movimientos en masas en las regiones de Ecuador y que cualquiera de estos métodos desarrollados puede ser aplicados en terrenos o sector territorial.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

Luna (2019), en su tesis de grado, “Evaluación de Peligros ante Precipitaciones Intensas y Modelamiento Hidrológico de la Quebrada Huarangal Limitante entre los Distritos de Paucarpata - Mariano Melgar, Provincia de Arequipa, Región Arequipa” concluye que, los niveles de peligros por movimiento en masa son Altas en los márgenes de las laderas; además, identificó zonas con Muy Alto peligro, las zonas escarpadas con pendientes mayores a 45°.

Vega (2023), en su tesis de grado, “Movimientos en masa y su grado de susceptibilidad en la zona turística Millpu del distrito de Huancaraylla en Ayacucho”, concluye que, más del 80% de las áreas donde ocurrió algún tipo de movimiento en masa, estas presentan un grado de susceptibilidad alto a muy alto, afirma que estas áreas son las más susceptibles y tienen una relación de dependencia.

### **2.1.3. Antecedentes Locales**

Lagos (2015), en su tesis doctoral, “Modelamiento de la Relación entre los Procesos Tectónicos y la Inestabilidad en los Terrenos de las Zonas: Urubamba y Tres Ríos – Cajamarca - Perú” analiza la importancia de los factores condicionantes de la inestabilidad, determinando que la litología, tectonismo, e hidrogeología son factores condicionantes en los movimientos en masa.

Rodríguez (2016), en su tesis magistral, “Método de Investigación Geológico-Geotécnico para el Análisis de Inestabilidad de Laderas por Deslizamientos Zona Ronquillo – Corisorgona – Cajamarca – Perú” analiza el comportamiento geoestructural, geomorfológico, geodinámico y geomecánico de los macizos rocosos de la zona, además, menciona la presencia de laderas inestables por el fracturamiento, originado por la geotectónica regional y local, así como por la meteorización superficial y en profundidad, concluyendo que probabilidad de un deslizamiento a futuro en el Cerro Ronquillo es evidente.

Mejía (2021), en su tesis de grado, “Análisis del Grado de Susceptibilidad a los Movimientos de Ladera Mediante SIG en la Microcuenca del Río San Lucas -Distrito de Cajamarca”

analiza la susceptibilidad de la microcuenca San Lucas mediante el software ArcGIS, determinando cinco grados de susceptibilidad, además de que los movimientos en masa en laderas presentan un grado de susceptibilidad Muy Alta.

Hernández (2021), en su tesis de grado, “Evaluación de los Peligros Geológicos y Elaboración del Mapa de Susceptibilidad en la Zona de Huambocancha Baja -Cajamarca” determina once movimientos en masas, las cuales, cuatro son por deslizamiento, donde, la litología, cobertura vegetal, pendiente y dureza de la roca son factores que influyen en un 80%.

## 2.2. BASES TEÓRICAS

### 2.2.1. Peligros

La probabilidad de que un fenómeno físico que puede ser perjudicial, siendo de origen natural o causado por la actividad humana, esto puede ocurrir en un lugar determinado, con una intensidad específica y dentro de un marco temporal y frecuencia determinada (SINAGERD, 2011).

La probabilidad de que ocurra un fenómeno natural o tecnológico que pueda ser perjudicial, en un período y lugar específicos, se determina generalmente con la ayuda de la ciencia y la tecnología, logrando evitar o mitigar daños y/o desastres (INDECI, 2015).

Cuadro 01: Clasificación de Peligros.

| <b>CLASIFICACIÓN DE PELIGROS</b>              |                                     |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>PELIGROS DE ORIGEN NATURAL</b>             | <b>PELIGROS DE ORIGEN ANTRÓPICO</b> |
| Peligros por Fenómenos de Geodinámica Externa | Peligros Biológicos                 |
| Peligros por Fenómenos de Geodinámica interna | Peligros Físicos                    |
| Peligros por Fenómenos hidrometeorológicos    | Peligros Químicos                   |
| Peligros por Fenómenos Oceanográficos         |                                     |

Fuente: CENEPRED (2014).

### 2.2.2. Peligros Geológicos

Eventos o procesos geológicos que pueden causar muertes, lesiones u otros efectos negativos en la salud. También pueden provocar daños a la propiedad, pérdida de vida y servicios, así como trastornos sociales y económicos o daños materiales. Estos peligros pueden originarse en el interior de la Tierra (endógenos) o en su superficie (exógenos) (INGEMMET, 2018).

Cuadro 02: Clasificación de peligros geológicos.

| Peligro                          | Tipo de peligro     |
|----------------------------------|---------------------|
| <b>Movimientos en Masa</b>       | Caída               |
|                                  | Deslizamiento       |
|                                  | Flujo               |
|                                  | Movimiento complejo |
|                                  | Propagación lateral |
|                                  | Reptación           |
| <b>Geohidrológicos</b>           | Vuelco              |
|                                  | Erosión fluvial     |
|                                  | Inundación fluvial  |
|                                  | Inundación lagunar  |
| <b>Otros peligros geológicos</b> | Inundación Pluvial  |
|                                  | Arenamiento         |
|                                  | Erosión de ladera   |
|                                  | Erosión marina      |
|                                  | Hundimiento         |
|                                  | Inundación marina   |

Fuente: INGEMMET (2021).

### 2.2.3. Niveles de Peligro

La estimación del riesgo clasifica las zonas de peligro en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto, definidos en el cuadro 3. Se utilizan dos métodos para esta estimación: el descriptivo, que se basa en observaciones de campo, y el numérico, que utiliza cálculos con parámetros ponderados. En esta investigación se ha optado por el segundo método.



Cuadro 03: Niveles de peligros y su rango.

| NIVEL           | DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | RANGO                  |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>BAJO</b>     | El terreno es mayormente plano y ondulado, con algunas áreas montañosas, caracterizado por pampas, dunas, tablazos y valles en una zona árida y desértica. El suelo es compacto y seco, con baja cobertura vegetal (0-20%). Actualmente, se utiliza para pastos naturales que sostienen ganado, dependiendo de las lluvias. También hay áreas improductivas. Las pendientes son menores a 20°, con laderas poco fracturadas y parcialmente erosionadas. Se trata de terrenos altos, no inundables y sin amenazas de volcanes o tsunamis.                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $0.035 \leq R < 0.068$ |
| <b>MEDIO</b>    | El terreno es rocoso, escarpado y empinado, con un suelo de granulares finos y arcillosos sobre grava aluvial o coluvial, de calidad intermedia y con moderadas aceleraciones sísmicas. La cobertura vegetal es escasa (20-40%). Actualmente, se utiliza para plantaciones forestales y creación de bosques, enfocándose en producción, energía, protección de cuerpos de agua y control de erosión. Las pendientes oscilan entre 20° y 30°, presentando zonas de estabilidad marginal y laderas erosionadas. Las inundaciones son poco frecuentes y de baja profundidad.                                                                                                                                                                                                                                                            | $0.068 \leq R < 0.134$ |
| <b>ALTO</b>     | El relieve es variado, dominado por mesetas. Los suelos son de arena eólica y/o limo, con escasa cobertura vegetal (40-70%). El uso del suelo incluye cultivos permanentes de frutales y otros productos alimenticios, industriales y de exportación, así como zonas de barbecho. Las pendientes oscilan entre 25° y 45°, con terrenos inestables, macizos rocosos con meteorización intensa y depósitos superficiales inconsolidados, parcialmente saturados y erosionados. Se anticipan altas aceleraciones sísmicas por sus características geotécnicas. Las áreas pueden inundarse lentamente y mantenerse bajo agua varios días, con posibilidad de licuación y suelos expansivos.                                                                                                                                              | $0.130 \leq R < 0.260$ |
| <b>MUY ALTO</b> | El terreno es abrupto y escarpado, principalmente rocoso, con grandes áreas cubiertas de nieve y glaciares. La cobertura vegetal es muy escasa (70-100%). El uso del suelo incluye áreas urbanas conectadas por redes de servicios. Las pendientes varían entre 30° y 45°, en zonas muy inestables con fallas, rocas meteorizadas y saturadas, así como depósitos inconsolidados y erosión intensa (cárcavas). Estas áreas enfrentan riesgos de aludes, avalanchas, flujos de piedra y lodo, además de flujos piroclásticos y lava. Los fondos de quebradas de volcanes activos también pueden verse afectados por flujos de lodo. Existe un alto riesgo de deslizamientos o inundaciones rápidas, con fuerte erosión. Otros peligros incluyen maremotos y heladas, y los suelos presentan alta probabilidad de licuación o colapso. | $0.260 \leq R < 0.503$ |

Fuente: CENEPRED (2014).

#### 2.2.4. Movimiento en Masa (MM)

Movimientos de material rocoso o suelo a favor de la gravedad; incorporación de procesos que deforman de la superficie y el desplazamiento, por lo que, la traslación es de lenta a relativamente rápida, y esto dependerá del volumen del suelo, precipitación, gravedad y otros agentes (Cruden, 1991).

#### 2.2.5. Clasificación de los Movimientos en Masa

##### 2.2.5.1. Deslizamiento

Son movimientos en masas de rocas, residuos o tierra en dirección gravitacional. Los deslizamientos pueden ocurrir por la acción de las fuerzas gravitacionales, hidráulicas, sísmicas, etc. a través de las superficies de rotura, Cruden (1991).

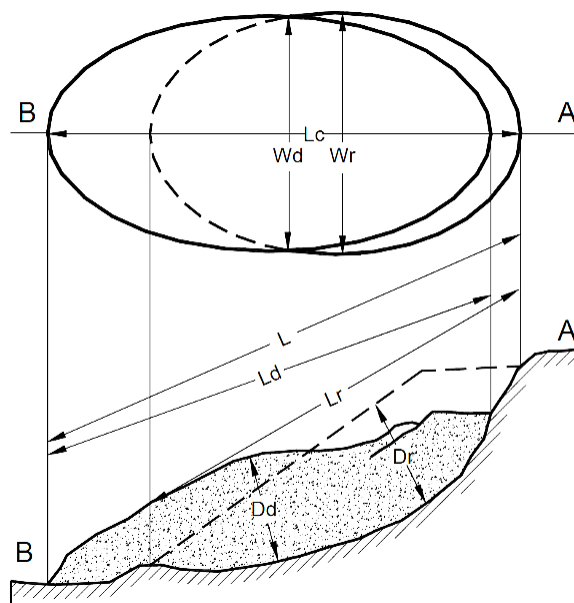


Figura 01: Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG (Asociación Internacional de Ingeniería Geológica).

Fuente: Suárez (2009).

## Partes de un deslizamiento

**Base:** lugar donde se genera el cambio brusco de la pendiente en la parte inferior de la ladera, área cubierta por el material perturbado.

**Cabeza:** parte superior del material perturbado de una ladera.

**Cima:** punto más alto de la cabeza, entre el contacto del material no deslizado y escarpa principal.

**Corona:** material inalterado, relacionado a la parte más alta de la escarpa principal.

**Cuerpo principal:** material deslizado por la superficie de falla.

**Derecha e Izquierda:** términos usados referentes al deslizamiento observado u orientación geográfica del deslizamiento como (Norte, Sur, Este y Oeste), (Suárez, 2009).

**Escarpa principal:** Superficie muy inclinada posterior del área en movimiento, causado por el material perturbado.

**Escarpa secundaria:** superficie muy inclinada producida por el deslizamiento diferencial dentro de la masa perturbada.

**Flanco:** El lado o costado de deslizamiento.

**Pie de la superficie de falla:** parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original.

**Punta o uña:** Punto más distanciado en relación a la cima.

**Superficie de falla:** superficie entre el material perturbado y el material no deslizado.

**Superficie original del terreno:** material ante que ocurriera el deslizamiento.

Figura 02: Nomenclatura de las partes de un deslizamiento.

Fuente: Suárez (2009).

9

**a) Rotacional**

La superficie de falla tiene concavidad hacia arriba, es rotacional con respecto al eje paralelo a la superficie y transversal al deslizamiento, se forma una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo de movimiento (Suárez, 2009).

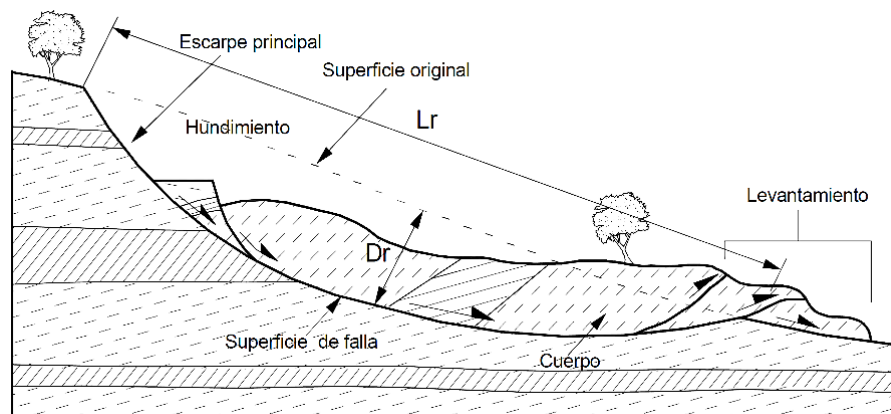


Figura 03: Deslizamiento rotacional.

Fuente: Suárez (2009).

**b) Traslacional**

La masa se desliza hacia afuera o a favor de la gravedad, tiene escaso o nada de movimiento rotacional, deslizamiento se produce sobre una superficie casi plana o ligeramente ondulada (Suárez, 2009).

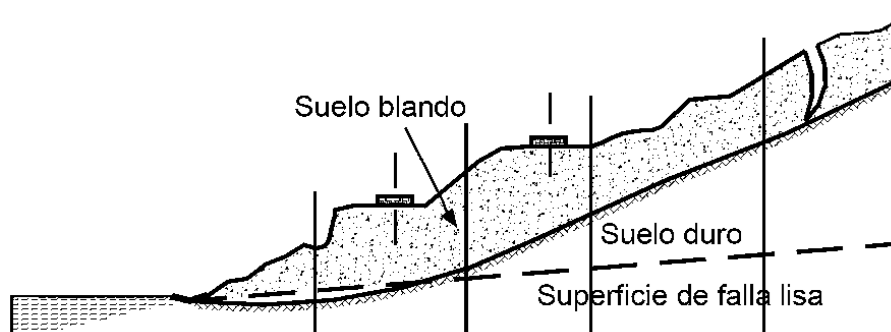


Figura 04: Deslizamiento traslacional.

Fuente: Suárez (2009).

### 2.2.5.2. Caídas

Masas que varían de cantos a bloques son desprendidos de acantilados, escarpes o pendientes empinadas, descendiendo en caída libre a velocidades relativas (Varnes, 1978).

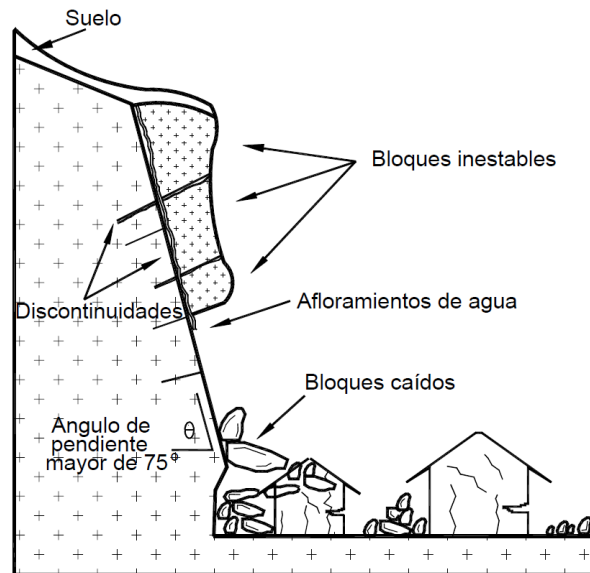


Figura 05: Caída de rocas.

Fuente: Suárez (2009).

#### a) Desprendimiento

Disgregación de una masa litológica, ya sea de suelo o de roca fracturada, mediante un descenso súbito con fragmentación del material a lo largo de la ladera (Hernández, 2021).

#### b) Vuelco

Tiene lugar en rocas con un sistema preferente de discontinuidades, formando vigas semicontinuas en voladizo. Las columnas continuas cuando se doblan hacia delante, rompen ya se por flexión, en bloques o mixtos, es característico en esquistos, filitas, pizarras y en secuencias rítmicas finamente estratificadas (Hernández, 2021).

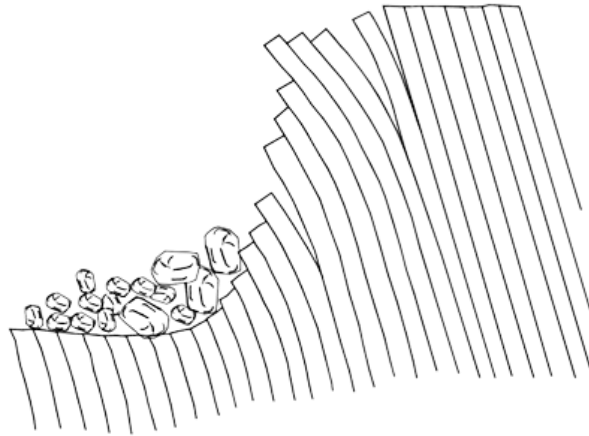


Figura 06: Vuelco por flexión.

Fuente: Suárez (2009).

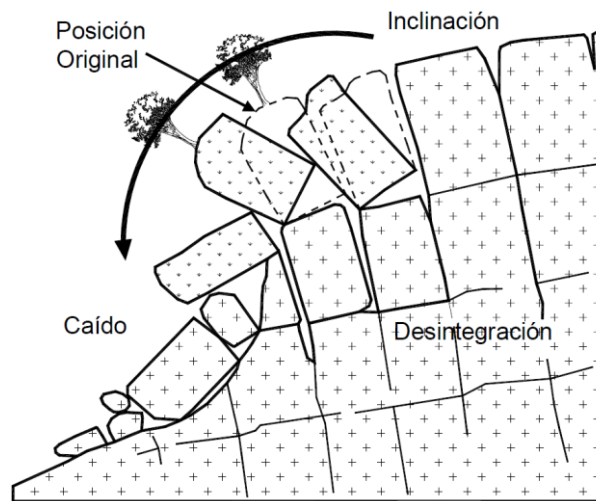


Figura 07: Vuelco en bloques.

Fuente: Suárez (2009).

### c) Bloques de rocas

Están compuestos por bloques y cantos de rocas, comúnmente se presenta en rocas sedimentarias con buzamientos pronunciados, metamórficas e ígneas muy fracturadas, con o sin presencia de materiales finos (Suárez, 2009).

#### 2.2.5.3. Flujos

Movimientos de masa con contenido de detritos, rocas o suelos y la velocidad de desplazamiento es relativo dependiendo si su comportamiento es fluido o seco.

**a) Detritos**

Flujos que van de rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos que transcurre a lo largo de un canal o cause con pendiente pronunciada (INGEMMET, 2018).

**b) Suelo**

Movimientos de materiales con más del 50% de finos presentando una consistencia líquida, generalmente es por la evolución del desplazamiento rotacional o traslacional por la acumulación de los suelos sueltos abajo del pie del deslizamiento (Suárez, 2009).

**c) Lodo**

Se usa el termino viscosidad propiamente dicha, se llega a mencionar de suelos suspendidos en agua, consiguiendo velocidades muy altas, causando destrucción a su paso dependiendo del caudal y velocidad (Suárez, 2009).

#### **2.2.5.4. Reptación**

Consiste en movimientos de suelos superficiales de muy lento a extremadamente lento, por lo que, el desplazamiento es de pocos centímetros por año, la profundidad de este movimiento puede ser de pocos centímetros a varios metros (Suárez, 2009).

#### **2.2.5.5. Movimientos Complejos**

Movimientos que se caracterizan por la combinación de varios tipos de desplazamiento, por ello, a medida que progresa el fenómeno de desintegración, un tipo de proceso activo consigue convertirse en otro (Suárez, 2009).

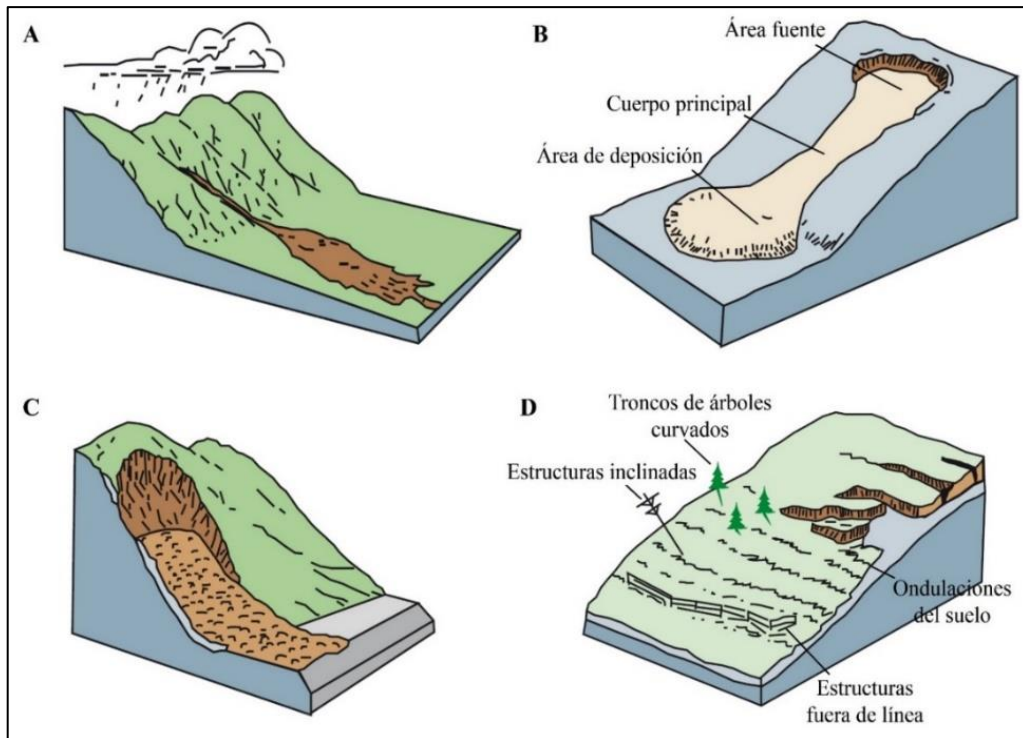


Figura 08: Tipos de flujos (A) Flujo de detritos, (B) Flujo de suelo, (C) Avalancha de escombros y (D) Reptación.

Fuente: United States Geological Survey USGS (2004).

#### 2.2.6. Geomorfometría

Analiza cuantitativamente la superficie terrestre (pendiente, orientación, curvatura e índices topográficos), combinando los conocimientos de geología, geomorfología, matemática y topografía para obtener datos precisos, además, usa datos digitales del terreno permitiéndonos una perspectiva de un mapa 3D en una computadora. Esta herramienta nos permite crear mapas y análisis complejos que serían muy complicados de hacer a mano.

Así mismo, (Arbelaez, 2019) menciona que la geomorfometría es una extensión de la geomorfología que se encarga del análisis cuantitativo de las formas del relieve terrestre, usando medidas métricas y herramientas matemáticas y estadísticas. Es decir, estudia la forma de la superficie terrestre (montañas, valles, llanuras, etc.) mediante datos cuantificables, como elevación, pendiente, curvatura, orientación, entre otros,



### 2.2.6.1. Clasificación de Unidades Geomorfométricas

Áreas del terreno que se delimitan y clasifican con base en características cuantitativas del relieve, obtenidas mediante el análisis geomorfométrico, (Rodríguez, 2016) clasifica en cuatro unidades morfogenéticas, el cual, en combinación con la pendiente y curvatura, se considera unidades geomorfométricas.

Cuadro 04: Clasificación de unidades geomorfométricas.

| Unidades Geomorfométricas | Pendiente | Definición                                                                                         |
|---------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Planicie                  | 0° - 8°   | Superficie homogénea, ligeramente ondulada, asociada a depósitos aluviales y fluvio-aluviales.     |
| Lomada                    | 9° - 20°  | Elevaciones con geoformas de tendencias dómicas, pendientes suaves que sirven para la agricultura. |
| Ladera                    | 21° - 50° | Superficies inclinadas afectando a cualquier tipo de litología formando laderas montañosas.        |
| Escarpa                   | > 51°     | Geoformas con fuerte inclinación y fuerte desnivel entre dos superficies.                          |

Fuente: Adaptado de Rodríguez (2016).

#### a) Planicie

Estos terrenos se caracterizan por ser una superficie uniforme y suavemente ondulada, vinculada a depósitos de origen aluvial y fluvio-aluvial, Rodríguez (2016).



Figura 09: Valle de Yosemite en California.

Fuente: Umar Shah (2024).

**b) Lomada**

Las lomadas son formaciones geográficas con pendientes de moderadas a pronunciadas y cimas redondeadas, Rodríguez (2016).



Figura 10: Esbozo paisajístico de las montañas.

Fuente: Shutterstock (2018).

**c) Ladera**

Masa de tierra con pendiente pronunciadas y cambios bruscos de altura, su conformación fue a través de un proceso natural, (Suárez, 2009).

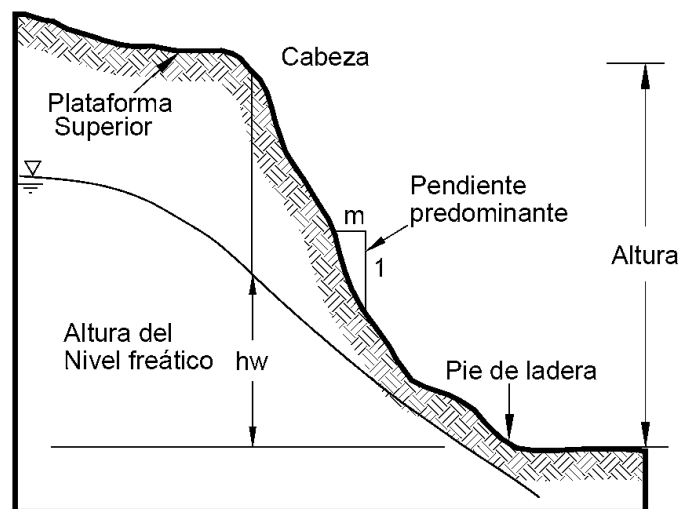


Figura 11: Nomenclatura de ladera de origen natural.

Fuente: Suárez (2009).

**d) Talud**

Terreno de superficie inclinada con pendientes y cambios significativos de altura, de origen antrópico mediante corte o relleno, (Suárez, 2009).

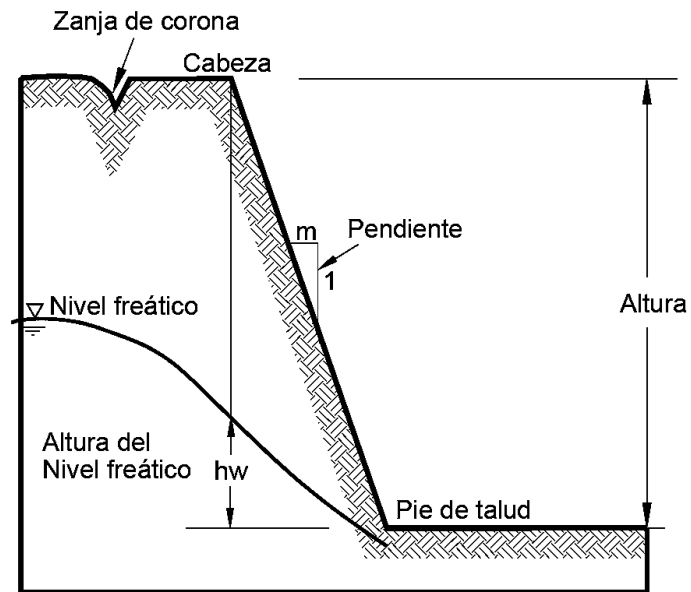


Figura 12: Nomenclatura de talud de origen antrópico.

Fuente: Suárez (2009).

**e) Escarpa**

Una escarpa es una pendiente empinada o acantilado que resulta de procesos geológicos como la erosión o movimientos tectónicos, frecuentemente encontrado en fallas geológicas, caracteriza por su inclinación abrupta y puede surgir debido a la actividad sísmica o erosión que desgasta las capas de roca y suelo

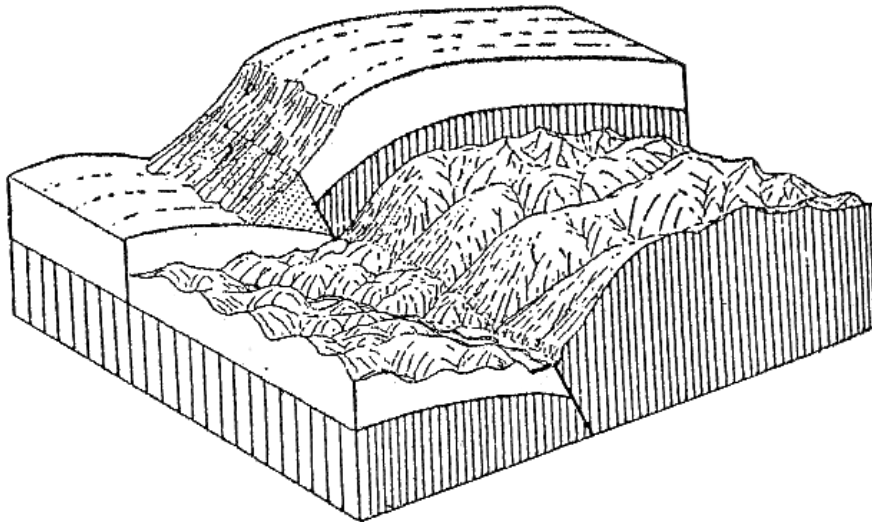


Figura 13: Fuerza actuante y resistente en un talud.

Fuente: Suárez (2009).

### 2.2.7. Riesgo

Son las pérdidas potenciales debidas a un fenómeno natural determinado, el cual afecta con pérdidas económicas directas o indirectas, daños a estructuras y más aún a vidas humanas (González de Vallejo, 2002). Así mismo, Smith (2001) realiza su evaluación del Riesgo a través de la siguiente expresión, representando la probabilidad que ocurra un peligro causando daños o pérdidas irreparables.

### 2.2.8. Sismos

Proceso gradual, progresivo y continuo de liberación repentina de energía mecánica, causado por cambios en el estado de esfuerzo, deformaciones y desplazamientos resultantes, influenciados por la resistencia de los materiales rocosos de la corteza terrestre, ocurriendo en zonas de interacción de placas tectónicas como dentro de ellas. Parte de la energía liberada se manifiesta en forma de ondas sísmicas, mientras que otra parte se convierte en calor debido a la fricción en el plano de falla (CENEPRED, 2014).



Figura 14: Zonificación sísmica en el Perú.

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018).

### 2.2.9. Método Heurístico o Empírico

Método que proporciona al investigador la libertad de clasificar y ponderar los factores condicionantes y desencadenantes, mediante su experiencia realiza una evaluación multicriterio, considerando la observación in situ como inicio de la investigación basándose en análisis jerárquicos.

### 2.2.10. Método de Saaty

Modelo para la toma de decisiones a través de una técnica multicriterio y multiatributo basado en jerarquías analíticas, estimando el valor de importancia relativa de los indicadores con la metodología de comparación de pares (Saaty, 1980)

Cuadro 05: Estimación de valor de importancia.

| <b>Escala Numérica</b> | <b>Escala Verbal</b>                              | <b>Explicación</b>                                                                                     |
|------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9                      | Absolutamente o muchísimo más importante que...   | Cuando comparas dos elementos, la primera es muchísimo más importante que la segunda, sin duda alguna. |
| 7                      | Mucho más importante que...                       | Entre los dos elementos, la primera es bastante más importante que la segunda.                         |
| 5                      | Más importante que...                             | La primera es más importante que la segunda, pero no de forma exagerada.                               |
| 3                      | Ligeramente más importante que...                 | La primera es un poco más importante que la segunda.                                                   |
| 1                      | Igual ...                                         | Los dos elementos tienen la misma importancia, no hay preferencia por ninguna.                         |
| 1/3                    | Ligeramente menos importante que...               | La primera es un poco menos importante que la segunda.                                                 |
| 1/5                    | Menos importante que...                           | La primera es bastante menos importante que la segunda.                                                |
| 1/7                    | Mucho menos importante que...                     | La primera es mucho menos importante que la segunda.                                                   |
| 1/9                    | Absolutamente o muchísimo menos importante que... | La primera es muchísimo menos importante que la segunda, sin lugar a dudas.                            |
| 2;4;6;8                | Valores intermedios...                            | Se usan cuando la importancia está entre dos niveles y no encaja del todo en uno solo.                 |

Fuente: Saaty (1980).

### 2.2.11. Parámetros estadísticos

El análisis de datos relacionado con algoritmos requiere una base de datos cuantitativa de las unidades menos representadas en el mapa de factores. La metodología de semi aproximación cuantitativa, basada en la técnica de densidad de puntos e implica un análisis estadístico de dispersión y distribución, así como la categorización de las ponderaciones de susceptibilidad (INGEOMINAS, 2001).

### 2.2.12. Método probabilístico

Este método establece relaciones estadísticas cuantificables entre factores determinantes de peligros geológicos, como la geología, geomorfología, hidrogeología, y

geomorfometría, y la distribución de movimientos en escalas detalladas. Su aplicación requiere crear una base de datos que contenga toda esta información (Carrara, 2008).

### 2.2.13. Análisis Estadístico Univariado o Divariado

Se realiza un análisis de aproximación semi cuantitativa para estimar la probabilidad de movimientos en masa en una zona específica. Este proceso implica determinar cuantitativamente el grado de influencia de cada variable o factor intrínseco (subunidades de mapas temáticos) en la susceptibilidad. Se lleva a cabo calculando la suma de las áreas de cada tipo de movimiento en masa dentro de las áreas cubiertas por cada unidad cartográfica (INGEOMINAS, 1998).

### 2.2.14. Matriz de Jerarquías Múltiples (MJM)

Se utiliza para jerarquizar datos en situaciones donde no se pueden unificar los criterios de evaluación. Es aplicable a problemas que requieren ordenar o seleccionar entre diversas opciones según reglas preestablecidas. Se realiza la consulta a diferentes expertos que establecen un valor respecto a la importancia; en el área de investigación, los Factores Condicionantes de la Inestabilidad (FCI) que se ha considerado según su orden de importancia son, geomorfometría, geomorfología y geología, se concluye que este es el orden de importancia (1, 3 y 5) sucesivamente, en la siguiente matriz de doble entrada o comparaciones, los datos se completan realizando la división de las columnas entre las filas, formando una diagonal con un valor de 1 (CENEFRED, 2014).

Cuadro 06: Ejemplo de matriz de doble entrada.

| <b>Unidades</b>    | <b>Geomorfometría (1)</b> | <b>Geomorfología (3)</b> | <b>Geología (5)</b> |
|--------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------|
| Geomorfometría (1) | <b>1</b>                  | 3/1                      | 5/1                 |
| Geomorfología (3)  | 1/3                       | <b>1</b>                 | 5/3                 |
| Geología (5)       | 1/5                       | 3/5                      | <b>1</b>            |

### 2.2.15. Cálculo de los pesos ponderados

Se elabora una matriz de comparaciones pareadas que muestra la comparación entre criterios, subcriterios y descriptores según el caso. Para la ponderación de criterios, esta

matriz facilita la determinación de la importancia relativa de cada criterio respecto a los demás, lo cual será útil para su posterior ponderación (CENEFRED, 2014).

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} p_{c11} \\ p_{c12} \\ \dots \\ \dots \\ p_{c1n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} VSP_{11} \\ VSP_{12} \\ \dots \\ \dots \\ VSP_{1n} \end{bmatrix}$$

Figura 15: Matriz de comparaciones pareadas.

Fuente: CENEPRED (2014).

Dividir los elementos del vector de suma ponderada por el valor de prioridad correspondiente a cada criterio.

$$\begin{aligned} VSP_{11} / p_{c11} &= \lambda_1 \\ VSP_{12} / p_{c12} &= \lambda_2 \\ &\dots \\ &\dots \\ &\dots \\ VSP_{1n} / p_{c1n} &= \lambda_n \end{aligned}$$

Figura 16: Ecuación para cálculo del vector suma y prioridad.

Fuente: CENEPRED (2014).

Luego, se calcula la lambda máxima, esto facilita el cálculo del índice de consistencia.

$$\lambda_{max} = (\lambda_1 + \lambda_{12} + \dots + \lambda_n) / n$$

Figura 17: Ecuación para el cálculo de lambda máxima.

Fuente: CENEPRED (2014).

## 2.2.16. Cálculo de la Relación de Consistencia (RC)

Este factor evalúa la consistencia de las ponderaciones, requiriendo un valor menor a 0,10; los valores superiores a 0,1 indican juicios inconsistentes, sugiriendo que el decisor



debe reconsiderar y modificar los valores de la matriz de comparaciones pareadas. Se considera que una relación de consistencia de 0,1 o menos, lo refleja un nivel razonable de consistencia en dichas comparaciones (CENEFRED, 2014).

$$IC = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

Figura 18: Ecuación para el cálculo del Índice de Consistencia.

Fuente: CENEPRED (2014).

$$RC = IC / IA$$

Figura 19: Ecuación para el cálculo de la Relación de Consistencia.

Fuente: CENEPRED (2014).

Cuadro 07: Los valores de Índice Aleatorio y número de variables usadas en el análisis.

| n°   | 3     | 4     | 5            | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
|------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (IA) | 0.525 | 0.882 | <b>1.115</b> | 1.252 | 1.341 | 1.404 | 1.452 | 1.484 | 1.513 |

Fuente: CENEFRED (2014).

Para matrices de tres parámetros, la RC debe ser inferior a 0.04; para matrices de cuatro parámetros, debe ser menor a 0.08; y para matrices con más de cuatro parámetros, debe ser inferior a 0.10.

$RC \leq 0.1$ : consistencia razonable

$RC > 0.1$ : inconsistencia

Dónde:

RC : Razón de Consistencia.

IC : Índice de consistencia.

IA : Índice aleatorio.

$\lambda_{\max}$  : Autovalor máximo.

n : Dimensión de la matriz de decisión.

### **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS**

**Peligro Geológico:** Fenómeno geológico que ocasionan lesiones o impactos negativos, al igual que daños materiales, infraestructuras y ambientales (INGEMMET, 2023).

**Vulnerabilidad:** El grado de probabilidad de pérdida de un determinado elemento o grupo de elementos dentro del área afectada por el deslizamiento, se expresa en una escala de 0 (no pérdida) a 1 (pérdida total) (Suárez, 2009).

**Susceptibilidad:** Expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno; además de indicar que tan favorable o desfavorable son las condiciones de este para que suceda un deslizamiento (Suárez, 2009).

**Depósito cuaternario:** Acumulación de materiales sólidos y semisólidos (depósito aluvial, depósito fluvial, depósito glaciar, etc.) durante el Sistema Cuaternario dando origen a las Series del Pleistoceno y Holoceno con un tiempo de formación de 1.8 millones de años aproximadamente.

**Geomorfología:** esta ciencia se enfoca en examinar las características del relieve y los mecanismos naturales que lo crean, alteran o eliminan, tanto en tiempos antiguos como en la actualidad, (Summerfield, 1991),

**Precipitación:** Hidrometeoro que se originan en las nubes y descienden hacia la superficie terrestre.

**Escorrentamiento:** Componente del ciclo hidrológico y la circulación del agua es sobre o bajo la superficie terrestre, llegando a una corriente hasta el final de una cuenca (Villón, 2002).

**Pendiente:** Es el declive del terreno en relación con la horizontal formando un ángulo, donde, a mayor ángulo presenta erosión intensa debido al agua y viento influyendo en la inestabilidad del terreno sumado a la gravedad, (Blanco, 2013).

Sismicidad: Vibraciones generadas por la liberación de energía, por lo que puede ocasionar inestabilidad del terreno, debilitando la cohesión del suelo y provocando deslizamientos o desprendimiento de rocas entre otros eventos.

Saturación: Cantidad relativa de fluidos integrada en los vacíos de roca o suelo, se expresa la fracción del volumen de vacíos y el volumen de fluidos, (INGEMMET, 2023).

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE EVALUACIÓN**

#### **3.1.1. Ubicación Geográfica**

El área de evaluación está ubicada al NE de la ciudad de Cajamarca; a 20 Km de la ciudad de Cajamarca y a 12 Km de la ciudad de Los Baños Del Inca, delimitada por los vértices geográficos obtenidos en el sistema UTM (Universal Transversal Mercator) con Datum WGS-84 (Sistema de Coordenadas geográficas Mundial), ver plano de ubicación en el Anexo 1.

Cuadro 08: Delimitación del área de evaluación.

| <b>Vértice</b> | <b>Norte</b> | <b>Este</b> |
|----------------|--------------|-------------|
| <b>1</b>       | 9215660      | 786290      |
| <b>2</b>       | 9214460      | 786290      |
| <b>3</b>       | 9214460      | 785150      |
| <b>4</b>       | 9215660      | 785150      |

#### **3.1.2. Ubicación Política**

El área de evaluación, políticamente se localiza en:

Cuadro 09: Localización política del área.

|                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| <b>País</b>         | Perú               |
| <b>Departamento</b> | Cajamarca          |
| <b>Provincia</b>    | Cajamarca          |
| <b>Distrito</b>     | Los Baños Del Inca |
| <b>Caserío</b>      | Carahuanga I       |

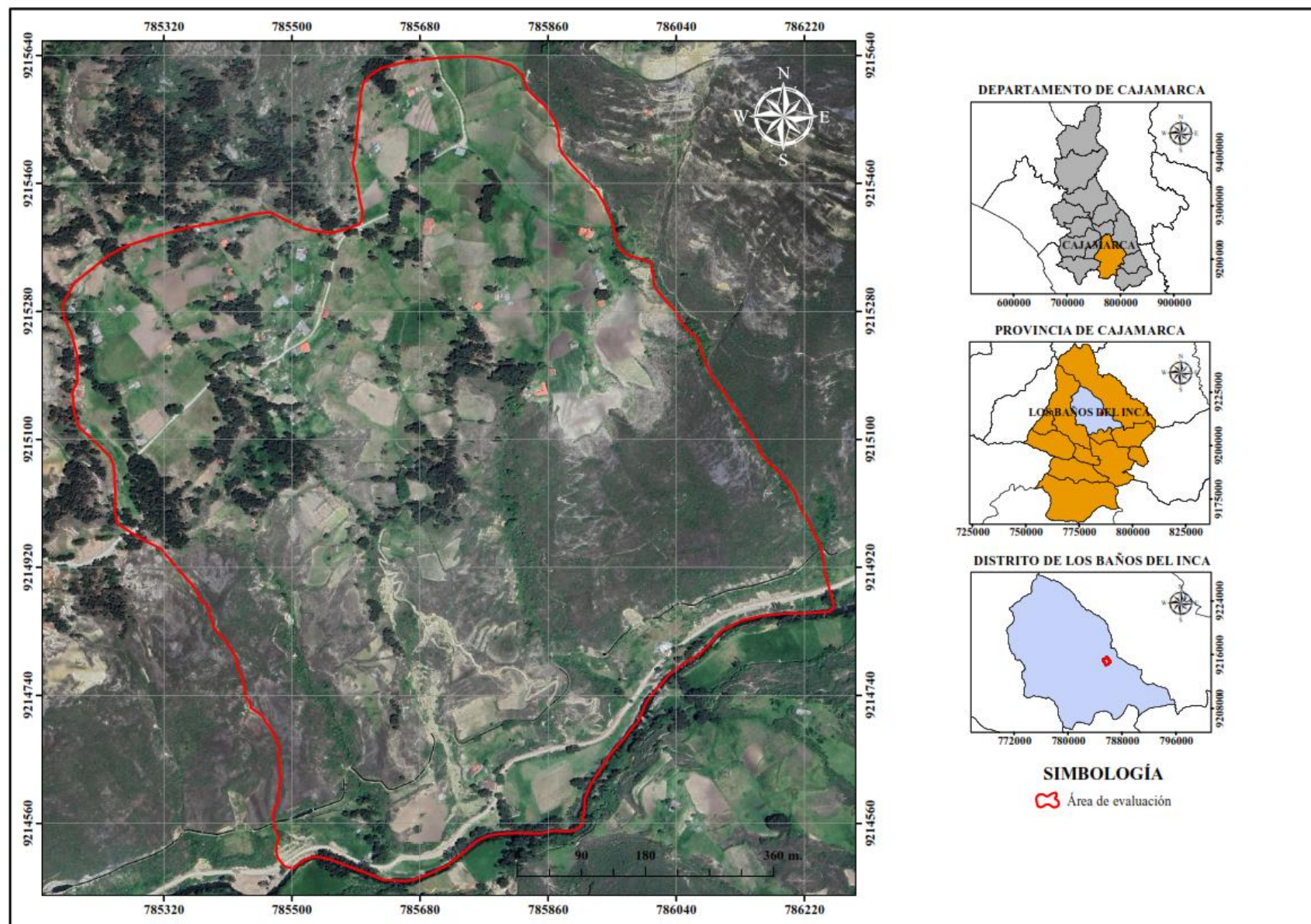


Figura 20: Plano de ubicación del área de evaluación.

### 3.1.3. Accesibilidad

El acceso al área de evaluación tiene dos vías, dividido en 2 trayectorias, siendo esta vía asfaltada y vía afirmada. Desde la Plaza de Armas de Los Baños Del Inca hasta el Centro Poblado de Otuzco (representada por la línea color negro) y desde la Plaza de Armas de Cajamarca hasta el Centro Poblado mencionado (representada por la línea color rojo) ambas siendo vías asfaltadas; desde el mencionado Centro Poblado hasta el Caserío Carahuanga I continua una via afirmada, teniendo dos accesos una por la parte alta y la segunda por la parte baja del Caserío.

Cuadro 10: Accesibilidad al área de evaluación.

| <b>Trayectoria</b>          | <b>Distancia<br/>(Km)</b> | <b>Tiempo<br/>(min)</b> | <b>Tipo de<br/>vía</b> |
|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|
| Cajamarca – Otuzco          | 12                        | 20                      | Asfaltada              |
| Los Baños Del Inca – Otuzco | 8                         | 15                      | Asfaltada              |
| Otuzco – Carahuanga I       | 4                         | 20                      | Afirmada               |





Figura 21: Accesibilidad al área de evaluación, vista en una imagen satelital.

3.1.4.   Clima

El caserío de Carahuanga I se ubica entre los 2800 y 3100 m.s.n.m. los meses con lluvias intensas son de diciembre a febrero, las lluvias en marzo y abril son regulares, el resto de meses tiene un clima seco, templado, soleado en el día y un frio considerable en las noches, la temperatura generalmente varía de 2 °C a 14 °C y rara vez se baja a valores negativos o sube a más de 20 °C (Weather Spark 2024).

Cuadro 11: Promedio de datos climatológicos de Cajamarca.

|                    | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Setiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|--------------------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|-----------|---------|-----------|-----------|
| Precipitación (mm) | 8.5   | 6.7     | 5.9   | 4.5   | 1.8  | 0.2   | 0.1   | 0.3    | 0.6       | 5.4     | 2.1       | 6.1       |
| Humedad (%)        | 81.8  | 80.9    | 82.5  | 82.9  | 81.1 | 78.3  | 75.8  | 75.3   | 75.6      | 80.4    | 81.1      | 84.1      |
| Temperatura (°C)   | 13.6  | 14.9    | 13.5  | 13.3  | 13.8 | 11.8  | 12.0  | 12.5   | 14.4      | 14.0    | 14.0      | 15.2      |

Fuente: SENAMHI (2024)

3.1.5.   Vegetación

La vegetación en el área se caracteriza por la presencia de eucalipto, ciprés y alisos, pero en su mayoría de la ladera está cubierta por arbustos. Sin embargo, los terrenos destinados a cultivos son pocos, ubicados en la planicie y lomadas de la zona, predominando el maíz, papa, cebada y trigo.





Foto 01: Vegetación de la zona con arbustos y eucaliptos, orientación de foto de E – W.  
Coordenadas UTM: N: 9215210 – E: 785494 – C: 3083 m.s.n.m.

## **3.2. PROCEDIMIENTO**

### **3.2.1. Tipo, Diseño y Método de Investigación**

Para el desarrollo de la investigación se ha considerado a (Hernández, 2016) definiendo a la investigación como un conjunto de procesos sistemáticos y empíricos que se aplica al estudio de un fenómeno.

#### **3.2.1.1. Tipo de Investigación**

No experimental, porque se realizará la obtención de datos a través de la observación directa del problema en el área de evaluación.

#### **3.2.1.2. Diseño de Investigación**

Transeccional, debido a que la investigación será exploratorio, descriptivo y explicativo.

### 3.2.1.3. Método de Investigación

Deductivo – Inductivo debido al enfoque lógico, perfeccionar las preguntas en la investigación y finalizar a conclusiones específicas o generales.

### 3.2.2. Población de Estudio

Laderas del Caserío Carahuanga I, Distrito de Los Baños del Inca, Cajamarca.

### 3.2.3. Muestra

Puntos de control en las laderas, cerca de las zonas de críticas.

### 3.2.4. Unidad de Análisis

Geomorfometría, geomorfología, geología, precipitación e infiltración.

## 3.3. DEFINICIÓN DE VARIABLES

Se ha considerado seis variables independientes y una variable dependiente.

Cuadro 12: Variables independientes y dependientes.

| <b>VARIABLES<br/>INDEPENDIENTES</b> | <b>VARIABLE<br/>DEPENDIENTE</b>           |
|-------------------------------------|-------------------------------------------|
| Geomorfometría                      | Peligro geológico<br>(movimiento en masa) |
| Geomorfología                       |                                           |
| Geología                            |                                           |
| Precipitación                       |                                           |
| Infiltración                        |                                           |

## 3.4. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica a emplear consta de tres fases, en el desarrollo de la investigación será articulado entre todos los niveles, por ello no se cumplirá el orden descrito.

### **3.4.1. Fase pre – campo**

Con el propósito a obtener información bibliográfica relacionada a la problemática del área (papers, tesis, revistas, cartas geológicas y boletines). Así mismo se elabora un plan de trabajo que permita la distribución del tiempo para las actividades.

### **3.4.2. Fase campo**

Reconocimiento de la zona, interacción y obtención de datos en campo, cartografiado, toma de muestras y fotografías; haciendo uso de tablas, fichas, brújula azimutal, protractor 1/2000, libreta de campo, Lápiz de dureza, colores, cámara fotográfica, GPS navegador y bolsas para muestras.

### **3.4.3. Fase post – campo**

Se pasa por un riguroso filtro, obteniendo una data consistente para luego realizar el procesamiento, análisis e interpretación de datos obtenidos en la fase de campo y la posterior redacción de la tesis.

## **3.5. EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Ácido clorhídrico (HCl): Para la identificación de rocas carbonatadas a través de la efervescencia debido a la reacción química.

Brújula azimutal: Para toma de datos como el azimut del estrato, dip y dip direction de discontinuidades.

Cámara fotográfica Canon (12 Megapíxeles): Para la captura de fotografías del área.

Colores y marcadores: Para el cartografiado geológico y otras anotaciones.

Flexómetro (7.5 m.): Para la medición de espesores de los estratos, algunas partes de deslizamientos y discontinuidades.

GPS navegación (Garmin): Para la toma de coordenadas UTM, determinando la ubicación de los deslizamientos.

Imagen satelital (Google earth): Para la preparación de mapas, apoya a pre – reconocimiento de la zona, identificar tipos materiales y cobertura de vegetación.

Lápiz de dureza 9.5: Para el reconocimiento de la dureza de rocas.

Laptop (ASUS): Para el procesamiento de la data y elaboración de la tesis.

Libreta de campo: Para los apuntes de los datos obtenidos en campo.

Lupa 20X: Para observar y analizar las texturas e identificar los minerales de las muestras.

Martillo geológico (picota): Para determinar la resistencia de la roca y para extracción o fragmentación de muestras en campo.

Plano geológico: Para ubicar en qué tipo de unidades se encuentran los deslizamientos y geoestructuras.

Plano Modelo Digital de Elevaciones (MDE): Para realizar el cartografiado de unidades geomorfométricas.

Protractor (1/2000): Para graficar rumbo y buzamiento de la estratificación de las unidades y relacionar el terreno con el plano.

Software ArcGIS v10.8: Para la elaboración de planos temáticos.

Software SAS Planet: Para la obtención de imágenes satelitales en alta resolución.

Wincha de 100 metros: Para la medición de los deslizamientos.

### 3.6. GEOLOGÍA LOCAL

#### 3.6.1. Grupo Pulluicana (Ks-pu)

##### 3.6.1.1. Formación Yumagual (Ks-yu)

Esta Formación presenta una composición de forma intercalada de calizas de grano fino, margas y lutitas, con colores que van del gris al marrón claro. Aflora en dos partes, la primera en el escarpe del deslizamiento Dz-09, así mismo, en el corte de carretera, ubicada en la parte inferior del área de evaluación. La meteorización ha afectado fuertemente a las rocas de esta unidad, está cubierto por los depósitos Cuaternarios coluviales y en las zonas más bajas se observan depósitos coluviales, esta formación abarca un 70% del total del área de evaluación, de igual manera está cubierto por vegetación y arbustos.

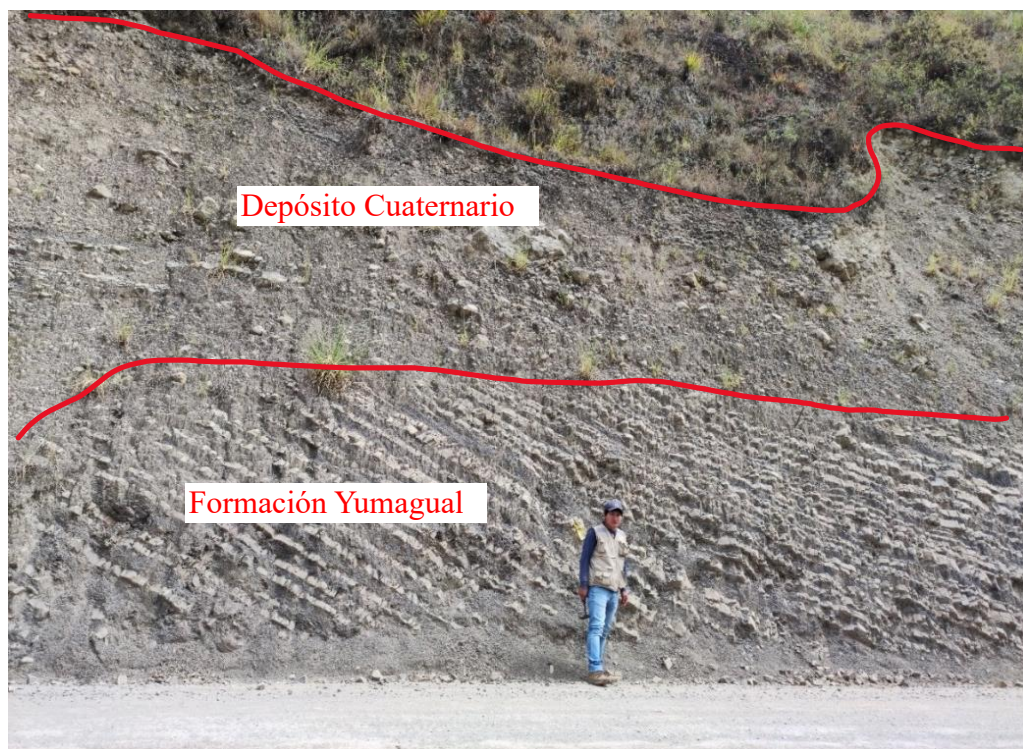


Foto 02: Intercalación de calizas y lutitas de la Formación Yumagual en corte de carretera y cubierta por depósito Cuaternario, orientación de foto de SW – NE.

Coordenadas UTM: N: 9214861 – E: 786170 – C: 2838 m.s.n.m.



### 3.6.2. Grupo Quilquiñan – Mujarrum

El afloramiento se extiende por el NE del área de evaluación, este Grupo está compuesto por calizas nodulares macizas con intercalación de lutitas de color pardo amarillentas que contienen una variedad de fósiles, la gran parte de esta formación está cubierta por depósitos Cuaternarios coluviales y vegetación, en las quebradas se ha podido observar afloramientos de este Grupo.



Foto 03: Afloramiento de calizas nodulares de color grises con intercalación de lutitas y limolitas del Grupo Quilquiñan – Mujarrum, orientación de foto de NW – SE.

Coordenadas UTM: N: 9215126 – E: 785804 – C: 3040 m.s.n.m.

### 3.6.3. Volcánico Huambos (Nm-sj/1)

Aflora al NW del área de evaluación, este afloramiento está compuesto tobas, por flujo piroclásticos de pómez y cenizas de composición riolítica, con colores que varían de blanquecinas a gris claro; se considera que la desintegración de esta unidad, resultado de la erosión forman parte de los depósitos cuaternarios.



Foto 04: Afloramiento del Volcánico Huambos, orientación de foto de SW – NE.  
Coordenadas UTM: N: 9215199 – E: 785230 – C: 3120 m.s.n.m.

#### **3.6.4. Depósitos Cuaternarios**

Formaciones geológicas compuestas por arena, gravas, arcilla, limos y sedimentos orgánicos iniciando hace 2.58 millones de años continuando hasta la actualidad.

##### **3.6.4.1. Depósito Coluvial (Qh-co)**

Formados por sedimentos de composición uniforme, estos depósitos se encuentran en laderas y están cubiertos por vegetación. Están compuestos por gravas angulosas que se sostienen en una matriz de compactación media. En las laderas de la zona de evaluación se encuentran fragmentos de roca de diversas dimensiones, resultado de la meteorización, alteración y transporte de las rocas, además, está compuesta por arcillas, gravas y bloques angulosos que han sido transportados por gravedad.





Foto 05: Depósitos coluviales con contenido de bloques de diferentes dimensiones, orientación de foto de NW – SE.

Coordenadas UTM: N: 9214906 – E: 785628 – C: 2962 m.s.n.m.

#### 3.6.4.2. Depósito Aluvial (Qh-al)

Los depósitos ubicados a lo largo de los márgenes del Río Chonta están formados por materiales que han experimentado poco transporte y se han acumulado debido a las precipitaciones y la gravedad. Estos depósitos consisten en gravas subredondeadas dentro de una matriz arenosa y arcillosa, con clastos de tamaño heterogéneo y poco consolidados.



Foto 06: Los depósitos aluviales son zonas de cultivo, orientación de foto de S – N.

Coordenadas UTM: N: 9214676 – E: 785957 – C: 2831 m.s.n.m.



### 3.6.4.3. Depósito Fluvial (Qh-fl)

Los materiales resultantes de la actividad fluvial están compuestos por bloques, gravas, arenas, limos y arcillas, que han sido transportados mecánicamente por la corriente del Río Chonta, estos materiales se depositan de manera subhorizontal y sus clastos de origen sedimentario y volcánico, presentan formas redondeadas a sub-redondeadas, en algunos puntos del río se observa que ha habido actividad minera no metálica, por lo que se considera que en mencionados puntos no son depósitos fluviales naturales.



Foto 07: Depósitos fluviales del Río Chonta con bloques de hasta 150 cm. de longitud por 105 cm. de ancho, orientación de foto de NW – SE.

Coordenadas UTM: N: 9214721 – E: 785988 – C: 2833 m.s.n.m.

## 3.7. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

### 3.7.1. Diaclasas

Los afloramientos rocosos de la Fm. Yumagual y del Grupo Quilquiñán – Mujarrum muestran diaclasamientos, formados por los esfuerzos tectónicos, esta geoestructura se observan en algunas partes de las laderas, compuestas litológicamente por calizas con rellenos de arcillas.



Foto 08: Diaclasas de 1.5 cm. en rocas volcánicas, orientación de foto de SW – NE.

Coordenadas UTM: N: 9215200 – E: 785140 – C: 3146 m.s.n.m.

### 3.7.2. Pliegue

En el área de investigación de evidencia un plegamiento en rocas calizas concerniente al Grupo Pulluycana, este pliegue aflora en el corte de carretera, en la parte inferior de las laderas del Caserío.



Foto 09: Plegamiento en la Formación Yumagual, orientación de foto de S – N.

Coordenadas UTM: N: 9214700 – E: 785947 – C: 2831 m.s.n.m.



### **3.8. GEOMORFOMETRÍA**

#### **3.8.1. Unidades Geomorfométricas (UG)**

Se localizan sobre depósitos cuaternarios y rocas calizas, margas y lutitas a diversas elevaciones altitudinales. La clasificación de estas unidades se identificó en función del grado de pendiente, mediante la clasificación de Rodríguez (2016), el cual, el intervalo de la pendiente se ha modificado.

##### **3.8.1.1. Planicie (0° - 8°)**

Conforma el 15% del área de evaluación, estas áreas están formadas por superficies homogéneas y ligeramente onduladas, cubiertas de vegetación y poca erosión, están compuestas principalmente por depósitos aluviales.



Foto 10: Planicie ubicada en la parte alta del Caserío Carahuanga I esta área es usada para cultivos, orientación de foto de NW – SE.

Coordenadas UTM: N: 9215334 – E: 785756 – C: 3089 m.s.n.m.

### 3.8.1.2. Lomada (9° - 20°)

Conforma el 25% del área de evaluación, Las lomadas son elevaciones del terreno con pendientes suaves que varían entre 9° y 20°. Estas formaciones se observan en toda la zona de estudio. Litológicamente, están presentes en las Formaciones Cretácicas y en depósitos cuaternarios.



Foto 11: Lomada con baja pendiente usada para cultivo; orientación de foto de N – S.

Coordenadas UTM: N: 9214991 – E: 785552 – C: 3006 m.s.n.m.

### 3.8.1.3. Ladera (21° - 50°)

Conforma el 50% del área de evaluación, Las lomadas abarcan el 58.381 % de la zona de estudio y están formadas por superficies relativamente inclinadas. Litológicamente, consisten en rocas calcáreas cubiertas por depósitos coluviales y suelos eluviales resultantes de la meteorización.





Foto 12: Ladera con pendiente de 40°, orientación de foto de N – S.

Coordenadas UTM: N: 925055 – E: 785905 – C: 3016 m.s.n.m.

#### 3.8.1.4. Escarpa (51° - 90°)

Conforma el 10% del área de evaluación, Esta unidad geomorfométrica, con pendientes que oscilan entre 51° y 90°, presenta fuertes desniveles que generan mayor inestabilidad. Se encuentra en la margen derecha e izquierda del distrito de La Encañada, aunque es menos común. Está compuesta por Formaciones Cretácicas y depósitos cuaternarios



Foto 13: Escarpas de 65° resultado de una erosión, orientación de foto de NW – SE.

Coordenadas UTM: N: 9214841 – E: 785746 – C: 2911 m.s.n.m.

Cuadro 13: Clasificación de Unidades Geomorfométricas y su asociación a eventos.

| GEOMOFOMETRÍA           |             | LITOLOGÍA                                                   | ORIGEN                                  | EDAD DE LA LITOLOGÍA    |                     |                                     |
|-------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| Unidades Morfogenéticas | Pendiente   | Asociada a su composición                                   | Asociado al evento o proceso geológico  | Periodo                 | Época               | Edad                                |
| Planicie                | (0° - 8°)   | Depósito Fluvial y Aluvial                                  | Acumulación                             | Cuaternario             | Holoceno            | Versiliano                          |
| Lomada                  | (9° - 20°)  | Depósito Aluvial, Coluvio-aluvial.                          | Acumulación y meteorización             | Cuaternario             | Holoceno            | Versiliano                          |
| Ladera                  | (21° - 50°) | Depósito Coluvial, Fm. Yumagual y Grupo Quilquiñan-Mujarrum | Meteorización, erosión basamento rocoso | Cuaternario y Cretácico | Holoceno y Superior | Versiliano, Turoniano y Cenomaniano |
| Escarpa                 | (51° - 90°) | Volcanico Huambos, Fm. Yumagual                             | Erosión y basamento rocoso              | Neógeno y Cretácico     | Mioceno y Superior  | Langiniano, Turoniano y Cenomaniano |

Fuente: Rodríguez (2016)

### 3.9 GEOMORFOLOGÍA

#### 3.9.1. Ambiente Antrópico

Resultado de la intervención humana, en la zona de evaluación se evidencian trabajos de agricultura y viviendas habitadas por lo que altera significativamente el paisaje natural, por ello se considera un ambiente de tipo antrópico.



Foto 14: Zona de actividad antrópica, áreas usadas para el cultivo y/o agricultura, orientación de foto de NW – SE.

Coordenadas UTM: N: 9214893 – E: 785785 – C: 3058 m.s.n.m.



### **3.9.2. Ambiente Denudacional**

Dominado por procesos de meteorización y erosión, especialmente en zonas montañosas, en el área de evaluación se evidencian deslizamientos y otros movimientos en masa.



Foto 15: Movimiento en masa el cual se ha generado un proceso denudacional, orientación de foto de NE – SW.

Coordenadas UTM: N: 9214841 – E: 785746 – C: 2911 m.s.n.m.

### **3.9.3. Ambiente Estructural**

Se refiere a aquellos paisajes cuyo modelado está fuertemente condicionado por las estructuras geológicas internas, como fallas, pliegues, diaclasas, estratificación y fracturas, en las laderas del área de evaluación aflora gran parte de la Formación Yumagual, con una potencia de superan los 80 m.

#### **3.9.4. Ambiente Fluvial**

Formado por la acción de ríos y corrientes de agua, esta acción genera geoformas como terrazas aluviales, abanicos de piedemonte y conos torrenciales, en la zona se evidencian varias quebradas que se activan en temporadas de lluvia, pero existe un río que fluye por la zona inferior del Caserío este Río Chonta se considera un río activo porque jamás se ha quedado sin caudal.



Foto 16: Ambiente Fluvial con geoformas tipo terrazas, orientación de foto de NW – SE.

Coordenadas UTM: N: 9214841 – E: 785746 – C: 2911 m.s.n.m.

#### **3.9.5. Ambiente Volcánico**

Denominado por la actividad volcánica, es decir, por la salida de magma desde el interior de la Tierra hacia la superficie, este tipo de ambiente se observa en las partes más altas del Caserío con una dirección de flujo hacia el SE.





Foto 17: Escarpa en un Ambiente Volcánico, orientación de foto de NW – SE.

Coordenadas UTM: N: 9214841 – E: 785746 – C: 2911 m.s.n.m.

Cuadro 14: Unidades Geomorfométricas asociadas a las Unidades Geomorfogenéticas.

| <b>Unidades Morfométricas</b> |             | <b>Ambientes Morfogenéticos</b>                                  |
|-------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------|
| Planicie                      | (0° - 8°)   | Ambiente fluvial y Ambiente Antrópico                            |
| Lomada                        | (9° - 20°)  | Ambiente Antrópico y Ambiente Denudacional                       |
| Ladera                        | (21° - 50°) | Ambiente Denudacional y Ambiente Estructural                     |
| Escarpa                       | (51° - 90°) | Ambiente Volcánico, Ambiente Estructural y Ambiente Denudacional |

### 3.10. HIDROLOGÍA

La hidrología se considera como un factor fundamental en el análisis de movimientos en masa, porque, el comportamiento que presenta el agua en el terreno influye de manera negativa en la inestabilidad de laderas.

#### 3.10.1. Nivel Freático

Se realizó una calicata sobre el escarpe del deslizamiento D-2 en el mes de julio, siendo este, uno de los meses con más estiaje, la evidencia del nivel freático fue en depósito cuaternario a 0.80 metros de profundidad.



Foto 18: Evidencia del nivel freático en una calicata de 0.80 metros de profundidad y 0.50 metros de ancho, orientación de foto de W – E.

Coordenadas UTM: N: 9215235 – E: 785670 – C: 3068 m.s.n.m.

### **3.10.2. Precipitación**

La precipitación anual en la zona es de 500 mm y 800 mm aproximadamente, con la temporada de lluvias iniciando en septiembre u octubre, alcanzando su punto máximo entre enero y marzo, y disminuyendo entre los meses de abril y mayo. Estas lluvias tienen un impacto significativo en las laderas debido a la escorrentía e infiltración, lo que a su vez afecta la estabilidad del terreno.

Se considera la precipitación como el factor desencadenante para el análisis de movimientos de masas, este factor dependerá mucho de la intensidad y el tiempo para que afecte la estabilidad de las laderas.

Para comprender los efectos de las lluvias sobre los factores condicionantes como, geomorfometría, geología y vegetación; se obtuvo la data de precipitaciones desde el año 1985 al año 2024 de la Estación Meteorológica Augusto Weberbauer – UNC (Universidad Nacional De Cajamarca), se consideró la información de esta Estación porque se ubica muy cerca de la zona de evaluación (Laderas del Caserío Carahuanga I).



Foto 19: Meteorológica Augusto Weberbauer – UNC, orientación de foto de NW – SE.

Coordenadas UTM: N: 9206965 – E: 776864 – C: 2673 m.s.n.m.

La altura media de la zona (Laderas del Caserío Carahuanga I) es de 2 993.15 m.s.n.m. Los datos obtenidos de la Estación Meteorológica Augusto Weberbauer – UNC ha sido de una altitud de 2673 m.s.n.m., por ello, se debe transponer a las laderas del Caserío Carahuanga I, mediante la Ecuación de Oswald (Ortiz 2004).

Para realizar el cálculo de transposición de la estación de origen a la zona, es importante hallar el resultado del Factor de Transposición (Ft) como fase inicial.

Ecuación de Transposición de las precipitaciones:

$$PP = \frac{H}{H1} * PP$$

donde:

PP: Precipitación a la Altitud del Área de Evaluación

PP1: Precipitación a la Altitud de la Estación Augusto Weberbauer.



H: Altitud Media de las laderas del Caserío Carahuanga I.

H1: Altitud de la Estación de Origen (Estación Augusto Weberbauer).

Cuadro 15: Transposición de precipitación de la Estación Augusto Weberbauer – Laderas del Caserío Carahuanga I.

| <b>Ecuación de Oswald</b> |                               |                    |              |               |
|---------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------|---------------|
| <b>Lugar</b>              | <b>Variable</b>               | <b>Abreviatura</b> | <b>Valor</b> | <b>Unidad</b> |
| Caserío Carahuanga I      | Altitud media                 | H                  | 2993.15      | msnm          |
| Estación Weberbauer       | Altitud de Estación           | H1                 | 2673         | msnm          |
| Factor de Transposición   | Ft                            | $Ft = H/H1$        | <b>1.12</b>  |               |
| Estación Weberbauer       | Precipitación a la Altitud H1 | PP1                | 24.6*        | mm            |
| Caserío Carahuanga I      | Precipitación a la Altitud H  | PP                 | <b>27.5</b>  | mm            |

*\*Dato de precipitación correspondiente al mes de enero del año 1985*

Se realizó el cálculo de transposición para el primer dato de precipitación del mes de enero del año 1985, este cálculo se realizó para todos los datos que se usará en esta investigación, el cual, son de los últimos 40 años, posteriormente se realizará los histogramas para identificar los patrones estacionales.

Cuadro 16: Precipitación mensual durante el periodo 1985 – 2024.

| AÑO/MES  | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SETEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE | PP Máx./Mes |
|----------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|----------|---------|-----------|-----------|-------------|
| 1985     | 24.6  | 42.4    | 37.2  | 41.9  | 53.0 | 0.4   | 4.8   | 18.3   | 37.3     | 50.0    | 23.9      | 40.3      | 53.0        |
| 1986     | 84.4  | 47.8    | 96.8  | 120.2 | 16.2 | 0.6   | 1.2   | 14.6   | 1.3      | 43.6    | 66.2      | 51.8      | 120.2       |
| 1987     | 98.2  | 95.0    | 39.2  | 52.6  | 9.1  | 4.0   | 10.8  | 12.3   | 39.5     | 37.2    | 74.3      | 61.5      | 98.2        |
| 1988     | 109.7 | 105.5   | 44.8  | 95.6  | 10.6 | 5.4   | 0.0   | 0.4    | 32.9     | 69.4    | 65.2      | 63.4      | 109.7       |
| 1989     | 87.0  | 158.8   | 113.5 | 85.4  | 18.8 | 16.7  | 3.2   | 5.9    | 53.5     | 106.6   | 47.1      | 2.7       | 158.8       |
| 1990     | 101.8 | 68.5    | 58.3  | 27.4  | 39.5 | 24.6  | 0.8   | 7.1    | 20.1     | 87.6    | 99.1      | 72.3      | 101.8       |
| 1991     | 43.8  | 90.0    | 133.7 | 55.2  | 17.9 | 0.7   | 0.4   | 0.3    | 10.2     | 28.2    | 55.1      | 71.9      | 133.7       |
| 1992     | 52.6  | 31.8    | 66.6  | 46.5  | 18.9 | 21.2  | 4.6   | 10.0   | 40.8     | 64.0    | 32.0      | 34.1      | 66.6        |
| 1993     | 61.0  | 106.2   | 245.0 | 102.9 | 30.2 | 1.9   | 3.3   | 2.9    | 51.4     | 106.3   | 71.4      | 84.1      | 245.0       |
| 1994     | 116.9 | 103.1   | 170.2 | 144.9 | 35.3 | 3.3   | 0.0   | 0.2    | 11.9     | 27.2    | 89.8      | 122.6     | 170.2       |
| 1995     | 43.8  | 108.3   | 75.7  | 49.7  | 20.6 | 1.7   | 13.2  | 10.8   | 11.5     | 51.8    | 50.5      | 76.4      | 108.3       |
| 1996     | 65.2  | 124.0   | 120.1 | 50.4  | 7.7  | 0.8   | 0.5   | 15.8   | 13.9     | 76.2    | 68.8      | 34.1      | 124.0       |
| 1997     | 64.8  | 152.9   | 26.5  | 40.4  | 17.0 | 15.4  | 0.2   | 0.0    | 27.4     | 50.8    | 119.9     | 129.4     | 152.9       |
| 1998     | 103.0 | 116.5   | 257.0 | 83.9  | 19.6 | 4.8   | 1.3   | 4.7    | 17.8     | 79.9    | 29.1      | 47.9      | 257.0       |
| 1999     | 94.8  | 242.7   | 77.5  | 65.0  | 53.7 | 22.8  | 22.1  | 1.2    | 81.4     | 21.7    | 77.0      | 68.9      | 242.7       |
| 2000     | 46.0  | 162.3   | 126.3 | 77.3  | 40.5 | 15.6  | 2.1   | 13.4   | 56.6     | 9.9     | 44.5      | 122.3     | 162.3       |
| 2001     | 191.2 | 100.8   | 230.2 | 57.2  | 48.1 | 2.3   | 13.9  | 0.0    | 34.4     | 46.2    | 93.4      | 90.9      | 230.2       |
| 2002     | 27.0  | 60.0    | 133.1 | 77.2  | 23.0 | 8.8   | 10.7  | 3.4    | 14.6     | 90.3    | 99.9      | 86.1      | 133.1       |
| 2003     | 51.1  | 61.4    | 103.5 | 42.1  | 30.7 | 22.3  | 1.8   | 10.6   | 14.8     | 46.0    | 63.8      | 80.7      | 103.5       |
| 2004     | 36.1  | 102.0   | 56.9  | 44.5  | 42.4 | 2.1   | 13.8  | 29.4   | 19.0     | 63.4    | 92.6      | 123.7     | 123.7       |
| 2005     | 84.9  | 53.7    | 136.6 | 54.0  | 7.2  | 4.5   | 0.6   | 3.5    | 31.2     | 92.3    | 30.0      | 87.8      | 136.6       |
| 2006     | 83.2  | 101.6   | 199.3 | 77.6  | 7.7  | 23.9  | 1.8   | 6.1    | 33.6     | 12.7    | 60.4      | 81.7      | 199.3       |
| 2007     | 95.4  | 17.5    | 182.4 | 111.5 | 29.0 | 1.4   | 10.7  | 6.4    | 11.6     | 118.9   | 97.6      | 68.8      | 182.4       |
| 2008     | 80.2  | 133.3   | 118.4 | 99.1  | 22.7 | 15.4  | 2.3   | 11.7   | 34.7     | 96.5    | 72.2      | S/D       | 133.3       |
| 2009     | 180.7 | 74.6    | 110.5 | 78.8  | 42.2 | 17.9  | 12.3  | 3.9    | 11.8     | 78.5    | 109.4     | 74.2      | 180.7       |
| 2010     | 49.5  | 112.9   | 154.0 | 88.4  | 31.6 | 8.6   | 2.6   | 1.3    | 28.9     | 43.4    | 52.5      | 70.8      | 154.0       |
| 2011     | 76.6  | 73.3    | 125.2 | 102.0 | 16.7 | 0.4   | 8.3   | 0.0    | 47.1     | 31.5    | 24.4      | 109.7     | 125.2       |
| 2012     | 154.2 | 134.7   | 126.4 | 72.8  | 51.5 | 0.8   | 0.0   | 2.5    | 19.1     | 83.3    | 120.3     | 58.3      | 154.2       |
| 2013     | 61.5  | 98.0    | 213.6 | 73.8  | 62.6 | 7.5   | 5.7   | 8.9    | 3.7      | 110.7   | 17.0      | 51.9      | 213.6       |
| 2014     | 75.7  | 67.3    | 143.2 | 78.8  | 26.9 | 5.0   | 2.0   | 3.9    | 27.7     | 26.5    | 45.7      | 114.9     | 143.2       |
| 2015     | 184.7 | 55.4    | 202.2 | 63.0  | 75.8 | 3.0   | 4.4   | 0.1    | 27.8     | 16.8    | 99.6      | 39.5      | 202.2       |
| 2016     | 82.9  | 85.3    | 121.3 | 56.2  | 7.0  | 1.6   | 2.1   | 1.1    | 25.1     | 60.0    | 16.1      | 63.1      | 121.3       |
| 2017     | 77.5  | 72.3    | 138.9 | 78.6  | 47.2 | 12.0  | 2.3   | 20.9   | 21.2     | 65.3    | 63.2      | 168.1     | 168.1       |
| 2018     | 99.0  | 126.4   | 117.3 | 73.3  | 50.1 | 10.8  | 0.5   | 0.0    | 24.4     | 61.8    | 97.4      | 69.4      | 126.4       |
| 2019     | 46.9  | 107.3   | 172.7 | 78.1  | 37.4 | 9.1   | 11.8  | 0.0    | 7.6      | 121.8   | 60.4      | 162.7     | 172.7       |
| 2020     | 38.2  | 31.2    | S/D   | S/D   | S/D  | S/D   | 27.6  | 0.7    | 10.6     | 33.2    | 58.3      | 140.4     | 140.4       |
| 2021     | 100.8 | 54.3    | 138.6 | 129.5 | 38.2 | 10.5  | 4.5   | 12.3   | 23.7     | 108.8   | 58.3      | 45.7      | 138.6       |
| 2022     | 64.5  | 177.9   | 161.2 | 94.0  | 52.7 | 20.2  | 9.4   | 21.6   | 40.9     | 31.2    | 6.3       | 65.0      | 177.9       |
| 2023     | 87.6  | 119.8   | 122.6 | 68.6  | 49.4 | 0.0   | 3.5   | 3.3    | 3.1      | 106.5   | 87.8      | 173.4     | 173.4       |
| 2024     | 56.6  | 98.1    | 69.1  | 79.1  | 42.1 | 13.1  | 2.8   | 1.0    | 24.5     | 60.7    | 41.8      | 129.6     | 129.6       |
| Promedio | 82.1  | 96.9    | 127.3 | 74.8  | 32.1 | 8.7   | 5.6   | 6.8    | 26.2     | 62.9    | 64.6      | 83.1      |             |
| Mínimo   | 24.6  | 17.5    | 26.5  | 27.4  | 7.0  | 0.0   | 0.0   | 0.0    | 1.3      | 9.9     | 6.3       | 2.7       |             |
| Máximo   | 191.2 | 242.7   | 257.0 | 144.9 | 75.8 | 24.6  | 27.6  | 29.4   | 81.4     | 121.8   | 120.3     | 173.4     |             |

Fuente: Estación Augusto Weberbauer – SENAMHI (2025).

Cuadro 17: Transposición de Precipitación de la Estación Augusto Weberbauer – UNC a la zona de estudio (Laderas del Caserío Carahuanga I) desde el año1985 hasta 2024.

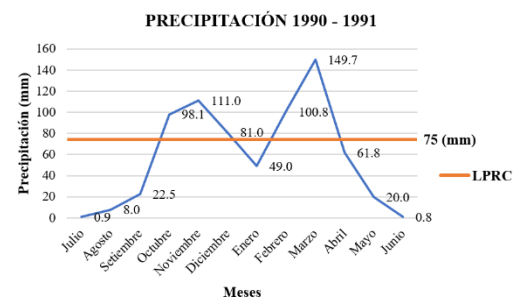
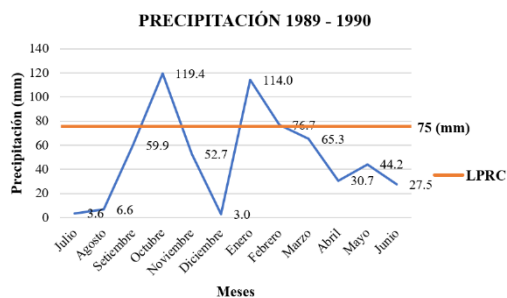
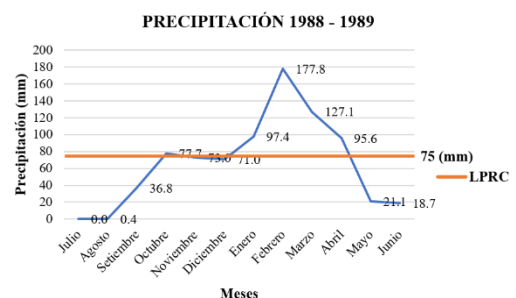
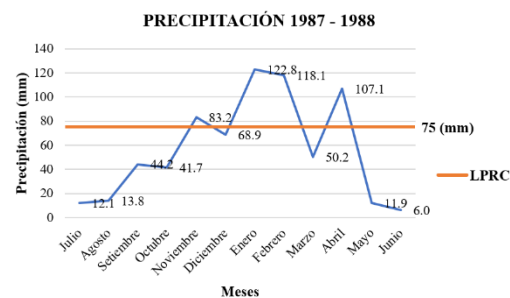
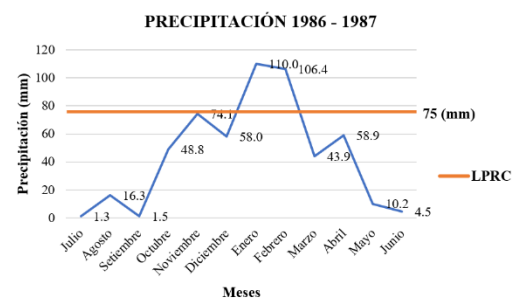
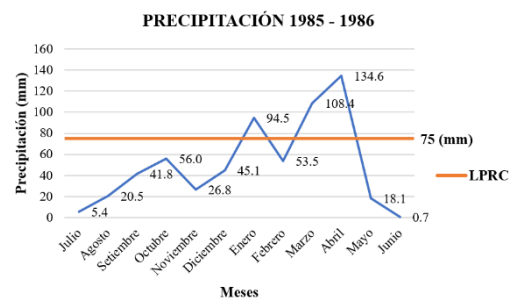
| AÑO/MES  | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SETIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE | PP Máximo |
|----------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|
| 1985     | 24.6  | 42.4    | 37.2  | 41.9  | 53.0 | 0.4   | 4.8   | 18.3   | 37.3      | 50.0    | 23.9      | 40.3      | 53.0      |
| 1986     | 84.4  | 47.8    | 96.8  | 120.2 | 16.2 | 0.6   | 1.2   | 14.6   | 1.3       | 43.6    | 66.2      | 51.8      | 120.2     |
| 1987     | 98.2  | 95.0    | 39.2  | 52.6  | 9.1  | 4.0   | 10.8  | 12.3   | 39.5      | 37.2    | 74.3      | 61.5      | 98.2      |
| 1988     | 109.7 | 105.5   | 44.8  | 95.6  | 10.6 | 5.4   | 0.0   | 0.4    | 32.9      | 69.4    | 65.2      | 63.4      | 109.7     |
| 1989     | 87.0  | 158.8   | 113.5 | 85.4  | 18.8 | 16.7  | 3.2   | 5.9    | 53.5      | 106.6   | 47.1      | 2.7       | 158.8     |
| 1990     | 101.8 | 68.5    | 58.3  | 27.4  | 39.5 | 24.6  | 0.8   | 7.1    | 20.1      | 87.6    | 99.1      | 72.3      | 101.8     |
| 1991     | 43.8  | 90.0    | 133.7 | 55.2  | 17.9 | 0.7   | 0.4   | 0.3    | 10.2      | 28.2    | 55.1      | 71.9      | 133.7     |
| 1992     | 52.6  | 31.8    | 66.6  | 46.5  | 18.9 | 21.2  | 4.6   | 10.0   | 40.8      | 64.0    | 32.0      | 34.1      | 66.6      |
| 1993     | 61.0  | 106.2   | 245.0 | 102.9 | 30.2 | 1.9   | 3.3   | 2.9    | 51.4      | 106.3   | 71.4      | 84.1      | 245.0     |
| 1994     | 116.9 | 103.1   | 170.2 | 144.9 | 35.3 | 3.3   | 0.0   | 0.2    | 11.9      | 27.2    | 89.8      | 122.6     | 170.2     |
| 1995     | 43.8  | 108.3   | 75.7  | 49.7  | 20.6 | 1.7   | 13.2  | 10.8   | 11.5      | 51.8    | 50.5      | 76.4      | 108.3     |
| 1996     | 65.2  | 124.0   | 120.1 | 50.4  | 7.7  | 0.8   | 0.5   | 15.8   | 13.9      | 76.2    | 68.8      | 34.1      | 124.0     |
| 1997     | 64.8  | 152.9   | 26.5  | 40.4  | 17.0 | 15.4  | 0.2   | 0.0    | 27.4      | 50.8    | 119.9     | 129.4     | 152.9     |
| 1998     | 103.0 | 116.5   | 257.0 | 83.9  | 19.6 | 4.8   | 1.3   | 4.7    | 17.8      | 79.9    | 29.1      | 47.9      | 257.0     |
| 1999     | 94.8  | 242.7   | 77.5  | 65.0  | 53.7 | 22.8  | 22.1  | 1.2    | 81.4      | 21.7    | 77.0      | 68.9      | 242.7     |
| 2000     | 46.0  | 162.3   | 126.3 | 77.3  | 40.5 | 15.6  | 2.1   | 13.4   | 56.6      | 9.9     | 44.5      | 122.3     | 162.3     |
| 2001     | 191.2 | 100.8   | 230.2 | 57.2  | 48.1 | 2.3   | 13.9  | 0.0    | 34.4      | 46.2    | 93.4      | 90.9      | 230.2     |
| 2002     | 27.0  | 60.0    | 133.1 | 77.2  | 23.0 | 8.8   | 10.7  | 3.4    | 14.6      | 90.3    | 99.9      | 86.1      | 133.1     |
| 2003     | 51.1  | 61.4    | 103.5 | 42.1  | 30.7 | 22.3  | 1.8   | 10.6   | 14.8      | 46.0    | 63.8      | 80.7      | 103.5     |
| 2004     | 36.1  | 102.0   | 56.9  | 44.5  | 42.4 | 2.1   | 13.8  | 29.4   | 19.0      | 63.4    | 92.6      | 123.7     | 123.7     |
| 2005     | 84.9  | 53.7    | 136.6 | 54.0  | 7.2  | 4.5   | 0.6   | 3.5    | 31.2      | 92.3    | 30.0      | 87.8      | 136.6     |
| 2006     | 83.2  | 101.6   | 199.3 | 77.6  | 7.7  | 23.9  | 1.8   | 6.1    | 33.6      | 12.7    | 60.4      | 81.7      | 199.3     |
| 2007     | 95.4  | 17.5    | 182.4 | 111.5 | 29.0 | 1.4   | 10.7  | 6.4    | 11.6      | 118.9   | 97.6      | 68.8      | 182.4     |
| 2008     | 80.2  | 133.3   | 118.4 | 99.1  | 22.7 | 15.4  | 2.3   | 11.7   | 34.7      | 96.5    | 72.2      | S/D       | 133.3     |
| 2009     | 180.7 | 74.6    | 110.5 | 78.8  | 42.2 | 17.9  | 12.3  | 3.9    | 11.8      | 78.5    | 109.4     | 74.2      | 180.7     |
| 2010     | 49.5  | 112.9   | 154.0 | 88.4  | 31.6 | 8.6   | 2.6   | 1.3    | 28.9      | 43.4    | 52.5      | 70.8      | 154.0     |
| 2011     | 76.6  | 73.3    | 125.2 | 102.0 | 16.7 | 0.4   | 8.3   | 0.0    | 47.1      | 31.5    | 24.4      | 109.7     | 125.2     |
| 2012     | 154.2 | 134.7   | 126.4 | 72.8  | 51.5 | 0.8   | 0.0   | 2.5    | 19.1      | 83.3    | 120.3     | 58.3      | 154.2     |
| 2013     | 61.5  | 98.0    | 213.6 | 73.8  | 62.6 | 7.5   | 5.7   | 8.9    | 3.7       | 110.7   | 17.0      | 51.9      | 213.6     |
| 2014     | 75.7  | 67.3    | 143.2 | 78.8  | 26.9 | 5.0   | 2.0   | 3.9    | 27.7      | 26.5    | 45.7      | 114.9     | 143.2     |
| 2015     | 184.7 | 55.4    | 202.2 | 63.0  | 75.8 | 3.0   | 4.4   | 0.1    | 27.8      | 16.8    | 99.6      | 39.5      | 202.2     |
| 2016     | 82.9  | 85.3    | 121.3 | 56.2  | 7.0  | 1.6   | 2.1   | 1.1    | 25.1      | 60.0    | 16.1      | 63.1      | 121.3     |
| 2017     | 77.5  | 72.3    | 138.9 | 78.6  | 47.2 | 12.0  | 2.3   | 20.9   | 21.2      | 65.3    | 63.2      | 168.1     | 168.1     |
| 2018     | 99.0  | 126.4   | 117.3 | 73.3  | 50.1 | 10.8  | 0.5   | 0.0    | 24.4      | 61.8    | 97.4      | 69.4      | 126.4     |
| 2019     | 46.9  | 107.3   | 172.7 | 78.1  | 37.4 | 9.1   | 11.8  | 0.0    | 7.6       | 121.8   | 60.4      | 162.7     | 172.7     |
| 2020     | 38.2  | 31.2    | S/D   | S/D   | S/D  | S/D   | 27.6  | 0.7    | 10.6      | 33.2    | 58.3      | 140.4     | 140.4     |
| 2021     | 100.8 | 54.3    | 138.6 | 129.5 | 38.2 | 10.5  | 4.5   | 12.3   | 23.7      | 108.8   | 58.3      | 45.7      | 138.6     |
| 2022     | 64.5  | 177.9   | 161.2 | 94.0  | 52.7 | 20.2  | 9.4   | 21.6   | 40.9      | 31.2    | 6.3       | 65.0      | 177.9     |
| 2023     | 87.6  | 119.8   | 122.6 | 68.6  | 49.4 | 0.0   | 3.5   | 3.3    | 3.1       | 106.5   | 87.8      | 173.4     | 173.4     |
| 2024     | 56.6  | 98.1    | 69.1  | 79.1  | 42.1 | 13.1  | 2.8   | 1.0    | 24.5      | 60.7    | 41.8      | 129.6     | 129.6     |
| Promedio | 82.1  | 96.9    | 127.3 | 74.8  | 32.1 | 8.7   | 5.6   | 6.8    | 26.2      | 62.9    | 64.6      | 83.1      |           |
| Mínimo   | 24.6  | 17.5    | 26.5  | 27.4  | 7.0  | 0.0   | 0.0   | 0.0    | 1.3       | 9.9     | 6.3       | 2.7       |           |
| Máximo   | 191.2 | 242.7   | 257.0 | 144.9 | 75.8 | 24.6  | 27.6  | 29.4   | 81.4      | 121.8   | 120.3     | 173.4     |           |

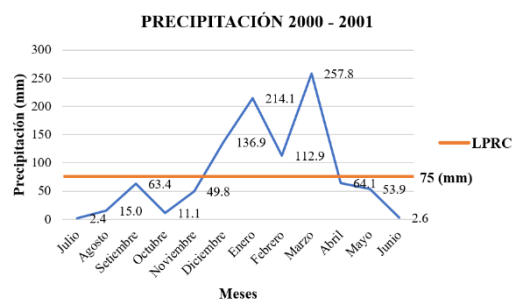
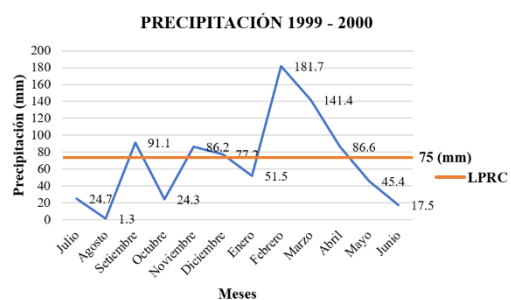
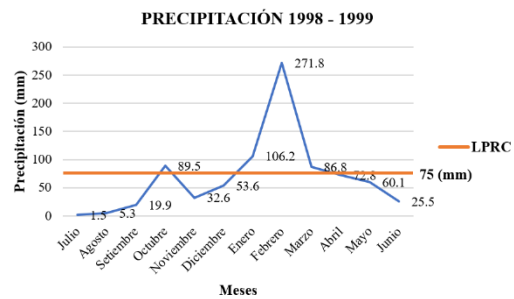
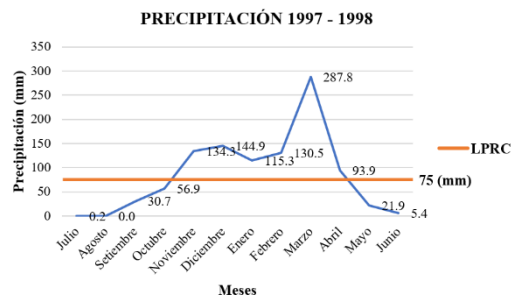
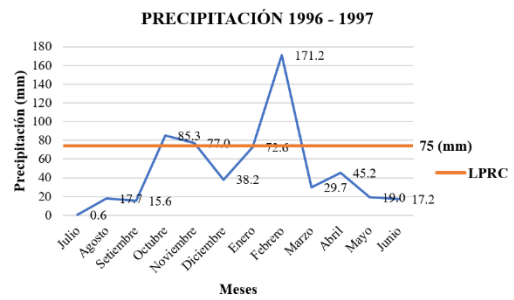
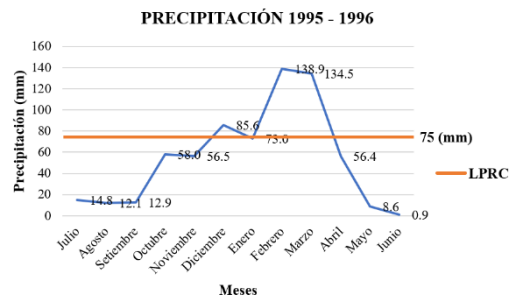
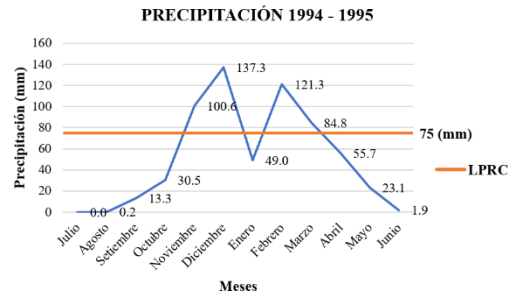
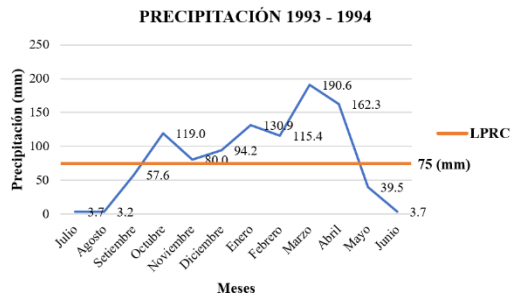
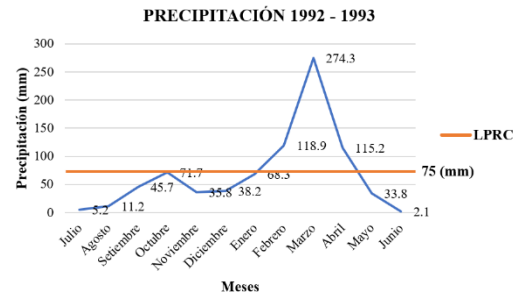
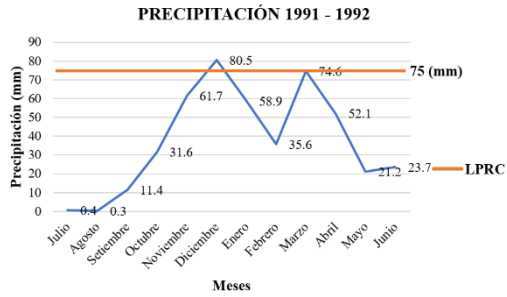
Los datos mensuales de precipitación correspondientes a los últimos 40 años del periodo 1985–2024 se ha representado gráficamente por cada año a través de histogramas en el programa Excel. Para ello, se ordenaron desde julio del año previo hasta junio del siguiente, lo que permite centrar los meses de mayor pluviometría en las gráficas anuales y facilita la identificación de patrones estacionales.

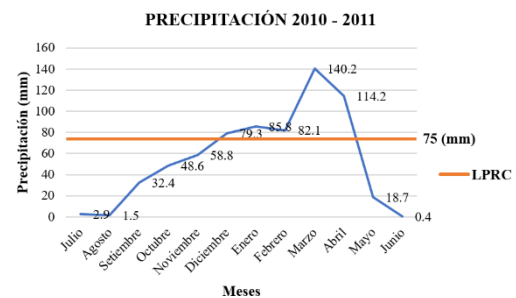
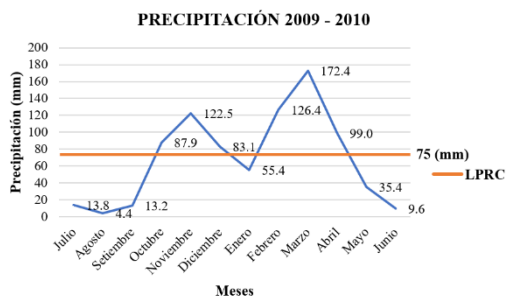
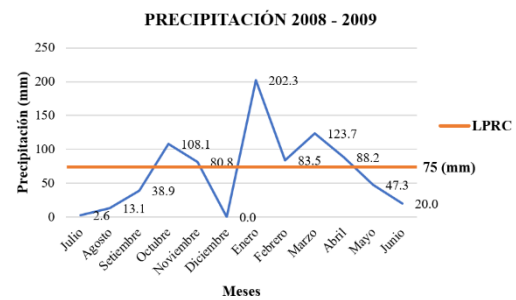
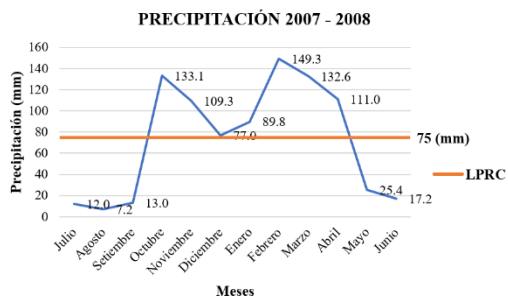
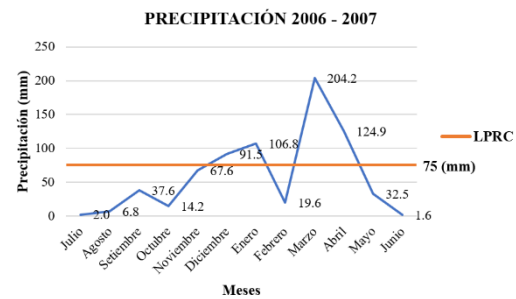
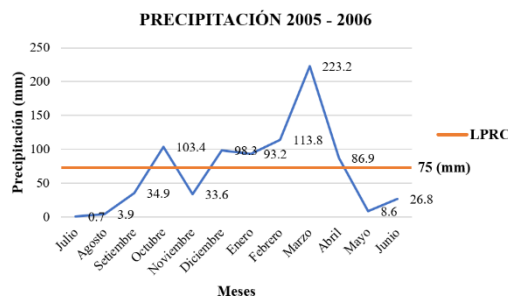
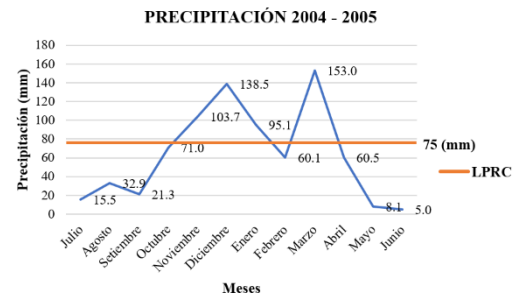
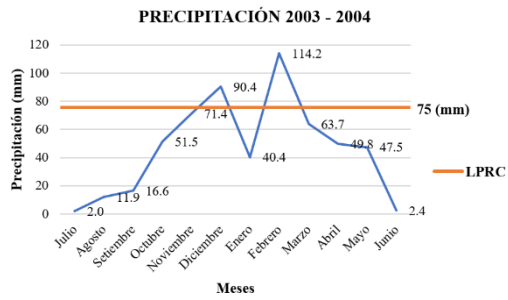
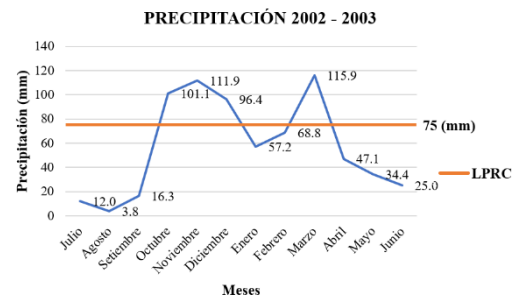
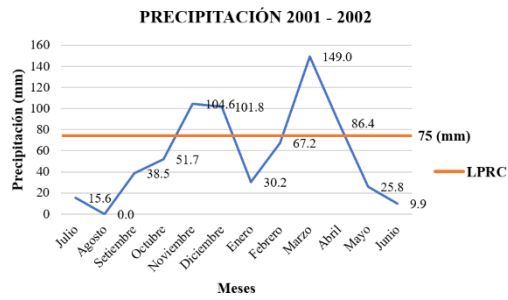


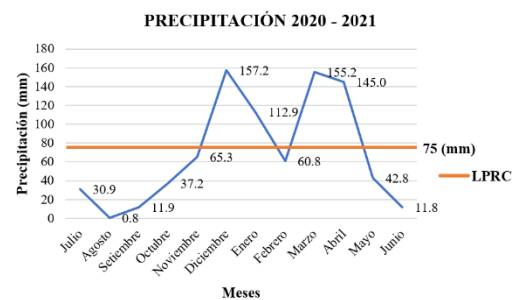
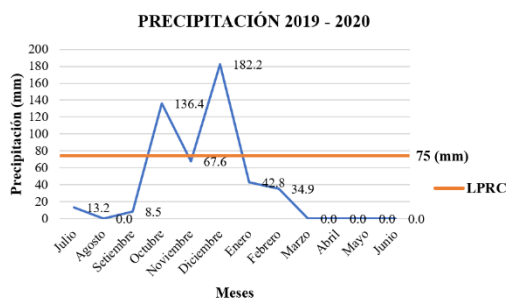
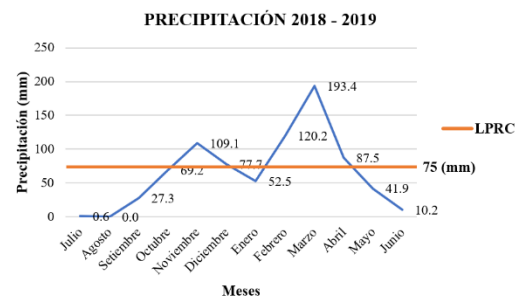
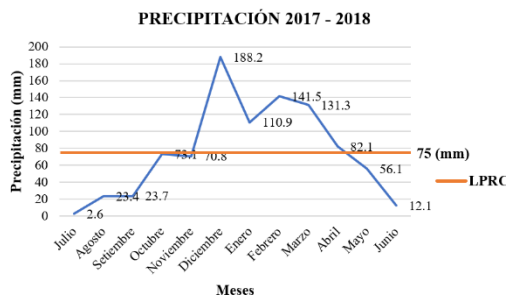
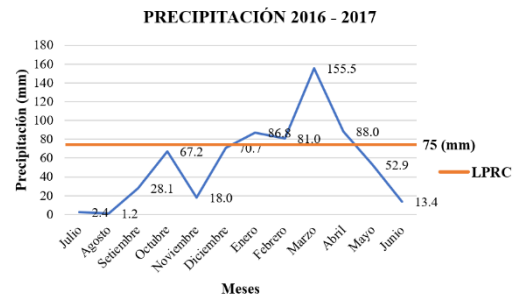
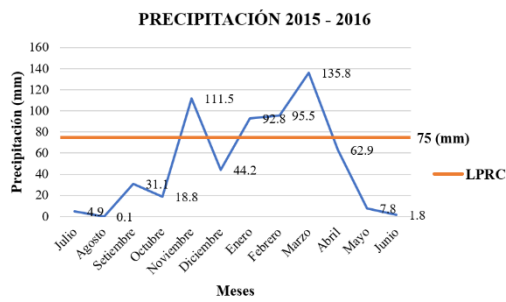
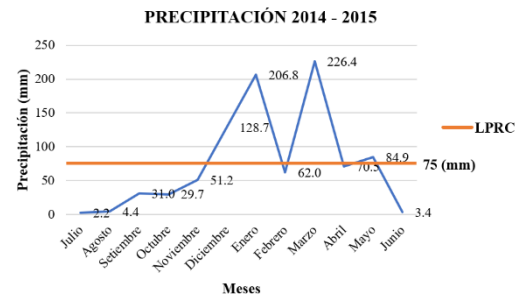
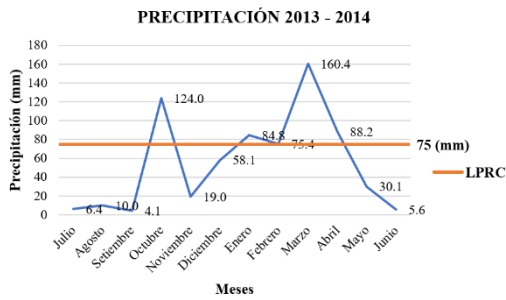
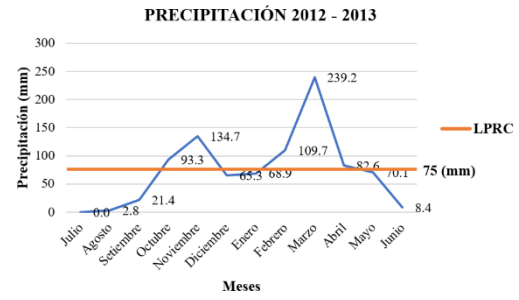
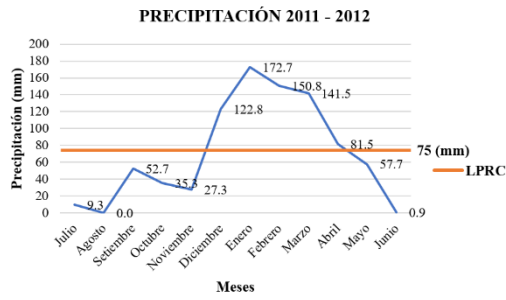
La LPRC sirve como referencia para comparar la precipitación mensual de cada año, permitiendo identificar los meses que superan o quedan por debajo de este umbral.

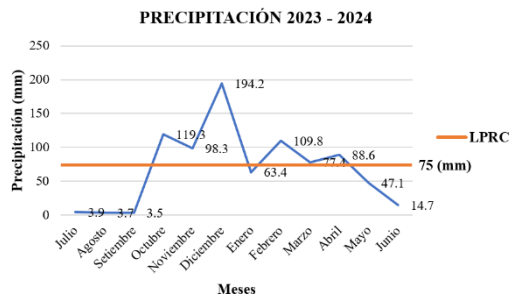
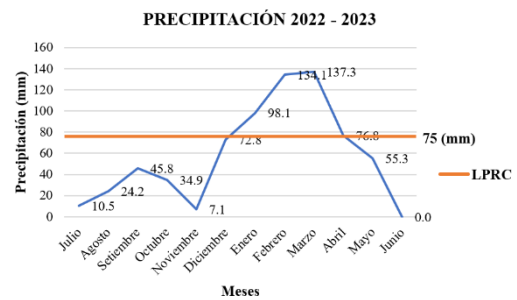
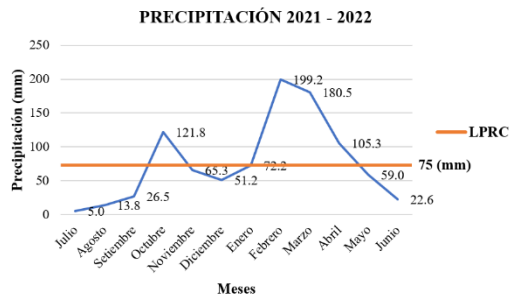
Con el fin de interpretar adecuadamente estas representaciones, se estableció la Línea de Precipitación Referencial Conservadora (LPRC), concebida como un límite superior que ayuda a evaluar el comportamiento de las lluvias. Esta línea se calcula sumando el promedio de precipitaciones anuales (61.86 mm, aproximado a 62 mm) y su desviación estándar (12.52 mm, redondeado a 13 mm), lo que da un total de 75 mm, en los gráficos se utiliza un valor de 75 mm, señalado mediante una línea de color rojo. La curva muestra una tendencia creciente desde setiembre hasta marzo, aunque desde abril a mayo se registran caídas por debajo de la LPRC. En junio, la precipitación desciende a 10.6 mm, ubicándose por debajo del promedio de ese mes durante todo el periodo analizado.











### 3.10.3. Escorrentía

La zona de evaluación se encuentra en una ladera, el cual, la inclinación del terreno respecto a la horizontal es mayor de  $21^\circ$  y con poca vegetación la escorrentía debería ser favorable, pero es todo lo contrario, el flujo del agua no es constante, por lo que, el terreno está cubierto por depósitos cuaternarios siendo áreas de gran permeabilidad, por ello, al infiltrarse estas aguas saturan gran parte del terreno.

### 3.10.4. Infiltración

Variable externa clave que afecta los parámetros geomecánicas, como la cohesión y el ángulo de fricción de los materiales. Esto sucede cuando el agua penetra a través de la porosidad primaria y secundaria, pudiendo haber contribuido a eventos geodinámicos pasados y ser un desencadenante de futuros eventos.

La información pluviométrica fue el punto de partida para estimar los valores de Precipitación Efectiva (Pe en mm) e Infiltración (F en mm). Con estos datos se calcularon los volúmenes de infiltración (VF) correspondientes al área de evaluación. Estos parámetros son fundamentales para comprender el comportamiento geodinámico de los depósitos cuaternarios emplazados en la zona.

El patrón de lluvias en la zona, evidencia dos periodos bien definidos: una estación lluviosa, que va de setiembre a marzo y concentra alrededor del 85.4 % del total de precipitaciones en el periodo de 40 años, y una estación seca, de abril hasta agosto, que abarca el 14.6 % restante. En el área de investigación se ha evidenciado manantiales en diferentes puntos, acumulando agua en cualquier temporada, pero en épocas de lluvia su nivel es mayor. Esta agua se infiltra a través de las fracturas y poros, este proceso satura el suelo afectando la estabilidad del terreno en las laderas.

### **3.10.5. Balance Hidrológico**

La información en el informe inédita de Rodríguez, R. & Huamán, F. (2005), menciona sobre el método de infiltrómetros de cilindros concéntricos, teniendo relación con datos de precipitación, infiltración, volúmenes de infiltración y escurrimiento. Para el coeficiente de esorrentía se ha considerado 0.65, por ser un valor de mayor consistencia en los cálculos realizados Huamán, F., & Rodríguez, R. (2010), así mismo, Rodríguez R. (2016) opta por el valor de coeficiente mencionado porque en la zona de Ronquillo – Corisorgona se evidencian suelos originados sobre calizas, arcillolitas, limolitas y materiales gruesos, el cual existe una semejanza con el tipo de suelo de nuestra zona de evaluación (Laderas del Caserío Carahuanga I), además, Villón (2002) en su libro de Hidrología menciona que, en terrenos con materiales franco arenosos a franco arcillo limosos, el coeficiente es de 0.50 a 0.70.

$$P_p = P_e + F$$

Donde:

**P<sub>p</sub>**: Precipitación Total

**P<sub>e</sub>**: Precipitación Efectiva o Escurrimiento

**F**: Infiltración

Para el coeficiente de esorrentía se emplea la siguiente formula:

$$C = P_e / P_p$$



Donde:

**C:** Coeficiente de escurrimiento o coeficiente de escorrentía

**Pp:** Precipitación Total

**Pe:** Precipitación Efectiva o Escurrimiento

Para el coeficiente de infiltración se usa la siguiente ecuación según:

$$Ci = 1 - C$$

Donde:

**Ci:** Coeficiente de infiltración

**C:** Coeficiente de escurrimiento o coeficiente de escorrentía

Cuadro 18: Balance hidrológico de la zona de evaluación.

|                                 |                          | PP                  | C                       | Pe                                    | F                | F                | VF                           | VF                           |
|---------------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------------------|------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
|                                 |                          |                     | C=Pe/PP                 | Pe=C*PP                               | F=PP-Pe          | F=PP-Pe          | VF=F*A <sub>eva</sub>        | VF=F*A <sub>eva</sub>        |
| CICLOS DE PRECIPITACIÓN EN AÑOS | NÚMERO DE AÑOS POR CICLO | PRECIPITACIÓN TOTAL | COEFICIENTE ESCORRENTÍA | PRECIP. EFECTIVA O ESCURRIMIENTO (Pe) | INFILTRACIÓN (F) | INFILTRACIÓN (F) | VOLUMEN DE INFILTRACIÓN (VF) | VOLUMEN DE INFILTRACIÓN (VF) |
|                                 |                          | (mm)                |                         | (mm)                                  | (mm)             | (m)              | (m³)                         | (MMC)                        |
| 1985-1994                       | 10                       | 1118.50             | 0.65                    | 727.025                               | 391.48           | 0.391            | 285160.568                   | 0.29                         |
| 1995-2004                       | 10                       | 1637.70             | 0.65                    | 1064.505                              | 573.20           | 0.573            | 417530.141                   | 0.42                         |
| 2005-2014                       | 10                       | 1622.50             | 0.65                    | 1054.625                              | 567.88           | 0.568            | 413654.915                   | 0.41                         |
| 2015-2024                       | 10                       | 1550.60             | 0.65                    | 1007.89                               | 542.71           | 0.543            | 395324.074                   | 0.40                         |
| TOTAL                           | 40                       | 5929.30             | 0.65                    | 3854.05                               | 2075.26          | 2.08             | 1511669.70                   | 1.51                         |
| A <sub>eva</sub>                |                          | Área de evaluación  |                         | 728426 m²                             |                  |                  |                              |                              |

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

La metodología para evaluar los niveles de peligrosidad por deslizamientos es exhaustiva y se considera factores geológicos, geomorfológicos, geomorfométricos e hidrológicos. Implica recolectar datos geológicos y analizar la topografía, precipitación y otros elementos relevantes, con esta información, se identifican áreas susceptibles a movimientos a masa y se clasifican según su peligrosidad.

#### **4.1. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Para evaluar el nivel de peligrosidad en la zona, se ha recopilado información de múltiples fuentes como investigaciones del INGEMMET, además de datos históricos, análisis de geomorfometría, geomorfología, hidrología y geología. Este proceso ha seguido una metodología específica para determinar la peligrosidad. Durante el transcurso del año 2024, se ha realizado diferentes salidas al área de evaluación, obteniendo datos en campo con el apoyo del software SAS Planet que permite acceder a imágenes satelitales de alta resolución y un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) con la fuente Copernicus GLO, así mismo, se realizó la cartografía y documentación de características físicas relevantes como la geomorfometría, geomorfología y geología.

Cuadro 19: Proceso de análisis de información obtenida.

|                             |                                                           |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Recopilación de información | Investigaciones, artículos e informes.                    |
| Estandarizar la información | Determinar la escala de trabajo y digitalizar los planos. |
| Selección de parámetros     | Selección de parámetros para el análisis de peligros.     |
| Procesamiento de datos      | Unificar los datos para el procesamiento.                 |



Foto 20: Trabajo en campo para la obtención de datos, orientación de foto de W – E.  
Coordenadas UTM: N: 9215243 – E: 785643 – C: 3070 m.s.n.m.

#### **4.2. IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO**

El Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) a través de su plataforma Sistema Nacional de Información para la Prevención y Atención de Desastres (SINPAD) esta creada para registrar, gestionar y consultar información sobre peligros, emergencias y desastres. Los principales riesgos en Cajamarca, son las lluvias intensas, los vientos fuertes y los deslizamientos. Aunque lluvias y vientos fuertes impactan en la población e infraestructura, sus efectos se limitan principalmente a edificaciones y no causan daño significativo al terreno. Actúan como "factores desencadenantes" de eventos más graves, como movimientos en masa e inundaciones. Se ofrecerán recomendaciones estructurales y no estructurales para proteger a los habitantes de Carahuanga I frente a lluvias intensas y posteriormente a deslizamientos.

#### **4.3. DESCRIPCIÓN DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA**

En las laderas del Caserío Carahuanga I se ha observado rocas volcánicas que se consideran extremadamente vulnerables a procesos erosivos; por ello, los movimientos tectónicos considerables de magnitudes 3 o 4 puede provocar fracturas o agrietamiento, estos

desplazamientos ocurren sobre planos de debilidad; en el área de evolución se ha identificado doce movimientos en masa de diferentes tipos. Los más significativos y de gran magnitud se encuentran en depósitos cuaternarios, esta litología presenta un alto grado de permeabilidad, lo que causa diversos movimientos en masa si la infiltración es fuerte.

#### 4.4. IDENTIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA

Comprender las diferencias geológicas entre rocas volcánicas y sedimentarias en el área de investigación es clave para analizar las causas de los movimientos en masa y sugerir recomendaciones. Los afloramientos de rocas sedimentarias del Grupo Pulluycana y Quilquiñan – Mujarrum, presentan fracturas debido a los esfuerzos compresionales que ocasionó el anticlinal que aflora en el Caserío de Luichupucho Bajo. Se identificaron dos movimientos en masa de gran magnitud en depósitos cuaternarios, los afloramientos de rocas volcánicas que conciernen al Volcánico – Huambos no han sido afectados tectónicamente, y se registran los doce movimientos en masa en las laderas del Caserío Carahuanga I.

Cuadro 20: Registro de los movimientos en masa en el área de evaluación.

| Item       | Movimiento en masas | Coordenadas UTM |        | Dimensiones (m.) |       |        | Masa Deslizada (m³) |
|------------|---------------------|-----------------|--------|------------------|-------|--------|---------------------|
|            |                     | Norte           | Este   | Alto             | Ancho | Largo  |                     |
| <b>C-1</b> | Caída de rocas      | 9214980         | 785585 | 4.00             | 9.50  | 5.00   | <b>190.00</b>       |
| <b>C-2</b> | Caída de rocas      | 9214914         | 785633 | 5.00             | 12.00 | 6.00   | <b>360.00</b>       |
| <b>D-1</b> | Deslizamiento       | 9215300         | 785670 | 0.60             | 35.0  | 3.00   | <b>63.00</b>        |
| <b>D-2</b> | Deslizamiento       | 9215283         | 785726 | 0.85             | 23.00 | 3.00   | <b>58.65</b>        |
| <b>D-3</b> | Deslizamiento       | 9215230         | 785668 | 1.00             | 82.00 | 32.00  | <b>2624.00</b>      |
| <b>D-4</b> | Deslizamiento       | 9215221         | 785697 | 3.50             | 25.00 | 44.00  | <b>3850.00</b>      |
| <b>D-5</b> | Deslizamiento       | 9214973         | 785716 | 2.20             | 28.00 | 16.00  | <b>985.6.00</b>     |
| <b>D-6</b> | Deslizamiento       | 9214830         | 785725 | 15.00            | 75.00 | 130.00 | <b>146250.00</b>    |
| <b>D-7</b> | Deslizamiento       | 9214893         | 785623 | 9.00             | 22.00 | 58.00  | <b>11484.00</b>     |
| <b>D-8</b> | Deslizamiento       | 9214850         | 785980 | 8.00             | 13.00 | 18.00  | <b>1872.00</b>      |
| <b>D-9</b> | Deslizamiento       | 9214800         | 785925 | 4.00             | 7.00  | 9.00   | <b>252.00</b>       |
| <b>F-1</b> | Flujo de detritos   | 9214960         | 785625 | 0.20             | 2.50  | 20.00  | <b>10.00</b>        |

Cuadro 21: Áreas totales afectadas por tipo de movimiento en masa.

| Movimiento en masa | Cantidad de áreas | Área total (m²) |
|--------------------|-------------------|-----------------|
| Caída de rocas     | 2                 | 119.50          |
| Deslizamiento      | 9                 | 15669.00        |
| Flujo de detritos  | 1                 | 50.00           |



#### 4.4.1. Descripción de los movimientos en masa

Los movimientos en masa que se han identificado son de tres tipos, por caída de rocas, deslizamientos rotacionales y flujo de detritos, estos movimientos han sido desencadenados por factores como la intensa precipitación.

##### 4.4.1.1. Caídas de rocas

###### a) Caída de rocas (C – 1)

La fragmentación de las tobas del Volcánico Huambos, acompañado con material poco consolidado, con las fuertes lluvias y erosión intensa ha sido resultado de este movimiento en masa, cabe mencionar que este movimiento está al lado de una quebrada por que se evidencia humedad, vegetación alóctonos, además, de eucaliptos y ciprés, el cual, las raíces de estos árboles afectaran considerablemente a este movimiento en masas por las fracturas que generan al penetrar estas rocas, las dimensiones de que tiene este movimiento es de 4 metros de alto, 9.5 metros de ancho y 5 metros de largo.



Foto 21: Caídas de rocas en un escarpe, orientación de foto de NW – SE.

Coordenadas UTM: N: 9214980 – E: 785585 – C: 2996 m.s.n.m.

En la siguiente foto se observa árboles de eucalipto, razón por la que el dueño del terreno ha considerado sembrar para detener a las rocas caídas y no pasen a su terreno de cultivo que está en la parte más baja.



Foto 22: Rocas volcánicas caídas de un escarpe, orientación de foto de E – W.

Coordenadas UTM: N: 9214975 – E: 785590 – C: 2989 m.s.n.m.

#### **b) Caída de rocas (C – 2)**

Estos bloques y gravas, junto con material poco consolidado, pertenece a un depósito coluvial, las fuertes lluvias y la intensa erosión están liberando a los bloques provocando a una futura caída, como algunas rocas que ya han sido caídas. Esta zona se ubica al lado de un camino, la vegetación es escasa, el cual la lluvia afecta significativamente al movimiento. Las dimensiones de este movimiento son de 5 metros de alto, 12 metros de ancho y 6 metros de largo.





Foto 23: Bloques que están propensos a una futura caída, orientación de foto de N – S.

Coordenadas UTM: N: 9214914 – E: 785633 – C: 2965 m.s.n.m.

#### 4.4.1.2. Deslizamientos

##### a) Deslizamiento (D – 1)

Se aprecia un deslizamiento considerable, según los lugareños ha ocurrido en el año 2004, solo había sido como un asentamiento, por lo que, los señores del terreno lo habían estabilizado a través de una pirca (muro) de rocas volcánicas, la pendiente no es tan pronunciada, en la salida a campo se evidenció agrietamiento con un espaciamiento de 10 cm. Además, se evidencia un acuífero que se encuentra en la parte inferior del deslizamiento el cual se caracteriza por un constante abastecimiento de agua en cualquier temporada según los lugareños, el material deslizado incluye fragmentos de rocas volcánicas muy alteradas, con presencia de arcillas, limos y arenas volcánicas, las dimensiones de este movimiento son de 0.60 metros de alto, 35 metros de ancho y 3 metros de largo.



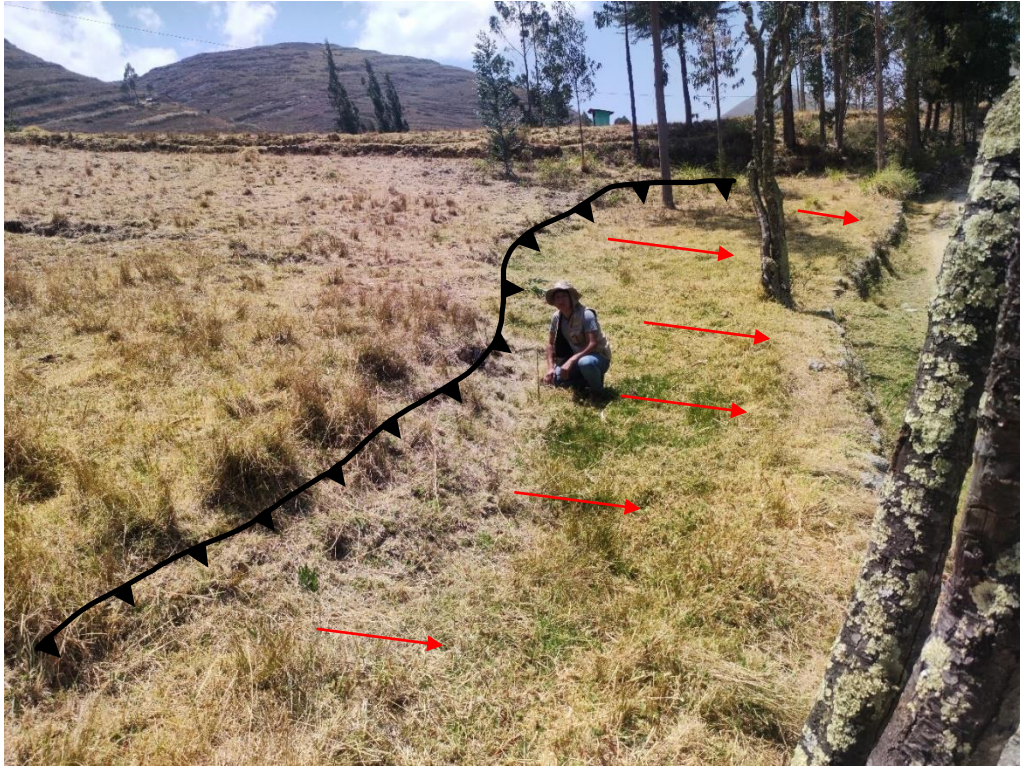


Foto 24: Deslizamiento con poco transporte de material, orientación de foto de N – S.  
Coordenadas UTM: N: 9215300 – E: 785670 – C: 3079 m.s.n.m.



Foto 25: Escarpa del deslizamiento con altura de 60 cm., orientación de foto de W – E.  
Coordenadas UTM: N: 9215300 – E: 785690 – C: 3082 m.s.n.m.



**b) Deslizamiento (D – 2)**

Se aprecia un deslizamiento rotacional, la pendiente es pronunciada, además, se evidenció agrietamiento con un espaciamiento de 22 cm., el material deslizado incluye fragmentos de rocas volcánicas muy alteradas, con presencia de arcillas, limos y arenas volcánicas, en el espaciamiento se observa raíces de los eucaliptos, el cual, se considera que ha influido en el deslizamiento en conjunto con las lluvias porque no se aprecia ningún acuífero on humedad en entorno o al rededores, las dimensiones de este movimiento son de 0.85 metros de alto, 23 metros de ancho y 3 metros de largo.

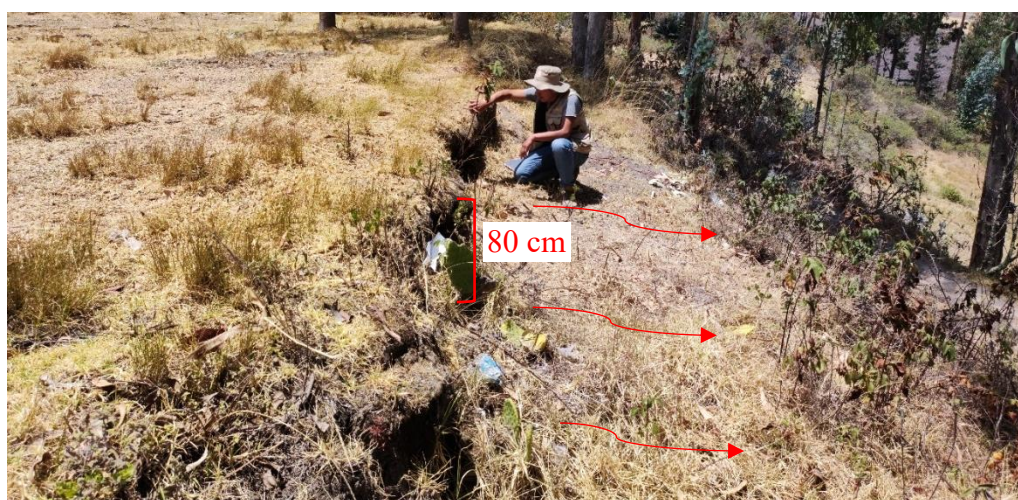


Foto 26: Escarpa de 0.85 metros de alto, orientación de foto de NE – SW.

Coordenadas UTM: N: 9215283 – E: 785726 – C: 3085 m.s.n.m.



Foto 27: Grieta con un espaciamiento de 0.22 metros, orientación de foto de W – E.

Coordenadas UTM: N: 9215288 – E: 785714 – C: 3083 m.s.n.m.

**c) Deslizamiento (D – 3)**

Se ha evidenciado un deslizamiento de mediana magnitud, consta de 2 niveles de escarpa, aunque el desplazamiento ha sido corto, pero la longitud del deslizamiento es extenso, además se evidencia un manantial que se ubica en la parte superior del deslizamiento a una distancia de 40 metro del escarpa principal, se realizó una pequeña calicata por encima del deslizamiento, a 3.5 metros de distancia del escarpa principal con unas medidas de 0.60 x 0.60 metros y 0.56 metros de profundidad, el cual, se logró llegar al nivel freático, por lo que, se considera que la infiltración y las lluvias han sido el factor desencadenante para que el deslizamiento detone, influyendo el material poco consolidado (terreno agrícola) y la pendiente que oscila en los 30° a 40°.

El dueño del terreno menciona que el deslizamiento ha ocurrido en épocas de lluvia, cabe mencionar que al margen izquierdo del deslizamiento se observa humedad intensa porque encuentra similar a una composición de lodo y en el margen derecho hay agrietamientos de 22 cm.; este deslizamiento ha afectado a otros terrenos ubicados en la parte inferior, las dimensiones de este movimiento principal son de 1 metros de alto, 82 metros de ancho y 32 metros de largo.



Foto 28: Movimiento en masa con doble deslizamiento, orientación de foto de W – E.

Coordenadas UTM: N: 9215231 – E: 785672 – C: 3065 m.s.n.m.



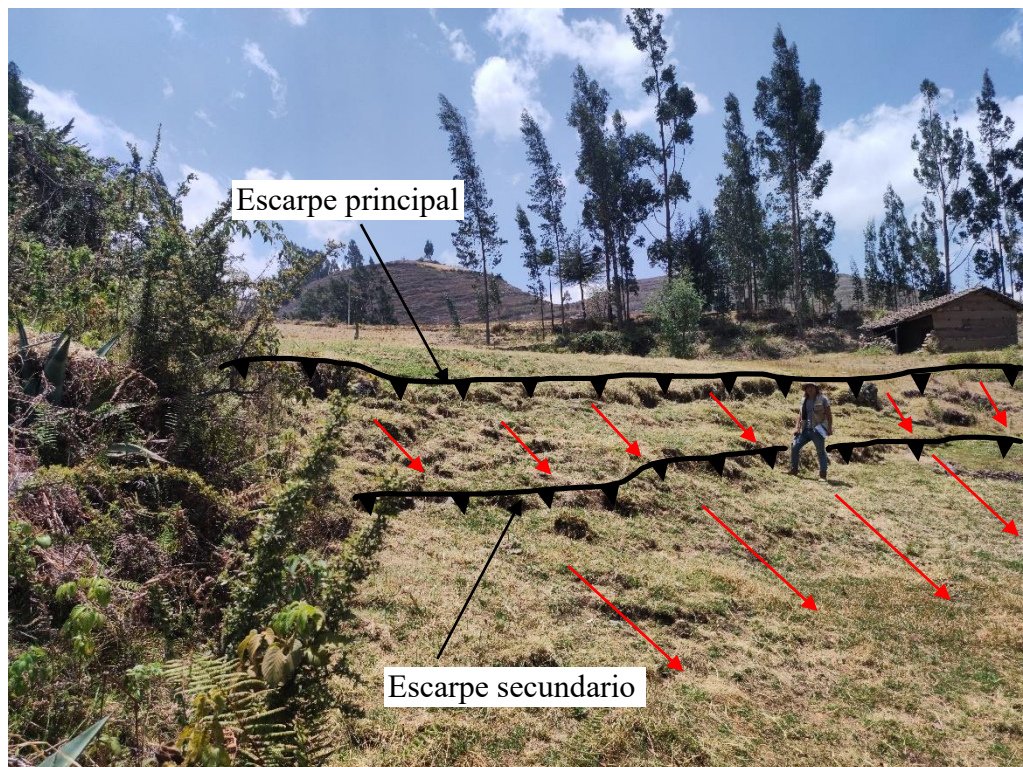


Foto 29: Movimiento en masa con doble deslizamiento, orientación de foto de W – E.  
 Coordenadas UTM: N: 9215230 – E: 785668 – C: 3066 m.s.n.m.

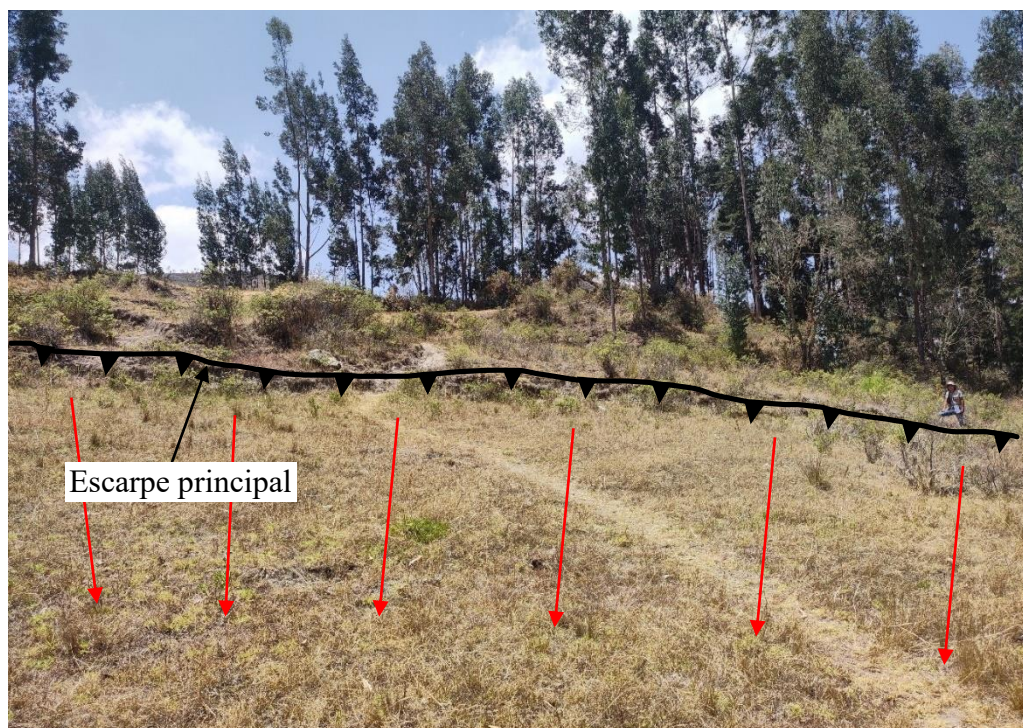


Foto 30: Margen derecho del deslizamiento rotacional, orientación de foto de W – E.  
 Coordenadas UTM: N: 9215220 – E: 785715 – C: 3065 m.s.n.m.





Foto 31: Agrietamiento de 22 cm. en el margen izquierdo del deslizamiento rotacional, orientación de foto de W – E.

Coordenadas UTM: N: 9215231 – E: 785710 – C: 3065 m.s.n.m.

**d) Deslizamiento (D – 4)**

Este deslizamiento ha ocurrido después del deslizamiento C – 3 que su ubica en la parte inferior del margen derecho, los lugareños indican que primero ocurrió el deslizamiento (C – 3) y varios años después, en la zona de acumulación del mencionado deslizamiento, se generó el deslizamiento (C – 4), consta de un nivel de escarpa, aunque el desplazamiento ha sido más amplio, en esta zona no se evidencia humedad porque lo que, se considera que las lluvias ha sido el factor desencadenante, infiltrándose por las pequeñas grietas de 2 cm. que se observan a su alrededor, influyendo el material que ya ha sido desplazado; este deslizamiento ha afectado a otros terrenos ubicados en la parte inferior, las dimensiones de este movimiento son de 3.5 metros de alto, 25 metros de ancho y 44 metros de largo.





Foto 32: Deslizamiento de tipo rotacional en un pre – deslizamiento en un depósito coluvial, orientación de foto de NW – SE.

Coordenadas UTM: N: 9215221 – E: 785697 – C: 3064 m.s.n.m.



Foto 33: Masa desplazada del del deslizamiento rotacional, orientación de foto de W – E.

Coordenadas UTM: N: 9215212 – E: 785685 – C: 3061 m.s.n.m.



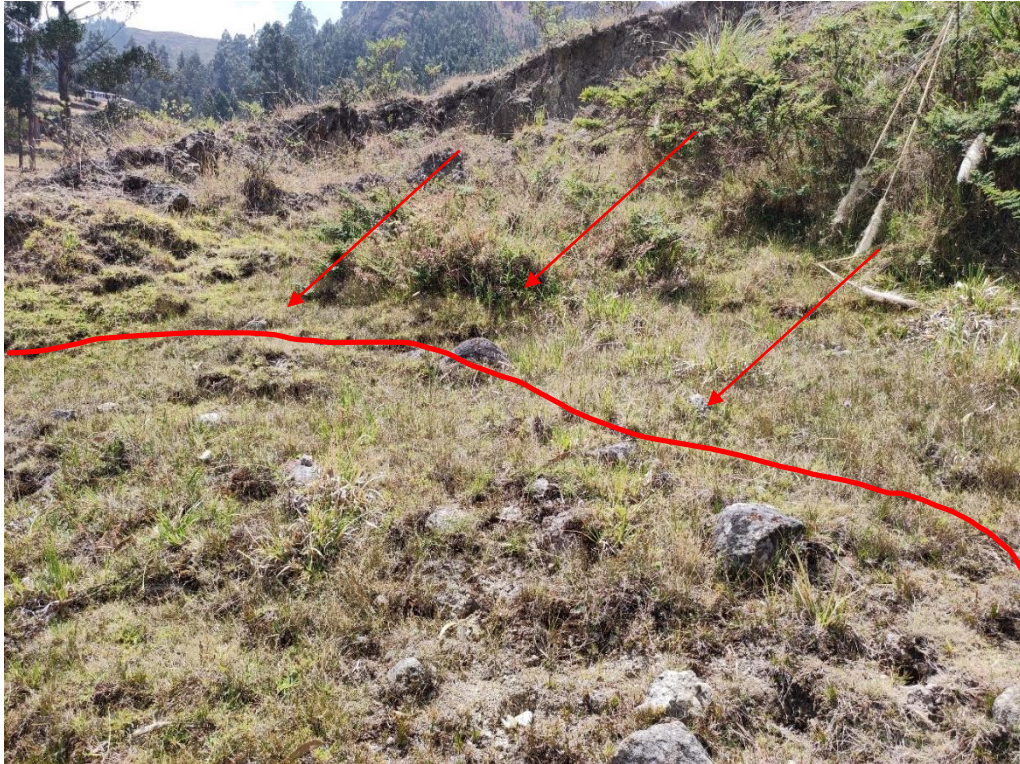


Foto 34: Zona de acumulación del deslizamiento, orientación de foto de SW – NE.  
 Coordenadas UTM: N: 9215217 – E: 785685 – C: 3063 m.s.n.m.

**e) Deslizamiento (D – 5)**

Este deslizamiento ha ocurrido en una pendiente mayor a  $50^\circ$  por lo que, geomorfométricamente se considera una ladera, en el escape se observa bloques tobas en el interior de depósitos cuaternarios, estos depósitos cubren al volcánico Huambos y por debajo de este se observa la estratificación de rocas calizas con intercalación de lutitas de la Formación Yumagual. La masa desplazada no hay tenido un amplio recorrido; en el margen derecho se observan agrietamientos con espaciamentos entre 1.5 cm. a 6 cm., este movimiento se encuentra muy cerca de una quebrada, pero, no se evidencia humedad en el terreno por lo que se considera que las lluvias ha sido el factor desencadenante, infiltrándose por las pequeñas grietas; este deslizamiento no ha afectado a otros terrenos, incluyo la zona de acumulación lo usan como terreno de cultivo, las dimensiones de este movimiento son de 2.20 metros de alto, 28 metros de ancho y 16 metros de largo.





Foto 35: Deslizamiento rotacional y presencia de tobas, orientación de foto de SW – NE.  
Coordenadas UTM: N: 9214973 – E: 785716 – C: 2974 m.s.n.m.

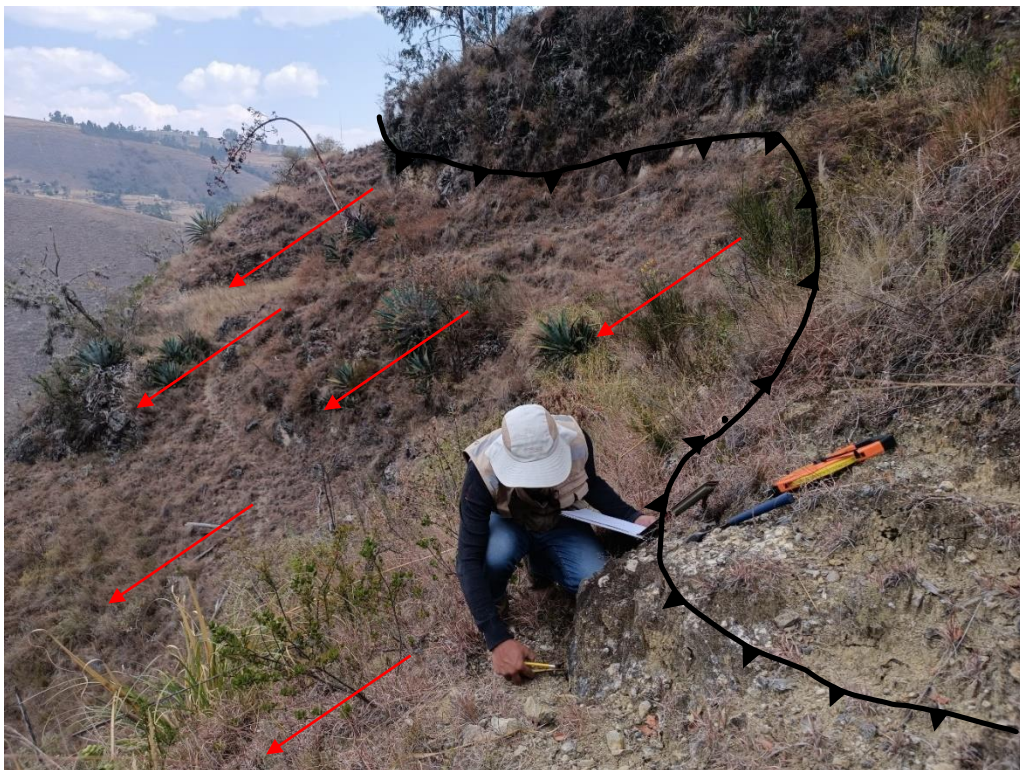


Foto 36: Agrietamiento y afloramiento de rocas volcánicas, orientación de foto de N – S.  
Coordenadas UTM: N: 9214995 – E: 785745 – C: 2981 m.s.n.m.

**f) Deslizamiento (D – 6)**

Este movimiento en masa se considera un deslizamiento rotacional de gran magnitud en relación a todos los deslizamientos evidenciados en el área de evaluación, el movimiento ha sido lento con dirección NE – SO hacia el Río Chonta, este deslizamiento se desarrolló en la Formación Yumagual que ha estado cubierta por Cuaternario y tobas volcánicas, al margen izquierdo del deslizamiento se observa un acuífero que según los habitantes de la zona mencionan que solo contiene agua en épocas de lluvia.

Este movimiento no ocasionó la muerte de ningún habitante y/o animal, pero si ha afectado áreas de cultivo, canal que alimentaba con agua a la planta hidroeléctrica de El Chicche y sobre todo un camino de herradura que conectaba a varios Caseríos como: Sangal, Luichupucro Alto, Luichupucro Bajo, Chuquilín con Carahuanga I; este fenómeno ocurrió en el año 2022, los habitantes mencionan que no han sentido ningún movimiento sísmico, por lo que se puede inferir que la inestabilidad del terreno no fue provocado por movimiento tectónico y que este evento sucedió en el mes de enero, según Senamhi los meses diciembre, enero y febrero son los más lluviosos, este suceso se ubica al lado de una quebrada y en una ladera.

Asi mismo, después de ocurrir el evento, el pie del deslizamiento ha sido erosionado por las aguas de la quebrada, transportando rocas, detritos y suelo hasta el margen del río Chonta; en el flanco derecho del deslizamiento existe un agrietamiento de 7 centímetros con una longitud de 18 metros, la altura del flanco derecho es de 4.5 metros y el ancho del terreno a deslizarse o desprenderse mide 1.5 metros, por lo que, el movimiento en masa aproximado a desplazarse es de 121.5 metros cúbicos ( $m^3$ ), las dimensiones aproximadas de este movimiento son de 15 metros de alto en el escarpa, 75 metros de ancho de flanco a flanco y 130 metros de largo desde la zona superior hasta el pie del deslizamiento.





Foto 37: Deslizamiento rotacional con desplazamiento lento de tipo cóncava, orientación de foto de SW – NE.

Coordenadas UTM: N: 9214830 – E: 785725 – C: 2910 m.s.n.m.



Foto 38: Grieta en el flanco derecho del deslizamiento, orientación de foto de W – E.

Coordenadas UTM: N: 9214815 – E: 785727 – C: 2907 m.s.n.m.





Foto 39: Masa deslizada en dirección NE – SO, orientación de foto de NW – SE.

Coordenadas UTM: N: 9214820 – E: 785681 – C: 2916 m.s.n.m.

**g) Deslizamiento (D – 7)**

Este movimiento en masa ha sucedido en un paleodeslizamiento y se considera el segundo deslizamiento rotacional de gran magnitud en relación a todos los deslizamientos evidenciados en el área de evaluación, el movimiento ha sido lento con dirección aproximada N – S hacia el Río Chonta, este deslizamiento se ha desarrollado en la Formación Yumagual, el cual, ha estado cubierta por Cuaternario y tobas volcánicas; cabe mencionar que este movimiento no ocasionó la muerte de ningún habitante y/o animal, pero si ha puesto en riesgo la integridad de los habitantes que pasan por el camino que conecta a varios caserío, ya que, el escarpa inicia al filo del camino considerando un peligro debido a la erosión o nuevamente otro deslizamiento; este fenómeno ocurrió a fines del año 2022, nuevamente los lugareños mencionan que no han percibido ningún movimiento sísmico, por lo que se puede inferir que la inestabilidad del terreno no fue provocado por movimiento tectónico, este suceso se ubica al lado de una quebrada y en una ladera; así mismo, la zona de acumulación a cubierto parte de una quebrada y no se descarta que por acción del agua estos restos sean transportados hacia las zonas bajas he incluso hacia el río Chonta , las dimensiones



aproximadas de este movimiento son de 9 metros de alto en el escarpa, 22 metros de ancho de flanco a flanco y 58 metros de largo desde la zona superior hasta el pie del deslizamiento.



Foto 40: Grieta entre la zona superior y la escarpa, orientación de foto de SW – NE.

Coordenadas UTM: N: 9214905 – E: 785635 – C: 2961 m.s.n.m.

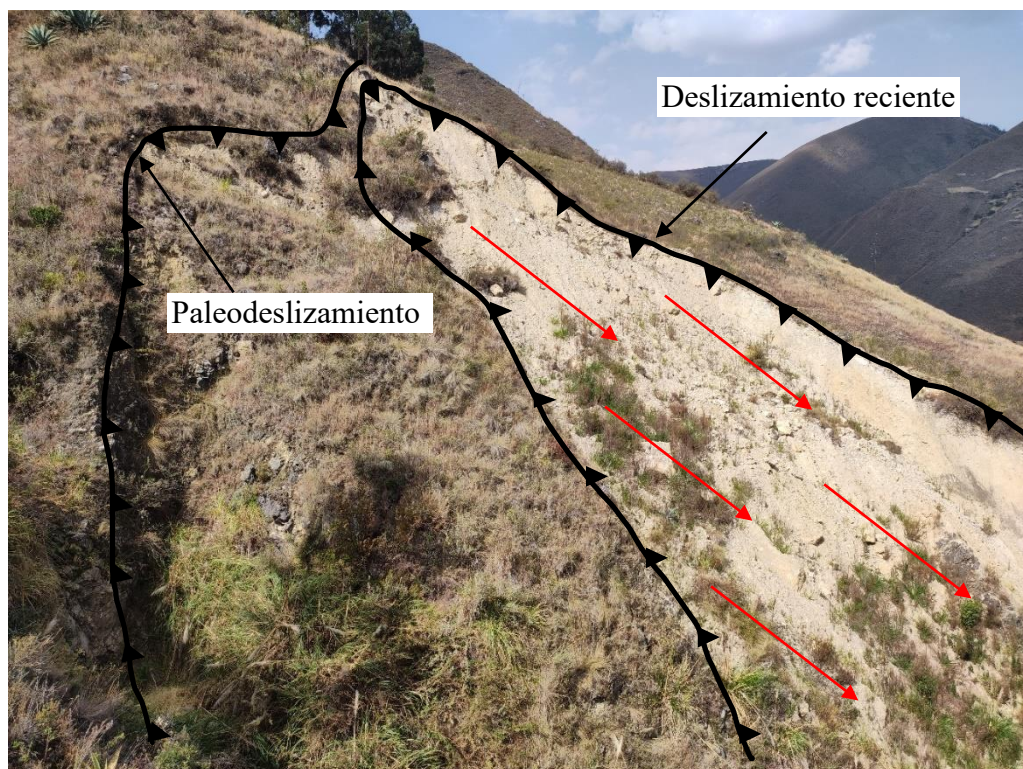


Foto 41: Deslizamiento reciente en un paleodeslizamiento; orientación de foto de W – E.

Coordenadas UTM: N: 9214893 – E: 785623 – C: 2952 m.s.n.m.





Foto 42: Masa deslizada cubriendo parte de la quebrada, orientación de foto de E – W.  
 Coordenadas UTM: N: 9214913 – E: 785633 – C: 2965 m.s.n.m.

#### **h) Deslizamiento (D – 8)**

Este movimiento en masa ha sucedido en un paleodeslizamiento y se considera deslizamiento rotacional de poco recorrido, el movimiento ha sido lento con dirección aproximada NO – SE hacia el Río Chonta, este deslizamiento se ha desarrollado en la Formación Yumagual que ha estado cubierta por Cuaternario; debemos resaltar que este movimiento no ocasionó la muerte de ningún habitante y/o animal ni áreas de cultivo, este suceso se ubica geomorfométricamente en una escarpa por su pendiente mayor a 50°; así mismo, la zona de acumulación cubierto parte de un canal, las dimensiones aproximadas de este movimiento son de 8 metros de alto en el escarpa, 13 metros de ancho de flanco a flanco y 18 metros de largo desde la zona superior hasta el pie del deslizamiento.





Foto 43: Deslizamiento rotacional de poco recorrido, orientación de foto de NW – SE.

Coordenadas UTM: N: 9214850 – E: 785980 – C: 2865 m.s.n.m.

#### i) **Deslizamiento (D – 9)**

Se observa dos pequeños deslizamientos en un paleodeslizamiento y se consideran deslizamientos rotacionales de poco recorrido, el movimiento ha sido lento ambos con dirección aproximada N – S hacia el Río Chonta, este deslizamiento se ha desarrollado en la Formación Yumagual que ha estado cubierto por Cuaternario porque en la escarpa del deslizamiento derecho aflora las intercalación de lutitas con calizas fracturadas ; debemos resaltar que este movimiento no ocasionó la muerte de ningún habitante y/o animal ni terrenos de cultivo, este suceso se ubica geomorfométricamente en una escarpa por su pendiente mayor a 50°; así mismo, la zona de acumulación a cubierto parte de un canal, las dimensiones aproximadas de este movimiento son de 4 metros de alto en el escarpa, 7 metros de ancho de flanco a flanco y 9 metros de largo desde la zona superior hasta el pie del deslizamiento.





Foto 44: Masa desplazada con poco recorrido, orientación de foto de S – N.  
Coordenadas UTM. N: 9214800, E: 785925, C: 2852 m.s.n.m.

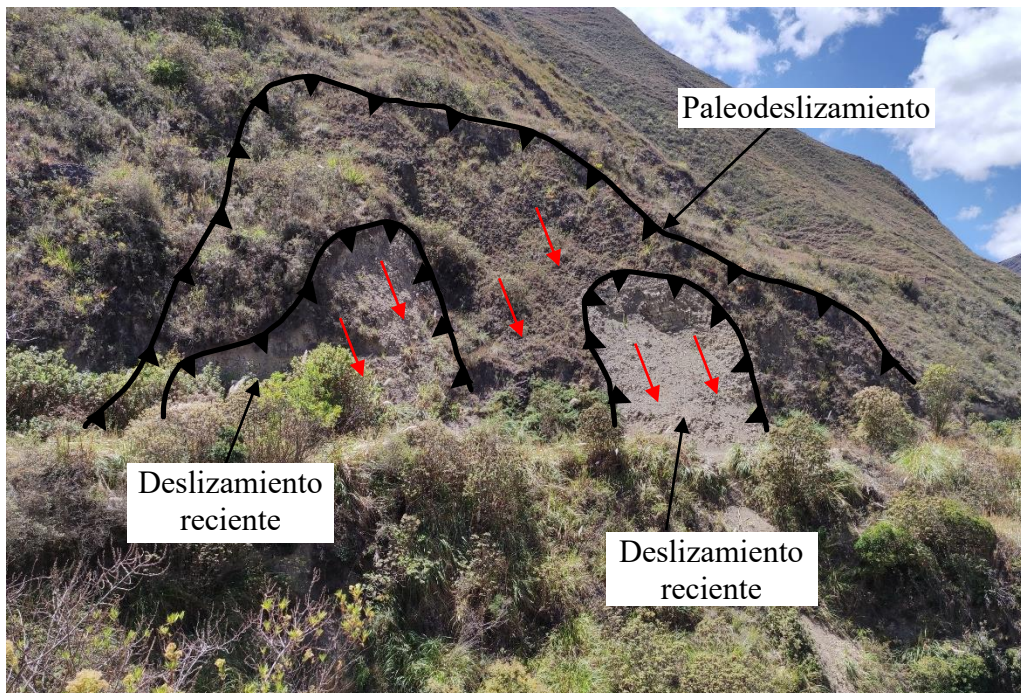


Foto 45: Pequeños deslizamientos en paleodeslizamiento, orientación de foto de W – E.  
Coordenadas UTM: N: 9214798 – E: 785910 – C: 2855 m.s.n.m.



#### 4.4.1.3. Flujo de detritos

##### a) Flujo de detritos (F – 1)

La inestabilidad del suelo es lo que produce estos movimientos, la baja cohesión de los materiales y la infiltración de grandes cantidades de agua en el material volcánico y/o fragmentos de calizas. Estos fragmentos o detritos son angulosos y el diámetro de estos son de 5 a 10 cm aproximadamente, estos movimientos no son muy profundos, pero pueden cubrir amplias áreas y carecen de vegetación con raíces profundas que puedan controlar estos deslizamientos y este movimiento se ubica en la ladera porque su pendiente es mayor a  $50^\circ$ , las dimensiones de que tiene este movimiento es de 0.20 metros de alto, 2.5 metros de ancho y 20 metros de largo.



Foto 46: Flujo de detritos de distintas composiciones, orientación de foto de E – W.

Coordenadas UTM: N: 9214960 – E: 785625 – C: 2985 m.s.n.m.

#### 4.5. ANÁLISIS DE INESTABILIDAD

Las rocas calizas del Grupo Pulluycana y Quilquñan – Mujarrum, son consideradas como rocas resistentes a la erosión, pero, debido a su intercalación de margas y lutitas las vuelven inestables antes precipitaciones intensas y/o movimientos sísmicos, cabe mencionar que se evidencian fases de calizas muy fracturadas en estos Grupos. En contraste, las tobas volcánicas, formadas por actividad explosiva con cenizas, lapillis y piroclastos, son inestables debido a su alta porosidad y permeabilidad primaria. Factores como la temperatura, el gradiente hidráulico, la forma de los granos y la permeabilidad secundaria (por disolución, compactación, fracturas y diaclasas) afectan estas rocas. Esto permite la percolación de aguas meteóricas, saturando los espacios vacíos y resultando en baja dureza, consistencia y cohesión.

#### 4.6. APLICACIÓN DEL MÉTODO SAATY

Este método establece relaciones estadísticas cuantificables entre factores condicionantes, desencadenantes y/o detonantes, requiere crear una base de datos con toda esta información enfocado en los deslizamientos.

##### 4.6.1. Unidades Geomorfométricas

Se realizará el cálculo de comparación de pares, normalización de pares y relación de consistencia de pares de las Unidades Geomorfométricas, el cálculo se realizará con cuatro unidades, esto implica que, el índice y relación de consistencia deberá tener un valor menor a 0.08.

Cuadro 22: Unidades geomorfométricas y su intervalo.

| <b>Unidades Geomorfométricas</b> | <b>Pendiente</b> |
|----------------------------------|------------------|
| Escarpa                          | (51° - 90°)      |
| Ladera                           | (21° - 50°)      |
| Lomada                           | (9° - 20°)       |
| Planicie                         | (0° - 8°)        |



Cuadro 23: Matriz de comparación de pares del parámetro geomorfométrico.

| Unidad          | Escarpa     | Ladera      | Lomada      | Planicie     |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| <b>Escarpa</b>  | <b>1.00</b> | 3.00        | 5.00        | 6.00         |
| <b>Ladera</b>   | 0.33        | <b>1.00</b> | 3.00        | 5.00         |
| <b>Lomada</b>   | 0.20        | 0.33        | <b>1.00</b> | 3.00         |
| <b>Planicie</b> | 0.17        | 0.20        | 0.33        | <b>1.00</b>  |
| <b>SUMA</b>     | <b>1.70</b> | <b>4.53</b> | <b>9.33</b> | <b>15.00</b> |
| <b>1/SUMA</b>   | <b>0.59</b> | <b>0.22</b> | <b>0.11</b> | <b>0.07</b>  |

Cuadro 24: Matriz de normalización de pares del parámetro geomorfométrico.

| Unidad          | Escarpa | Ladera | Lomada | Planicie | Vector<br>priorización | %             |
|-----------------|---------|--------|--------|----------|------------------------|---------------|
| <b>Escarpa</b>  | 0.59    | 0.66   | 0.54   | 0.40     | <b>0.546</b>           | 54.64         |
| <b>Ladera</b>   | 0.20    | 0.22   | 0.32   | 0.33     | <b>0.268</b>           | 26.79         |
| <b>Lomada</b>   | 0.12    | 0.07   | 0.11   | 0.20     | <b>0.125</b>           | 12.46         |
| <b>Planicie</b> | 0.10    | 0.04   | 0.04   | 0.07     | <b>0.061</b>           | 6.11          |
|                 |         |        |        |          | <b>1.00</b>            | <b>100.00</b> |

Cuadro 25: Matriz de relación de consistencia de pares del parámetro geomorfométrico.

| Unidad          | Escarpa | Ladera | Lomada | Planicie | Vector suma<br>ponderada | $\lambda_{\max}$ |
|-----------------|---------|--------|--------|----------|--------------------------|------------------|
| <b>Escarpa</b>  | 0.55    | 0.80   | 0.62   | 0.37     | 2.34                     | 4.28             |
| <b>Ladera</b>   | 0.18    | 0.27   | 0.37   | 0.31     | 1.13                     | 4.22             |
| <b>Lomada</b>   | 0.11    | 0.09   | 0.12   | 0.18     | 0.51                     | 4.07             |
| <b>Planicie</b> | 0.09    | 0.05   | 0.04   | 0.06     | 0.25                     | 4.05             |
|                 |         |        |        |          | <b>Suma</b>              | <b>16.61</b>     |
|                 |         |        |        |          | <b>Promedio</b>          | <b>4.15</b>      |

Cuadro 26: Valor del índice aleatorio para el parámetro geomorfométrico.

| n         | 3     | 4            | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
|-----------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>IA</b> | 0.525 | <b>0.882</b> | 1.115 | 1.252 | 1.341 | 1.404 | 1.452 | 1.484 | 1.513 |

Cuadro 27: Valor del índice y relación de consistencia del factor geomorfométrico.

|           |              |
|-----------|--------------|
| <b>IC</b> | <b>0.051</b> |
| <b>RC</b> | <b>0.058</b> |

#### 4.6.2. Unidades Geomorfológicas

Se realizará el cálculo de comparación de pares, normalización de pares y relación de consistencia de pares de las Unidades Geomorfológicas, este cálculo deberá tener un valor

menor a 0.10, porque se está considerando cinco parámetros, el cual, se está incluyendo la actividad antrópica.

Cuadro 28: Unidades de geomorfológicas y su nomenclatura.

| <b>Unidades Geomofológicas</b> |        |
|--------------------------------|--------|
| Ambiente Denudacional          | A - De |
| Ambiente Antrópico             | A - An |
| Ambiente Volcánico             | A - Vo |
| Ambiente Estructural           | A - Es |
| Ambiente Fluvial               | A - Fl |

Cuadro 29: Matriz de comparación de pares del parámetro geomorfológico.

| <b>Unidad</b>                | <b>A - De</b> | <b>A - An</b> | <b>A - Vo</b> | <b>A - Es</b> | <b>A - Fl</b> |
|------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>Ambiente Denudacional</b> | <b>1.00</b>   | 3.00          | 4.00          | 8.00          | 9.00          |
| <b>Ambiente Antrópico</b>    | 0.33          | <b>1.00</b>   | 2.00          | 4.00          | 8.00          |
| <b>Ambiente Volcánico</b>    | 0.25          | 0.50          | <b>1.00</b>   | 2.00          | 4.00          |
| <b>Ambiente Estructural</b>  | 0.13          | 0.25          | 0.50          | <b>1.00</b>   | 2.00          |
| <b>Ambiente Fluvial</b>      | 0.11          | 0.13          | 0.25          | 0.50          | <b>1.00</b>   |
| <b>SUMA</b>                  | <b>1.82</b>   | <b>4.88</b>   | <b>7.75</b>   | <b>15.50</b>  | <b>24.00</b>  |
| <b>1/SUMA</b>                | <b>0.55</b>   | <b>0.21</b>   | <b>0.13</b>   | <b>0.06</b>   | <b>0.04</b>   |

Cuadro 30: Matriz de normalización de pares del parámetro geomorfológico.

| <b>Unidad</b>                | <b>A - De</b> | <b>A - An</b> | <b>A - Vo</b> | <b>A - Es</b> | <b>A - Fl</b> | <b>Vector<br/>priorización</b> | <b>%</b>      |
|------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------------|---------------|
| <b>Ambiente Denudacional</b> | 0.55          | 0.62          | 0.52          | 0.52          | 0.38          | <b>0.514</b>                   | 51.45         |
| <b>Ambiente Antrópico</b>    | 0.18          | 0.21          | 0.26          | 0.26          | 0.33          | <b>0.248</b>                   | 24.76         |
| <b>Ambiente Volcánico</b>    | 0.14          | 0.10          | 0.13          | 0.13          | 0.17          | <b>0.133</b>                   | 13.29         |
| <b>Ambiente Estructural</b>  | 0.07          | 0.05          | 0.06          | 0.06          | 0.08          | <b>0.066</b>                   | 6.65          |
| <b>Ambiente Fluvial</b>      | 0.06          | 0.03          | 0.03          | 0.03          | 0.04          | <b>0.039</b>                   | 3.86          |
|                              |               |               |               |               |               | <b>1.00</b>                    | <b>100.00</b> |

Cuadro 31: Matriz de relación de consistencia de pares del parámetro geomorfológico.

| Unidad                           | A - De | A - An | A - Vo | A - Es | A - Fl | Vector<br>suma<br>ponderada | $\lambda_{max}$ |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------------------|-----------------|
| <b>Ambiente<br/>Denudacional</b> | 0.51   | 0.74   | 0.53   | 0.53   | 0.35   | 2.67                        | 5.19            |
| <b>Ambiente<br/>Antrópico</b>    | 0.17   | 0.25   | 0.27   | 0.27   | 0.31   | 1.26                        | 5.09            |
| <b>Ambiente<br/>Volcánico</b>    | 0.13   | 0.12   | 0.13   | 0.13   | 0.15   | 0.67                        | 5.06            |
| <b>Ambiente<br/>Estructural</b>  | 0.06   | 0.06   | 0.07   | 0.07   | 0.08   | 0.34                        | 5.06            |
| <b>Ambiente Fluvial</b>          | 0.06   | 0.03   | 0.03   | 0.03   | 0.04   | 0.19                        | 5.01            |
|                                  |        |        |        |        |        | <b>Suma</b>                 | <b>25.40</b>    |
|                                  |        |        |        |        |        | <b>Promedio</b>             | <b>5.08</b>     |

Cuadro 32: Valor del índice aleatorio para el parámetro geomorfológico.

| n         | 3     | 4     | 5            | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
|-----------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>IA</b> | 0.525 | 0.882 | <b>1.115</b> | 1.252 | 1.341 | 1.404 | 1.452 | 1.484 | 1.513 |

Cuadro 33: Valor del índice y relación de consistencia del factor geomorfológico.

|           |              |
|-----------|--------------|
| <b>IC</b> | <b>0.020</b> |
| <b>RC</b> | <b>0.018</b> |

#### 4.6.3. Unidades Geológicas

Se realizará el cálculo de comparación de pares, normalización de pares y relación de consistencia de pares de las Unidades Geológicas, este cálculo deberá tener un valor menor a 0.10, porque se está considerando cinco parámetros, el cual, se está incluyendo la actividad antrópica.

Cuadro 34: Unidades de geológicas y su nomenclatura.

| <b>Unidades Geológicas</b>  |         |
|-----------------------------|---------|
| Depósitos Cuaternarios      | Qh      |
| Volcánicos Antrópico        | V - an  |
| Volcánico Huambos           | Nm - hm |
| Grupo Pulluycana            | Ks - pu |
| Grupo Quilquiñan - Mujarrum | Ki - qm |

Cuadro 35: Matriz de comparación de pares del parámetro geológico.

| Unidad                             | Qh          | V - an      | Nm - hm     | Ks-pu        | Ki-qm        |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| <b>Depósitos Cuaternarios</b>      | <b>1.00</b> | 3.00        | 5.00        | 7.00         | 9.00         |
| <b>Volcánicos Antrópico</b>        | 0.33        | <b>1.00</b> | 3.00        | 5.00         | 7.00         |
| <b>Volcánico Huambos</b>           | 0.20        | 0.33        | <b>1.00</b> | 3.00         | 5.00         |
| <b>Grupo Pulluycana</b>            | 0.14        | 0.20        | 0.33        | <b>1.00</b>  | 3.00         |
| <b>Grupo Quilquiñan - Mujarrum</b> | 0.11        | 0.14        | 0.20        | 0.33         | <b>1.00</b>  |
| <b>SUMA</b>                        | <b>1.79</b> | <b>4.68</b> | <b>9.53</b> | <b>16.33</b> | <b>25.00</b> |
| <b>1/SUMA</b>                      | <b>0.56</b> | <b>0.21</b> | <b>0.10</b> | <b>0.06</b>  | <b>0.04</b>  |

Cuadro 36: Matriz de normalización de pares del parámetro geológico.

| Unidad                             | Qh   | V-an | Nm-hm | Ks-pu | Ki-qm | Vector priorización | %             |
|------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|---------------------|---------------|
| <b>Depósitos Cuaternarios</b>      | 0.56 | 0.64 | 0.52  | 0.43  | 0.36  | <b>0.503</b>        | 50.28         |
| <b>Volcánico Antrópico</b>         | 0.19 | 0.21 | 0.31  | 0.31  | 0.28  | <b>0.260</b>        | 26.02         |
| <b>Volcánico Huambos</b>           | 0.11 | 0.07 | 0.10  | 0.18  | 0.20  | <b>0.134</b>        | 13.44         |
| <b>Grupo Pulluycana</b>            | 0.08 | 0.04 | 0.03  | 0.06  | 0.12  | <b>0.068</b>        | 6.78          |
| <b>Grupo Quilquiñan - Mujarrum</b> | 0.06 | 0.03 | 0.02  | 0.02  | 0.04  | <b>0.035</b>        | 3.48          |
|                                    |      |      |       |       |       | <b>1.00</b>         | <b>100.00</b> |

Cuadro 37: Matriz de relación de consistencia de pares del parámetro geológico.

| Unidad                             | Qh   | V-an | Nm-hm | Ks-pu | Ki-qm | Vector suma ponderada | $\lambda_{max}$ |
|------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|-----------------------|-----------------|
| <b>Depósitos Cuaternarios</b>      | 0.50 | 0.78 | 0.67  | 0.47  | 0.31  | 2.74                  | 5.46            |
| <b>Volcánico Antrópico</b>         | 0.17 | 0.26 | 0.40  | 0.34  | 0.24  | 1.41                  | 5.43            |
| <b>Volcánico Huambos</b>           | 0.10 | 0.09 | 0.13  | 0.20  | 0.17  | 0.70                  | 5.20            |
| <b>Grupo Pulluycana</b>            | 0.07 | 0.05 | 0.04  | 0.07  | 0.10  | 0.34                  | 5.03            |
| <b>Grupo Quilquiñan - Mujarrum</b> | 0.06 | 0.04 | 0.03  | 0.02  | 0.03  | 0.18                  | 5.09            |
|                                    |      |      |       |       |       | <b>Suma</b>           | <b>26.21</b>    |
|                                    |      |      |       |       |       | <b>Promedio</b>       | <b>5.24</b>     |



Cuadro 38: Valor del índice aleatorio para el parámetro geológico.

| <b>n</b>  | 3     | 4     | 5            | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
|-----------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>IA</b> | 0.525 | 0.882 | <b>1.115</b> | 1.252 | 1.341 | 1.404 | 1.452 | 1.484 | 1.513 |

Cuadro 39: Valor del índice y relación de consistencia del factor geológico.

|           |              |
|-----------|--------------|
| <b>IC</b> | <b>0.061</b> |
| <b>RC</b> | <b>0.054</b> |

#### 4.6.4. Unidades de Hidrología

Se realizará el cálculo de comparación de pares, normalización de pares y relación de consistencia de pares de las Unidades de Hidrología, el cual, el índice y relación de consistencia deberá tener un valor menor a 0.08.

Cuadro 40: Unidades de hidrología.

| <b>Descripción</b> |    |
|--------------------|----|
| Infiltración       | F  |
| Precipitación      | PP |
| Escorrentía        | C  |
| Evaporación        | E  |

Cuadro 41: Matriz de comparación de pares del parámetro de hidrología.

| <b>Unidad</b>        | <b>F</b>    | <b>PP</b>   | <b>C</b>     | <b>E</b>     |
|----------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| <b>Infiltración</b>  | <b>1.00</b> | 5.00        | 8.00         | 9.00         |
| <b>Precipitación</b> | 0.20        | <b>1.00</b> | 3.00         | 7.00         |
| <b>Escorrentía</b>   | 0.13        | 0.33        | <b>1.00</b>  | 2.00         |
| <b>Evaporación</b>   | 0.11        | 0.14        | 0.50         | <b>1.00</b>  |
| <b>SUMA</b>          | <b>1.44</b> | <b>6.48</b> | <b>12.50</b> | <b>19.00</b> |
| <b>1/SUMA</b>        | <b>0.70</b> | <b>0.15</b> | <b>0.08</b>  | <b>0.05</b>  |

Cuadro 42: Matriz de normalización de pares del parámetro de hidrología.

| <b>Unidad</b>        | <b>F</b> | <b>PP</b> | <b>C</b> | <b>E</b> | <b>Vector<br/>priorización</b> | <b>%</b>      |
|----------------------|----------|-----------|----------|----------|--------------------------------|---------------|
| <b>Infiltración</b>  | 0.70     | 0.77      | 0.64     | 0.47     | <b>0.646</b>                   | 64.55         |
| <b>Precipitación</b> | 0.14     | 0.15      | 0.24     | 0.37     | 0.226                          | 22.55         |
| <b>Escorrentía</b>   | 0.09     | 0.05      | 0.08     | 0.11     | 0.081                          | 8.09          |
| <b>Evaporación</b>   | 0.08     | 0.02      | 0.04     | 0.05     | 0.048                          | 4.80          |
|                      |          |           |          |          | <b>1.00</b>                    | <b>100.00</b> |

Cuadro 43: Matriz de relación de consistencia del parámetro de hidrología.

| Unidad               | F    | PP   | C    | E    | Vector suma ponderada | $\lambda_{\max}$ |
|----------------------|------|------|------|------|-----------------------|------------------|
| <b>Infiltración</b>  | 0.65 | 1.13 | 0.65 | 0.43 | 2.85                  | 4.42             |
| <b>Precipitación</b> | 0.13 | 0.23 | 0.24 | 0.34 | 0.93                  | 4.14             |
| <b>Escorrentía</b>   | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.10 | 0.33                  | 4.11             |
| <b>Evaporación</b>   | 0.07 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.19                  | 4.01             |
|                      |      |      |      |      | <b>Suma</b>           | <b>16.68</b>     |
|                      |      |      |      |      | <b>Promedio</b>       | <b>4.17</b>      |

Cuadro 44: Valor del índice aleatorio para el parámetro de hidrología.

| n         | 3     | 4            | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
|-----------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>IA</b> | 0.525 | <b>0.882</b> | 1.115 | 1.252 | 1.341 | 1.404 | 1.452 | 1.484 | 1.513 |

Cuadro 45: Valor del índice y relación de consistencia del factor hidrológico.

|           |              |
|-----------|--------------|
| <b>IC</b> | <b>0.057</b> |
| <b>RC</b> | <b>0.064</b> |

#### 4.6.5. Unidades Sísmicas

Se realizará el cálculo de comparación de pares, normalización de pares y relación de consistencia de pares de las Unidades Sísmicas, el cual, el índice y relación de consistencia deberá tener un valor menor a 0.08.

Cuadro 46: Matriz de comparación de pares del parámetro de sismicidad.

| Unidad          | Baja        | Media       | Alta        | Muy alta     |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| <b>Baja</b>     | <b>1.00</b> | 2.00        | 4.00        | 7.00         |
| <b>Media</b>    | 0.50        | <b>1.00</b> | 2.00        | 4.00         |
| <b>Alta</b>     | 0.25        | 0.50        | <b>1.00</b> | 2.00         |
| <b>Muy alta</b> | 0.14        | 0.25        | 0.50        | <b>1.00</b>  |
| <b>SUMA</b>     | <b>1.89</b> | <b>3.75</b> | <b>7.50</b> | <b>14.00</b> |
| <b>1/SUMA</b>   | <b>0.53</b> | <b>0.27</b> | <b>0.13</b> | <b>0.07</b>  |

Cuadro 47: Matriz de normalización de pares del parámetro de sismicidad.

| <b>Unidad</b>   | <b>Baja</b> | <b>Media</b> | <b>Alta</b> | <b>Muy alta</b> | <b>Vector priorización</b> | <b>%</b>      |
|-----------------|-------------|--------------|-------------|-----------------|----------------------------|---------------|
| <b>Baja</b>     | 0.53        | 0.53         | 0.53        | 0.50            | 0.524                      | 52.37         |
| <b>Media</b>    | 0.26        | 0.27         | 0.27        | 0.29            | 0.271                      | 27.08         |
| <b>Alta</b>     | 0.13        | 0.13         | 0.13        | 0.14            | 0.135                      | 13.54         |
| <b>Muy alta</b> | 0.08        | 0.07         | 0.07        | 0.07            | 0.070                      | 7.01          |
|                 |             |              |             |                 | <b>1.00</b>                | <b>100.00</b> |

Cuadro 48: Matriz de relación de consistencia del parámetro de sismicidad.

| <b>Unidad</b>   | <b>Baja</b> | <b>Media</b> | <b>Alta</b> | <b>Muy alta</b> | <b>Vector suma ponderada</b> | <b><math>\lambda_{max}</math></b> |
|-----------------|-------------|--------------|-------------|-----------------|------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Baja</b>     | 0.52        | 0.54         | 0.54        | 0.49            | 2.10                         | 4.00                              |
| <b>Media</b>    | 0.26        | 0.27         | 0.27        | 0.28            | 1.08                         | 4.00                              |
| <b>Alta</b>     | 0.13        | 0.14         | 0.14        | 0.14            | 0.54                         | 4.00                              |
| <b>Muy alta</b> | 0.07        | 0.07         | 0.07        | 0.07            | 0.28                         | 4.00                              |
|                 |             |              |             |                 | <b>Suma</b>                  | <b>16.01</b>                      |
|                 |             |              |             |                 | <b>Promedio</b>              | <b>4.00</b>                       |

Cuadro 49: Valor del índice aleatorio para el parámetro de sismicidad.

| <b>n</b>  | <b>3</b> | <b>4</b>     | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>10</b> | <b>11</b> |
|-----------|----------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| <b>IA</b> | 0.525    | <b>0.882</b> | 1.115    | 1.252    | 1.341    | 1.404    | 1.452    | 1.484     | 1.513     |

Cuadro 50: Valor del índice y relación de consistencia del factor de sismicidad.

|           |              |
|-----------|--------------|
| <b>IC</b> | <b>0.001</b> |
| <b>RC</b> | <b>0.001</b> |

#### 4.6.6. Parámetro de evaluación

Se realizará el cálculo de comparación de pares, normalización de pares y relación de consistencia de pares de parámetro de evaluación, el cual, el índice y relación de consistencia deberá tener un valor menor a 0.10.

Cuadro 51: Parámetro de evaluación sobre el tiempo de retorno.

| <b>Tiempo de ocurrencia</b> |
|-----------------------------|
| 5 años                      |
| 10 años                     |
| 20 años                     |
| 50 años                     |
| 100 años                    |

Cuadro 52: Matriz de comparación de pares del parámetro de evaluación.

| Tiempo de retorno | 5 años | 10 años | 20 años | 50 años | 100 años |
|-------------------|--------|---------|---------|---------|----------|
| 5 años            | 1.00   | 3.00    | 4.00    | 7.00    | 8.00     |
| 10 años           | 0.33   | 1.00    | 3.00    | 4.00    | 5.00     |
| 20 años           | 0.25   | 0.33    | 1.00    | 3.00    | 4.00     |
| 50 años           | 0.14   | 0.25    | 0.33    | 1.00    | 3.00     |
| 100 años          | 0.13   | 0.20    | 0.25    | 0.33    | 1.00     |
| SUMA              | 1.85   | 4.78    | 8.58    | 15.33   | 21.00    |
| 1/SUMA            | 0.54   | 0.21    | 0.12    | 0.07    | 0.05     |

Cuadro 53: Matriz de normalización de pares del parámetro de evaluación.

| Tiempo de retorno | 5 años | 10 años | 20 años | 50 años | 100 años | Vector priorización | %      |
|-------------------|--------|---------|---------|---------|----------|---------------------|--------|
| 5 años            | 0.54   | 0.63    | 0.47    | 0.46    | 0.38     | 0.494               | 49.42  |
| 10 años           | 0.18   | 0.21    | 0.35    | 0.26    | 0.24     | 0.248               | 24.75  |
| 20 años           | 0.14   | 0.07    | 0.12    | 0.20    | 0.19     | 0.141               | 14.15  |
| 50 años           | 0.08   | 0.05    | 0.04    | 0.07    | 0.14     | 0.075               | 7.53   |
| 100 años          | 0.07   | 0.04    | 0.03    | 0.02    | 0.05     | 0.042               | 4.16   |
|                   |        |         |         |         |          | 1.00                | 100.00 |

Cuadro 54: Matriz de relación de consistencia del parámetro de evaluación.

| Tiempo de retorno | 5 años | 10 años | 20 años | 50 años | 100 años | Vector suma ponderada | $\lambda_{\max}$ |
|-------------------|--------|---------|---------|---------|----------|-----------------------|------------------|
| 5 años            | 0.49   | 0.74    | 0.57    | 0.53    | 0.33     | 2.66                  | 5.39             |
| 10 años           | 0.16   | 0.25    | 0.42    | 0.30    | 0.21     | 1.35                  | 5.44             |
| 20 años           | 0.12   | 0.08    | 0.14    | 0.23    | 0.17     | 0.74                  | 5.23             |
| 50 años           | 0.07   | 0.06    | 0.05    | 0.08    | 0.12     | 0.38                  | 5.04             |
| 100 años          | 0.06   | 0.05    | 0.04    | 0.03    | 0.04     | 0.21                  | 5.13             |
|                   |        |         |         |         |          | Suma                  | 26.23            |
|                   |        |         |         |         |          | Promedio              | 5.25             |

Cuadro 55: Valor del índice aleatorio para el parámetro de evaluación.

| n  | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| IA | 0.525 | 0.882 | 1.115 | 1.252 | 1.341 | 1.404 | 1.452 | 1.484 | 1.513 |

Cuadro 56: Valor del índice y relación de consistencia del parámetro de evaluación.

|    |       |
|----|-------|
| IC | 0.061 |
| RC | 0.055 |



#### 4.7. FACTOR CONDICIONANTE A LA INESTABILIDAD

Al usar una matriz de doble entrada para organizar los factores condicionantes según su relevancia observada en campo, los factores más significativos son:

Cuadro 57: Factores condicionantes y su puntuación.

| <b>Factor</b>  | <b>Puntuación</b> |
|----------------|-------------------|
| Geomorfometría | 5                 |
| Geomorfología  | 3                 |
| Geología       | 1                 |

Cabe mencionar que existen zonas en Cajamarca que son más vulnerables a eventos sísmicos y por ello actúa como factor desencadenante ocasionando movimientos. Se realizará la comparación de pares, excluyendo el Factor de sismicidad, porque, para la evaluación se considera que la sismicidad no tiene relevancia en la zona, y el factor hidrológico se considera el principal factor desencadenante para la ocurrencia de deslizamientos, así mismo, el peso obtenido en el cálculo mediante el método de Saaty es necesario para la elaboración de planos de peligros en el Software ArcGIS.

Cuadro 58: Matriz de comparación de pares del parámetro de factores condicionantes.

| <b>Factores condicionantes</b> | <b>Geomorfometría</b> | <b>Geomorfología</b> | <b>Geología</b> |
|--------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|
| <b>Geomorfometría</b>          | <b>1.00</b>           | 3.00                 | 7.00            |
| <b>Geomorfología</b>           | 0.33                  | <b>1.00</b>          | 3.00            |
| <b>Geología</b>                | 0.14                  | 0.33                 | <b>1.00</b>     |
| <b>SUMA</b>                    | <b>1.48</b>           | <b>4.33</b>          | <b>11.00</b>    |
| <b>1/SUMA</b>                  | <b>0.68</b>           | <b>0.23</b>          | <b>0.09</b>     |

Cuadro 59: Matriz de normalización de pares de los factores condicionantes.

| <b>Factores condicionantes</b> | <b>Geomorfometría</b> | <b>Geomorfología</b> | <b>Geología</b> | <b>Vector priorización</b> | <b>%</b>      |
|--------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|----------------------------|---------------|
| <b>Geomorfometría</b>          | 0.68                  | 0.69                 | 0.64            | <b>0.669</b>               | 66.87         |
| <b>Geomorfología</b>           | 0.23                  | 0.23                 | 0.27            | <b>0.243</b>               | 24.31         |
| <b>Geología</b>                | 0.10                  | 0.08                 | 0.09            | <b>0.088</b>               | 8.82          |
|                                |                       |                      |                 | <b>1.000</b>               | <b>100.00</b> |

Cuadro 60: Matriz de Relación de consistencia de pares de los factores condicionantes.

| Factores condicionantes | Geomorfometría | Geología | Geología | Vector suma ponderada | $\lambda_{max}$ |
|-------------------------|----------------|----------|----------|-----------------------|-----------------|
| <b>Geomorfometría</b>   | 0.67           | 0.73     | 0.62     | 2.015                 | 3.01            |
| <b>Geomorfología</b>    | 0.22           | 0.24     | 0.26     | 0.731                 | 3.01            |
| <b>Geología</b>         | 0.10           | 0.08     | 0.09     | 0.265                 | 3.00            |
|                         |                |          |          | <b>Suma</b>           | <b>9.02</b>     |
|                         |                |          |          | <b>Promedio</b>       | <b>3.01</b>     |

Cuadro 61: Valor del índice aleatorio para los factores condicionantes.

| n         | 3            | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
|-----------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>IA</b> | <b>0.525</b> | 0.882 | 1.115 | 1.252 | 1.341 | 1.404 | 1.452 | 1.484 | 1.513 |

Cuadro 62: Valor del índice y relación de consistencia de los factores condicionantes.

|           |              |
|-----------|--------------|
| <b>IC</b> | <b>0.004</b> |
| <b>RC</b> | <b>0.007</b> |

#### 4.8. CÁLCULO PARA LA ELABORACIÓN DEL PLANO DE PELIGROS

En el siguiente cuadro de muestra el resumen de todos los resultados que se han realizado a cada uno de los factores de acuerdo a los parámetros que el evaluador a considerado.

Cuadro 63: Pesos de los factores, parámetros y descriptor.

| Factor                                 |                | Parámetro         |               | Descriptor     |               | Ppar X Pdesc                |       |       |
|----------------------------------------|----------------|-------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------------|-------|-------|
| Nombre                                 | Peso           | Nombre            | Peso          | Clasificación  | Peso          |                             |       |       |
| Susceptibilidad De Movimientos En Masa | 90%            | Condicionante     | 70%           | Geomorfometría | 0.669         | Escarpa (51° - 90°)         | 0.546 | 0.365 |
|                                        |                |                   |               |                |               | Ladera (21° - 50°)          | 0.268 | 0.179 |
|                                        |                |                   |               |                |               | Lomada (9° - 20°)           | 0.125 | 0.083 |
|                                        |                |                   |               |                |               | Planicie (0° -8°)           | 0.061 | 0.041 |
|                                        |                |                   |               | Geomorfología  | 0.243         | Ambiente Denudacional       | 0.514 | 0.125 |
|                                        |                |                   |               |                |               | Ambiente Antrópico          | 0.248 | 0.060 |
|                                        |                |                   |               |                |               | Ambiente Volcánico          | 0.133 | 0.032 |
|                                        |                |                   |               |                |               | Ambiente Estructural        | 0.066 | 0.016 |
|                                        |                |                   |               |                |               | Ambiente Fluvial            | 0.039 | 0.009 |
|                                        |                |                   |               | Geología       | 0.088         | Depósitos Cuaternarios      | 0.503 | 0.044 |
|                                        |                |                   |               |                |               | Volcánico Antropico         | 0.260 | 0.023 |
|                                        |                |                   |               |                |               | Volcánico Huambos           | 0.134 | 0.012 |
|                                        |                |                   |               |                |               | Grupo Pulluycana            | 0.068 | 0.006 |
|                                        |                |                   |               |                |               | Grupo Quilquiñan - Mujarrum | 0.035 | 0.003 |
|                                        | Desencadenante | 30%               | Precipitación | 1.000          | Infiltración  | 0.646                       | 0.646 |       |
|                                        |                |                   |               |                | Precipitación | 0.226                       | 0.226 |       |
|                                        |                |                   |               |                | Escorrentía   | 0.081                       | 0.081 |       |
|                                        |                |                   |               |                | Evaporación   | 0.048                       | 0.048 |       |
| Parámetro de Evaluación                | 10%            | Tiempo de Retorno | 1.000         | 5 años         | 0.494         | 0.494                       |       |       |
|                                        |                |                   |               | 10 años        | 0.248         | 0.248                       |       |       |
|                                        |                |                   |               | 20 años        | 0.141         | 0.141                       |       |       |
|                                        |                |                   |               | 50 años        | 0.075         | 0.075                       |       |       |
|                                        |                |                   |               | 100 años       | 0.042         | 0.042                       |       |       |

Cuadro 64: Cálculo para la peligrosidad.

| Condicionante         |                    |                     | Desencadenante        |                     |                      | Susceptibilidad       |                      | Parámetro De Evaluación |               | Peligrosidad |
|-----------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|---------------|--------------|
| $\Sigma$ Ppar X Pdesc | Peso condicionante | Valor condicionante | $\Sigma$ Ppar x Pdesc | Peso desencadenante | Valor desencadenante | Valor susceptibilidad | Peso susceptibilidad | Valor par-eval          | Peso par-eval |              |
| 0.535                 | 70%                | 0.374               | 0.646                 | 30%                 | 0.194                | 0.568                 | 90%                  | 0.141                   | 10%           | 0.525        |
| 0.262                 |                    | 0.184               | 0.646                 |                     | 0.194                | 0.377                 |                      | 0.141                   |               | 0.354        |
| 0.127                 |                    | 0.089               | 0.646                 |                     | 0.194                | 0.283                 |                      | 0.141                   |               | 0.269        |
| 0.063                 |                    | 0.044               | 0.646                 |                     | 0.194                | 0.238                 |                      | 0.141                   |               | 0.228        |
| 0.012                 |                    | 0.009               | 0.646                 |                     | 0.194                | 0.202                 |                      | 0.141                   |               | 0.196        |

Cuadro 65: Rangos y nivel de peligrosidad.

| Rango         | Nivel    | Color                                                                                |
|---------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 0.354 – 0.525 | MUY ALTO |  |
| 0.269 – 0.354 | ALTO     |  |
| 0.228 – 0.269 | MEDIO    |  |
| 0.196 – 0.228 | BAJO     |  |

Este cálculo se realizó en el software Excel, posteriormente estos datos se introducirán en el software ArcGis para la elaboración del plano de peligros geológicos, lo que el software realiza es, intersecar la información vectorial de geomorfometría, geomorfología y geología, en la tabla de atributos se añaden campos como Valores de Factores Condicionantes (VFC), Valores de Factores Desencadenantes (VFD), Valor de Susceptibilidad (VSuscp) y Valor de Parámetro de Evaluación (VPEV). Posteriormente, se calcula el Peligro usando la fórmula  $(VSuscp \times \text{Peso de Suscp} + VPEV \times \text{Peso de Pev})$  y para finalizar, se clasifica el nivel de Peligro mediante la selección por atributos y se asigna una simbología adecuada para caracterizar el Peligro Geológico.



#### **4.9. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS**

La identificación de peligros geológicos, como los movimientos en masa, es esencial para la gestión del riesgo. La evaluación detallada de la susceptibilidad de las áreas afectadas permite priorizar recursos y estrategias de mitigación. En el área de estudio, el 60% es depósito cuaternario 25% de las rocas son volcánicas, pertenecientes al Volcánico Huambos y 15% es lo que aflora de los Grupos Pulluycana y Quilquiñan – Mujarrum. Las características de las rocas, como su composición, dureza, cohesión, así mismo, geomorfometría, geomorfología y la geología, influyen en la generación de los movimientos en masa, la sismicidad se considera como un factor desencadenante, pero, para esta investigación no se ha tomado en cuenta por la ubicación de la zona, por ello es irrelevante para los movimientos en masa. La investigación confirma que los peligros geológicos correspondientes movimientos en masa están relacionados a los depósitos cuaternarios y rocas volcánicas. Realizando el cartografiado geológico se ha determinado que el factor desencadenante es la hidrología (infiltración), así mismo, se calculó la infiltración, siendo 1.51 MMC en los últimos 40 años, por otra parte, se ha evidenciado manantiales en diferentes puntos en la parte superior de las laderas, así mismo, el nivel freático se localizó a 0.80 metros de profundidad, además, en la mayoría de los deslizamientos, en la escarpa principal hay presencia de humedad, por ello se consideran que este factor es el principal factor para detonar los movimientos en masa. Al realizar el cálculo mediante el método de Saaty se logró determinar los valores cumpliendo la norma, para la comparación de cuatro y cinco parámetros, la relación de consistencia debe ser menor a 0.08 y 0.1 sucesivamente, por ello damos validez a todos los cálculos realizados en nuestra investigación.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

Mediante el cartografiado geológico se identificó 12 movimientos de masa en las laderas del Caserío Carahuanga I; se determinaron 2 de tipo de caída de rocas, 9 deslizamientos rotacionales (2 deslizamientos se consideran de gran magnitud respecto a los demás) y 1 de tipo flujo de detritos. Estos movimientos en masa se han desarrollado en depósitos cuaternarios y en pendientes de 21° a 50° grados, por lo que geomorfométricamente se consideran laderas.

Se identificaron los factores desencadenantes como la precipitación y la infiltración, el cual, saturan el suelo, por lo que, si se intersecan con los factores condicionantes la probabilidad de ocurrencia de un movimiento en masa es mayor.

Se elaboró el plano de Peligros Geológicos realizando el cálculo a través de la matriz de comparación de pares y posteriormente la matriz de normalización de pares del factor condicionante y desencadenante, así mismo, se consideró los porcentajes de la susceptibilidad y el parámetro de evaluación siendo el 70% y 30%, finalmente, se determinó 4 niveles de peligrosidad; muy alta, alta, media y baja, en donde, el 90% del área evaluada se ubica en el nivel de peligro muy alto y alto.

#### **5.2. RECOMENDACIONES**

Implementar un plan de reforestación en áreas de alta y muy alta peligrosidad, el cual, reduciría de manera significativa los peligros, además, de contribuir positivamente con el medio ambiente. Se sugiere a futuros investigadores a realizar un estudio hidrogeológico a detalle con la finalidad de obtener datos más precisos sobre la infiltración, por lo que, es el factor más relevante, el cual, influye en el desarrollo de estos deslizamientos, así mismo, el uso de drones en zonas inaccesibles de las laderas facilitará para futuras investigaciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arbeláez, C. 2019. Contribuciones desde la geomorfometría y la geomorfología tectónica: Valle de Aburrá, Cordillera Central de Colombia. Proyecto de grado. Medellín, Antioquia, Colombia. Universidad EAFIT. 47 p.
- Blanco, F. 2013. Evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa en la zona central de la cuenca del Río Mantaro – Región Junín. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo. Junín. Perú UNI. 142 p.
- Cando, M. 2020. Geomática aplicada al análisis de riesgos geológicos. Tesis Doctoral. Salamanca. España. 333 p.
- Carrara, A. 2008. GIS Technology in Mapping landslide Hazard. Kluwe Academic 175 p.
- Publishers. London, pág. Cartaya, et. al, 2010. Validación de la técnica compensatoria aditiva para la ponderación de variables que intervienen en la génesis de procesos de remoción en masa. Estudios del Medio Físico Venezolano. Caracas. Venezuela. UPEL – Instituto Pedagógico de Caracas. 30 p.
- Coliente, A. 2010. Inestabilidad en Laderas y Taludes. Tesis Magistral. Ciudad de México. México. Programa de maestría y doctorado en ingeniería UNAM. 224 p.
- CENEPRED, 2014. Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión. Lima. Perú 248 p.
- Cruden, D. 1991. A simple definition of a landslide. Article in Bulletin N° 43. International Association of Engineering Geology. Canadá. University of Alberta 29 p.
- González de Vallejo, L. 2004. Ingeniería Geológica. Madrid. España. Pearson Prentice Hall. 738 p.
- Hernández, R; Fernández, C; Baptista, L. 2014. Metodología de la investigación. Sexta Edición. McGraw-Hill. México D.F. México. 632 p.

- Hernández, S. 2021. Evaluación de los peligros geológicos y elaboración del mapa de susceptibilidad en la zona de Huambocancha Baja. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo. Cajamarca. Perú. UNC. 123 p.
- INDECI, 2015. Escenario de riesgo sísmico y movimiento en masa producido por la reactivación de la falla Tambomachay, Provincia de Cusco. Cusco. Perú. 87 p.
- INGEMMET, 2018. Flujo de detritos en la quebrada Chimpapata. Lima. Perú. 36 p.
- INGEMMET, 2021. Los peligros geológicos en Perú. Lima. Perú. 36 p.
- INGEMMET, 2023. Evaluación de zonas críticas por peligros geológicos ante fenómenos El Niño 2023 – 2024 en el Departamento de Piura. Lima. Perú. 267 p.
- INGEOMINAS, 1998. Zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa en las cuencas de los ríos Bolo y Fraile, Valle del Cauca. Volumen 1. Bogotá. Colombia. 214 p.
- INGEOMINAS, 2001. Evaluación de Riesgos por Fenómenos de Remoción En Masa: Guía Metodológica. Bogotá. Colombia. 199 p.
- Lagos, A. 2015. Modelamiento de la relación entre los procesos tectónicos y la inestabilidad en los terrenos de las zonas: Urubamba y Tres Ríos. Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en ciencias Mención: Gestión Ambiental y Recursos Naturales. Cajamarca. Perú. Posgrado UNC. 130 p.
- Luna, R. 2019. Evaluación de riesgos ante precipitaciones intensas y modelamiento hidrológico de la quebrada Huarangal limitante entre los Distritos de Paucarpata - Mariano Melgar, Provincia de Arequipa, Región Arequipa. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo. Arequipa. Perú. UNSA 167 p.



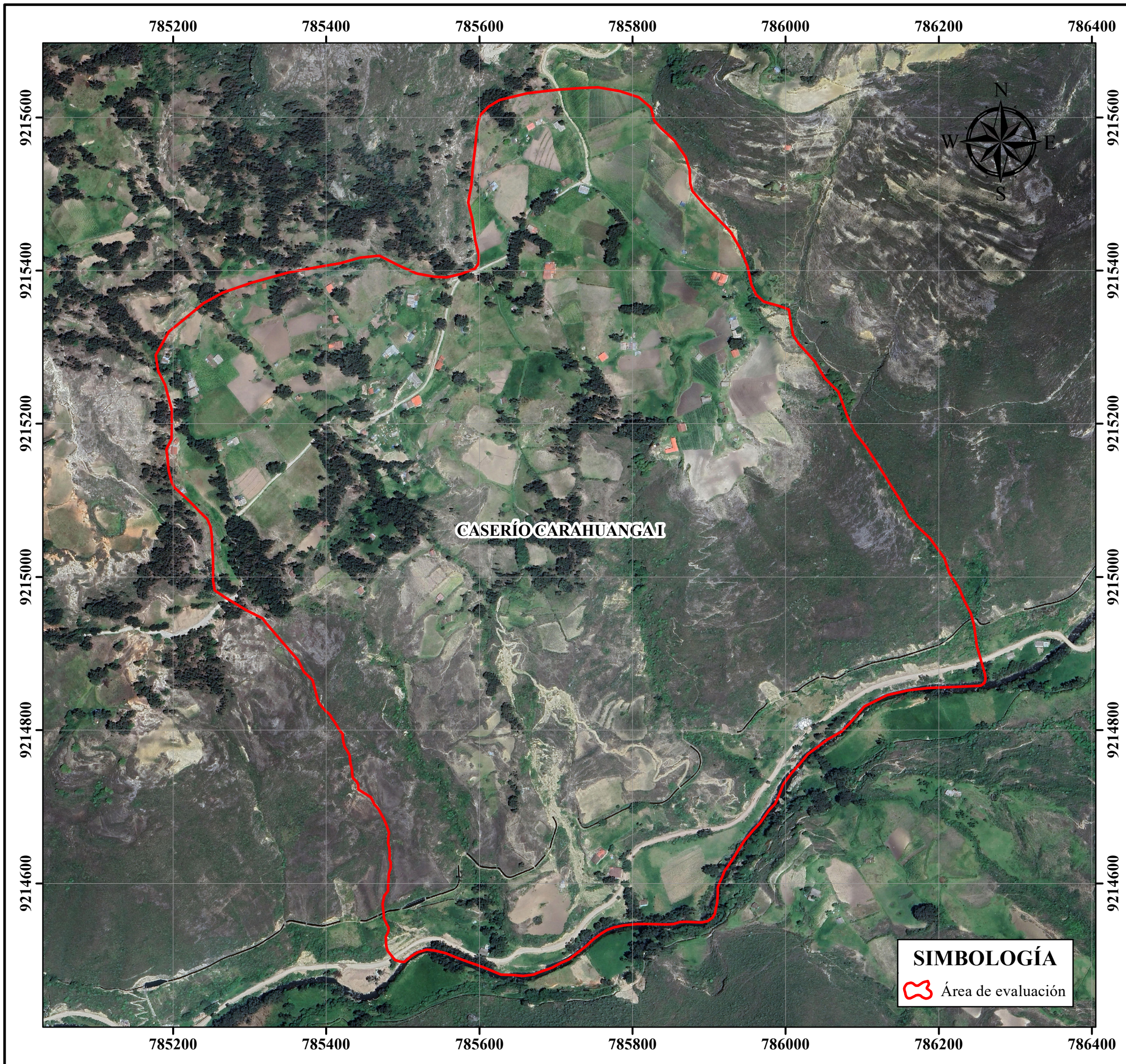
- Mejía, J. 2021. Análisis del grado de susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante SIG en la microcuenca del Río San Lucas - Distrito de Cajamarca. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo. Cajamarca. Perú. UNC. 123 p.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018. Norma Técnica E.30 “Diseño Sismorresistente” Lima. Perú. 32 p.
- Rodríguez, S. 2016. Método de investigación Geológico-Geotécnico para el análisis de inestabilidad de laderas por deslizamientos zona Ronquillo-Quirosorgona. Tesis para optar el Grado Académico de Magister en Geología - Mención Geotecnia. Lima, Perú. Posgrado UNMSM. 151 p.
- Rodríguez, S. 2018. Impacto Geotécnico-Ambiental en cabeceras de subcuencas por implantación de minas conga. Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias. Cajamarca, Perú. Posgrado UNC. 207 p.
- Saaty, T. 1980. Multicriteria decision Making: The analytic hierarchy process. New York, McGraw Hill. United States. University of Pittsburgh. 98 p.
- Senamhi, 2014. Estimación de umbrales de precipitaciones extremas para la emisión de avisos meteorológicos. Lima. Perú. 11 p.
- SINAGERD, 2011. Ley del Sistema Nacional de Gestión Del Riesgo de Desastres Sinagerd – LEY N° 29664. Ley y Reglamento. 2da edición. Lima. Perú. 56 p.
- Smith, W. 2001. Spending on Safety Nets for the Poor: How Much, For How Many? The Case, of Malawi. N° 11. Africa Region Working Paper Series. 66 p.
- Suárez, J. 1998. Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. (I. d. Ltda., Ed.) Bucaramanga, Colombia: Instituto de Investigación sobre Erosión y Deslizamientos. 550 p.

- Suárez, J. 2009. Deslizamientos: Análisis Geotécnico. Cap. 1 Nomenclatura y Clasificación de los Movimientos (Volumen 1). Colombia. Universidad Industrial de Santander. 582 p.
- USGS, 2004. Landslide Types and Processes. Publications Warehouse. Department of the interior Geological Survey. United States. 5 p.
- Varnes, D. 1978. Slope Movement Types and Processes. Washington, Estados Unidos: Junta de Investigación de Transporte. 23 p.
- Vega, M. 2023. Movimientos en masa y su grado de susceptibilidad en la zona turística Millpu del distrito de Huancaraylla en Ayacucho. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo. Lima. Perú. UNMSM. 135 p.

## **ANEXOS**

- Planos de Ubicación
- Plano de Geomorfometría
- Plano de Geomorfología
- Plano de Geología
- Plano de Peligros geológicos

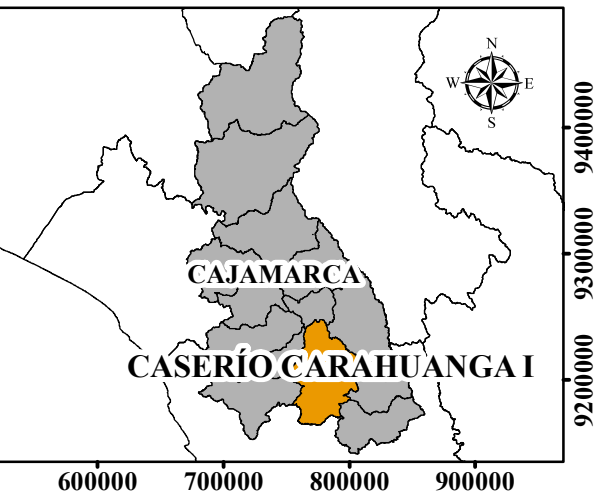




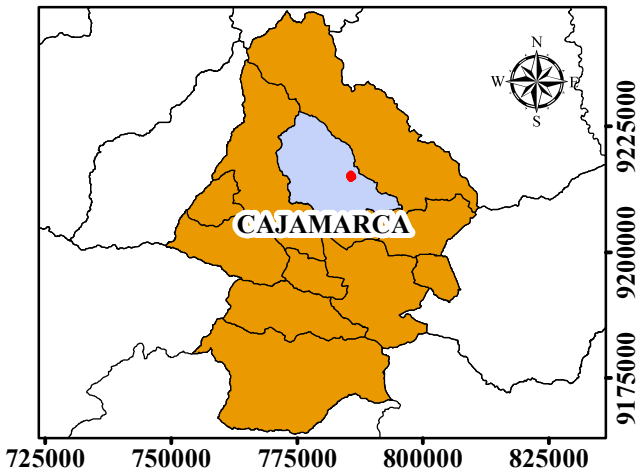
**SIMBOLOGÍA**

 Área de evaluación

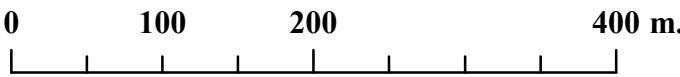
**DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA**



**PROVINCIA DE CAJAMARCA**

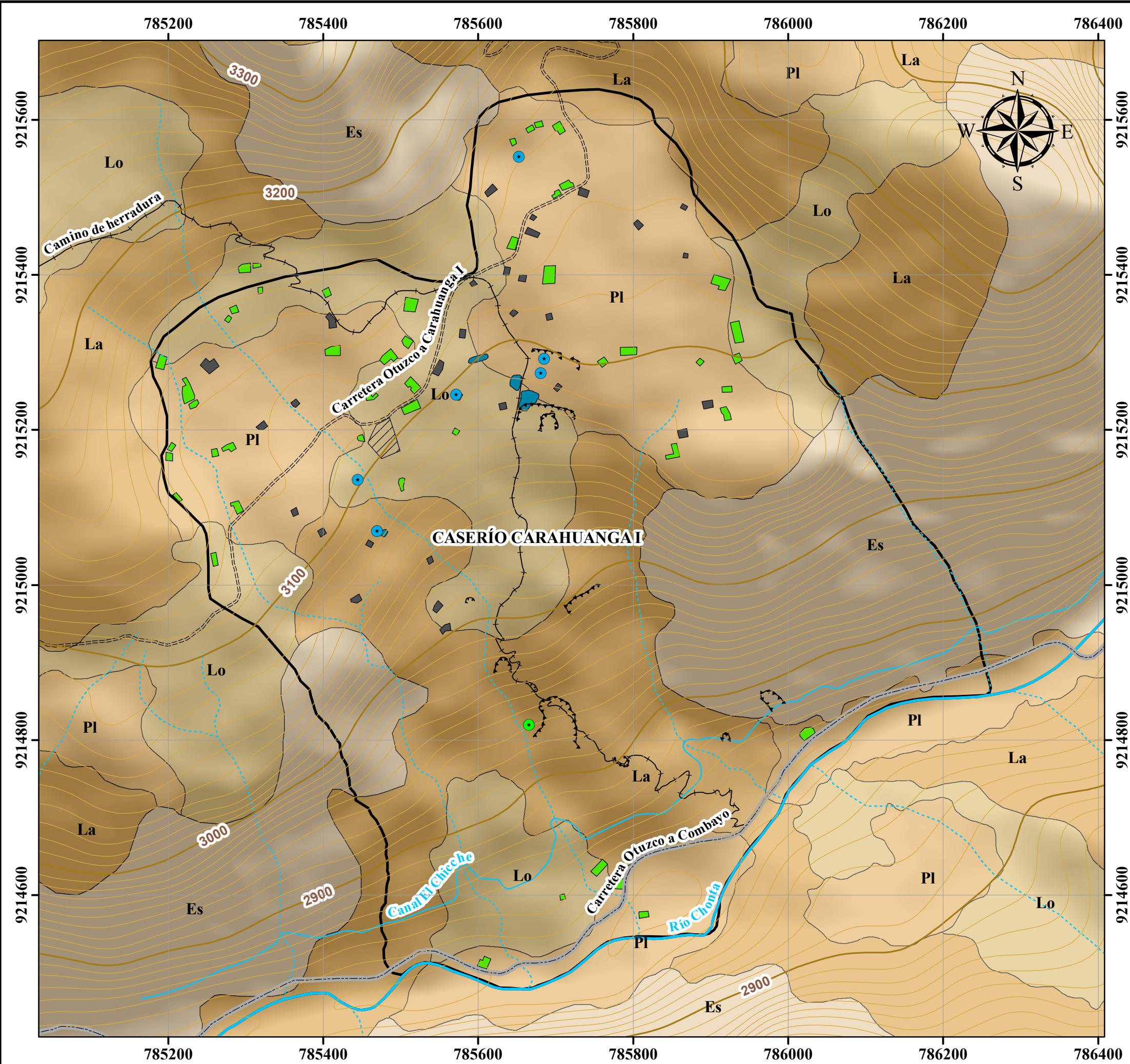


**DISTRITO DE LOS BAÑOS DEL INCA**



|                                                                                                                                                                                                          |             |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------|
|  <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b><br>FACULTAD DE INGENIERÍA<br>ESCUELA PROFESIONAL DEL INGENIERÍA GEOLÓGICA |             |        |
| TESIS: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CASERÍO CARAHUANGA I – LOS BAÑOS DEL INCA                                                                                                                 |             |        |
| PLANO DE UBICACIÓN                                                                                                                                                                                       |             |        |
| TESISTA:                                                                                                                                                                                                 | FECHA:      | PLANO: |
| BACH. ELVIS LLANOS HUAMÁN                                                                                                                                                                                | AGOSTO 2025 |        |
| ASESOR:                                                                                                                                                                                                  | ESCALA:     | 01     |
| M. Cs. Ing. ROBERTO GONZALES YANA                                                                                                                                                                        | 1:5000      |        |
| PROYECCIÓN DATUM/ZONA:                                                                                                                                                                                   |             |        |
| UTM - WGS84 - 17 SUR                                                                                                                                                                                     |             |        |





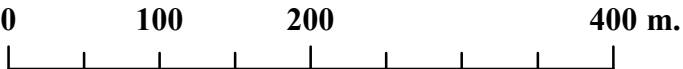
LEYENDA

Unidades Geomorfométricas

- PI - Planicie / (0° - 8°)
- Lo - Lomada / (9° - 20°)
- La - Ladera / (21° - 50°)
- Es - Escarpa / (51° - 90°)

SIMBOLOGÍA

- Manantial activo
- Manantial inactivo
- Curva mayor
- Curva menor
- Camino de herradura
- Carretera Otuzco a Carahuangai I
- Carretera Otuzco a Combayo
- Caida de rocas
- Deslizamiento
- Flujo de detritos
- Canal
- Quebrada
- Río
- Casas habitables
- Casas inhabitables
- Cementerio
- Áreas fangosas
- Área de evaluación





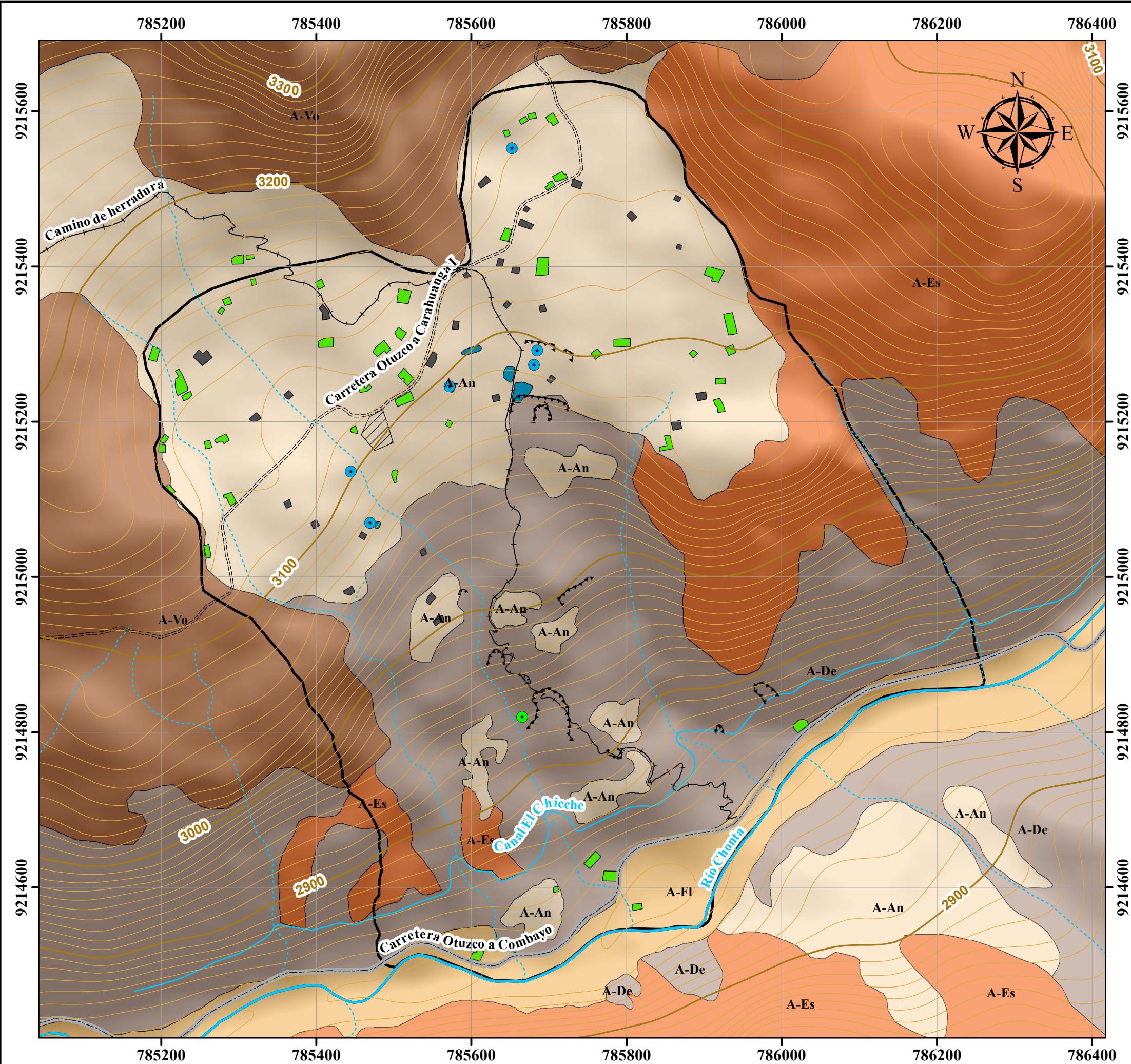
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DEL INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CASERÍO  
CARAHUANGA I – LOS BAÑOS DEL INCA

PLANO GEOMORFOMÉTRICO

|                                              |                                                |                     |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------|
| TESISTA:<br>BACH. ELVIS LLANOS HUAMÁN        | FECHA: AGOSTO 2025<br>ESCALA: 1:5000           | PLANO:<br><b>02</b> |
| ASESOR:<br>M. Cs. Ing. ROBERTO GONZALES YANA | PROYECCIÓN DATUM/ZONA:<br>UTM - WGS84 - 17 SUR |                     |





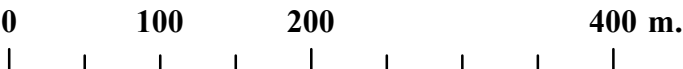
LEYENDA

Unidades Geomofogenéticas

- A-An / Ambiente Antrópico
- A-De / Ambiente Denudacional
- A-Es / Ambiente Estructural
- A-Fl / Ambiente Fluvial
- A-Vo / Amviente Volcánico

SIMBOLOGÍA

- Manantial activo
- Manantial inactivo
- Curva mayor
- Curva menor
- Camino de herradura
- Carretera Otuzco a Carahuanga I
- Carretera Otuzco a Combayo
- Caida de rocas
- Deslizamiento
- Flujo de detritos
- Canal
- Quebrada
- Río
- Casas habitables
- Casas inhabitables
- Cementerio
- Áreas fangosas
- Área de evaluación





UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DEL INGENIERÍA GEOLÓGICA



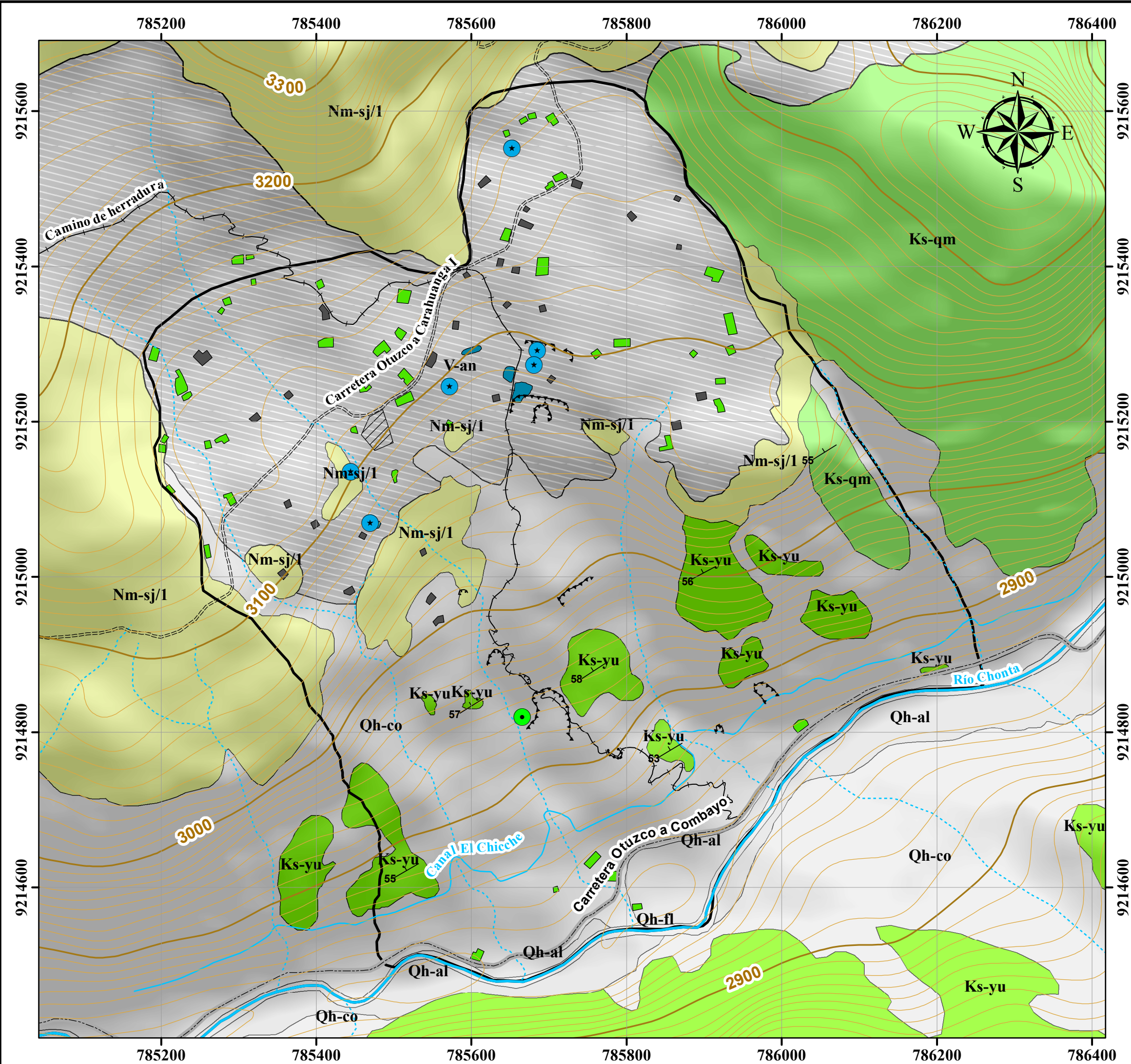
TESIS: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CASERÍO

CARAHUANGA I – LOS BAÑOS DEL INCA

PLANO GEOMORFOGENÉTICO

|                                   |                        |        |
|-----------------------------------|------------------------|--------|
| TESISTA:                          | FECHA:                 | PLANO: |
| BACH. ELVIS LLANOS HUAMÁN         | AGOSTO 2025            |        |
| ASESOR:                           | ESCALA:                | 03     |
| M. Cs. Ing. ROBERTO GONZALES YANA | 1:5000                 |        |
|                                   | PROYECCIÓN DATUM/ZONA: |        |
|                                   | UTM - WGS84 - 17 SUR   |        |





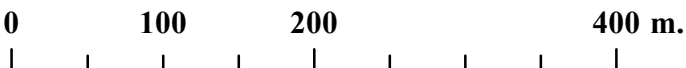
LEYENDA

Unidades Geológicas

- V-an / Volcánico Antrópico
- Qh-fl / Depósito Fluvial
- Qh-al / Depósito Aluvial
- Qh-co / Depósito Coluvial
- Nm-sj/1 / Volcánico San José
- Ks-qm / Formación Quilquiñan-Mujarrum
- Ks-yu / Formación Yumagual

SIMBOLOGÍA

- Manantial activo
- Manantial inactivo
- Azimut - Buzamiento
- Curva mayor
- Curva menor
- Camino de herradura
- Carretera Otuzco a Carahuanga I
- Carretera Otuzco a Combayo
- Caida de rocas
- Deslizamiento
- Flujo de detritos
- Canal
- Quebrada
- Río
- Casas habitables
- Casas inhabitables
- Cementerio
- Areas fangosas
- Área de evaluación





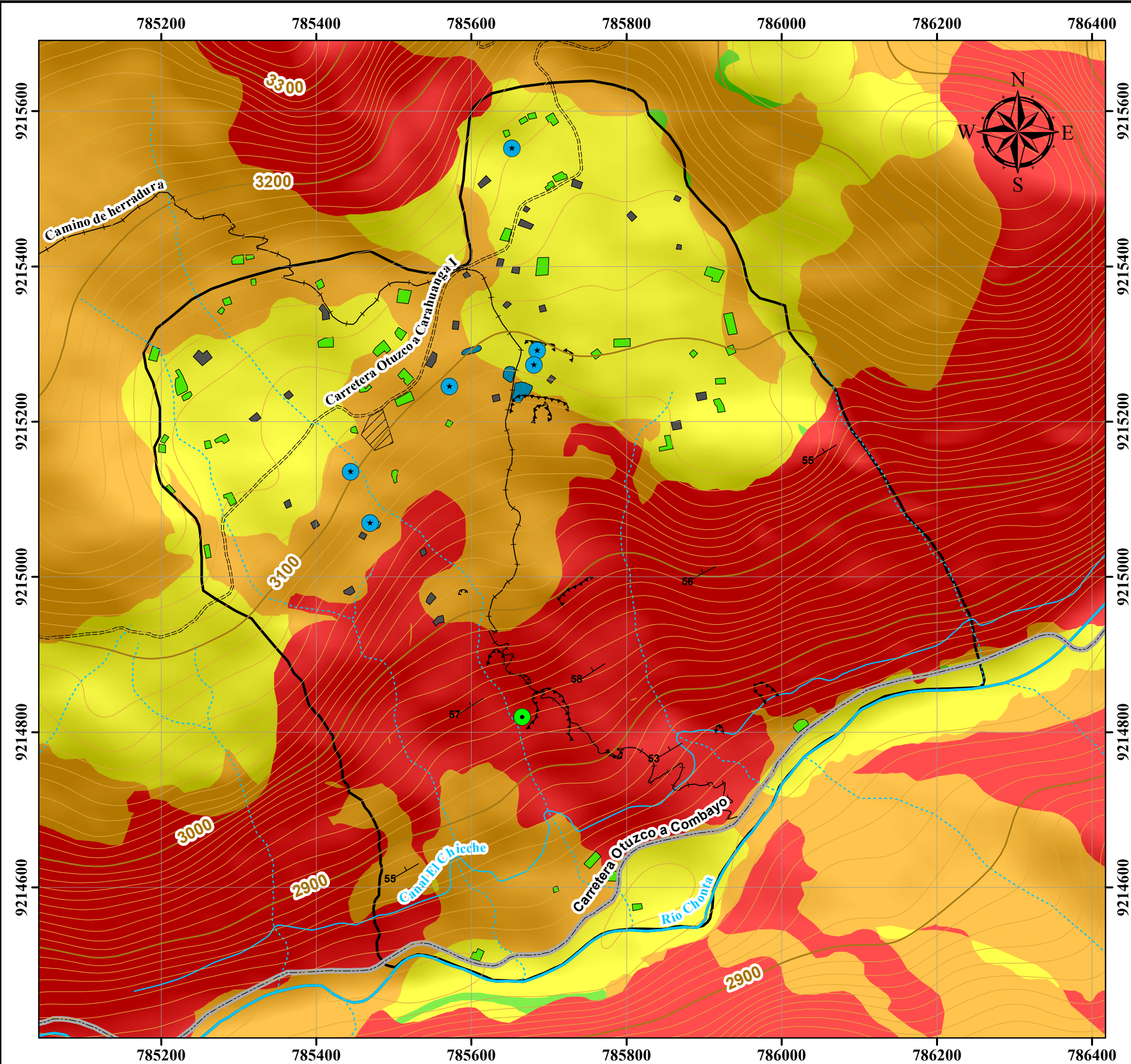
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DEL INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CASERÍO  
CARAHUANGA I - LOS BAÑOS DEL INCA

PLANO GEOLÓGICO

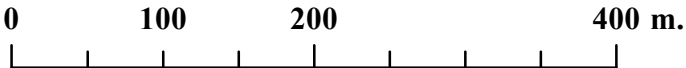
|                                   |                        |        |
|-----------------------------------|------------------------|--------|
| TESISTA:                          | FECHA:                 | PLANO: |
| BACH. ELVIS LLANOS HUAMÁN         | AGOSTO 2025            |        |
| ASESOR:                           | ESCALA:                | 04     |
| M. Cs. Ing. ROBERTO GONZALES YANA | 1:5000                 |        |
|                                   | PROYECCIÓN DATUM/ZONA: |        |
|                                   | UTM - WGS84 - 17 SUR   |        |





- LEYENDA**
- NIVEL DE PELIGRO**
- PELIGRO MUY ALTO
  - PELIGRO ALTO
  - PELIGRO MEDIO
  - PELIGRO BAJO

- SIMBOLOGÍA**
- Manantial activo
  - Manantial inactivo
  - Azimut - Buzamiento
  - Curva mayor
  - Curva menor
  - Camino de herradura
  - Carretera Otuzco a Carahuanga I
  - Carretera Otuzco a Combayo
  - Caida de rocas
  - Deslizamiento
  - Flujo de detritos
  - Canal
  - Quebrada
  - Río
  - Casas habitables
  - Casas inhabitables
  - Cementerio
  - Areas fangosas
  - Área de evaluación



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                |              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------|
|  <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b><br>FACULTAD DE INGENIERÍA<br>ESCUELA PROFESIONAL DEL INGENIERÍA GEOLÓGICA  |                                                |              |
| TESIS: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CASERÍO<br>CARAHUANGA I – LOS BAÑOS DEL INCA                                                                                                                                                                                                    |                                                |              |
| PLANO DE PELIGROS GEOLÓGICOS                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                |              |
| TESISTA:<br>BACH. ELVIS LLANOS HUAMÁN                                                                                                                                                                                                                                                          | FECHA: AGOSTO 2025<br>ESCALA: 1:5000           | PLANO:<br>05 |
| ASESOR:<br>M. Cs. Ing. ROBERTO GONZALES YANA                                                                                                                                                                                                                                                   | PROYECCIÓN DATUM/ZONA:<br>UTM - WGS84 - 17 SUR |              |