

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



**TESIS**

**EVALUACIÓN DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS Y ELABORACIÓN DEL  
MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD EN LA ZONA DE HUAMBOCANCHA BAJA.  
CAJAMARCA.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO**

**Presentado por:**

**Bachiller: SILVIO HERNÁNDEZ MAYTA**

**Asesor:**

**Dr. Ing. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE**

**CAJAMARCA - PERÚ**

**2021**

## **AGRADECIMIENTO**

A los docentes de la EAP de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de Cajamarca por sus enseñanzas y por su apoyo y amistad y en especial al Dr. Alejandro Lagos Manrique por el interés mostrado y la constante supervisión para el desarrollo y culminación de esta tesis.

A mis padres y hermanos por ser mi apoyo infinito y mi consejería en todo lo que realizo.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, hermanos y a todas las personas que alguna y otra forma contribuyeron en la culminación de mis estudios universitarios

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Ítems	Pág.
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xviii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xix</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>4</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	4
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	5
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	7
2.1.3. Antecedentes Locales .....	8
2.2 . BASES TEÓRICAS.....	8
2.2.1. Peligros geológicos .....	8
2.2.2. Peligro .....	9
2.2.3. Movimiento en masa (MM).....	9
2.2.4. Peligrosidad .....	10
2.2.5. Vulnerabilidad .....	10
2.2.6. Susceptibilidad .....	11
2.2.7. Zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por MM.....	11
2.2.8. Preparación de Mapas de Susceptibilidad .....	11
2.2.9. Riesgo .....	12
2.2.10. Factores de amenaza y factores de riesgo.....	12
2.2.11. Medidas y tipos de riesgos .....	13
2.2.12. Factores que afectan la estabilidad del terreno (FCI).....	13
2.2.13. Causas y factores de la inestabilidad: .....	15
2.2.14. Parámetros y procesos de inestabilidad.....	16
2.2.15. Clasificación de los Movimientos de masa (MM).....	17
2.2.16. Flujos.....	27

2.2.17. Movimientos complejos .....	29
2.2.18. Otros peligros .....	30
2.2.19. Herramientas y técnicas para la evaluación de peligros.....	30
2.2.20. Método Heurístico o Empírico .....	32
2.2.21. Método Probabilístico .....	34
2.2.22. Matriz de Jerarquías Múltiples (MJM).....	34
2.2.23. Coeficiente de Consistencia (RC).....	36
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	36
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>38</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>38</b>
3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	38
3.1.1. Geográfica.....	38
3.1.2. Política .....	38
3.1.3. Accesibilidad .....	38
3.1.4. Clima.....	40
3.1.5. Vegetación .....	40
3.2. PROCEDIMIENTOS.....	40
3.2.1. Metodología .....	40
3.2.2. Identificación de las variables .....	41
3.2.3. Técnicas.....	41
3.2.4. Instrumentos y equipos .....	42
3.3. GEOLOGÍA REGIONAL.....	42
3.4. GEOLOGÍA LOCAL.....	43
3.4.1. Grupo Goyllarisquizga.....	43
3.4.1.1. Formación Santa (Ki- sa) .....	43
3.4.1.2. Formación Carhuáz (Ki- ca) .....	44
3.4.1.3. Formación Farrat (Ki- fa).....	45
3.4.2. Formación Inca (Ki- in) .....	45
3.4.3. Volcánicos San Pablo (PN- Vsp).....	46
3.4.4. Volcánicos Huambos (PN- Vh).....	47
3.4.5. Depósitos Cuaternarios.....	47
3.4.5.1. Depósitos coluviales (Qh- co).....	47

3.4.5.2. Depósitos fluviales (Qh- fl) .....	48
3.5. GEOMORFOLOGÍA .....	49
3.5.1. Lomada .....	49
3.5.2. Valles .....	49
3.5.3. Cárcavas .....	50
3.5.4. Escarpes .....	51
3.6. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	51
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>53</b>
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>53</b>
4.1. Descripción de los Movimientos de Masa (MM) .....	53
4.2. Edad, Dureza, Cohesión y Tectonismo en los afloramientos volcánicos .....	54
4.3. Descripción de los Movimientos de Masa dentro de rocas Cretácicas en el área de Investigación.....	58
4.3.1. Movimientos de Masa (MM) en rocas sedimentarias Cretácicas .....	58
4.3.2. Movimientos de Masa (MM) en rocas volcánicas cenozoicas.....	61
4.4. Aplicación del Método Empírico o Heurístico .....	68
4.4.1. Análisis de las Unidades Litológicas (UL) .....	68
4.4.2. Análisis de las Unidades Geomorfológicas (UG) .....	69
4.4.3. Análisis de las Unidades Hidrogeológicas (UH). .....	70
4.4.4. Análisis de las Unidades de Cobertura Vegetal (UCV) .....	71
4.4.5. Análisis del Factor Tectónico .....	72
4.4.6. Análisis del Factor de Pendientes (FP) .....	73
4.4.7. Análisis del Factor Dureza, Cohesión y Consistencia Singenética (FDCC) .....	74
4.5. Aplicación del Método Probabilístico .....	75
4.6. Factores Condicionantes de la Inestabilidad (FCI).....	82
4.7. Cálculo de los Factores Condicionantes de la Inestabilidad (FCI). .....	83
4.8. Cálculo del Coeficiente de Consistencia (CC).....	83
4.9. Superposición de los Mapas Factores y elaboración del mapa de susceptibilidad .....	84
4.10. Contrastación de la hipótesis.....	84

<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>87</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>87</b>
5.1. CONCLUSIONES.....	87
5.2. RECOMENDACIONES .....	88
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>89</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Índice	Pág.
Figura 1. Tipos de Peligros (UNESCO, 2000). .....	9
Figura 2. Vuelcos y desprendimientos (González de Vallejo, 2002). .....	19
Figura 3. Tipos de deslizamientos de acuerdo con el mecanismo de ruptura (González de Vallejo, 2002). .....	20
Figura 4. Tipos de deslizamientos rotacionales (González de Vallejo, 2002)...	21
Figura 5. Esquema de un deslizamiento rotacional y partes del mismo (Varnes, 1988). .....	21
Figura 6. Tipos de deslizamientos (UNESCO, 2000). .....	23
Figura 7. Detalles a analizar en un deslizamiento (Suárez, 1998). .....	24
Figura 8. Signos para reconocer un problema de deslizamientos (Suárez, 1998). .....	26
Figura 9. Movimientos de flujo (Corominas y García, 1997).....	29
Figura 10. Aspectos fundamentales para el análisis de susceptibilidad (Castellanos y Carrillo, 2003). .....	31
Figura 11. Imagen satelital con accesibilidad al área de estudio (Google Maps, 2019) .....	39
Figura 12. Geología regional. ....	43
Figura 13. Mapa Estructural de Huambocancha Baja y alrededores. Se muestra la ubicación del area de investigación de color rojo donde se muestra la clara ausencia de estructuras geológicas en las secuencias volcánicas lo que indica que las estructuras producidas durante la Fase Tectónica Incaica están cubiertas por estas secuencias volcánicas.....	52
Figura 14. Porcentaje de afloramientos rocosos en el área de estudio. Se observa un gran porcentaje de rocas volcánicas (85°) frente a las rocas sedimentarias (10°) y depósitos cuaternarios (5°).....	54
Figura 15. Se muestra la totalidad de los MM registrados y estudiados en en el área de investigación. Además, el área individual y total. ....	58
Figura 16. Block diagrama donde se representa el deslizamiento producido en la zona de Huambocancha.....	65



	<b>Pág.</b>
Figura 17. Ponderación de las unidades litológicas, donde se puede apreciar que la mayor cantidad de MM. se dan en rocas volcánicas tobaceas y tobas retrabajadas y se puede apreciar además la ponderación representadas con las barras de color celeste. ....	69
Figura 18. Ponderación de las unidades geomorfológicas, donde se puede apreciar que la mayor cantidad de MM. se dan en las lomadas y colinas. Se aprecia además la ponderación representadas con las barras de color celeste. ....	70
Figura 19. Ponderación de las unidades hidrogeológicas, donde se puede apreciar que la mayor cantidad de MM. se dan rocas volcánicas fisuradas.....	71
Figura 20. Ponderación de las unidades de cobertura vegetal. Las ponderaciones están representadas por las barras de color celeste. ....	72
Figura 21. Ponderación de las unidades tectónicas. La barra de color celeste representa a la ponderación del método empírico. ....	73
Figura 22. La mayor cantidad de MM. se producen en zonas con pendientes altas. Las barras de color celeste representan las ponderaciones efectuadas por este método. ....	74
Figura 23. Porcentaje de los factores condicionante de la Inestabilidad (FCI) en el área de estudio. Se puede observar que la litología de las rocas volcánicas (27%), la pendiente (21%), la dureza de las rocas (17%) y la cobertura vegetal (15%) son los factores más importantes que condicionan los MM. Cabe indicar que el tectonismo no es un factor condicionante debido a que las rocas volcánicas son depositadas posteriormente a la fase Tectónica Incaica. ....	83
Figura 24. Superposición de los mapas factores litológica, pendiente, cobertura vegetal, tectónica, los cuales indica que los MM. se ubican mayormente en la zona norte a noroeste del área de estudio. El mapa factor tectónico se sale fuera del área de influencia de los MM. por tanto no es un factor condicionante a los MM.....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

Índice	Pág.
Tabla 1. Clasificación de Peligros Geológicos .....	10
Tabla 2. Procesos de erosión hídrica e inestabilidad. ....	17
Tabla 3. Clasificación simplificada de movimiento de masa.....	18
Tabla 4. Tamaño de deslizamientos por área en proyección horizontal.....	25
Tabla 5. Detalles que indican actividad o inactividad de deslizamientos.....	27
Tabla 6. Ejemplo de cálculo de ponderación.....	33
Tabla 7. Ejemplo de cálculo de ponderación.....	33
Tabla 8. Se muestra un ejemplo de cómo se llena los casilleros de acuerdo a la importancia de los siete (7) factores condicionantes de la inestabilidad. ....	35
Tabla 9. Muestra los valores de índice de consistencia (IA) para un número determinado de mapas factores. N significa el número de variables utilizados en el análisis.....	36
Tabla 10. Coordenadas UTM WGS 84 del area de investigación .....	38
Tabla 11. Accesibilidad al área de investigación.....	40
Tabla 12. Cuadro climatológico de Cajamarca.....	40
Tabla 13. Cuadro de variables. ....	41
Tabla 14. Porcentaje de afloramientos rocosos del area de investigación. Se observa que un mayor porcentaje lo tienen los afloramientos de rocas volcánicas en un 85%, seguido de un 10% de rocas sedimentarias y un mínimo porcentaje de 5% para los depósitos cuaternarios.....	53
Tabla 15. Se muestra una tabla comparativa de las edades y las propiedades físicas de consistencia, y dureza de las rocas que afloran en el área de estudio. Además, se hace una comparación del tectonismo que afectó a ambas rocas.....	55
Tabla 16. La presente tabla muestra los 11 movimientos de masa (MM) determinados en el área de estudio, con sus áreas respectivas y su ubicación en coordenadas.....	57
Tabla 17. Se muestran el área total de cada MM.....	57
Tabla 18. Se aprecia que la litología en donde se producen los MM. está constituida por rocas volcánicas tobaceas y retrabajadas. ....	69

	<b>Pág.</b>
Tabla 19. Se aprecia que los MM. se están produciendo en mayor cantidad en las lomadas y las colinas con 7 y 3 ocurrencias respectivamente.....	70
Tabla 20. Se aprecia que la mayor cantidad de MM. se producen en rocas volcánicas fisuradas. ....	71
Tabla 21. Se aprecia que la litología en donde se producen los MM. se genera en zonas con pobre cobertura vegetal, pastos naturales y cultivos de plantaciones alóctonas. ....	72
Tabla 22. Se aprecia que la mayor cantidad de MM. se producen en zonas de Tectonismo leve a muy leve. ....	73
Tabla 23. Se aprecia que la mayor cantidad de MM. se producen en áreas con pendientes altas a muy altas. ....	74
Tabla 24. Se muestra las unidades de la cobertura vegetal, en donde se puede apreciar que los mayores MM. se producen en cultivos y bosques alóctonos con un valor de 5 seguido de pastos naturales con un valor de 4. Existen pocas edificaciones en el lugar que no es una condición para los MM.....	76
Tabla 25. Se muestran las unidades geomorfológicas, en donde se puede apreciar que los mayores MM. se producen en las colinas (03) y en las lomadas (07), los valles por tener poca pendiente, se ubica un solo MM.....	77
Tabla 26. Se muestra las unidades hidrogeológicas, en donde se puede apreciar que los mayores MM. se producen en unidades volcánicas intactas (7), seguido de acuífero sedimentario fracturado (3). Se denomina acuífero volcánico intacto aquel que no ha sufrido fracturamiento. ....	78
Tabla 27. Se muestra las unidades litológicas, en donde se puede apreciar que los mayores MM. se producen en unidades volcánicas retrabajadas (4), seguidas de tobas volcánicas (3), areniscas y limolitas (3). Que indica que el mayor porcentaje de los MM. se dan en rocas volcánicas.....	79
Tabla 28. Se muestra las unidades de pendientes, en donde se puede apreciar que los mayores MM. se producen en zonas de pendientes medias a altas y muy altas.....	80

	<b>Pág.</b>
Tabla 29. Se muestra las unidades tectónicas, en donde se puede apreciar que los mayores MM. se producen en zonas de Tectonismo leve a medio y mayormente en rocas volcánicas. ....	81
Tabla 30. Cálculo de los factores geológicos condicionantes de la inestabilidad (FCI). ....	82

## ÍNDICE DE FOTOS

Índice	Pág.
Foto 1. Calizas negruzcas con intercalación de areniscas grises, ubicado al Suroeste de Huambocancha.....	44
Foto 2. Areniscas grises con intercalación de arcillitas grises, ubicado al Sureste de Huambocancha.....	44
Foto 3. Afloramiento de areniscas al Suroeste de Puruay Chico, en el margen izquierdo del Río Porcón.....	45
Foto 4. Afloramiento de arcillitas rojizas al Sureste de Huambocancha en el margen derecho del Río Grande.....	46
Foto 5. Afloramiento de tobas dacíticas al Noreste de Huambocancha en el margen derecho del Río Porcón.....	46
Foto 6. Afloramiento de tobas traquíticas al Noreste y Sureste de Huambocancha, al margen derecho del Río Grande.....	47
Foto 7. Afloramiento de depósitos de arcillas arenosas, ubicadas en los márgenes del Río Porcón.....	48
Foto 8. Depósitos de Río conformado por clastos de rocas volcánicas y sedimentarias subredondeadas en el Río Porcón.....	48
Foto 9. Cerro Calván ubicado al Sureste de Huambocancha conformado por areniscas de la Formación Farrat.....	4
Foto 10. Colina ubicado al Noreste de Lluscapampa que está conformado por tobas del Volcánico Huambos.....	49
Foto 11. Valle ubicado al Noreste de Huambocancha entre el Río Porcón y el Río Grande, que está conformado por tobas dacíticas del Volcánico San Pablo.....	50
Foto 12. Cárcava ubicado al Noreste de Huambocancha al margen derecho del Río Grande, que está conformado por tobas del Volcánico San Pablo.....	50
Foto 13. Escarpe ubicado al Este de Puruay Chico margen derecho del Río Grande, conformado por areniscas de la Formación Farrat.....	51

- Foto 14. La foto muestra una representación de los afloramientos rocosos dentro del area de investigación. Al lado derecho se observan a las rocas de Edad Cretácica plegadas y falladas producto de la Tectónica Incaica (la más intensa que se produjo en el área de investigación). Al lado izquierdo se observan los afloramientos de las rocas volcánicas dispuestas en forma horizontal debido a que se depositaron posteriormente a la Tectónica Incaica. En la parte central se observa el contacto discordante de estos dos tipos de rocas. .... 56
- Foto 15. Flujo de detritos ocurrido en afloramientos de la Formación Carhuáz. En estas rocas Cretácicas (pre- Tectónica Incaica) el factor tectónico es un factor condicionante importante para los MM. Se puede observar, al costado derecho de la fotografía el afloramiento de las areniscas de la Formación Farrat con fuerte buzamiento. .... 59
- Foto 16. Deslizamientos producido dentro de las rocas de la Formación Farrat. Las areniscas cuarzosas poseen color gris rojizas producto de la oxidación. Nótese que la erosión vertical es de menor grosor que la erosión producido en las rocas volcánicas. La línea entrecortada indica una falla que ha generado fracturas secundarias y ocasionado trituramiento de las rocas areniscosas. .... 60
- Foto 17. Deslizamiento producido al Oeste de la zona de Huambocancha Baja a la margen izquierda de la carretera que conduce a Porcón. El material deslizado es de coloración gris blanquecino. Las líneas entrecortadas indican la ubicación de una falla lo que ha ocasionado la formación de fracturas secundarias por consiguiente el fracturamientos de las rocas areniscosas. .... 61
- Foto 18. Deslizamiento Huambocancha, se ha producido por la meteorización de las rocas volcánicas tobaceas de naturaleza riolítica y traquíticas. Nótese además la cobertura vegetal alóctona constituida por plantaciones de eucaliptos lo que ha condicionado, con el crecimiento de sus raíces, el fracturamiento de las rocas volcánicas por ende la disminución de su resistencia a la erosión. .... 62

	<b>Pág.</b>
Foto 19.	En la parte alta del terreno afectado existe un reservorio que se utilizaba para almacenar agua en época de lluvia. El peso del agua acumulado en este reservorio, más la infiltración producido por la rotura de la geomenbrana han sido factores detonante en la generación del deslizamiento Huambocancha. .... 62
Foto 20.	Deslizamiento de gran magnitud. Obsérvese que la erosión vertical de las rocas volcánicas cenozoicas, es más profunda que la producida en rocas areniscosas Cretácicas. Se observa tres escarpas de deslizamientos. .... 63
Foto 21.	Este deslizamiento visto desde la parte superior del cerro. Nótese las viviendas ubicadas al costado del deslizamiento de Huambocancha que podrían ser afectadas por una posible reactivación. .... 63
Foto 22.	Se puede apreciar el reservorio construido con la finalidad de almacenar agua..... 64
Foto 23.	Este deslizamiento ha destruido parte de los muros de sostenimiento de concreto..... 64
Foto 24.	Caída de rocas que se observa al pie de carretera del área de investigaciones se puede apreciar el alta pendiente de estos afloramientos volcánicos. .... 66
Foto 25.	Las raíces de las plantas alóctonas, tales como eucaliptos, han penetrado las rocas volcánicas produciendo el fracturamientos de las mismas. El agua penetra en estas fracturas profundizando más aun la erosión vertical. .... 66
Foto 26.	Construcción de un muro de contención al pie de la carretera a Lluscapampa con la finalidad de evitar la caída de rocas. Existen varias construcciones de este tipo a lo largo del tramo de esta carretera. .... 66
Foto 27.	Flujo de detritos en rocas volcánicas tobaceas. Nótese los surcos generados por la acción de las aguas de lluvias. .... 67

Foto 28.	Afloramiento de rocas volcánicas el cual está siendo disectada por una serie de quebradas como consecuencia de la acción de las aguas de lluvias. Esto genera que en ambas márgenes de las quebradas se produzcan los MM. Se puede observar también los afloramientos de las areniscas de la Formación Farrat que están infrayaciendo a los volcánicos.....	67
Foto 29.	Deslizamiento producido en las rocas volcánicas. Se puede apreciar la presencia de vegetación autóctona y pastos naturales, los cuales poseen raíces cortas que no profundizan y no afectan en mayor medida a las rocas volcánicas, además se puede apreciar la erosión vertical no muy profunda. ....	68



## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>CC</b>	: Coeficiente de Consistencia
<b>cm</b>	: Centímetro
<b>E</b>	: Este
<b>FCI</b>	: Factores condicionantes de la inestabilidad
<b>FP</b>	: Factor de Pendientes
<b>GPS</b>	: Sistema de posicionamiento global
<b>HCl</b>	: Ácido clorhídrico
<b>INGEMMET</b>	: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico
<b>Km</b>	: Kilómetro
<b>m.s.n.m.</b>	: Metros sobre el nivel del mar
<b>m:</b>	: Metro
<b>mm:</b>	: Milímetro
<b>MJM</b>	: Matriz de Jerarquías Múltiples
<b>MM</b>	: Movimiento de masa
<b>NE</b>	: Noreste
<b>NW</b>	: Noroeste
<b>Pág</b>	: Página
<b>UCP</b>	: Unidad Cartográfica de Parámetro
<b>UCV</b>	: Unidades de Cobertura Vegetal
<b>UG</b>	: Unidades Geomorfológicas
<b>UH</b>	: Unidades Hidrogeológicas
<b>UL</b>	: Unidades Litológicas
<b>W</b>	: Oeste

## RESUMEN

La localidad de Huambocancha Baja se ubica al Noreste de la ciudad de Cajamarca. Los afloramientos volcánicos pertenecientes a la era Cenozoica son areniscas Cretácicas y Depósitos Cuaternarios. Las rocas volcánicas son las más abundantes en las cuales se presentan los mayores movimientos de masa. Los factores condicionantes de la inestabilidad situada en el lugar de Huambocancha Baja: la litología de las rocas volcánicas (27%), la pendiente (21%), la dureza de las rocas (17) y la cobertura vegetal (15%). Se ha determinado que el factor tectónico no es condicionante de la inestabilidad debido a que las rocas volcánicas son depositadas posteriormente a la fase Tectónica Incaica. Al superponerse el mapa factor litológico y el de pendiente se observa que las zonas inestables se ubican mayormente en rocas volcánicas y con altas pendientes; finalmente se han identificado 11 movimientos de masa en el área de influencia con 3.2 Km, determinándose 4 deslizamientos, 3 flujos de detritos, 3 caídas de rocas y un movimiento complejo, mayormente ubicados en rocas volcánicas.

**Palabras claves:** Afloramientos, Susceptibilidad, Detritos, Peligro geológico, Vulnerabilidad.

## ABSTRACT

The town of Huambocancha Baja is located northeast of the city of Cajamarca. The volcanic outcrops belonging to the Cenozoic era are Cretaceous sandstones and Quaternary Deposits. Volcanic rocks are the most abundant in which the greatest mass movements occur. The conditioning factors of the instability located in the place of Huambocancha Baja: the lithology of the volcanic rocks (27%), the slope (21%), the hardness of the rocks (17) and the vegetation cover (15%). It has been determined that the tectonic factor is not a conditioning factor of the instability because the volcanic rocks are deposited after the Inca Tectonic phase. When the lithological factor map and the slope map are superimposed, it is observed that the unstable areas are mainly located in volcanic rocks and with high slopes; Finally, 11 mass movements have been identified in the area of influence with 3.2 km, determining 4 landslides, 3 debris flows, 3 rock falls and a complex movement, mostly located in volcanic rocks.

**Keywords:** Outcrops, Susceptibility, Debris, Geological Hazard, Vulnerability.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

Los terrenos de la región de Cajamarca al igual que la mayor parte del Perú han sufrido levantamientos recientes generando una intensa erosión y por consiguiente se producen múltiples peligros geológicos y que estos se incrementan en épocas de intensas precipitaciones pluviales relacionados a procesos del Fenómeno del Niño.

El valle de Cajamarca es de origen tectónico configurado en un graben como resultado de la Fase Tectónica Incaica durante el Cenozoico. Este mega graben generó una depresión y que posteriormente fue rellenado con sedimentos fluviales, aluviales, lacustres de edad cuaternaria. El centro poblado de Huambocancha Baja se ubica en la parte Nor-Oeste de esta depresión tectónica y está flanqueado al lado Sur- Este por afloramientos rocosos Cretácicos (Formación: Santa, Carhuaz, Farrat, Inca) y por el Nor-Este por afloramientos Cenozoicos (Unidades Volcánicas de Huambos y San Pablo) que descansan discordantemente sobre estas unidades. La diferencia en su composición química de ambas secuencias sedimentarias (Cretácicas y Cenozoicas) genera diferentes respuestas a los agentes erosivos físicos, químicos y biológicos (agua, viento, temperatura y vegetación) debilitan las rocas y se fragmentan y finalmente son transportados.

Desde el punto de vista tectónico el área de investigación se sitúa en terrenos que han sufrido dos procesos tectónicos bien diferenciados. La Tectónica Incaica (la más intensa) afectó a rocas Cretácicas y la Tectónica Post- Incaica (menos intensa) que afectó a las rocas volcánicas. La Tectónica Incaica ha generado en las rocas Cretácicas intenso plegamiento y fallamientos. Mientras que la post- Incaica generó solamente fracturamientos. Esta diferencia es muy notoria en el área de investigación localizados en terrenos con altas pendientes y por las intensas lluvias, que se producen en estos lugares, se están produciendo una serie de peligros geológicos.

Actualmente, la carretera que conecta la ciudad de Cajamarca a la localidad de Huambocancha baja, a los centros mineros de Hualgayoc, Tantahuatay; Cerro Corona, Yanacocha, las localidades de Bambamarca y Porcón se ha convertido en una importante vía de transporte. Esta vía es utilizada, también para llegar a Lima por la conexión del tramo de carretera de San Pablo. Por esta razón es necesario realizar estudios geológicos detallados y obtener diversos mapas como: geológico, estructural, geomorfológico, geotectónico y superpuesto a la superposición de estos, elaborar el mapa de susceptibilidad y así poder delimitar zonas de peligros geológicos y con esto tratar no solamente de evitar posibles interrupciones de esta importante vía de tránsito sino también el de evitar que algún movimiento de masa (MM) afecte a las viviendas ubicadas en estos sectores aledaños.

Debido a la poca existencia de estudios detallados sobre geología local, geología estructural, geomorfología y movimiento en masa, necesarias y fundamentales para la realización de una buena planificación de las obras de ingeniería.

Entre los problemas planteados están en determinar ¿cuáles son los peligros geológicos que predominan en la localidad de Huambocancha Baja?; ¿Cuáles son las zonas más susceptibles a los movimientos en masa? y ¿Cuáles son los factores condicionantes para la generación de los movimientos de masa?

Entre los objetivos planteados en esta tesis están: el de Identificar los peligros geológicos en la zona de Huambocancha Baja; Determinar el tipo de movimiento de masa predominante mediante el cartografiado geológico de las zonas con peligros geológicos; Determinar los factores geológicos condicionantes para los movimientos de masa; Elaborar los mapas factores (litológico, geológico, tectónico, pendiente, geomorfológico, cobertura vegetal e hidrogeológico); y realizar mediante la superposición de los seis mapas factores, el mapa de susceptibilidad y el de Identificar en el mapa de susceptibilidad las áreas más susceptibles a los movimientos en masa.

La hipótesis que se plantea es que los peligros geológicos que se producen debido a una serie de factores geológicos: litología, presencia de humedad, pendiente escarpada y poca vegetación hace que el suelo poco consolidado hace que haya un desplazamiento de masa.

Con esta investigación se tiene como finalidad evaluar la posible ocurrencia de una remoción de masa que pueda afectar a la localidad de Huambocancha Baja y poder hacer una mejor planificación ingenieril de las obras de infraestructura. Para lo cual se evaluó una serie de factores geológicos y se realizó mapas (litológico, tectónico, pendientes, geomorfológico y de cobertura vegetal) esto ayudará a construir el mapa de susceptibilidad y que servirá para dar soluciones a los problemas de los peligros geológicos en este lugar.

La distribución de los capítulos restantes está de esta manera: En el capítulo II el Marco teórico en donde se abordan temas de antecedentes teóricos, bases teóricas y definición de los términos básicos. El capítulo III, contiene la descripción de los Materiales y Métodos donde se detallan la metodología utilizada y la descripción de los materiales y equipos; el capítulo IV está referido a temas relacionados con la presentación y discusión de resultados donde se detallan los resultados obtenidos y la contrastación con la hipótesis. En el capítulo V están las conclusiones obtenidas en base a los objetivos planteados y finalmente se plantea algunas recomendaciones.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS**

El término movimiento de masa incluye todos aquellos movimientos ladera debajo de una masa de roca, de detritos o de tierra por efectos de la gravedad (Cruden 1991). Algunos movimientos en masa como la reptación de suelos son lentos a veces imperceptibles y difusos, en tanto que otros como deslizamientos pueden desarrollar velocidades altas y pueden definirse con límites claros, determinados por superficies rotura (Crozier 1999).

Durante las últimas décadas se han implementado numerosas estrategias para la gestión de riesgos por movimientos en masa. La experiencia obtenida en muchos países estimula el uso de mapas de zonificación de amenazas y riesgo para el ordenamiento territorial y la gestión de emergencia (Cascini et al., 2005) y muestra que existe la necesidad de métodos estándares y reproducibles para evaluación y zonificación de amenaza, en particular en lo que respecta a la definición de clases de amenazas de manera que tales zonificaciones puedan ser comparables. Desafortunadamente existe poca consistencia entre los diferentes tipos de mapas producidos en diferentes países en el mundo, o por diferentes instituciones de un mismo país e incluso dentro de una misma institución. Por lo general la tecnología empleada no es uniforme y con frecuencia las leyendas no están acompañadas por definiciones que faciliten el uso de los mapas.

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los seres humanos causando miles de muertes y daños de las propiedades por valor de billones de dólares cada año (Suárez, 1996).

Las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra debido a que generalmente se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia tales como son la topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas (Suárez, 1996).

En el Perú los tratados sobre movimientos en masa (MM) son abordados por diversos autores, debido a que estos eventos geológicos han despertado el interés en las últimas décadas ya que han causado el deceso de miles de personas y pérdidas económicas cuantiosas. Los enfoques de las investigaciones más recientes nos muestran la aplicación del método de cartografiado nacional de peligros geológicos y la elaboración de modelos de susceptibilidad con Sistemas de Información Geográfica.

Los estudios anteriormente realizados por INGEMMET en el 2007 (Zonas Críticas por Peligros Geológicos y Geohidrológicos en la región Cajamarca), en el cual describen áreas de alto peligro potencial a la ocurrencia de movimientos en masa.

### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

**Luis (2007)**, en su estudio de Caída de Bloques en el litoral de Huicha, Isla de Chiloé, Chile, describe la caída de grandes bloques desde la pared del Acantilado y que ocurre de manera continua en todo el litoral. Esta ruptura se propaga a veces desde la base o bien desde la superficie aislando bloques que caen directamente sobre la angosta franja de playa. En algunos sectores, la caída del acantilado afecta directamente las actividades humanas asentadas en él, al tiempo que reduce la superficie útil en la zona próxima.

**Daniel (2007)**, en su trabajo titulado Deslizamiento de la Ladera sur del Viaducto N° 1, autopista Caracas la Guaira. Venezuela, lo describe de la siguiente manera: con respecto al mecanismo del deslizamiento se han encontrado evidencias que concluyen que el movimiento de la ladera que afecta al viaducto es consecuencia de la reactivación de un deslizamiento antiguo. Sin embargo, no se ha podido establecer VCX con certeza las causas que originaron el deslizamiento original y la reactivación reciente del mismo. Las características de los afloramientos del material coluvial atribuido al deslizamiento antiguo son muy elocuentes al observar



bloques de roca en posición caótica, embebidos en una matriz de suelo. Este hecho sugiere que el deslizamiento antiguo ocurrió en forma catastrófica sin tiempo para el acomodo de dichos bloques. Por tal razón es muy probable que el deslizamiento antiguo pudo haber estado asociado a un evento tectónico.

**Moreno (2007)**, en su estudio denominado Deslizamiento de El Mirador, Km 105 Carretera Bogotá- Villavicencio, Colombia, describe detalladamente el origen y evolución de este movimiento desde 1964 hasta 1997. Determina que este deslizamiento se desencadenó por el proceso erosivo y que removió rocas trituradas en una zona de falla y que de los factores desencadenantes son la fuerte trituración y cizallamiento de las rocas y su exposición por la erosión hídrica severa que destruyó toda la cobertura vegetal. Concluye que el factor detonante fue la fuerte erosión y que no fue controlada por 24 años y que las fuertes lluvias mantuvieron activo el deslizamiento por varios años.

**Morgenstern (1997)**, expresa que el papel del factor de seguridad es complejo debido a que no tiene en cuenta la incertidumbre de la ignorancia con respecto a la confiabilidad de los datos para el análisis, a incertidumbres en los modelos matemáticos y a incertidumbres humanas.

**Guzmán (2007)**, en su trabajo titulado Deslizamiento Rotacional de San Isidro en la ciudad de La Paz- Bolivia. Manifiesta que entre los factores que contribuyeron a este movimiento está el contraste de permeabilidad de los materiales ya que el sector está conformado en la base por una intercalación de arcillas y limos con horizontes de arena que subyacen discordantemente a bancos masivos de gravas movilizados. La elevada permeabilidad de estos bancos permite la circulación de aguas subterráneas y fugas de agua servidas que saturan los taludes lo cual contribuyó a la inestabilidad inicial. Otro factor que influyó negativamente en la estabilidad del sector son los intensos procesos erosivos que disgregaron los bancos de gravas y dejaron expuestas columnas y pirámides irregulares muy esbeltas, que se tornaron inestables y arrastraron los materiales circundantes.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

**Fidel (2007)**, en su estudio titulado Deslizamiento Traslacional – Flujo de detritos de Mayunmarca, Sur de Lima, Perú, se explica que las causas del deslizamiento fueron: sobresaturación de la cubierta del suelo formada por detritos debido a la infiltraciones de agua de lluvias, así como de aguas provenientes del Río Pumaranra y de dos lagunas situadas en la parte superior del deslizamiento; intensa erosión regresiva que profundizó el cauce de las quebradas que drenaban la ladera; fuertes precipitaciones entre octubre y marzo cuyas aguas se percolaron a través de la grietas preexistentes; estratificación a favor de la pendiente; deslizamiento traslacional inicial de la terraza donde se asentaba el pueblo de Mayunmarca, seguido de numerosos deslizamientos rotacionales y un flujo de lodo proveniente del sector medio de la ladera arriba del pueblo.

**Ochoa (2010)**, en su estudio titulado Peligros Geológicos en la cuenca alta del Rímac entre Ticlio y Matucana, en este estudio determina cualitativa y cuantitativamente los peligros geológicos existentes por ende se concluye las pendientes superiores a 30° ha condicionado la erosión y la geodinámica externa en la cuenca alta del Río Rímac; reportándose alrededor de 230 peligros geológicos, entre los cuales destacan los deslizamientos y caídas de rocas con un total de 131 procesos, localizados en laderas del valle, así como también 49 procesos entre flujos de detritos y lodo, desarrollados en las quebradas torrenciales de la red hídrica del Rímac.

**Zavala et al. (2011)**, Presentó el Boletín N° 44 en donde dice que la región de Cajamarca es afectada frecuentemente por inundaciones, huaycos y deslizamientos. Dicho estudio indica que en la ocurrencia de peligros Geológicos y Geohidrológicos inventariados, el análisis estadístico muestra a los deslizamientos en primer lugar (36,81%), les siguen las caídas de rocas y derrumbes (22,25%), los flujos (17,83%), los procesos de erosión de laderas (10,25%), movimientos complejos (7,81%), erosión e inundación fluviales (3,22%), reptaciones (1,56%), hundimientos (0,18%), y vuelcos 0,09%. Se prepararon mapas temáticos de los factores condicionantes: litología, geomorfología, pendientes, hidrogeología, cobertura vegetal y uso de suelo. El mapa de susceptibilidad se elaboró utilizando el método de ponderación de factores (método heurístico, indirecto, cualitativo).

**INGEMMET (2009)**, realizó el Mapa de Inventarios Nacional de Peligros Geológicos, en el cual se puede apreciar que la mayor cantidad de movimientos de masa (MM) se ubican en áreas con altas pendientes con intensa erosión y dentro de zonas de la Cordillera Occidental, Central y Oriental. Hay ausencia de movimientos de masa (MM) en el Llano Amazónico por ser de una topografía plana. Los movimientos de Masa en el Perú están íntimamente relacionados a la pendiente.

### **2.1.3. Antecedentes Locales**

**Zavala y Barrantes (2007)**, en el “Primer Reporte de Zonas Críticas por Peligros Geológicos y Geohidrológicos en la Región Cajamarca” mediante el trabajo de cartografiado, inventariado y evaluación de áreas afectadas por peligros geológicos concluyen que en la provincia de San Marcos los principales peligros geológicos son los derrumbes, deslizamientos, susceptibilidad de inundaciones y erosión fluvial, erosión de cárcavas y laderas.

**Cruzado y Crisólogo (2009)**, en el marco de la etapa de formulación de la Zonificación Ecológica Económica del Gobierno Regional de Cajamarca elaboran el estudio de geología del departamento, en el que clasificaron y delimitaron las unidades lito-estratigráficas concluyendo que en la localidad de San Marcos se evidencia afloramientos del Grupo Goyllarisquiza, la Formación Cajabamba y depósitos Cuaternarios.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Peligros geológicos**

El termino movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad. Los procesos geodinámicos que afectan la superficie terrestre dan lugar a movimientos de terreno de diferente magnitud que pueden constituir peligros geológicos, los que pueden afectar de forma directa o indirecta las actividades humanas. Asociados a los peligros geológicos se reconocen cuatro conceptos principales: susceptibilidad, vulnerabilidad, amenaza o peligrosidad (Crozier, 1999).

### 2.2.2. Peligro

Es un evento externo representado por un fenómeno físico de origen natural o antrópico, se manifiesta en sitios específicos y durante un tiempo de exposición determinado; Puede ocasionar daños físicos, económicos, ambientales y sociales (EIRD 2004).

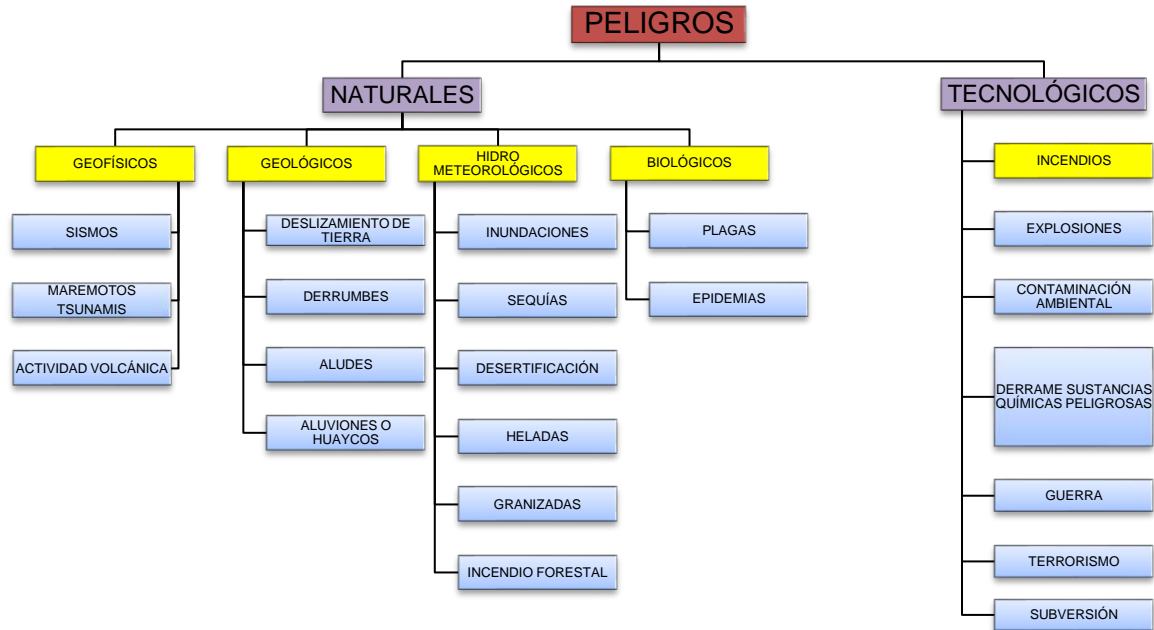


Figura 1. Tipos de Peligros (UNESCO, 2000).

Se define también como aquellos elementos del medio ambiente físico perjudicial al hombre, causado por fuerzas ajenas a él. Comprenden una gran variedad y complejidad de movimientos de material geológico debido a las fuerzas de la gravedad y en algunos casos por la acción del agua (UNESCO, 2000).

### 2.2.3. Movimiento en masa (MM)

El término movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad. Algunos movimientos en masa, como la reptación de suelos, son lentos, a veces imperceptibles y difusos, en tanto que otros, como algunos deslizamientos pueden desarrollar velocidades altas y pueden definirse con límites claros, determinados por superficies de rotura. Los procesos geodinámicos que afectan la superficie terrestre dan lugar a movimientos de terreno de diferente magnitud que pueden constituir peligros geológicos, los que pueden afectar de forma directa o indirecta

las actividades humanas. Asociados a los peligros geológicos se reconocen cuatro conceptos principales: susceptibilidad, vulnerabilidad, amenaza o peligrosidad (Crozier, 1999).

Tabla 1. Clasificación de Peligros Geológicos

<b>PELIGROS GEOLÓGICOS</b>	<b>MOVIMIENTOS EN MASA</b>
	Caída de rocas, derrumbes y vuelcos.
	Deslizamientos
	Desplazamientos laterales
	Flujos
	Movimientos complejos
	<b>OTROS PELIGROS</b>
	Arenamiento
	Hundimientos
	Erosión de laderas
	Erosión de riberas

Fuente: UNESCO (2000).

#### **2.2.4. Peligrosidad**

La peligrosidad es la probabilidad de ocurrencia del proceso de una intensidad determinada dentro de un periodo de tiempo y área específica. La peligrosidad en un terreno inclinado es la probabilidad de ocurrencia de una falla de determinada magnitud.

En referencia a los deslizamientos significa que las roturas que pueden ocurrir en un futuro es probable que lo hagan en las mismas condiciones que las de los deslizamientos antiguos o actuales. El principio se aplica al estudio de los deslizamientos siempre y cuando las condiciones geológicas, geomorfológicas e hidrológicas no varíen, la probabilidad de que se produzca, con consecuencias negativas, un determinado fenómeno natural de una cierta extensión, intensidad y duración (Varnes, 1984).

#### **2.2.5. Vulnerabilidad**

La vulnerabilidad es el grado de daños o pérdidas potenciales de un elemento o conjunto de elementos como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de intensidad determinada. Depende de las características de los elementos

considerando (no de su valor económico) y de la intensidad del fenómeno; suele evaluarse entre 0 (sin daños) y 1 (perdida o destrucción total del elemento) o entre 0% y 100% de daños (González de Vallejo, 2002).

#### **2.2.6. Susceptibilidad**

La susceptibilidad se define como la posibilidad de que una zona quede afectada por un determinado proceso, y se expresa a través de distintos grados cualitativos y relativos. Depende de los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos, que pueden ser intrínsecos de los materiales geológicos o controlados por un factor externo (González de Vallejo, 2002).

#### **2.2.7. Zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por MM**

La zonificación de la susceptibilidad y/o amenaza es una herramienta útil y es usada en casi todos los lugares del mundo, donde existe propensión a los movimientos de masa. Se han elaborado diversas técnicas para desarrollar la zonificación, teniendo en cuenta factores como la escala de trabajo, la relación costo-beneficio, el objeto del estudio, información disponible, tiempo requerido, precisión de los resultados, capacidad de análisis y experiencia de los investigadores (Mora y Vahrson, 1993).

Los métodos estadísticos ofrecen mayor incertidumbre en los resultados de zonificación de susceptibilidad, debido a que en su análisis estadístico se fundamentan ponderaciones obtenidas con relaciones de la distribución espacial de factores condicionantes de la inestabilidad de la ladera y la de los deslizamientos observados (Carrara et al., 2008).

Una Evaluación de la susceptibilidad es el primer paso del análisis de riesgo, por lo que un mapa ideal de amenaza por inestabilidad de laderas debería suministrar información sobre la probabilidad espacial y temporal de ocurrencia, la distancia, el límite de avance retrogresivo de movimientos en masa, la magnitud, el tipo y entre otros (Hartlen y Viberg, 1996).

#### **2.2.8. Preparación de Mapas de Susceptibilidad**

El mapa de susceptibilidad es un mapa en el cual se zonifica las unidades de rocas o suelo que muestran una actividad de deslizamientos similar o de igual potencial de inestabilidad, la cual es obtenida de un análisis multivariable entre los factores

entre los factores entre los factores que pueden producir movimiento de masa y el mapa de inventario de movimiento de masa.

### **2.2.9. Riesgo**

Se define como las pérdidas potenciales debidas a un fenómeno natural determinado, vidas humanas, pérdidas económicas directas e indirectas, daños a edificios o estructuras (González de Vallejo, 2002).

El riesgo puede definirse como la probabilidad de que ocurra un peligro y cause pérdidas, y su evaluación se realiza a partir de la expresión:

$$R = P \times Pe$$

Siendo  $P$  la probabilidad de ocurrencia del proceso, o peligrosidad y  $Pe$  las pérdidas esperadas.

La amenaza depende del evento detonante, del grado de susceptibilidad a la falla y de la energía potencial destructiva del evento. La vulnerabilidad es directamente proporcional al grado de exposición de los elementos e inversamente proporcional a su resistencia al evento (Smith, 2001).

### **2.2.10. Factores de amenaza y factores de riesgo**

Los factores de amenaza son (Smith, 2001):

- La susceptibilidad debida a factores internos.
- Los eventos detonantes como lluvias, sismos, erosión y sobrecargas.
- El potencial de energía destructiva del sistema.

Los factores de riesgo son:

- El nivel de amenaza.
- El grado de exposición de elementos que puedan sufrir daños posibles (ubicados sobre la ladera o al alcance del evento).
- La resistencia al fenómeno que opongan los elementos amenazados, para no sufrir daños estructurales ni funcionales.

### **2.2.11. Medidas y tipos de riesgos**

La etapa a la cual los juicios y valores entran en el proceso de decisiones, explícita o implícitamente, incluyendo consideraciones de la importancia de los riesgos estimados y las consecuencias sociales, ambientales y económicas asociadas, con el propósito de identificar un rango de alternativas para el manejo de los riesgos (Suárez, 1998).

- Manejo de Riesgo: el proceso completo de evaluación del riesgo y control de riesgo
- Riesgo aceptable: un riesgo para el cual, para los propósitos de vida o trabajo nosotros estamos preparados a aceptar tal como es, sin preocupación de su manejo. La sociedad no considera justificable realizar gastos para reducir esos riesgos.
- Riesgo tolerable: un riesgo que la sociedad tiene la voluntad de vivir con él, con la confianza de que está apropiadamente controlado hasta donde es posible.
- Riesgo Individual: el riesgo de la fatalidad o lesión de un individuo identificable con nombre propio, quien vive dentro de la zona expuesta al deslizamiento y quien tiene un sistema de vida particular que lo puede exponer al deslizamiento o sus consecuencias.
- Riesgo social: el riesgo de lesiones múltiples o muertes a una sociedad como un todo.

### **2.2.12. Factores que afectan la estabilidad del terreno (FCI)**

Se pueden separar en dos grandes grupos: factores internos condicionantes y externos o desencadenantes, su interacción permiten la determinación de la probabilidad de ocurrencia de peligros geológicos en una área específica, intensidad o susceptibilidad (Ferrer, 1984).

Los factores que influyen en la inestabilidad de las laderas se dividen en: condicionantes y desencadenantes; los primeros dependen de las características intrínsecas de las laderas, y los segundos, conocidos también como factores externos, debidos a las condiciones climáticas regionales, por los eventos extremos y por el grado de impacto o deterioro ocasionado por las actividades del hombre (Campos, 2011).



- Factores internos o condicionantes (FC): Estos se refieren a las propiedades del material, su resistencia, además de características extrínsecas no relacionadas con el material y si con la morfología de la ladera y condiciones ambientales (precipitación, temperatura, entre otros).
- Factores externos o desencadenantes (FD): Actúan sobre el material y dan lugar a modificaciones en las condiciones iniciales de las laderas, provocando las roturas, debido a las variaciones que ejercen en el estado de equilibrio de aquellas.

Según Campos (2011), los factores condicionantes dependen de las características de la ladera y son:

**Morfología y Topografía:** El relieve influye en la estabilidad, a mayor pendiente y altura aumenta el efecto gravitacional.

**Geología y características de los suelos superficiales:** El tipo de roca, grado de alteración y meteorización, presencia de discontinuidades (grietas, fracturas, fallas), planos estratigráficos, porosidad, permeabilidad, propiedades físicas y mecánicas (resistencia y deformación), y estado de esfuerzos.

**Condiciones hidrogeológicas:** El agua en el interior del terreno disminuye la resistencia cortante al aumentar la presión intersticial, además incrementa el peso volumétrico del terreno con el consiguiente aumento en los esfuerzos actuantes.

**Vegetación:** Las raíces fijan los suelos superficiales a los estratos de roca más resistentes ubicados a mayor profundidad, absorben el agua contenida en el suelo y atenúan la erosión superficial al mitigar el impacto de las gotas de lluvia y reducir la velocidad de escurrimiento.

Según Campos (2011), los factores desencadenantes son factores externos responsables de la inestabilidad:

**Lluvias:** Su efecto depende de la intensidad, duración y distribución de la lluvia; puede ocasionar disolución de cementantes y rotura de capilaridad, además influye directamente en factores condicionantes como la meteorización y el nivel de agua subterránea.

Terremotos: Las vibraciones sísmicas originan fluctuaciones en el estado de esfuerzos en el interior del terreno y pueden originar todo tipo de movimientos (caídos, deslizamientos, flujos y avalanchas), dependiendo además de la magnitud del sismo y la distancia al epicentro.

Vulcanismo: Las erupciones volcánicas pueden originar deslizamientos o avalanchas de derrubios de gran magnitud y velocidad en las laderas de los conos volcánicos; además que el deshielo de las partes altas puede originar flujos rápidos.

Congelación y deshielo: Factores climáticos que afectan principalmente a regiones frías; este fenómeno produce expansiones, contracciones e infiltración de agua en fisuras y grietas.

Erosión y socavación: Incluye la acción erosiva de ríos y oleaje, produciendo los siguientes efectos: - Socavación del material en el pie de la ladera que modifica el estado tensional y aumenta las fuerzas cortantes actuantes. - El deslizamiento puede embalsar un Río y después romper súbitamente.

Actividad humana: Influye en la estabilidad al cambiar la geometría de la ladera por excavaciones, construcción de caminos y presas, sobrecargas debido a estructuras, terraplenes o rellenos y voladuras.

### **2.2.13. Causas y factores de la inestabilidad:**

Según (González de Vallejo, 2002), dentro de los factores condicionantes y desencadenantes que causan las inestabilidades debe prestarse especial atención a aquellos que más influencia ejercen en la ocurrencia de los movimientos de ladera, como son:

- Litologías y grado de meteorización o alteración.
- Estructura geológica, distribución y orientación de planos de discontinuidad (en caso de laderas rocosas).
- Comportamiento geomecánico y propiedades físicas y resistentes de los materiales.
- Parámetros hidrogeológicos, niveles piezométricos y su variación.
- Condiciones meteorológicas.
- Otros posibles factores desencadenantes naturales y antrópicos.

La información sobre los factores presentes en una zona debe ser obtenida de forma rigurosa cuantificándola siempre que sea posible (González de Vallejo, 2002).

Los procesos que influyen la inestabilidad son:

Resecamiento del suelo. Al secarse el suelo, se contrae y se producen disyunciones perpendiculares a la dirección en que los vasos capilares van perdiendo agua. No se deben pavimentar los taludes para facilitarles el agua lluvia (Richards, 1985).

Saturación del material con agua. Si el régimen de agua del suelo es alterado drásticamente por irrigación, remoción de la vegetación o inundación parcial, se puede producir inestabilidad (Richards, 1985).

Modificaciones por erosión. La erosión comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza del agua en movimiento (Suárez, 1998).

#### **2.2.14. Parámetros y procesos de inestabilidad**

Según (González de Vallejo, 2002), Los procesos de inestabilidad incluye:

- La identificación de los mecanismos, modelos y tipos de rotura.
- El estudio de distintos factores que controlan los procesos.
- La evaluación de la extensión, frecuencia y recurrencia de los movimientos.

Para Varnes (1996), la descripción general de los movimientos de ladera debe incluir:

- Tipo de movimiento (indicando si es complejo).
- Material.
- Dimensiones.
- Actividad.
- Distribución del movimiento dentro de la masa.
- Velocidad.
- Contenido en agua (seco, húmedo, muy húmedo y saturado).

### 2.2.15. Clasificación de los Movimientos de masa (MM)

Según Suárez (1998), se deben considerar cuatro etapas diferentes en la clasificación de los movimientos:

- Etapa de deterioro o antes de la falla, durante la cual el suelo está esencialmente intacto.
- Etapa de falla, caracterizada por la formación de una superficie de falla o el movimiento de una masa importante de material.
- Etapa post-falla, incluye los movimientos de la masa involucrada en un movimiento de masa desde el momento de la falla y hasta el preciso instante en el cual se detiene totalmente.
- La etapa de posible reactivación en la cual pueden ocurrir movimientos que pueden, considerarse como una nueva falla, e incluye las tres etapas anteriores.

Tabla 2. Procesos de erosión hídrica e inestabilidad.

<b>TIPO</b>	<b>ACCIÓN</b>	<b>CONSECUENCIA</b>	<b>MEDIDAS</b>
Pluvial (lluvia)	Impacto Escorrentía Infiltración	Deslizamiento Descubrimiento	Plantación protectora Captación y recubrimiento
Escorrentía (arrollamiento)	Difusa Concentrada	Erosión laminar Surcos o Cárcavas	Barreras vivas y colchones Trinchos. Gaviones
Fluvial (corrientes)	Lineal Areolar	Profundiza cauces y erosiona laderas Desgasta el relieve en los interfluvios	Obras de disipación y plantación protectora Obras transversales, reforestación
Eólica(viento)	Levantamiento Abrasión	Descubrimiento Desgaste	Mateado y plantaciones Barreras cortavientos vivas

Fuente: Cramsa (1984).

Tabla 3. Clasificación simplificada de movimiento de masa.

TIPO DE MOVIMIENTO		TIPO DE MATERIAL		
		ROCA	Suelos (ingeniería)	
			Predomina material grueso (>50%)	Predomina material fino
Caídas		Caídas de roca	Caída de escombros	Caída de suelo
Deslizamientos	Rotacionales	Deslizamiento rotacional de roca	Desliz. Rot. de escombros	Desliz. Rot. de tierra
	Traslacionales	Deslizamiento traslacional de roca	Desliz. Trasl. de escombros	Desliz. Trasl. de tierra
Flujos		Flujos de roca	Flujos de escombros	Flujos de lodo
Complejos		Combinación de varios tipos de movimiento		

Fuente: Varnes (1978).

Los movimientos de masa se pueden clasificar en:

#### 2.2.15.1. Caídas o desprendimientos

El desprendimiento se origina por el despegue de una masa de suelo o roca de una pared empinada o acantilado. El movimiento tiene lugar mediante caída libre y posterior rebote o rodadura. Es frecuente que, al impactar contra la superficie del terreno, la masa caída se rompa en multitud de fragmentos. El movimiento es muy rápido. La rotura suele producirse por deslizamiento o vuelco de pequeña envergadura, proporcionando a la masa despegada una velocidad inicial (García, 1988).

Vargas (1999), en su adaptación de Varnes (1978), divide las caídas en tres categorías:

#### 2.2.15.2. Caídas

Movimientos intermitentes en caída libre, asociadas a escarpes de rocas duras y fracturadas, el volumen de material es bajo y el tamaño varía de cantos a bloques.

#### 2.2.15.3. Desprendimientos

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.

#### 2.2.15.4. Vuelco por flexión

Tiene lugar en rocas con un sistema preferente de discontinuidades, formando vigas semicontinuas en voladizo. Las columnas continuas cuando se doblan hacia delante, rompen por flexión. Este tipo de movimiento es característico en esquistos, filitas, pizarras y en secuencias rítmicas finamente estratificadas.

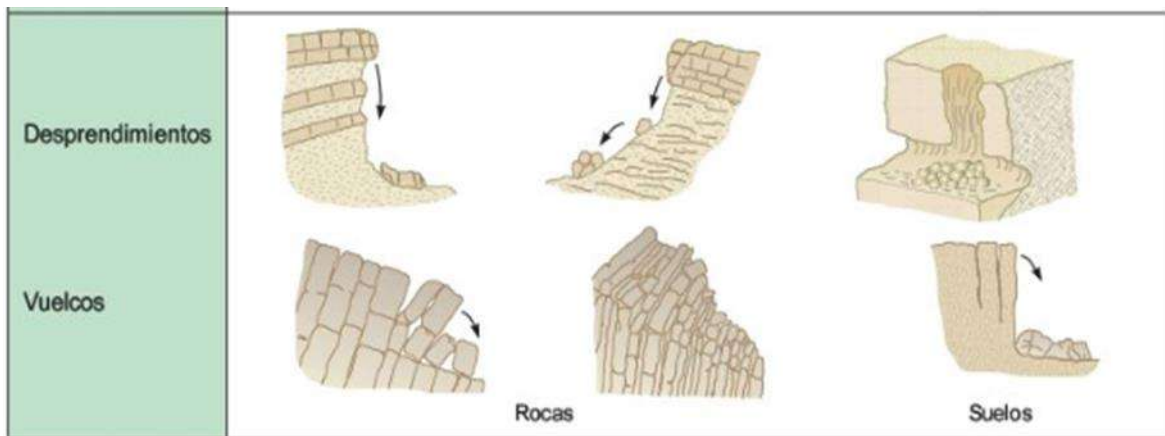


Figura 2. Vuelcos y desprendimientos (González de Vallejo, 2002).

#### 2.2.15.5. Desplome

Estos movimientos se producen en bordes acantilados rocosos o de materiales areno-arcillosos compactados. Su desarrollo está asociado sobre todo a excavaciones artificiales y en este caso, su ocurrencia suele indicar la presencia sistemática de discontinuidades adversamente orientadas que requieren su estabilización mediante bulonado o anclaje (Burga, 1998).

#### 2.2.15.6. Deslizamientos

Se denomina deslizamiento al movimiento de masa rocosa o de los suelos por la pérdida de la estabilidad que puede ser por la saturación de agua, presencia de materiales arcillosos que actúan como lubricantes, fuertes inclinaciones de las vertientes y otras causas. La acción humana puede acelerar muchas veces el proceso de deslizamiento por la utilización sin el estudio adecuado de las áreas de posible de deslizamiento (Burga, 1998).

Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies. El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente al largo de toda la superficie de falla (Suárez, 1998).

Los deslizamientos se dividen en dos subtipos, de acuerdo con el mecanismo de ruptura:

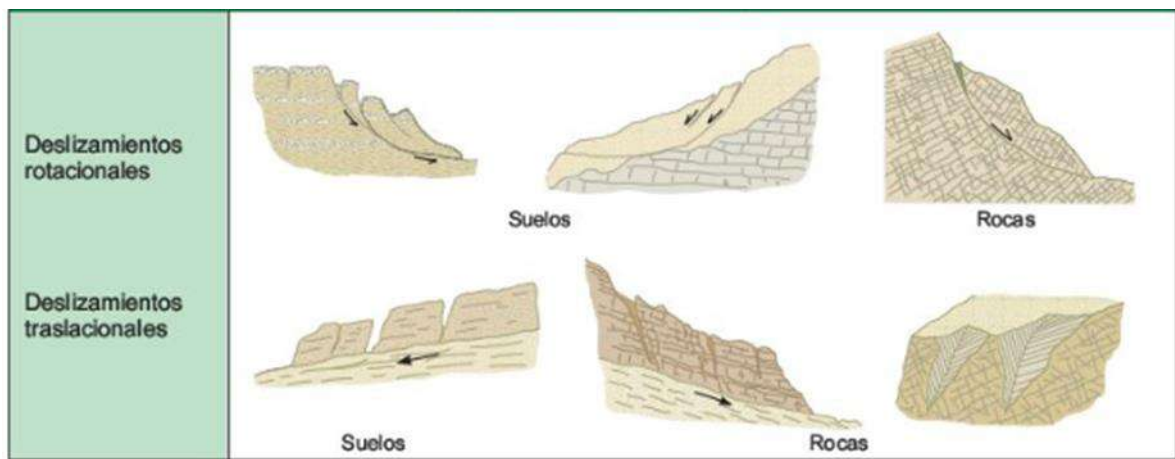


Figura 3. Tipos de deslizamientos de acuerdo con el mecanismo de ruptura (González de Vallejo, 2002).

**a. Deslizamiento rotacional:** La rotura se produce a lo largo de una superficie curvilínea y cóncava. El terreno experimenta un giro según un eje situado por encima del centro de gravedad de la masa deslizada. El material de cabecera efectúa una inclinación contra ladera, generando depresiones donde se acumula el agua e induce nuevas reactivaciones. Este tipo de mecanismo es característico de suelos cohesivos homogéneos y de macizos rocosos intensamente fracturados (Suárez, 1998).

Deslizamiento rotacional está principalmente asociado con pendientes entre 20 y 40 grados y su relación profundidad-longitud, es del orden de 0.3 a 0.1. Además, ocurren usualmente en suelos homogéneos, sean naturales o artificiales (Suárez, 1998).

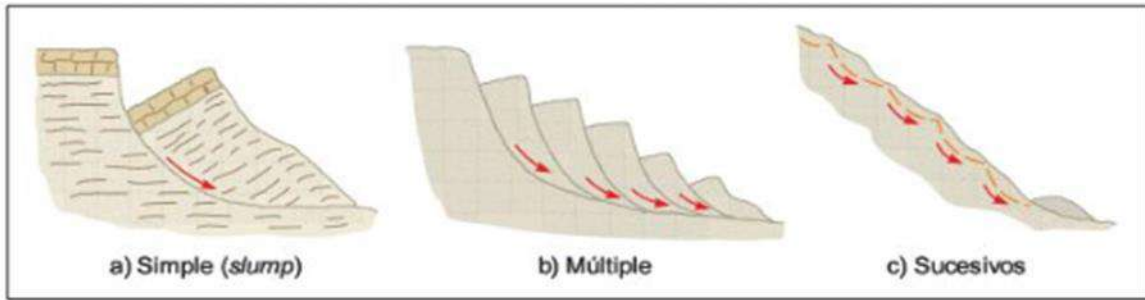


Figura 4. Tipos de deslizamientos rotacionales (González de Vallejo, 2002).

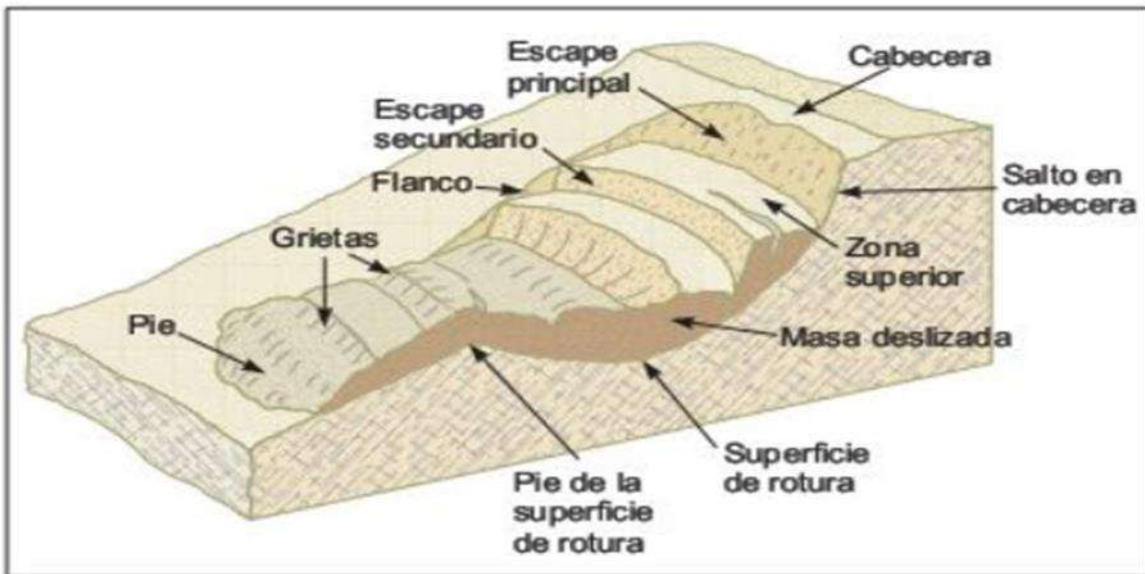


Figura 5. Esquema de un deslizamiento rotacional y partes del mismo (Varnes, 1988).

**b. Deslizamiento traslacional o planar:** el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación. Son generalmente controlados por superficies de debilidad tales como diaclasas, fallas, planos de estratificación (Suárez, 1998).

Deslizamientos traslacionales de bloques de suelo o roca sin apenas trocearse, sobre superficies únicas en macizos rocosos se han denominado resbalamientos (García, 1966).

Para (Hoek y Bray, 1981), Cuando la superficie de rotura está formada por dos planos que obligan a la masa rocosa contenida a desplazarse según la línea de intersección, se forma un deslizamiento en cuña.



#### **2.2.15.6.1. Impacto de los deslizamientos**

La actividad de deslizamientos a nivel mundial, se está incrementando debido a: Incremento de urbanización y desarrollo en áreas propensas a deslizamientos, deforestación continua de áreas propensas a deslizamientos.

Incremento de la precipitación regional causada por los cambios de los patrones climáticos (Suárez, 1998).

#### **2.2.15.6.2. Pérdidas económicas debidas a los deslizamientos**

- a. **Costos Directos:** Reparación, reemplazo o mantenimiento como resultado de los daños a la propiedad o infraestructura debido a los deslizamientos.
- b. **Costos Indirectos:** Pérdida de productividad e ingresos, reducción del valor de la tierra, pérdida de ingreso por impuestos, medidas de mitigación de los deslizamientos, pérdida de productividad humana o animal debida a heridas/traumas.

#### **2.2.15.6.3. Tipos de deslizamientos según su profundidad**

Según la profundidad pueden ser deslizamientos superficiales o profundos. Nos referimos a deslizamientos superficiales, también llamados soil slip, cuando el material desplazado normalmente se mueve sobre una zona estrecha de cizallamiento a una zona de roca fresca o ligeramente meteorizada, un horizonte podogénico o una superficie estructural en correspondencia a una unión permeable/impermeable, la superficie de falla generalmente se desarrolla en el contacto entre el regolito y el lecho rocoso y es aproximadamente paralelo a la superficie del suelo (Cruden y Varnes, 1996).

La superficie de ruptura se encuentra por debajo de 1 m. de profundidad y son usualmente desencadenados por lluvias cortas de intensa duración o en algunos casos por lluvia prolongadas pero menos intensas (Mouri et al., 2010).

Los deslizamientos profundos son aquellos en el cual la superficie de ruptura es mayor a 1 m. de profundidad (Montrasio et al., 2011).

#### 2.2.15.6.4. Tipos de deslizamientos según el tipo de movimiento

Según el tipo de movimiento los deslizamientos pueden denominarse como:

- a. **Progresivo.** La superficie de falla se extiende en la misma dirección del movimiento.
- b. **Retrogresivo.** La superficie de falla se extiende en dirección opuesta al movimiento.
- c. **Ampliándose.** La superficie de falla se extiende hacia una u otra de las márgenes laterales.
- d. **Alargándose.** La superficie de falla se alarga agregando continuamente volumen de material desplazado.
- e. **Confinado.** Se refiere a movimientos que tienen un escarpe visible pero no tienen superficie de falla visible en el pie de la masa desplazada.
- f. **Disminuyendo.** El volumen de material siendo desplazado, disminuye con el tiempo.

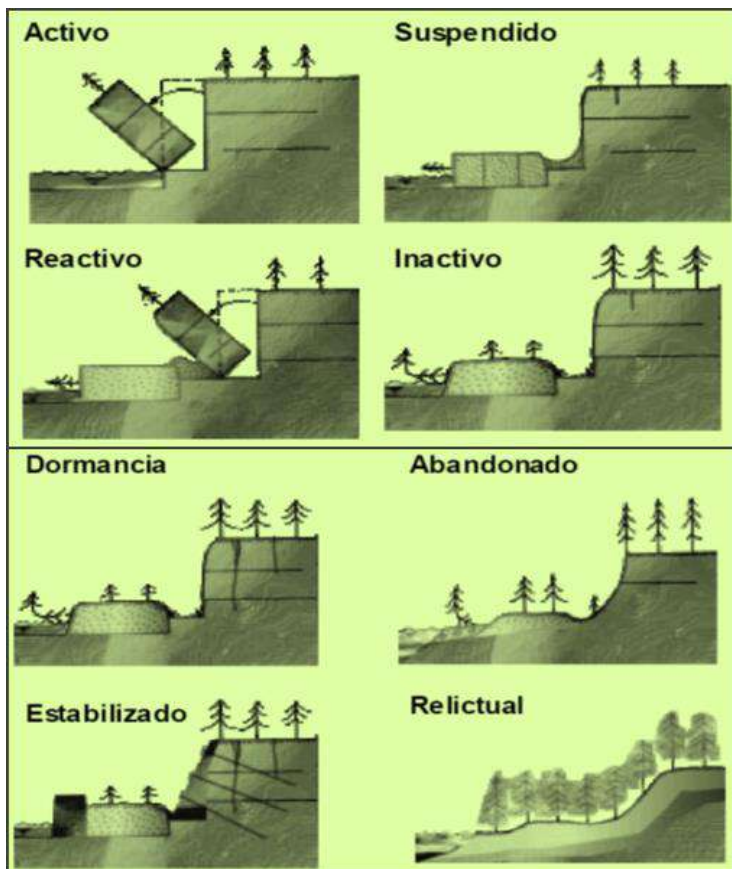


Figura 6. Tipos de deslizamientos (UNESCO, 2000).

### 2.2.15.6.5. Elementos del deslizamiento

#### a. Altura

Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados (Suárez, 1998).

#### b. Pie

Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.

Cabeza o escarpe se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior (Suárez, 1998).

#### c. Altura de nivel freático

Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza (Suárez, 1998).

#### d. Pendiente

Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical (Suárez, 1998).

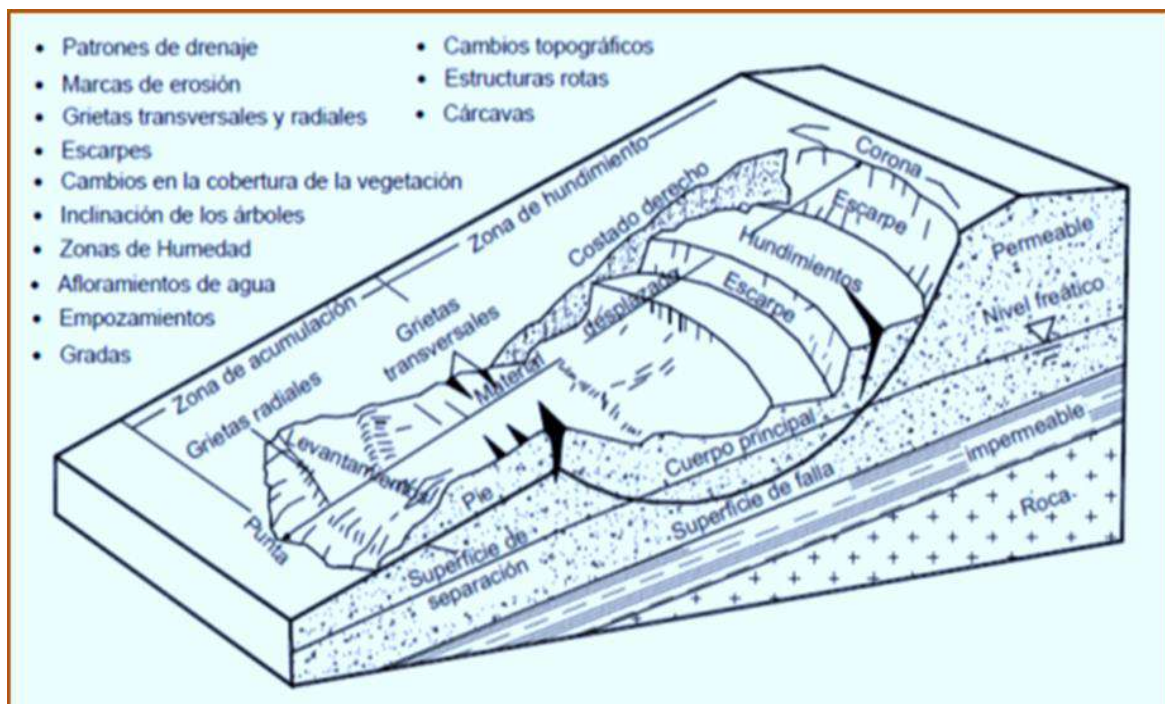


Figura 7. Detalles a analizar en un deslizamiento (Suárez, 1998).

#### 2.2.15.6.6. Dimensiones de un deslizamiento

- a. **Ancho de la masa desplazada:** Ancho máximo de la masa desplazada perpendicularmente a la longitud.
- b. **Ancho de la superficie de falla:** Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicularmente a la longitud.
- c. **Longitud de la masa deslizada:** Distancia mínima entre la punta y la cabeza.
- d. **Longitud de la superficie de falla:** Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.
- e. **Profundidad de la superficie de falla:** Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno
- f. **Longitud total:** Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.
- g. **Longitud de la línea central:** Distancia desde la punta o uña hasta la corona del deslizamiento a lo largo de puntos sobre la superficie original equidistantes de los bordes laterales o flancos.
- h. **Tamaño del deslizamiento:** En cuanto a la magnitud no hay tamaños estandarizados para la descripción de deslizamientos que pueda proporcionar alguna referencia. La tabla 4 es usada en el presente trabajo de investigación, como guía para describir el tamaño de deslizamientos.

Tabla 4. Tamaño de deslizamientos por área en proyección horizontal

Descripción	Área (pies <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )
Muy pequeña	<2000	<200
Pequeña	2,000- 20,000	200- 2,000
Media	20,000- 200,000	2,000- 20,000
Extensa	200,000- 2,000,000	20,000- 200,000
Muy extensa	2,000,000- 20,000,000	200,000- 2,000,000
Enorme	>20,000,000	>2,000,000

Fuente: Conforth (2005).

#### 2.2.15.6.7. Evidencias de deslizamientos

Las condiciones de inestabilidad de un lugar no son necesariamente obvias en la investigación de campo. En ocasiones hay evidencias claras de la inestabilidad, pero es común que una amenaza de movimiento no sea detectada a simple vista.

Parkhurst (2000), propuso una metodología para la identificación de sitios inestables. Este procedimiento consiste en darle una calificación a una serie de factores o indicadores de estabilidad, en forma similar a como se elaboran los mapas de amenaza a los deslizamientos y de acuerdo a la calificación se investigan a detalle los sitios con más alta calificación de amenaza. En ocasiones existen evidencias claras de deslizamiento del terreno, pero es común que estos eventos no sean detectados a simple vista, por lo que se deben tener en cuenta algunos signos que nos indiquen un problema de deslizamiento. Se recomienda tener en cuenta la siguiente lista de evidencias más comunes:

Escarpas (en caso si el material es suelto) o escarpes (si el material es roca).

Grietas (suelo) o fisuras (roca) en el terreno.

Afloramientos de agua (manantiales y lagunas) a diferentes niveles topográficos del terreno.

Inclinación de árboles.

Grietas en las paredes de las viviendas.

Presencia de terrazas escalonadas y depresiones en el terreno.

Estructuras rotas como canales, carreteras, cercos, etc.

Desplazamientos o asentamientos en el terreno.

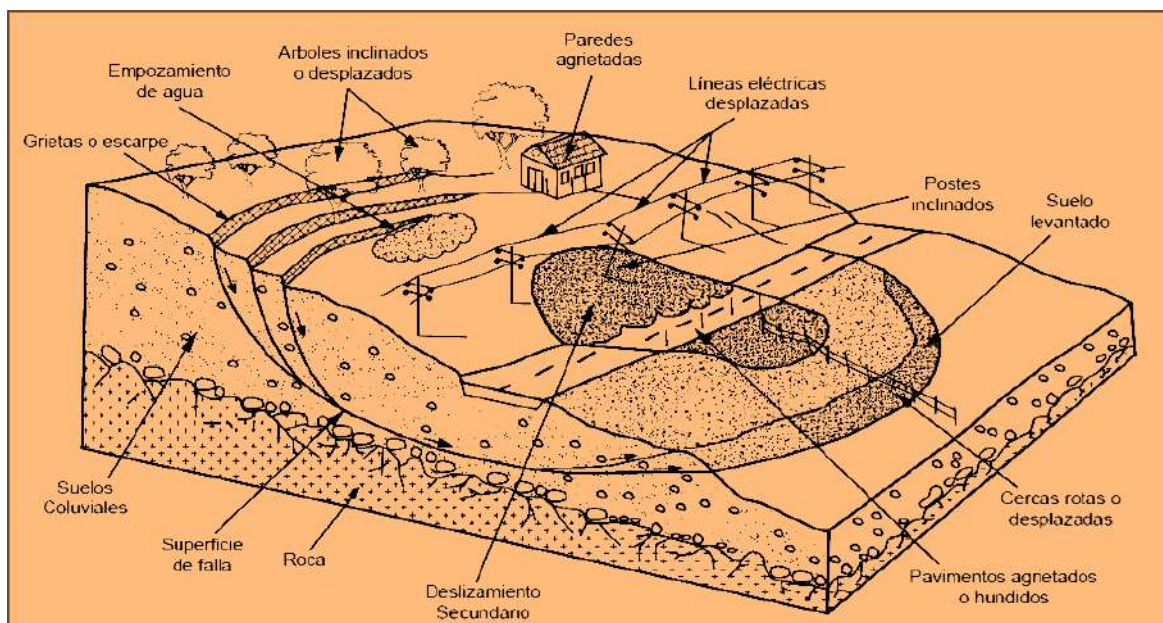


Figura 8. Signos para reconocer un problema de deslizamientos (Suárez, 1998).

Tabla 5. Detalles que indican actividad o inactividad de deslizamientos.

<b>Deslizamientos activos</b>	<b>Deslizamientos inactivos</b>
Escarpes terrazas y hundimiento con bordes puntiagudos	Escarpes terrazas y hundimiento con bordes redondeados
Grietas sin relleno	Grietas rellenas
Movimientos de masa secundarios sobre las caras de los escarpes	No hay movimientos de masa secundarios sobre las caras de los escarpes
<b>Deslizamientos activos</b>	<b>Deslizamientos inactivos</b>
Superficies de ruptura frescas y con estrías	No aparecen estrías en la superficie de ruptura
Bloques con superficies fracturadas frescas	Bloques con superficies fracturadas meteorizadas
Sistema de drenaje irregular con empozamiento y depresiones	Sistema de drenaje integrado al paisaje
Diques de depositación en el perímetro del deslizamiento	Sectores de dique erosionado
Solo aparece vegetación de rápido crecimiento sobre las áreas de ruptura	Aparece vegetación de crecimiento lento sobre las áreas de ruptura
No aparece formación de suelo nuevo sobre la superficie de ruptura expuesta	Aparece suelo nuevo u oxidado sobre las superficies de ruptura expuestas
Vegetación en estado muy diferente dentro y fuera del área deslizada	Vegetación muy similar dentro y fuera del área deslizada
Arboles inclinados pero no torcidos	Arboles curvados y torcidos
No aparecen capas secundarias de soporte en los troncos de los arboles	Aparecen capas secundarias de soporte en los troncos de los arboles

Fuente: Crozier (1984).

### 2.2.16. Flujos

Son movimientos espacialmente continuos en los que las superficies de cizalla tienen corta vida, se encuentran muy próximas y generalmente no se conservan. La distribución de velocidades en la masa desplazada se parece a la que se presenta en un fluido viscoso. Por este motivo, la masa movida no conserva la forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo, formas lobuladas cuando interesan a materiales cohesivos y desparramándose por la ladera o formando conos de deyección cuando afectan a materiales granulares.

El agua es el principal desencadenante por la pérdida de resistencia al corte que da lugar a materiales poco cohesivos y fáciles de transportar. Las partículas sueltas que cubren pendientes desnudas y otros depósitos detríticos no consolidados, disponibles dentro de la cuenca de recepción, son transportadas hacia el cauce principal (ríos o quebradas) donde continúa su movimiento, removiendo depósitos de gravas y arenas sueltas del lecho, hasta alcanzar el área de depositación, que corresponde a zonas de baja pendiente o más llanas, formando parte de los abanicos aluviales. En general, con la disminución de la pendiente a medida que aumenta la distancia desde su fuente, los flujos van perdiendo su carga sólida, por lo que van pasando paulatinamente a flujos de barro y finalmente a inundaciones o flujos hiperconcentrados, donde la fracción sólida varía generalmente entre 1 a 25% en volumen original (Pierson y Scott, 1985).

Generalmente asociados a la presencia de agua, se subdividen en:

Flujos de roca. Comprende las deformaciones que se distribuyen a lo largo de muchas fracturas grandes y pequeñas. Este tipo de movimiento ocurre en laderas muy empinadas mayores a 45 grados. Son ligeramente húmedos y de velocidad rápida a muy rápida.

Flujos de detritos (escombros). Se pueden considerar como la terminación de un flujo de rocas; fragmentos de roca se van formando debido al transporte del material.

Flujos de lodo: los materiales transportados son muy finos y el contenido de humedad es muy alto (Suárez, 1998).

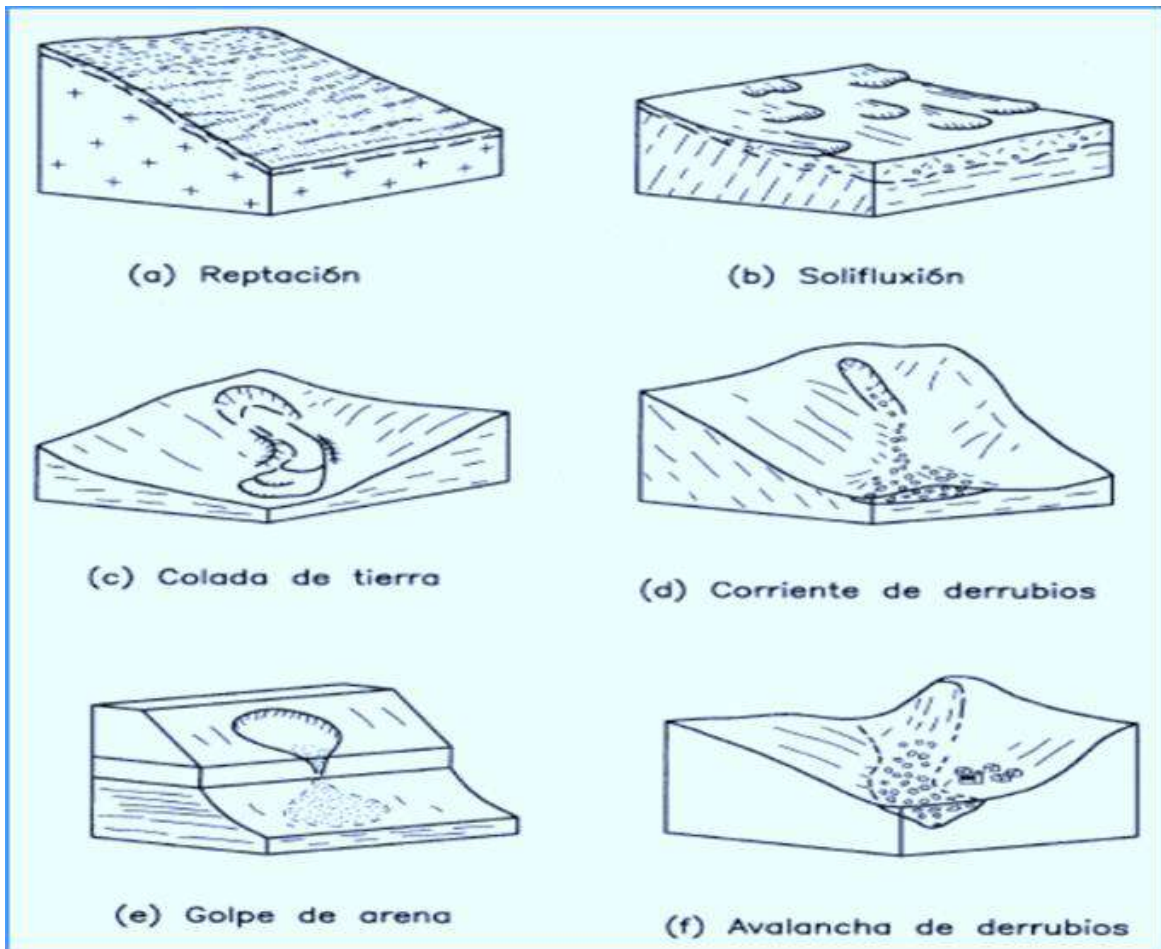


Figura 9. Movimientos de flujo (Corominas y García, 1997).

### 2.2.17. Movimientos complejos

Se les denomina complejos, debido a que se producen por una combinación de dos o más de los tipos descritos anteriormente.

Un movimiento de masa, no incluido en esta clasificación, es el conocido como reptación (creep), que por sí sólo puede afectar grandes áreas y preceder otros tipos de movimientos de masa. Pueden movimientos desde lentos hasta extremadamente lentos (unos pocos centímetros por año) del suelo subsuperficial, sin una superficie de falla definida (Suárez, 1988).

Keefe (1984), al exponer las características de los movimientos de masa, también realiza una adaptación de la clasificación de Varnes (1978), en la que, además del tipo de material y el tipo de movimiento, tiene en cuenta otros parámetros como el grado de ruptura interna, contenido de agua, velocidad del movimiento y profundidad.



### **2.2.18. Otros peligros**

**a. Coladas de tierra:** Es la deformación plástica, lenta y no necesariamente muy húmeda, de tierra o rocas blandas (pizarras, filitas), en laderas de inclinación moderada. Cuando predominan los materiales cohesivos con un elevado contenido de limos y arcillas, se les denomina coladas de barro (Hutchinson, 1988).

**b. Avalanchas:** Son movimientos de una masa de hielo o nieve sobre una ladera, asociada a zonas glaciares de alta lomada. El principal agente es la gravedad y pueden variar desde un pequeño flujo hasta una gigantesca masa destructiva (Vargas, 1999).

### **2.2.19. Herramientas y técnicas para la evaluación de peligros**

La percepción de la existencia del fenómeno peligroso, es uno de los fundamentos principales para la evaluación de la peligrosidad y la adaptación de medidas para mitigar los efectos. Su caracterización y representación implica la escenificación del comportamiento probable de los peligros en un área determinada.

Se analizará el problema considerando 3 aspectos (procesos, factores y criterios). Los procesos describen las diferentes fases de movimientos de masas, relacionados a los factores como propiedades y agentes que contribuyen al proceso y finalmente los criterios son la unidad pragmática de evaluación indirecta de la magnitud de los procesos.

#### **2.2.19.1. Percepción remota**

Considerada una de las más importantes de las herramientas para el evaluador. Su uso en los estudios de peligros se ha referido a identificar la probabilidad de ocurrencia, su magnitud e intensidad; así también para la captura de información del entorno geológico, geográfico, topográfico y ambiental; con el fin de producir mapas de inventario y otros mapas utilizados en el análisis de susceptibilidad.

Según Saaty y Vargas (1991), las herramientas principales para la captura de información antes menciona son: las imágenes satelitales de tipo Landsat y fotografías aéreas.

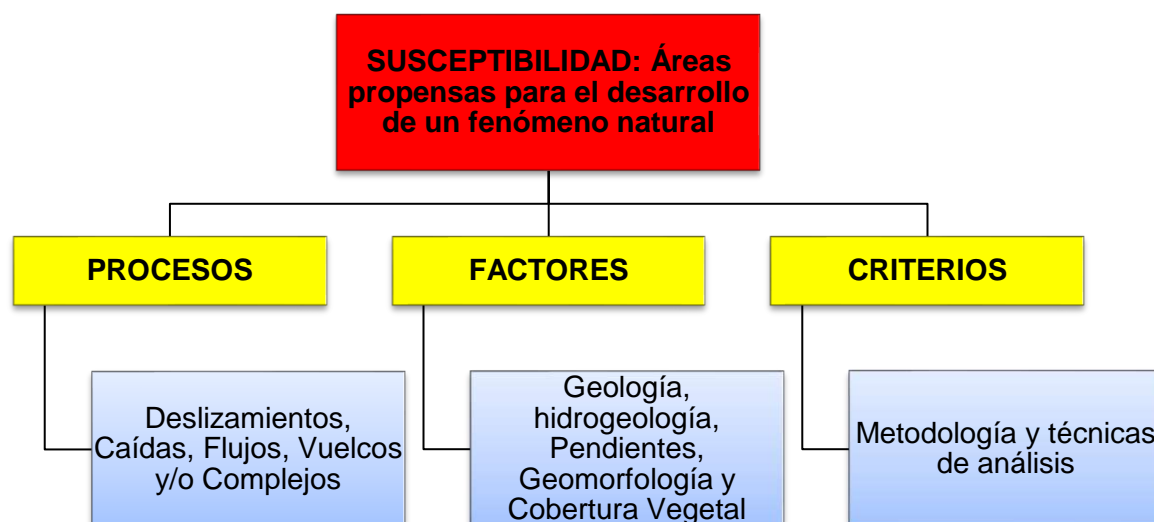


Figura 10. Aspectos fundamentales para el análisis de susceptibilidad (Castellanos y Carrillo, 2003).

### 2.2.19.2. Cartografiado geológico y topográfico

El cartografiado geológico proporciona la información conjunta de campo. Se reconocen dos tipos de cartografía necesarias para la evaluación de susceptibilidad:

Cartografía base o topográfica: Está compuesta por un conjunto de curvas de nivel que se utilizan para representar las características generales del relieve terrestre y para la georreferenciación de los peligros. Además, con él se puede medir formas, tamaños, distancias, perímetros y áreas que se requieren como datos adicionales para la zonificación primaria.

Cartografía temática: En ellos se representan a los factores condicionantes en la inestabilidad de laderas (FCI) y se conforman por la agrupación de las denominadas sub unidades cartográficas, definidas como una porción de superficie del área cartografiada en unidades de polígonos y que contienen una serie de características de las condiciones del terreno que difieren de las unidades adyacentes mediante límites bien definidos.

### **2.2.19.3. Sistema de Información Geográfica (SIG)**

Es un software implementado en una computadora que facilita la adquisición, almacenamiento, administración, análisis y visualización de base de datos geográficos:

Elementos componentes para la evaluación: Elaboración y preparación de base de datos; la construcción de una base de datos topográfica.

Metodologías de análisis aplicables en SIG; Existen diversos modelos para abordar el análisis de la susceptibilidad a los movimientos en masa y que han ido cambiando con el tiempo.

### **2.2.20. Método Heurístico o Empírico**

Es un método que se basa en la experiencia del investigador para clasificar y ponderar la distribución de los factores causantes de la ocurrencia de movimientos de masas. Se utiliza para clasificar y ponderar la distribución de los factores causantes de la ocurrencia de movimientos de masas. Sirven además de base para trabajos de mayor detalle y para delimitar zonas peligrosas. En este método se utiliza una ponderación.

#### **2.2.20.1. Ponderación**

Se efectúa analizando la mayor y menor frecuencia. Un ejemplo para explicar el procedimiento para ponderar es: el mayor valor de frecuencia es 30 y el menor es 10. La diferencia entre ellos es 20. Como la ponderación va de 1 (mínimo) y 5 (máximo). El valor de 20 obtenido es dividido entre 5. Esta división da 4.0 este valor se suma a la menor frecuencia de la siguiente manera:  $10 + 4 = 14$ ;  $14,0 + 4 = 18$ ;  $18 + 4 = 22$ ;  $22 + 4 = 26$ ;  $26 + 4 = 30$ . Siendo por lo tanto la ponderación: 1, 2, 3, 4, 5 respectivamente.

Tabla 6. Ejemplo de cálculo de ponderación.

<b>Cálculo</b>	<b>Ponderación</b>
<b>(10,0- 14,0) (menor valor)</b>	1
<b>(14,1- 18,0)</b>	2
<b>(18,1- 22,0)</b>	3
<b>(22,1- 26,0)</b>	4
<b>(26,1- 30,0) (mayor valor)</b>	5

Fuente: INGEOMINAS (2001).

### 2.2.20.2. Parámetros estadísticos

El tratamiento de datos en función de algoritmos requiere de una base de datos cuantitativa de las sub unidades de cama mapa factor.

La metodología probabilística de semi aproximación cuantitativa usada mediante la técnica de densidad de puntos propuesta por INGEOMINAS (2001), requiere de procesamientos estadísticos de dispersión, distribución y categorización de las ponderaciones de susceptibilidad. Tabla 7.

### 2.2.20.3. Medidas de dispersión

Rango: El rango de un conjunto de datos es el valor mayor ( $V_{m\acute{a}x}$ ) de nuestras operaciones, claramente influenciado por valores extremos.

RANGO = Valor máximo - Valor mínimo

El intervalo de una clase es la amplitud dividida entre el número de clases.

INTERVALO =  $(V_{m\acute{a}x} - V_{m\acute{i}n}) / N^{\circ}$  de clases.

Tabla 7. Ejemplo de cálculo de ponderación.

<b>VALOR</b>	<b>INTERVALO</b>	<b>GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD</b>
<b>1</b>	< 0.25	Muy baja
<b>2</b>	0.26 - 0.5	Baja
<b>3</b>	0.51 - 1.0	Moderada
<b>4</b>	1.01 - 2.0	Alta
<b>5</b>	2.01 - 4	Muy Alta

Fuente: INGEOMINAS (2001).

### **2.2.21. Método Probabilístico**

El método probabilístico permite establecer relaciones estadísticas entre una serie de factores condicionantes de los movimientos de laderas como la litología, pendiente y geomorfología a la distribución actual y/o pasada de los movimientos a escala de detalle. Su uso requiere crear una base de datos que incluya toda la información (Carrara, 2008).

#### **2.2.21.1. Análisis Estadístico Univariado o Divariado**

Está considerado como un análisis de aproximación semi cuantitativa que permite estimar la posibilidad de ocurrencia de movimientos en masa en una determinada área. El procesamiento consta en determinar cuantitativamente el grado de influencia que cada variable o factor intrínseco (subunidades de mapas temáticos) tiene en la susceptibilidad, se desarrolla calculando la sumatoria de las áreas de cada tipo de movimiento en masa que se encuentre dentro de las áreas que abarca cada unidad cartográfica (INGEOMINAS, 1998).

Esta fórmula es la siguiente:

$$W\% = DZX \times 100/S$$

Dónde:

W : Peso o susceptibilidad de la UCP respecto al movimiento en masas.

DZX : Superficie acumulada de movimiento en masa en Km<sup>2</sup>.

S : Superficie total acumulada de la UCP.

UCP : Unidad Cartográfica de Parámetro (INGEOMINAS, 1998).

#### **2.2.22. Matriz de Jerarquías Múltiples (MJM)**

Es una manera de jerarquizar contenidos donde no es posible homologar los criterios de evaluación, se refiere a aquellos problemas donde es necesario ordenar o elegir entre varias opciones en función de algunas reglas preestablecidas.

Permite asignar ponderaciones de importancia a los factores condicionantes de la inestabilidad, de una manera más rigurosa que la directa apreciación o juicio de expertos. Este análisis se basa en la importancia relativa y pesos obtenidos mediante comparaciones sucesivas entre parejas de criterios (pair wise) que

permite asignar ponderaciones de importancia a los factores condicionantes de la inestabilidad (Hayman, 1998).

La tabla 8 muestra cómo se hallan los pesos obtenidos.

Tabla 8. Se muestra un ejemplo de cómo se llena los casilleros de acuerdo a la importancia de los siete (7) factores condicionantes de la inestabilidad.

	Unidades Geológicas (9)	Unidades Tectónicas (7)	Unidades pendiente (5)	Unidad geomorfológica (5)	Unidades cobertura vegetal (3)	Unidades hidrogeológicas (3)	Unidades de dureza y cohesión singenética (1)
Unidades geológicas (9)	9/9	9/7	9/5	9/5	9/3	9/3	9/1
Unidades tectónicas (7)	7/9	7/7	7/5	7/5	7/3	7/3	7/1
Unidades pendiente (5)	5/9	5/7	5/5	5/5	5/3	5/3	5/1
Unidades geomorfológicas (5)	5/9	5/7	5/5	5/5	5/3	5/3	5/1
Unidades cobertura vegetal (3)	3/9	3/7	3/5	3/5	3/3	3/3	3/1
Unidades hidrogeológicas (3)	3/9	3/7	3/5	3/5	3/3	3/3	3/1
Unidades de dureza, cohesión singenética (1)	1/9	1/7	1/5	1/5	1/3	1/3	1/1

Fuente: Hayman (1998).

Por ejemplo, si se determina que en el área de investigación a juicio de expertos, se concluye que los FCI son en orden de importancia: el geológico, tectónico, pendiente, geomorfológico, cobertura vegetal, geomorfología y finalmente dureza singenética en estricto orden de importancia (9, 7, 5, 3, 1):

Factor geológico (9)

Factor tectónico (7)

Factor de pendiente (5)

Factor geomorfológico (5)

Factor de cobertura vegetal (3)

Factor de hidrogeológico (3)

Cohesión singenética (1)

En esta matriz de doble entrada, se dividen las columnas entre las filas tal como lo muestra el ejemplo:

9/9, 9/7, 9/5, 9/3 y 9/1.

Estas operaciones hacen que se forme una diagonal cuyo valor es la unidad.

### 2.2.23. Coeficiente de Consistencia (RC)

Esta fórmula se utiliza para demostrar la consistencia y confiabilidad de las ponderaciones, se requiere que el valor sea menor a 0,10 (INGEOMINAS, 2000).

Se utiliza la siguiente fórmula: INGEOMINAS (2000).

$$RC = \frac{IC}{IA} \qquad IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}$$

Dónde:

RC : Coeficiente de Consistencia.

IC : Índice de consistencia.

IA : Índice aleatorio.

$\lambda_{\max}$  : Eigenvalor máximo o principal.

Tabla 9. Muestra los valores de índice de consistencia (IA) para un número determinado de mapas factores. N significa el número de variables utilizados en el análisis.

N	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fuente: INGEOMINAS (2000).

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Peligros naturales.** Fenómeno atmosférico, hidrológico, geológico que por su severidad y frecuencia puede afectar de manera adversa a los seres humanos, a sus infraestructuras o actividades (Petak et al., 1982).

**Peligros geológicos.** Son aquellos elementos del medio ambiente físico perjudicial al hombre, causado por fuerzas ajenas a él. Comprenden una gran variedad y complejidad de movimientos de material geológico debido a las fuerzas de gravedad y en algunos casos por acción del agua (Petak et al., 1982).

**Zonas críticas.** Son areas o lugares vulnerables a sufrir perdidas socioeconómicas debido a la ocurrencia de peligros geológicos. Su identificación se realiza utilizando la susceptibilidad y elementos vulnerables (Fidel, 2006).

**Previsión:** Predicción en la probabilidad de ocurrencia de procesos geológicos, cuya posibilidad de identificación de áreas con riesgo permitirá tener una idea de los peligros y sus impactos en el medio (Fidel, 2006).

**Prevención o mitigación (Reducción):** Conjunto de medidas y acciones dispuestas con anticipación; cuyo fin es evitar o impedir que se presente un fenómeno peligroso (Fidel, 2006).



## CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1.1. Geográfica

Este trabajo de investigación se ubica en el Centro Poblado de Huambocancha Baja ubicado a 8 km aproximadamente de la ciudad de Cajamarca y abarca un área aproximada de 38,4 km<sup>2</sup>. Dentro del cuadrángulo de San Marcos (15g).

Tabla 10. Coordenadas UTM WGS-84 del área de investigación.

VERTICE	LATITUD	LONGITUD
A	9218400	770400
B	9218400	776800
C	9212400	776800
D	9212400	770400

#### 3.1.2. Política

El área de investigación se encuentra ubicada en el Centro Poblado de Huambocancha Baja que pertenecen al distrito de Cajamarca, Provincia de Cajamarca y Región Cajamarca.

#### 3.1.3. Accesibilidad

El acceso a al área de investigación se da por dos principales vías: Cajamarca – Huambocancha y la de El Callejón- Huambocancha.



Figura 11. Imagen satelital con accesibilidad al área de estudio (Google Maps, v.2021).

Tabla 11. Accesibilidad al Centro Poblado de Huambocancha Baja

Tramo	Distancia (Km)	Tiempo (min)	Condición
Cajamarca- Huambocancha	5	50	Asfaltada
El Callejón- Huambocancha	1	20	Afirmada

### 3.1.4. Clima

El área de investigación se encuentra entre los 2700 – 3000 m.s.n.m., tiene un clima templado, seco y soleado en el día y frío en la noche. La temperatura media anual fluctúa entre los 12.8 °C. La estación de lluvias intensas ocurre de diciembre a marzo.

Tabla 12. Cuadro climatológico de Cajamarca.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	12.6	12.6	12.7	12.9	12.9	12.8	13	13.5	13.2	12.7	12.6	12.6
Temperatura min. (°C)	9.5	9.8	10	9.7	9.3	8.5	8	8.2	8.8	8.9	8.8	9.2
Temperatura máx. (°C)	17.6	17.6	17.7	17.8	17.9	18.1	18.8	19.7	18.9	18.2	18.2	17.8
Precipitación (mm)	365	437	494	322	169	67	35	47	171	293	253	310
Humedad (%)	82%	84%	85%	82%	78%	71%	63%	60%	71%	76%	72%	78%
lluviosos (días)	19	19	21	19	16	9	6	7	15	19	15	17
Horas de sol (horas)	6.2	5.8	5.7	6.6	7.4	8.4	8.9	9.1	8.3	7.2	7.4	6.7

Fuente: SENAMHI (2021).

### 3.1.5. Vegetación

La vegetación del área de estudio está compuesta de árboles y arbustos, eucaliptos, etc. Se desarrolla una agricultura temporal (en época de lluvia), y con riego tecnificado (aspersión).

## 3.2. PROCEDIMIENTOS

### 3.2.1. Metodología

#### 3.2.1. Gabinete 1

Se ha realizado la recopilación y síntesis de información bibliográfica existente (boletines informativos, revistas, trabajos de investigación afines), se utilizó la

información cartográfica obtenida de: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

### 3.2.1.2. Etapa de campo

Consistió en hacer un reconocimiento insitu para el reconocimiento e identificación de los peligros geológicos y su relación con los factores geológicos de cada movimiento de masa que se agrupó de acuerdo a la clasificación existente.

### 3.2.1.3. Etapa de gabinete 2

Con la información obtenida en campo se procedió a los cálculos estadísticos para determinar la ponderación y la aplicación de los métodos utilizados tanto el probabilístico y el heurístico utilizando el Excel 2016, para luego elaborar la tesis final y los planos.

### 3.2.2. Identificación de las variables

Las variables dependientes son los peligros geológicos (movimiento de masa) que van a depender de la susceptibilidad y riesgos del terreno y las variables independientes son la mayor intensidad de erosión de las rocas, el mayor grado de pendiente de terreno, además aumento en las presiones del agua poros intersticiales del suelo haciendo que los esfuerzos efectivos entre las partículas por ende disminuye la resistencia a la fricción en el suelo y altera las propiedades físicas y geomecánicas de las rocas.

Tabla 13. Cuadro de variables.

<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>	<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>
Agentes geológicos externos	
Pendientes	Peligros geológicos
Precipitación	(Movimientos de masa)
Litología	

### 3.2.3. Técnicas

Se hizo la elaboración de histogramas de frecuencias y ponderación de las unidades de medida utilizando el software Excel v.2016.

### **3.2.4. Instrumentos y equipos**

**GPS Navegador:** Utilizado para la ubicación geográfica, configurado en el sistema UTM. WGS-84 Zona 17S, Hemisferio Sur.

**Brújula tipo Brunton:** Para medir la orientación y buzamiento de los estratos.

**Planos:** Se utilizaron planos topográfico y geológico del INGEMMET.

**Wincha:** Para medir la dimensión del movimiento de masa.

**Libreta de Campo:** sirve para anotar la información de campo.

**Picota:** para obtener muestras de mano.

**Cámara fotográfica digital:** Utilizado para capturar y almacenar fotografías.

**Software:** ArcGIS v.10.7, para la elaboración de todos los mapas; Microsoft office v.2016 para la realización de tablas y cuadros estadísticos y digitalización de la tesis.

### **3.3. GEOLOGÍA REGIONAL**

En la región Cajamarca encontramos diferentes Grupos y Formaciones, clasificadas de acuerdo a la antigüedad, composición y origen, tanto marino o continental de acuerdo a los materiales que presentan.

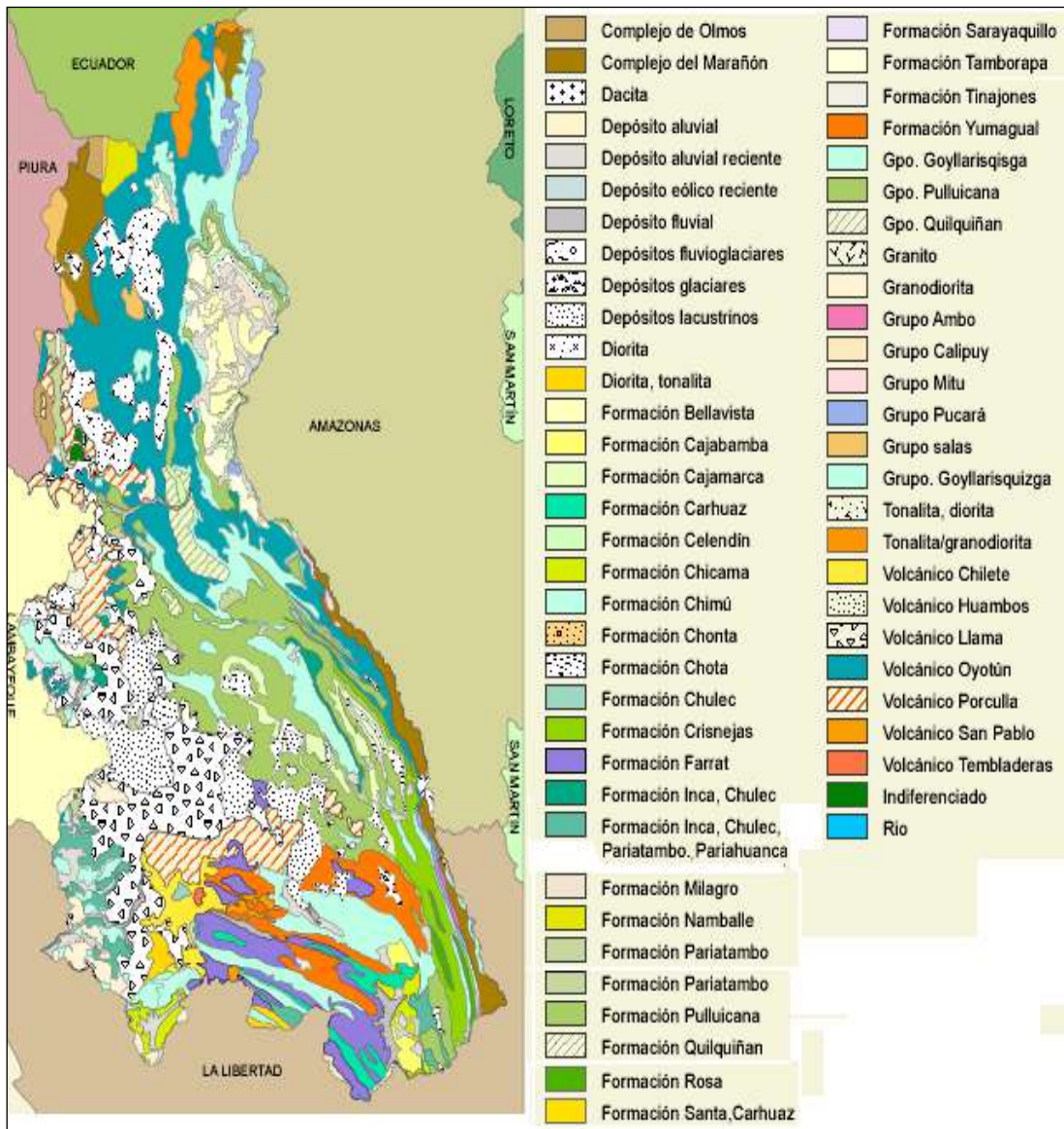


Figura 12. Geología regional.

Fuente: Ingemmet

### 3.4. GEOLOGÍA LOCAL

#### 3.4.1. Grupo Goyllarisquizga

##### 3.4.1.1. Formación Santa (Ki- sa)

Esta Formación aflora al Suroeste de El Milagro, en una cantidad mínima en el área estudiada, presentando un ambiente de depositación en mar somero, la cual presenta intercalaciones de arcillitas, calizas margosas y areniscas gris oscuras.



Foto 1. Secuencia estratigráfica entre areniscas de 50cm. y calizas de 20 cm. de espesor, ubicado al Suroeste de Huambocancha Baja.

### 3.4.1.2. Formación Carhuáz (Ki- ca)

Se encuentra aflorando al Sureste de Puruay Chico, compuesta por areniscas de grano fino de coloraciones grises violáceas, gris verdosas y grises rojizas; se intercala con secuencias de arcillitas y limoarcillitas e Infrayace a la Formación Farrat en forma concordante.

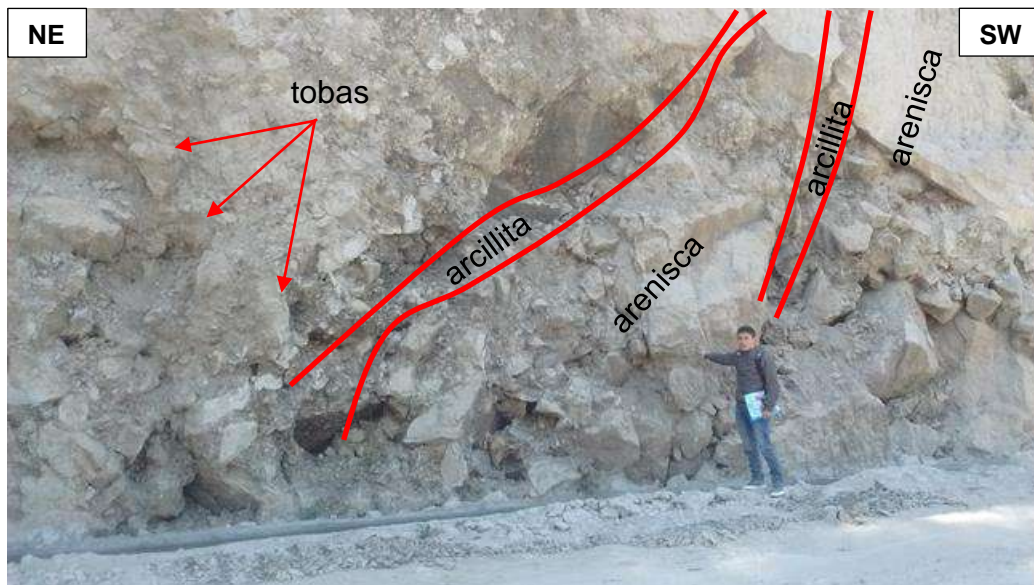


Foto 2. Alternancia de areniscas con intercalación de arcillitas y tobas volcánicas, es un afloramiento con material inestable ubicado al Sureste de Huambocancha Baja.

### 3.4.1.3. Formación Farrat (Ki- fa)

Compuesta por areniscas de grano fino a medio, de composición cuarzosa. Espesor aproximado de 400 metros y suprayace concordantemente sobre la Formación Carhuáz e infrayace a la Formación Inca. Esta unidad se encuentra formando parte del Sinclinal Huambocancha. Al Noreste, esta unidad se encuentra formando pliegues a manera de pequeños anticlinales y sinclinales.



Foto 3. Afloramiento de areniscas blancuecinas ubicado al Suroeste de Puruay Chico.

### 3.4.2. Formación Inca (Ki- in)

La Formación Inca consiste de una intercalación de areniscas calcáreas de estratos delgados, así como arcillolitas ferruginosas fracturadas y lechos de cuarcitas, con matices amarillentos. También se identificó limolitas en la parte superior de coloración rojiza y presencia de oxidación; existe un pequeño afloramiento camino a la localidad de Santa Bárbara-Aeropuerto.





Foto 4. Afloramiento de arcillitas rojizas al Sureste de Huambocancha Baja.

### 3.4.3. Volcánicos San Pablo (PN- Vsp)

Pertenece al Grupo Calipuy. Litológicamente está compuesta por tobas dacíticas, traquíticas y andesitas. En la parte superior de la secuencia se observan piroclásticos bien estratificados intercalado con aglomerados y brechas. Los bloques y bombas de hasta 50 cm de diámetro se asocian al centro volcánico de Yanacocha. Se encuentra sobreyaciendo a sedimentos cretácicos y aflorando en mayor cantidad en el área de estudio en el sector de Lluscapampa.



Foto 5. Afloramiento de tobas volcánicas con matriz microcristalina y está cubierto de suelo orgánico ubicado al Noreste de Huambocancha Baja.

#### 3.4.4. Volcánicos Huambos (PN- Vh)

Topográficamente el volcánico Huambos es bastante particular, por sus geoformas llanuras, lomadas y escarpas donde se puede observar el tipo de depósito sobre estas superficies se ha desarrollado un sistema dendrítico de drenaje. El tipo de litología muestra fragmentos de has 3mm de diámetro con cristales de biotita feldespáticas que corresponde a tobas ácidas que se encuentra en el CC.PP de Huambocancha Baja



Foto 6. Afloramiento de tobas traquíticas al Noreste y Sureste de Huambocancha, al margen derecho del Río Grande.

#### 3.4.5. Depósitos Cuaternarios

##### 3.4.5.1. Depósitos coluviales (Qh- co)

Son producto de la alteración de las rocas volcánicas y areniscosas, compuesta por material fino arcillo- arenoso, gravo- arenoso, anguloso, suelen poseer hasta 10m de espesor. Son acumulados por efectos de la gravedad que se encuentran discordantes sobre los volcánicos y sobre sedimentos Cretácicos.



Foto 7. Depósitos coluvioaluvial, constituidos por gravas, arenas y arcillas. material deslizado del parte superior producido por el intemperismo y meteorización.

#### 3.4.5.2. Depósitos fluviales (Qh- fl)

Los materiales de actividad fluvial están conformados por materiales con bastante transporte mecánico efecto de la corriente del agua del Río y están conformados por gravas, arenas, limos y arcillas que finalmente son depositadas en forma sub-horizontal, sus clastos son redondeados a su-redondeados de naturaleza volcánica.



Foto 8. Depósitos conformados por clastos de rocas volcánicas y sedimentarias con clastos redondeados y sub-redondeados en el Río Porcón.

### 3.5. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología del área de investigación se caracteriza por la presencia de colinas, valles, escarpes y cárcavas predominado los escarpes y en menor cantidad las colinas, valles y cárcavas. Las formas geográficas pertenecen a la Cordillera Occidental cuya topografía esta disectada por quebradas y Ríos.

#### 3.5.1. Lomada

Ubicada principalmente en las partes bajas de los cerros, están controlados por depósitos coluvio - aluviales; también se observa en las laderas de la zona de embalse en cuyos lugares están controlados por depósitos aluviales producto de la meteorización de arcillitas y calizas. Tienen pendientes que van desde los ocho ( $8^\circ$ ) hasta los veinte y cinco ( $25$ ) grados.



Foto 9. Colina ubicado al Noreste de Lluscapampa que está conformado por tobas del Volcánico Huambos.

#### 3.5.2. Valles

Estas geoformas se han formado sobre rocas ígneas del Volcánico San Pablo en el sector de El Milagro; fue formada por varias etapas de depositación de sedimentos arrastrados por el Río y las quebradas, tiene pendientes menores a ocho grados ( $8^\circ$ ).



Foto 10. Valle ubicado al Noreste de Huambocancha entre le Río Porcón y el Río Grande, que está conformado por tobas dacíticas del Volcánico San Pablo.

### 3.5.3. Cárcavas

Son producidas por la pérdida, degradación y transporte del material (suelo o roca) que provoca los deslizamientos, desprendimiento de masas, cárcavas, tierras malas y superficies de erosión



Foto 11. Cárcava ubicada al Noreste de Huambocancha al margen derecho el Río Grande, que está conformado por tobas del Volcánico San Pablo.

### 3.5.4. Escarpes

Pendientes mayores a cincuenta grados ( $50^\circ$ ), se puede observar pequeñas zonas de esta unidad geomorfológica. Se encuentran expuestas en rocas volcánicas del Volcánico San Pablo y rocas sedimentarias de la Formación Farrat y Carhuaz.



Foto 12. Escarpe ubicado en el Volcánico San Pablo al Este de Puruay Chico conformado por areniscas y tobas de la Fm. Farrat y Ti-Vsp respectivamente.

### 3.6. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En el área de investigación se puede identificar la existencia de dos procesos tectónicos importantes, la Fase Tectónica Incaica y la Fase Tectónica Quechua. La Incaica fue la más intensa y que generó un replegamiento y fallamiento de las secuencias sedimentarias. La Tectónica Post- Incaica fue intensa generando una serie de fracturamientos y plegamientos en las rocas sedimentarias sin embargo en las rocas volcánicas su intensidad es muy baja.

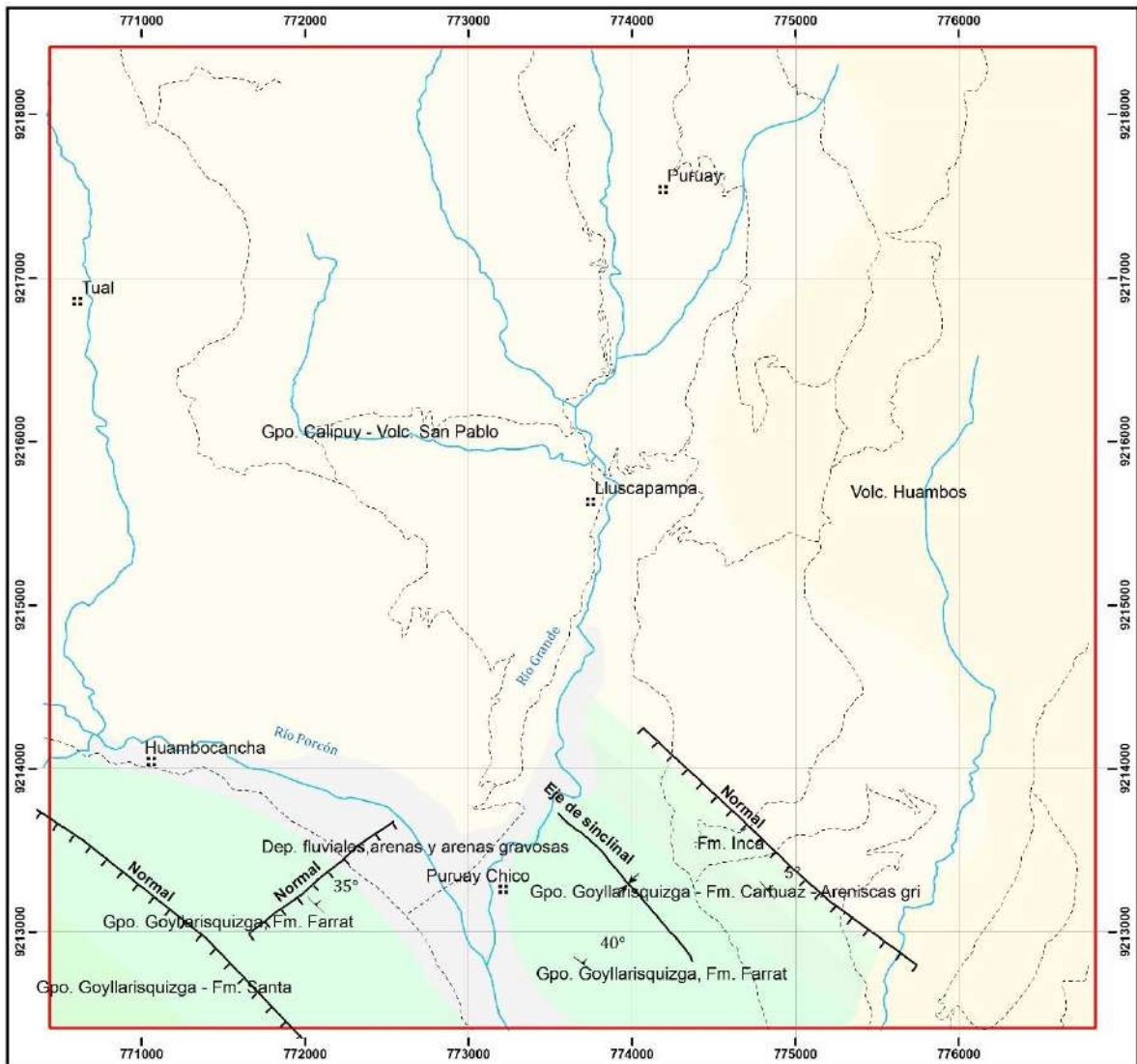


Figura 13. Mapa Estructural de Huambocancha Baja y alrededores donde no hay fallas geológicas en las secuencias volcánicas, sin embargo, en el lugar de Puruay existe una serie de fallas normales y un sinclinal.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Descripción de los Movimientos de Masa (MM)

El desplazamiento de masas pendiente son de tipo volcánico que son muy sensibles ante los procesos erosivos por ende hace que cualquier pequeño movimiento tectónico o por saturación de agua hace que estos materiales se puedan plegar y fracturar rápidamente, este desplazamiento ocurre sobre una superficie de falla donde se han determinado 11(MM), siendo los más importantes, de acuerdo a su magnitud, aquellos que están ubicados dentro de las rocas volcánicas post- Tectónica Incaica.

Tabla 14. Porcentaje de afloramientos rocosos donde se observa que un mayor porcentaje lo tienen los afloramientos de rocas volcánicas en un 85%, seguido de un 10% de rocas sedimentarias y un mínimo porcentaje de 5% para los depósitos cuaternarios.

<b>Afloramiento de rocas</b>	<b>Porcentaje %</b>
Rocas sedimentarias	10
Rocas volcánicas	85
Depósitos cuaternarios	5



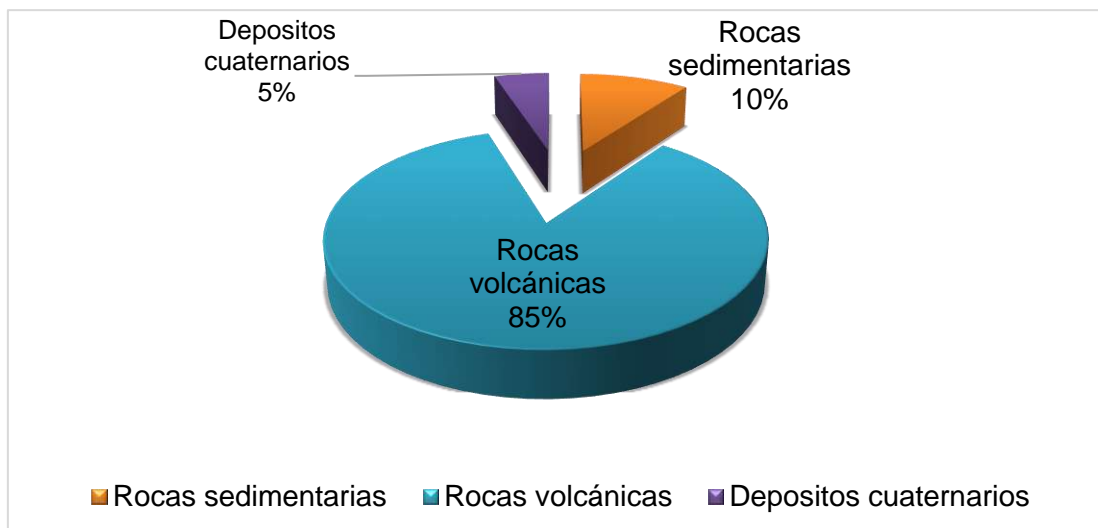


Figura 14. El porcentaje de afloramientos rocosos se observa un gran porcentaje de rocas volcánicas (85%) frente a las rocas sedimentarias (10%) y depósitos cuaternarios (5%).

#### 4.2. Edad, Dureza, Cohesión y Tectonismo en los afloramientos volcánicos

Es muy importante conocer las diferencias de caracteres geológicos entre las rocas volcánicas y sedimentarias que afloran en el área de investigación para así poder analizar las causas de los movimientos de masa (MM) y por consiguiente dar las recomendaciones adecuadas. Es decir, conocer las causas verdaderas para dar la solución adecuada.

Los aflorando rocas sedimentarias areniscosas de las Formación Santa, Carhuáz y Farrat y como ya se ha indicado anteriormente, han sido afectadas por la Tectónica Incaica que es la más intensa que afectó al Centro Poblado de Huambocancha Baja. Por consiguiente, forman parte del flanco este del mega sinclinal Huambocancha. Los buzamientos de estas rocas oscilan entre los 30° y 40° al Sur-Oeste. Además, muestran algunas fallas menores y fracturas probablemente como consecuencia de la intrusión de un cuerpo intrusivo diorítico que se encuentra aflorando. Esto ha ocasionado que se generen una serie de MM. de pequeña magnitud. En estas rocas sedimentarias Cretácicas se han identificado tres (03) MM. de regular magnitud. Por lo tanto, dentro del análisis geológico podemos decir que el factor tectónico es condicionante para la generación de los tres (03) MM.

En el sector Norte y Noreste del Centro Poblado de Huambocancha, se presentan extensos afloramientos de rocas volcánicas de edad Cenozoicas post Tectónica

incaica, por lo tanto, no han sido afectadas tectónicamente. En este sector se presentan los ocho (08) MM. de mayor importancia. El análisis geológico indica que el factor tectónico no es condicionante para la generación de los MM.

Tabla 15. Se muestra una tabla comparativa de las edades y las propiedades físicas de consistencia y dureza de los macizos rocosos. Además, se hace una comparación del tectonismo que afectó a ambas rocas.

<b>Tipos de rocas</b>	<b>Edad</b>	<b>Consistencia (cohesión)</b>	<b>Dureza</b>	<b>Tectonismo</b>	<b>% de afloramientos</b>
Volcánicas	Cenozoicas	Baja	Baja	Post Tectónica Incaica (rocas sin plegamiento y sin fallamiento)	85
Sedimentarias	Cretácicas	Alta	Alta	Pre Tectónica Incaica (rocas plegadas y falladas).	10
Depósitos cuaternarios	Recientes	Muy baja	Muy baja	Depósitos recientes (depósitos sueltos)	05



Foto 13. En el lado derecho se observan a las rocas de Edad Cretácica plegadas y estructuralmente con fallas geológicas producto de la Tectónica Incaica siendo la más intensa que se produjo. Al margen izquierdo se observan los afloramientos de las rocas volcánicas dispuestas en forma horizontal debido a que se depositaron posteriormente a la Tectónica Incaica. En la parte central se observa el contacto discordante de estos dos tipos de rocas.

Tabla 16. Determinación de los tipos movimientos de masa (MM), con sus áreas respectivas y su ubicación en coordenadas.

NÚMERO	Movimiento de Masa (MM)	CÓDIGO	ÁREA(Km <sup>2</sup> )	COORDENADAS UTM	
				NORTE	ESTE
1	Deslizamiento	HUA- 01	0,81	9217500	773000
2	Deslizamiento	HUA- 02	0,63	9213200	771100
3	Deslizamiento	HUA- 03	0,43	9216200	773300
4	Deslizamiento	HUA- 04	0,15	9216600	773300
5	Caída de rocas	HUA- 05	0,42	9215800	773300
6	Caída de rocas	HUA- 06	0,17	9215500	773800
7	Caída de rocas	HUA- 06	0,12	9216000	774100
8	Flujo de detritos	HUA- 07	0,22	9213200	771500
9	Flujo de detritos	HUA- O9	0,19	9215000	774000
10	Flujo de detritos	HUA- 10	0,06	9216100	773100
11	Movimientos complejos	HUA- 11	0,03	9215000	775300
<b>TOTAL 11</b>		<b>TOTAL</b>	<b>3,23</b>		

Tabla 17. Se muestran el área total de cada MM.

MOVIMIENTO DE MASA	CANTIDAD	Km <sup>2</sup>
<b>DESLIZAMIENTO</b>	4	2,02
<b>CAIDA DE ROCAS</b>	3	0,71
<b>FLUJO DE DETRITOS</b>	3	0,47
<b>MOVIMIENTOS COMPLEJOS</b>	1	0,03
<b>TOTAL</b>	11	3,23

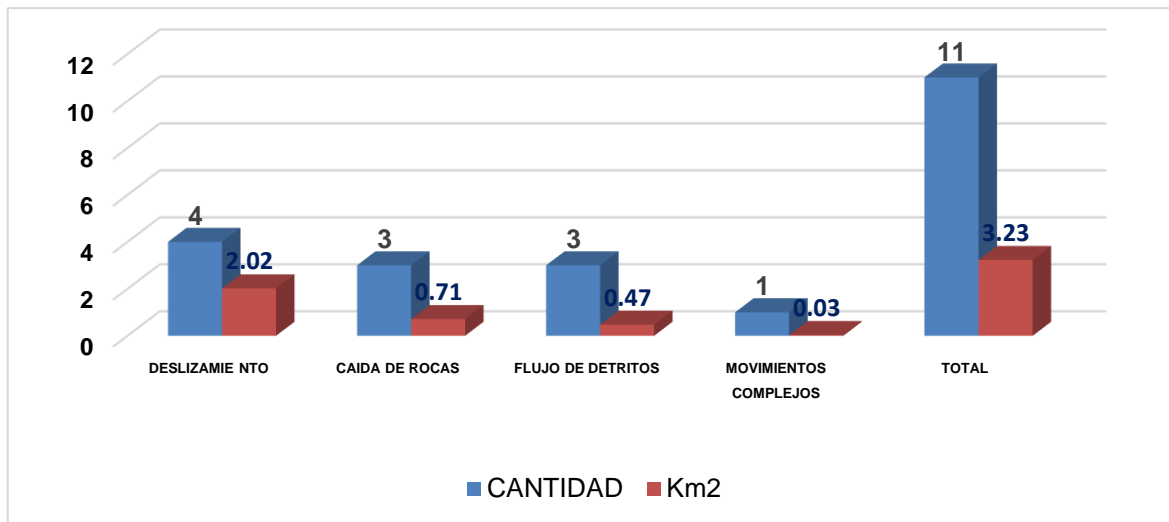


Figura 15. Representación gráfica de los movimientos de masa de acuerdo a sus características geológicas y sus áreas afectadas.

### 4.3. Descripción de los Movimientos de Masa dentro de rocas Cretácicas en el área de Investigación

#### 4.3.1. Movimientos de Masa (MM) en rocas sedimentarias Cretácicas

##### 4.3.1.1. Flujo de detritos (9215000, 774000)

Este movimiento de masa está localizado en la parte Sur- Oeste del área de investigación. Este flujo de detritos se ha producido en rocas areniscosas, limosas y arcillosas de una coloración gris rojiza de la Formación Carhuáz que está infrayaciendo a las rocas volcánicas en discordancia angular. Estas rocas se muestran intensamente fracturadas. Este MM. consta de fragmentos angulosos de 5 a 10 cm. de diámetro. Posee una magnitud aproximada de 10m. El nivel de desprendimientos está alrededor de 5m. Posee una pendiente de 50% aproximadamente. Se observa además una vegetación alóctona de eucaliptos. Estos terrenos generados por la acción de la erosión no son aptos para la agricultura.



Foto 14. Flujo de detritos ocurrido en afloramientos de la Formación Carhuáz, en estas rocas Cretácicas (pre- Tectónica Incaica) el factor tectónico es un factor condicionante importante para los MM. El macizo rocoso de areniscas del flanco derecho de la Formación Farrat tiene estratos con un buzamiento de 50°.

#### **4.3.1.2. Flujo de detritos II (9213200,771500)**

Este movimiento de masa (MM) se ubica dentro del contacto de las rocas de la Formación Carhuáz y Farrat. Se sitúa al Sur-Oeste de la carretera que conduce al Centro Poblado de Porcón. Consta de material fragmentado anguloso, de coloración gris rojizo. Los afloramientos están buzando 30° al NE y forma parte del sinclinal de Urubamba; en este flanco derecho se observan una serie de fallas y fracturas lo que ha generado que las propiedades de estas rocas, hayan disminuido. El nivel de desprendimiento del material es de 5m. aproximadamente. El factor Tectónico es un condicionante en la generación del MM.



Foto 15. Deslizamientos producidos dentro de las rocas de la Formación Farrat. Las areniscas cuarzosas poseen color gris rojizas producto de la oxidación. Nótese que la erosión vertical es de menor grosor que la erosión producida en las rocas volcánicas. La línea entrecortada indica una falla que ha generado fracturas secundarias y ocasionado trituramiento de las rocas areniscosas.

#### **4.3.1.3 Deslizamiento (9213200, 771100)**

Este MM. se ubica dentro de los afloramientos de la Formación Farrat, el material deslizado es arenoso de coloración gris blanquecina, la arenisca está altamente fallado y fracturado, la pendiente del afloramiento esta del orden de 40°, en la parte inferior se ubica viviendas que podrían ser afectadas por la reactivación de este deslizamiento, también se debe mencionar que estas rocas Cretácicas son de composición cuarzosa por lo que son de alta consistencia, cohesión y dureza por lo tanto son altamente resistentes a la erosión a diferencia de las rocas volcánicas.



Foto 16. Deslizamiento producido al Oeste de Huambocancha Baja al margen izquierdo de la carretera que conduce Cajamarca - Porcón. El material deslizado es de coloración gris blanquecino. Las líneas entrecortadas indican la ubicación de una falla lo que ha ocasionado la formación de fracturas secundarias por consiguiente el fracturamiento de las rocas areniscosas.

#### **4.3.2. Movimientos de Masa (MM) en rocas volcánicas cenozoicas**

##### **4.3.2.1. Deslizamiento Huambocancha Baja (9217500, 773000)**

En la parte Nor-Oeste del CC.PP de Huambocancha Baja se ha producido un deslizamiento importante dentro de las rocas volcánicas tobáceas de naturaleza traquíticas y riolítica de edad cenozoica, la dureza y consistencia de estas rocas es baja debido a su génesis, además muestra una alta porosidad y permeabilidad. La pendiente de estos afloramientos es alta mayor de  $45^\circ$ . Este deslizamiento consta de tres niveles de escarpas. El nivel de arranque del deslizamiento es de 10m. (falla de deslizamiento circular). La altura del talud es de 30m. y de largo 100m. se ha movilizado alrededor de  $50,000\text{m}^3$ . de material.

El material deslizado consta de fragmentos de rocas volcánicas muy alteradas, se puede apreciar arcillas, limos y arenas volcánicas. Este deslizamiento ha afectado el canal de regadío y el sistema de alcantarillado de este sector. Este deslizamiento se ha producido en épocas de intensas lluvias debido a la sobresaturación de agua en las arcillas y limos volcánicos, favorecido además por la pendiente. El fracturamiento de estas rocas ha sido como consecuencia de las plantaciones excesivas de árboles de raíces largas de eucaliptos.





Foto 17. Deslizamiento Huambocancha, se ha producido por la meteorización de las rocas volcánicas tobáceas de naturaleza riolítica y traquíticas. Nótese además la cobertura vegetal alóctona constituida por plantaciones de eucaliptos lo que ha condicionado, con el crecimiento de sus raíces, el fracturamiento de las rocas volcánicas por ende la disminución de su resistencia a la erosión.



Foto 18. En la parte alta del terreno afectado existe un reservorio que se utilizaba para almacenar agua en época de lluvia. El peso del agua acumulado en este reservorio, más la infiltración producida por la rotura de la geomembrana han sido factores detonante en la generación del deslizamiento Huambocancha.



Foto 19. Deslizamiento provocado por la inestabilidad del talud debido a la falta de cobertura vegetal, alta saturación de agua, ausencia de drenajes definidos, su abrupta pendiente y su baja cohesión de los materiales porosos de las rocas volcánicas.



Foto 20. Es un tipo de deslizamiento rotacional, esta masa de tipo volcánica se encuentra depositada sobre roca mucho más resistente; además el movimiento de masa podría afectar a las viviendas ubicadas en la parte inferior.



Foto 21. Se puede apreciar el reservorio construido con la finalidad de almacenar agua para su agricultura y ganadería.



Foto 22. La gran cantidad de energía del deslizamiento ha destruido parte de los muros de sostenimiento de concreto

#### **4.3.2.2. Caída de rocas Huambocancha Baja (9215000, 772300)**

Este movimiento de masa (MM) se ha producido en rocas volcánicas tobáceas. Consta de fragmentos de rocas traquíticas y riolíticas, de baja consistencia y dureza. Se puede notar además el alta pendiente que forman estos afloramientos. Estas altas pendientes se han producido por la intensa erosión de las aguas de lluvias. Se puede observar la intensa cobertura vegetal alóctona de plantaciones de eucaliptos cuyas raíces han penetrado en las rocas volcánicas, fracturándolas.

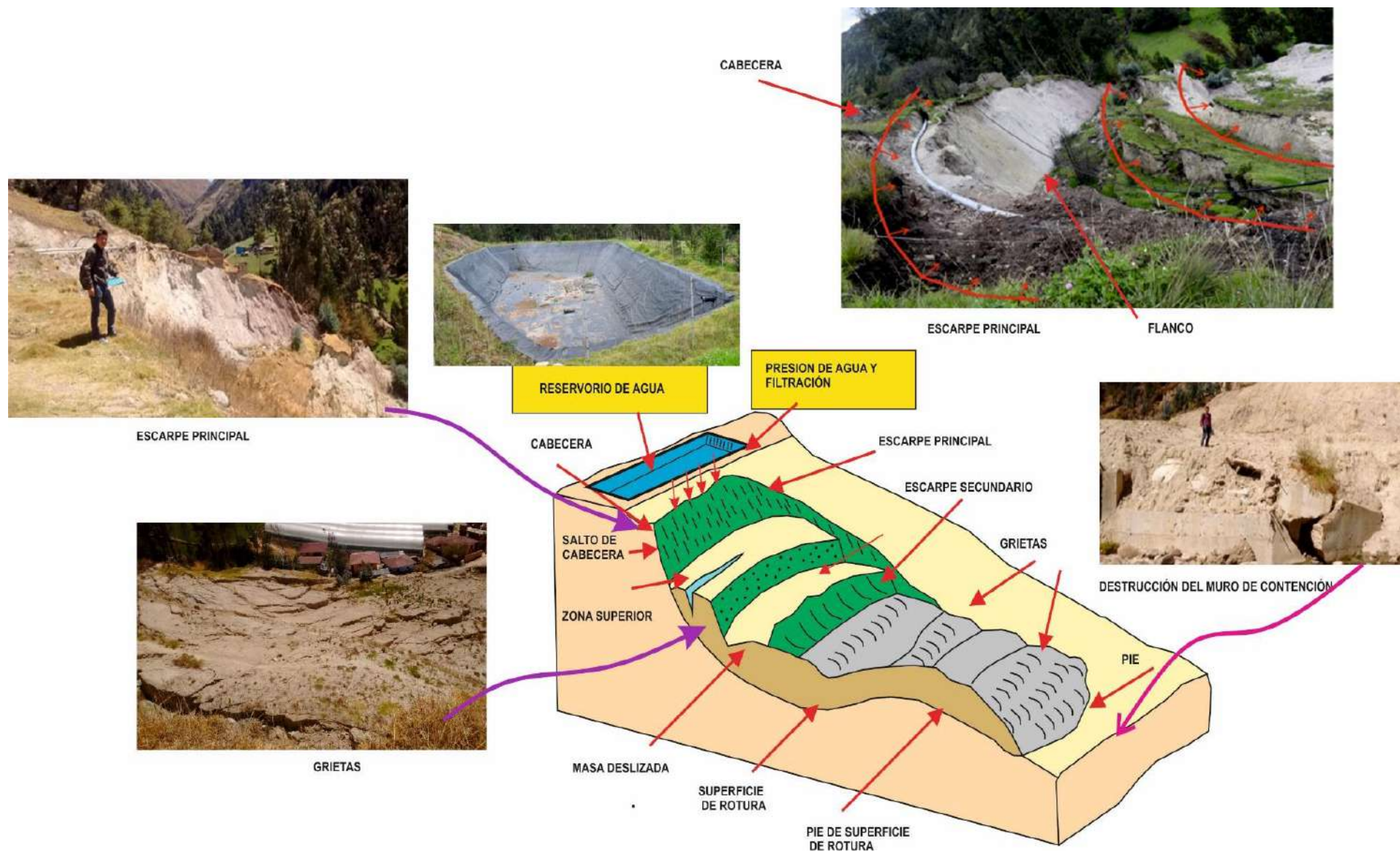


Figura 16. Block diagrama donde se representa el deslizamiento producido en el CC.PP de Huambocancha Baja.

#### 4.3.2.3 Caída de rocas Huambocancha Baja- Lluscapampa (9215000, 772300)

Este movimiento de masa (MM) está constituido por bloques de rocas volcánicas de 40 a 60 cm de diámetro. La pendiente del afloramiento es bastante pronunciada (cerca de 80°). Este MM. se presenta al pie de la carretera que conduce a Lluscapampa. Cabe indicar que es muy frecuente la caída de rocas por estos lugares. En algunos lugares se han construido muros de contención con la finalidad de evitar la caída de rocas foto (25).



Foto 23. Las raíces de las plantas alóctonas, tales como eucaliptos, han penetrado las rocas volcánicas produciendo el fracturamiento de las mismas. El agua penetra en estas fracturas profundizando más aun la erosión vertical.



Foto 24. Construcción de un muro de contención al pie de la carretera a Lluscapampa con la finalidad de evitar la caída de rocas. Existen varias construcciones de este tipo a lo largo del tramo de esta carretera.

#### 4.3.2.4. Flujo de detritos LLUS (9214500, 771600)

Estos MM son producidos por la inestabilidad del suelo, la baja cohesión de los materiales y la gran cantidad de agua infiltrada sobre este material volcánico por ende hace se deslice una gran cantidad de tierra sobre una superficie de falla no suelen ser profundos, pero abarcan grandes extensiones, su vegetación no es de raíz profunda para que pueda controlar este movimiento



Foto 25. La alta saturación de agua producidas principalmente por las precipitaciones en este flujo detrítico en rocas volcánicas inestables y se desliza con respecto a su superficie estable.



Foto 26. Afloramiento de rocas volcánicas el cual está siendo disectada por una serie de quebradas como consecuencia de la acción de las aguas de lluvias. Esto genera que en ambas márgenes de las quebradas se produzcan los MM. Se puede observar también los afloramientos de las areniscas de la Formación Farrat que infrayace concordantemente al Volcánico Huambos

#### 4.3.2.5. Deslizamiento ALI (9214500, 771600)

Estos deslizamientos se desplazan a lo largo de sus planos de falla, haciéndose como una unidad en su movimiento rápido que puede causar grandes daños materiales y humanos, estos son de grandes proporciones debido al material volcánico poco consolidado pendiente escarpada, saturación de agua y escasa vegetación de raíz profunda



Foto 27. Deslizamiento producido en las rocas volcánicas. Se puede apreciar la presencia de vegetación autóctona superficial y pastos naturales, los cuales poseen raíces cortas que no profundizan y no afectan en mayor medida a las rocas volcánicas, además se puede apreciar la erosión vertical no muy profunda.

#### 4.4. Aplicación del Método Empírico o Heurístico

El método Empírico o Heurístico se basa en la realización de una ponderación siguiendo los procedimientos estadísticos. En esta parte de la tesis se va a realizar la descripción de los MM. siguiendo este método:

##### 4.4.1. Análisis de las Unidades Litológicas (UL)

Las rocas Cretácicas que afloran en el área de investigación (10%) están constituido por areniscas de coloración gris rojiza a gris anaranjada con intercalaciones de areniscas gris amarillentas con bastante contenido de cuarzo (óxido de sílice). Las rocas muestran una alta dureza y consistencia por tanto una alta resistencia a la erosión.

Dentro de sus afloramientos, de estas rocas, se encuentran una serie de MM. de pequeña magnitud, básicamente ocasionado por fallamientos y fracturamiento

debido a la fase Tectónica Incaica. Estos MM. están clasificados como flujo de detritos y caídas de rocas. Además, se puede observar que la erosión vertical es de poca magnitud (3 a 4 metros).

Tabla 18. Se aprecia que la litología en donde se producen los MM. está constituida por rocas volcánicas tobáceas y retrabajadas.

UNIDADES LITOLÓGICAS	Nº OCURRENCIA	PONDERACIÓN
Volcánicos retrabajados	5	5
Tobas volcánicas	3	3
Depósitos coluviales cuaternarios	3	3

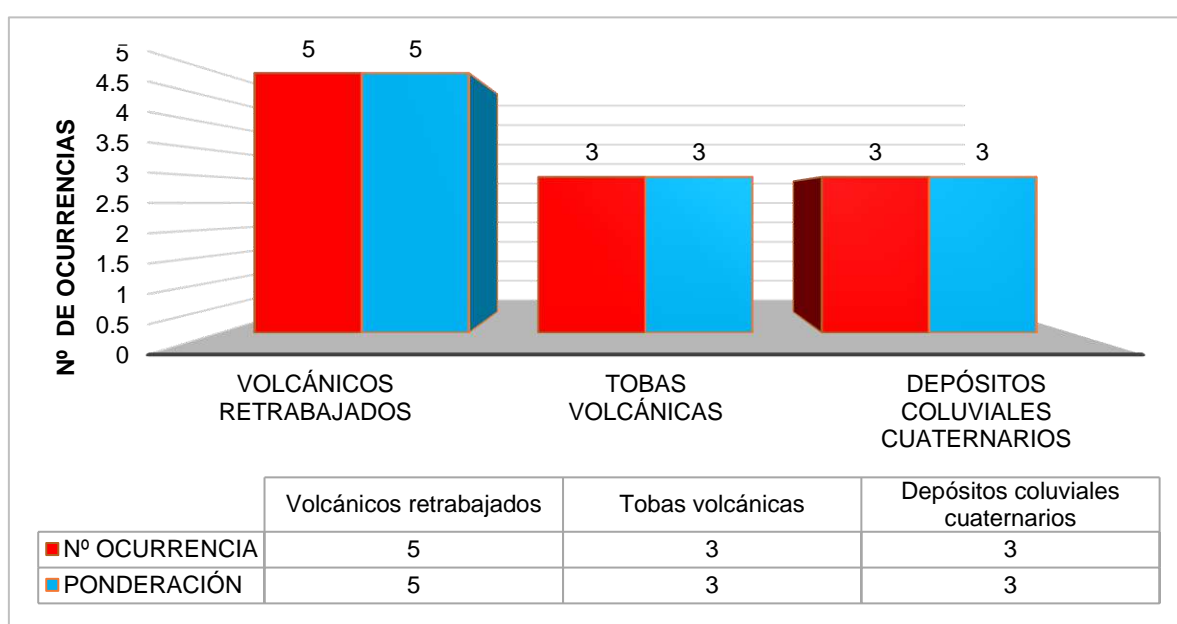


Figura 17. Ponderación de las unidades litológicas, donde se puede apreciar que la mayor cantidad de MM. se dan en rocas volcánicas tobáceas y tobas retrabajadas y se puede apreciar además la ponderación representadas con las barras de color celeste.

#### 4.4.2. Análisis de las Unidades Geomorfológicas (UG)

Un mayor número de ocurrencias (7) de MM. se han producido en la unidad geomorfológica de lomada, tres (3) en colinas y uno (1) en valles. Esta unidad se caracteriza por poseer altitudes mayores con respecto a las colinas, generándose los MM. Estas geoformas están dispuestas a manera cerros empinados y de gran altura, poseen con una orientación del Nor- Oeste, Sur- Este, siguiendo la misma orientación del Río Grande. Las intensas precipitaciones pluviales que se producen en este sector, generan que las aguas discurran intensamente por estas rocas,



generando una serie de quebradas que disectan a los afloramientos volcánicos. Por otro lado, las areniscas del Cretácico de la Formación Carhuaz y Farrat conforman lomadas y que se encuentran infrayaciendo a las rocas volcánicas como se muestra en anexo plano geológico N°5.

Tabla 19. Se aprecia que los MM. se están produciendo en mayor cantidad en las lomadas y las colinas con 7 y 3 ocurrencias respectivamente.

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	Nº OCURRENCIA	PONDERACIÓN
Lomadas	7	5
Colinas	3	4
Valles	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>	

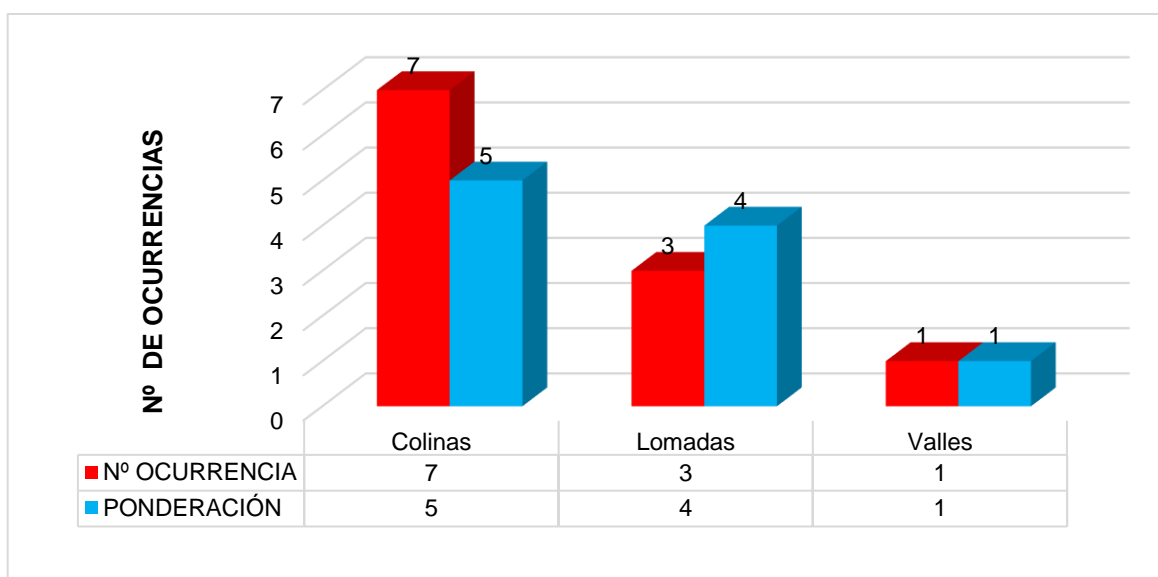


Figura 18. Ponderación de las unidades geomorfológicas, donde se puede apreciar que la mayor cantidad de MM. se dan en las lomadas y colinas. Se aprecia además la ponderación representada con las barras de color celeste.

#### 4.4.3. Análisis de las Unidades Hidrogeológicas (UH).

Las mayores cantidades de MM. se han producido en el acuífero volcánico fracturado con un número de 7. Este fracturamiento es como consecuencia del sembrío excesivo de plantas de raíces largas (eucaliptos). Las rocas volcánicas presentes en el área de investigación muestran una alta porosidad lo que hace que se comporte a veces como un acuífero.

Tabla 20. Se aprecia que la mayor cantidad de MM. se producen en rocas volcánicas fisuradas.

UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	Nº OCURRENCIA	PONDERACIÓN
Acuífero poroso inconsolidado	2	2
Acuífero volcánico intacto	2	2
Acuífero volcánico fracturado o fisuradas	7	5
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>	

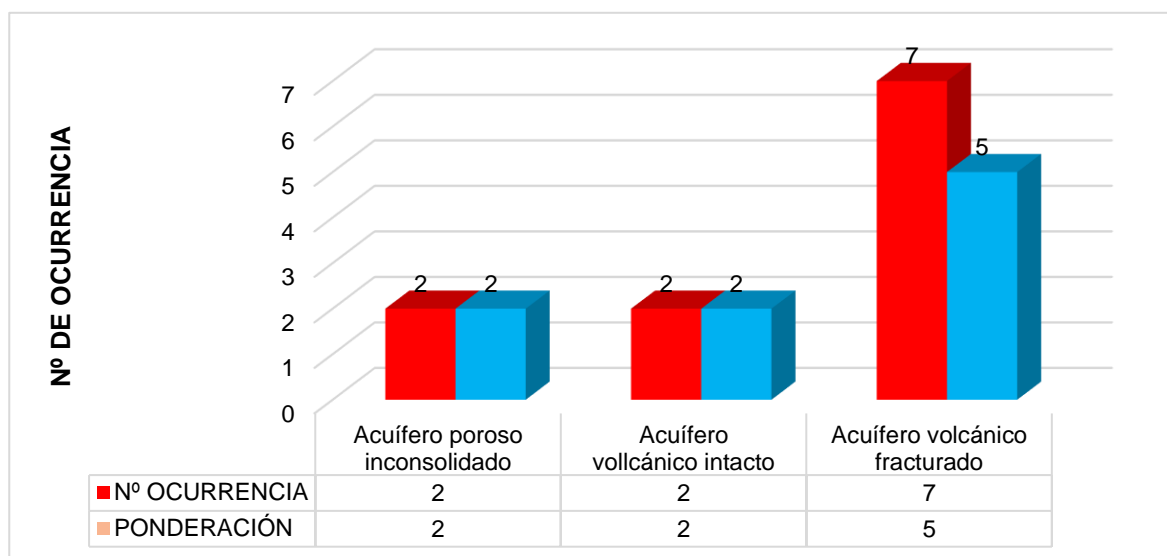


Figura 19. Ponderación de las unidades hidrogeológicas, donde se puede apreciar que la mayor cantidad de MM. se dan rocas volcánicas fisuradas.

#### 4.4.4. Análisis de las Unidades de Cobertura Vegetal (UCV)

Al descartarse el factor tectónico como condicionante de los movimientos de más (MM) dentro de las rocas volcánicas, el factor de cobertura vegetal es uno de los principales factores que condicionan la generación de los MM. en el área de investigación. La vegetación alóctona constituida por las extensas plantaciones de eucaliptos y otros arbustos, ha generado que sus raíces penetren en dichas rocas volcánicas produciendo el rompimiento y fracturamiento de estas. Además, las intensas precipitaciones han contribuido a que este líquido elemento penetre aún más dentro de las rocas generando una disminución de sus propiedades físicas. Algunos lugares muestran escasa cobertura vegetal lo que condiciona de igual manera la acción de la erosión.

Tabla 21. Se aprecia que la litología en donde se producen los MM. se genera en zonas con pobre cobertura vegetal, pastos naturales y cultivos de plantaciones alóctonas.

UNIDAD DE COBERTURA VEGETAL	Nº OCURRENCIA	PONDERACIÓN
Cultivo y bosques alóctonos	3	3
Pastos naturales	3	3
Pobre cobertura vegetal	4	5
Zona urbana	1	1

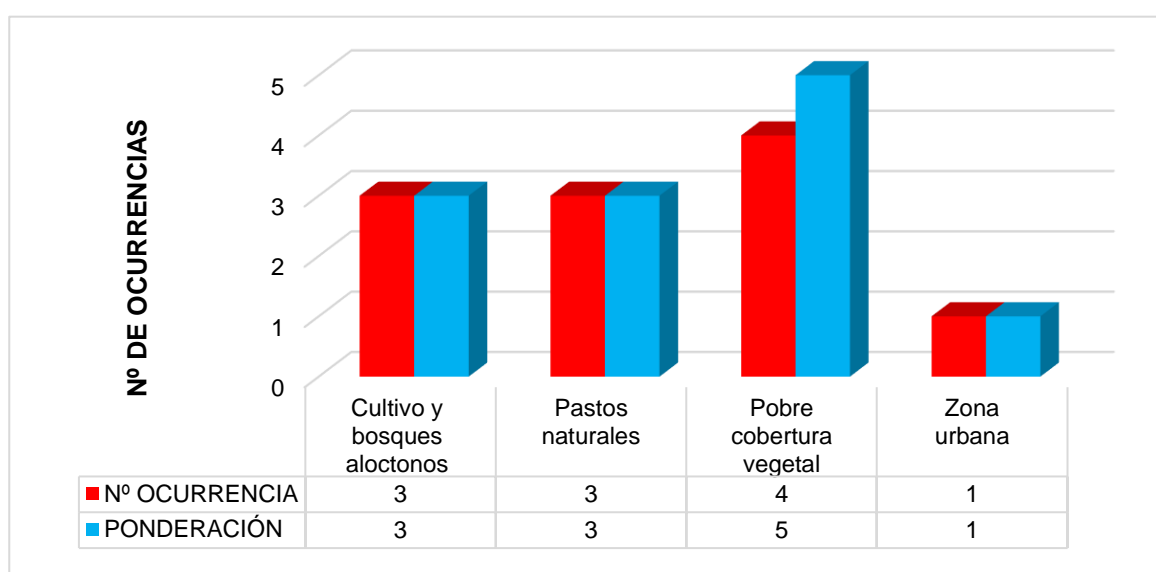


Figura 20. Ponderación de las unidades de cobertura vegetal. Las ponderaciones están representadas por las barras de color celeste.

#### 4.4.5. Análisis del Factor Tectónico

Desde el punto de vista tectónico, hay evidencias de dos eventos tectónicos: la fase Tectónica Incaica (40 MA. aprox.) de gran intensidad y la Tectónica Quechua (4 MA aprox.) de menor intensidad. La Tectónica Incaica ha afectado a rocas de Edad Cretácica, mientras que la Tectónica Quechua a las secuencias volcánicas. Esto nos indica, que el gran porcentaje de afloramientos de rocas volcánicas (cerca de un 80%) en el área de investigación han sido afectadas por un tectonismo leve (Tectónica Quechua), por esta razón los afloramientos se encuentran dispuestos horizontalmente, de tal manera que el factor Tectónico no es un condicionante de los movimientos de masa (MM) en el área de investigación. Por el contrario, los afloramientos de Edad Cretácica (10% del total del área de investigación) se muestran intensamente plegadas y falladas, siendo el factor tectónico un factor

condicionante muy importante para la generación de los MM. No se descarta la posibilidad de que algunas fallas preexistentes (Cretácicas) pudieron haberse reactivado posteriormente generando una serie de fracturas de pequeña a regular magnitud.

Tabla 22. Se aprecia que la mayor cantidad de MM. se producen en zonas de Tectonismo leve a muy leve.

UNIDADES TECTÓNICAS	Nº OCURRENCIA	PONDERACIÓN
Tectonismo leve	5	5
Tectonismo medio	5	5
Tectonismo intenso	1	2
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>	

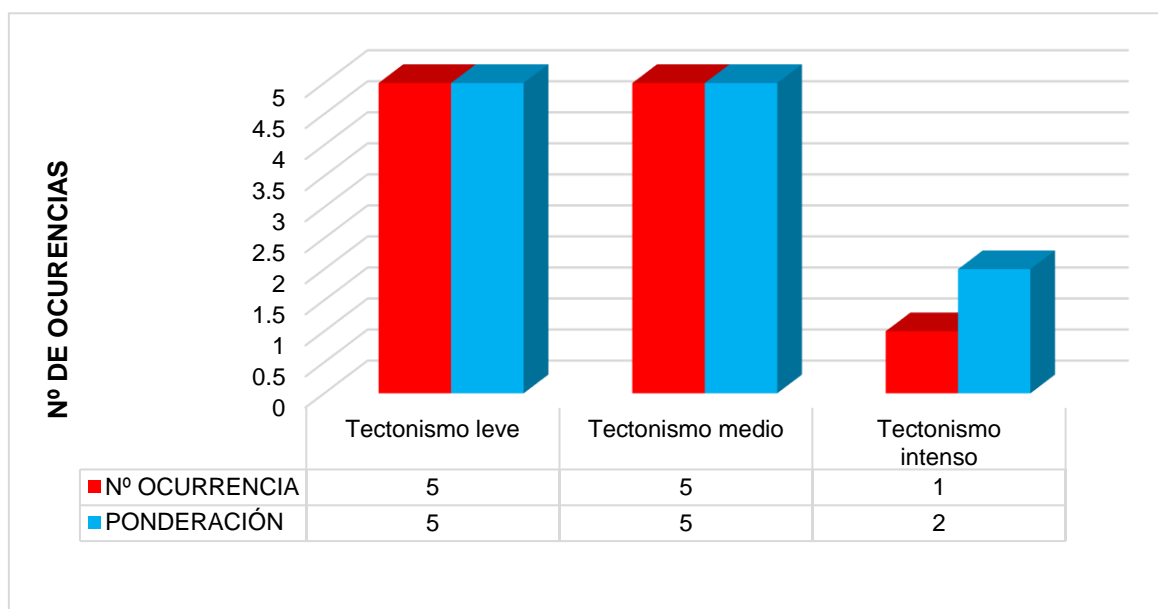


Figura 21. Ponderación de las unidades tectónicas. La barra de color celeste representa a la ponderación del método empírico.

#### 4.4.6. Análisis del Factor de Pendientes (FP)

Las rocas volcánicas están dispuestas horizontalmente, su baja dureza y su baja cohesión (característica singenética) ha generado que estas sean intensamente erosionadas generando una serie de quebradas. Estas quebradas poseen altas pendientes del orden de 50°. Si se relaciona el mapa factor pendiente y MM. se obtiene una relación directamente proporcional donde a mayor pendiente mayor probabilidad de ocurrencia de MM. Los afloramientos de las rocas sedimentarias

poseen pendientes de medianas a bajas del orden de los 30° aproximadamente, que no se considera como condicionante a los MM.

Tabla 23. Se aprecia que la mayor cantidad de MM. se producen en áreas con pendientes altas a muy altas.

UNIDADES DE PENDIENTE	Nº OCURRENCIA	PONDERACIÓN
<6° (baja)	1	1
6- 15° (media)	1	1
31- 45° (alta)	4	4
> 45° (muy alta)	5	5
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>	

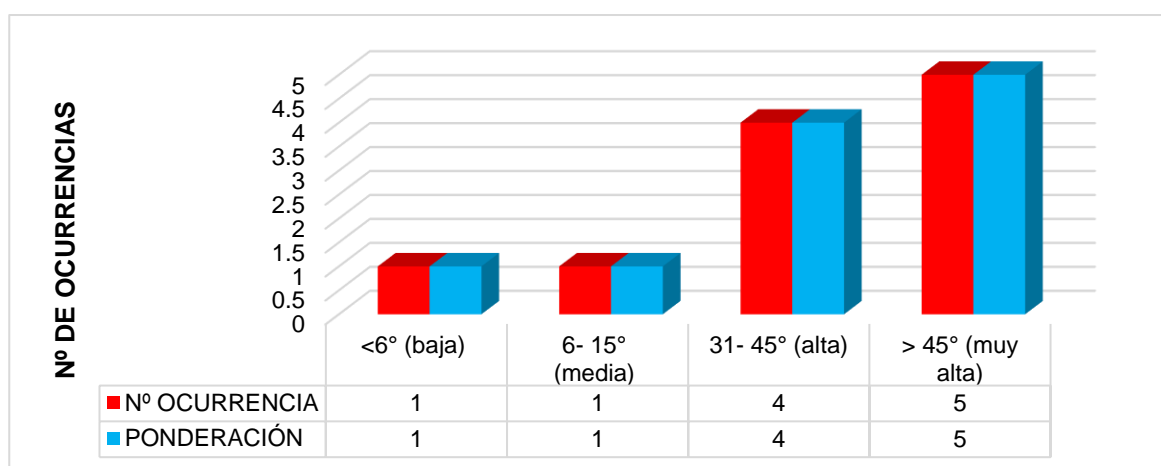


Figura 22. La mayor cantidad de MM. se producen en zonas con pendientes altas. Las barras de color celeste representan las ponderaciones efectuadas por este método.

#### 4.4.7. Análisis del Factor Dureza, Cohesión y Consistencia Singenética (FDCC)

Las rocas Cretácicas que afloran en el área de investigación están conformadas por un alto contenido de cuarzo que pueden llegar a un 80%. Esta característica hace que estas rocas tengan una alta dureza, cohesión y alta consistencia. En cambio, las rocas que afloran son tobas volcánicas. Su diagénesis se debe a la actividad explosiva consistiendo de cenizas, lapillis y piroclastos que abarca una amplia extensión de material inestable por su alta porosidad y permeabilidad primaria por condiciones de temperatura, gradiente hidráulico, forma del grano y su permeabilidad secundaria dada por la disolución, compactación, fracturas y diaclasas siendo determinante para la percolación de las aguas meteóricas hasta

saturar los espacios vacíos de las rocas por ende poseen baja dureza baja consistencia y baja cohesión singenética.

#### **4.5. Aplicación del Método Probabilístico**

Este método estadístico implica dar un peso a cada MM. mediante la elaboración de una unidad cartográfica ponderada (UCP). Este UCP es el total de área de influencia del MM. y se da en  $\text{km}^2$ . El peso de cada MM. se da dividiendo cada MM. por el total de UCP y multiplicado por 100. Posteriormente se haya el logaritmo natural para poder homogenizar los resultados; este método matemático tiene una mejor confiabilidad y precisión debido a sus cálculos logarítmicos con los datos de entrada por ende es más confiable que un método empírico que se basa en pruebas mediante datos empíricos en base a pruebas de observación lógica no experimental. A continuación, se realizan los tratamientos de cada factor condicionante de los MM. cómo se muestran en las (tablas 23, 24, 25, 26, 27 y 28).

Tabla 24. Se muestra las unidades de la cobertura vegetal, en donde se puede apreciar que los mayores MM. se producen en cultivos y bosques alóctonos con un valor de 5 seguido de pastos naturales con un valor de 4. Existen pocas edificaciones en el lugar que no es una condición para los MM.

A	B	C	D	Movimiento de Masa				Peso de Movimiento de Masa				Categorización y Normalización de datos			
				Des	Cro	Fld	Mco	1	2	3	4				
				E	F	G	H	E/D *100	F/D* 100	G/D *100	H/D *100	$W=\sum(10+11+\dots+12)$	$\ln(W*100000)$	Valor	Categoría
CÓDIGO	UNIDAD	N°. Ocurrencias	UCP (Km2)	Tipo 1 (Km <sup>2</sup> )	Tipo 2 (Km <sup>2</sup> )	Tipo 3 (Km <sup>2</sup> )	Tipo 4 (Km <sup>2</sup> )								
CBA	Pobre cobertura vegetal	3	1,13	0,89	0,09	0,14	0,01	22,25	2,25	3,5	0,25	4	12,90	1	Baja
PN	Pastos naturales	3	1,05	0,51	0,10	0,11	0,33	12,75	2,5	2,75	8,25	26,25	14,78	4	Alta
PCV	Cultivos y bosques alóctono	4	0,65	0,18	0,22	0,25	0,49	4,5	5,5	6,25	12,25	28,5	14,86	5	Muy alta
ZU	Zona Urbana	1	0,40	0,11	0,07	0,11	0,11	2,75	1,75	2,75	2,75	10	13,82	3	Regular
TOTAL		11	3,23												

Tabla 25. Se muestran las unidades geomorfológicas, en donde se puede apreciar que los mayores MM. se producen en las colinas (03) y en las lomadas (07), los valles por tener poca pendiente, se ubica un solo MM.

A CÓDIGO	B UNIDAD	C N°. Ourrencias	D UCP (Km2)	Movimiento de Masa				Peso de Movimiento de Masa				Categorización y Normalización de datos			
				Des	Cro	Fld	Mco	1	2	3	4				
				E	F	G	H	Tipo 1 (Km²)	Tipo 2 (Km²)	Tipo 3 (Km²)	Tipo 4 (Km²)	E/D *100	F/D *100	G/D *100	H/D *100
V	Valles	1	0,11	0,06	0,03	0,01	0,01	1,5	0,75	0,25	0,25	2,75	12,52	1	Baja
CO	Colinas	3	1,11	0,66	0,25	0,05	0,15	16,5	6,25	1,25	3,75	27,75	14,84	4	Alta
MO	Lomada	7	2,01	0,98	0,87	0,01	0,15	24,5	21,75	0,25	3,75	50,25	15,43	5	Muy alta
TOTAL		11	3,23												



Tabla 26. Se muestra las unidades hidrogeológicas, en donde se puede apreciar que los mayores MM. se producen en unidades volcánicas intactas (7), seguido de acuífero sedimentario fracturado (3). Se denomina acuífero volcánico intacto aquel que no ha sufrido fracturamiento.

A CÓDIGO	B UNIDAD	C Nº. Ocurrencias	D UCP (Km <sup>2</sup> )	Movimiento de Masa				Peso de Movimiento de Masa				Categorización y Normalización de datos			
				Des	Cro	Fld	Mco	Peso de Movimiento de Masa				Categorización y Normalización de datos			
				E	F	G	H	I	J	K	L	Categorización y Normalización de datos			
Tipo 1 (Km <sup>2</sup> )	Tipo 2 (Km <sup>2</sup> )	Tipo 3 (Km <sup>2</sup> )	Tipo 4 (Km <sup>2</sup> )	E/D *100	F/D *100	G/D *100	H/D *100	W=Σ(10+11+...+12)	ln(W*100000)	Valor	Categoría				
API	Acuífero poroso inconsolidado	1	0,21	0,08	0,07	0,04	0,02	2	1,75	1	0,5	5,25	13,17	1	Baja
ASI	Acuífero sedimentario fracturado	3	1,01	0,82	0,16	0,02	0,01	20,5	4	0,5	0,25	25,25	14,74	4	Alta
AVF	Acuífero volcánico intacto	7	2,01	1,11	0,68	0,13	0,09	27,75	17	3,25	2,25	50,25	15,43	5	Muy alta
TOTAL		11	3,23												

Tabla 27. Se muestra las unidades litológicas, en donde se puede apreciar que los mayores MM. se producen en unidades volcánicas retrabajadas (4), seguidas de tobas volcánicas (3), areniscas y limolitas (3). Que indica que el mayor porcentaje de los MM. se dan en rocas volcánicas.

A CÓDIGO	B UNIDAD	C N°. Ocurrencias	D UCP (Km <sup>2</sup> )	Movimiento de Masa				Peso de las unidades a movimientos de masa				Categorización y Normalización de datos			
				Desz	Cro	Fld	Mco	I	J0	K	L				
				E Tipo 1 (Km <sup>2</sup> )	F Tipo 2 (Km <sup>2</sup> )	G Tipo 3 (Km <sup>2</sup> )	H Tipo 4 (Km <sup>2</sup> )	E/D *100	FD *100	G/D *100	H/D *100	W=Σ(10+11+...+12)	ln(W*100000)	Valor	Categoría
DCC	Depósitos cuaternarios Coluviales	1	0,11	0,04	0,03	0,02	0,02	1	0,75	0,5	0,5	2,75	12,52	1	Baja
AL	Areniscas y limolitas	3	0,15	0,04	0,04	0,03	0,04	1	1	0,75	1	3,75	12,83	3	Media
TV	Tobas Volcánicas	3	1,02	0,60	0,30	0,08	0,04	15	7,5	2	1	25,5	14,75	4	Alta
VR	volcánicos retrabajados	4	1,95	1,14	0,62	0,15	0,12	28,5	15,5	3,75	3	50,75	15,44	5	Muy alta
TOTAL		11	3,23												

Tabla 28. Se muestra las unidades de pendientes, en donde se puede apreciar que los mayores MM. se producen en zonas de pendientes medias a altas y muy altas.

A CÓDIGO	B UNIDAD	C N°. Ocurren.	D UCP (Km <sup>2</sup> )	Movimiento de Masa				Peso de Movimiento de Masa				Categorización y Normalización de datos			
				Des	Cro	Fes	Mco	1	2	3	4	W=Σ(10+11+...+12)	ln(W*100000)	Valor	Categoría
				E	F	G	H	E/D *100	F/D *100	G/D *100	H/D *100				
Tipo 1 (Km <sup>2</sup> )	Tipo 2 (Km <sup>2</sup> )	Tipo 3 (Km <sup>2</sup> )	Tipo 4 (Km <sup>2</sup> )												
PB	Baja (6- 15°)	1	0,22	0,09	0,02	0,05	0,06	2,25	0,5	1,25	1,5	5,5	13,22	2	Baja
PM	Media (16-30°)	1	0,88	0,44	0,14	0,19	0,11	11	3,5	4,75	2,75	22	14,60	3	Media
PA	Alta (31- 45°)	4	0,99	0,57	0,12	0,21	0,09	14,25	3	5,25	2,25	24,75	14,72	4	Alta
PMA	Muy alta (> 45°)	5	1,14	0,66	0,11	0,19	0,18	16,5	2,75	4,75	4,5	28,5	14,86	5	Muy alta
TOTAL		11	3,23												

Tabla 29. Se muestra las unidades tectónicas, en donde se puede apreciar que los mayores MM. se producen en zonas de Tectonismo leve a medio y mayormente en rocas volcánicas.

A CÓDIGO	B UNIDAD	C N°. Ocurren.	D UCP (Km <sup>2</sup> )	Movimiento de Masa				Peso de las unidades a Movimientos de Masa				Categorización y Normalización de datos			
				Des	Cro	Fes	Mco	1	2	3	4	W=Σ(10+11+...+12)	ln(W*100000)	Valor	Categoría
				E	F	G	H	E/D *100	F/D *100	G/D *100	H/D *100				
TL	Tectonismo leve	6	1,02	0,51	0,24	0,20	0,07	12,75	6	5	1,75	25,5	14,75	5	Media
TM	Tectonismo medio	2	1,39	0,77	0,24	0,17	0,21	19,25	6	4,25	5,25	34,75	15,06	5	Alta
TI	tectonismo intenso	3	0,82	0,28	0,18	0,19	0,17	7	4,5	4,75	4,25	20,5	14,53	1	Baja
TOTAL		11	3,23												

#### 4.6. Factores Condicionantes de la Inestabilidad (FCI)

Al aplicar la matriz de doble entrada, donde se ordenan los factores geológicos de acuerdo a la importancia observada en campo. Los más importantes según su importancia son: la litología con una valoración de 9, la pendiente con 7, la consistencia y dureza de las rocas con 7, seguido de cobertura vegetal con 5 e hidrogeología con 5. Se observa además que el factor tectónico con 1 y el geomorfológico con 1 no son factores condicionantes a los MM. en el área de investigación. Cabe indicar que, en otros lugares de Cajamarca, tales como, Ronquillo, Urubamba y El Gavilán el factor tectónico si es condicionante de los MM.

Los factores geológicos condicionantes de los movimientos de Masa (MM) ubicados en la primera fila se divide con cada factor ubicado en la primera columna, por eso es que litología (9) /litología (9) el resultante es 1, litología (9)/ pendiente (7) el resultado es 1.29. Para los valores de la segunda fila la pendiente (7)/ litología (9) el valor es 0.77, esto indica que los valores por encima de la diagonal son siempre 1 o mayores que 1, mientras que los valores por debajo de la diagonal son 1 o menores que 1.

Tabla 30. Cálculo de los factores geológicos condicionantes de la inestabilidad (FCI).

Factores condicionantes de Inestabilidad (FCI) n=7	1) Litología (9)	2) Pendiente (7)	3) Consistencia y dureza de las rocas (7)	4) Cobertura vegetal (5)	5) Hidrogeología (5)	6) Geomorfología (1)	7) Tectonismo (1)	$\Sigma (1,2,3,4,5,6,7)$	$a = \Sigma (1,2,3,4,5,6,7) / n$	$(\Sigma (1,2,3,4,5,6,7) n) / \Sigma a$	Porcentaje %
Litología (9)	1,00	1,29	1,29	1,8	1,8	9	9	25,18	3,60	0,27	27,2
Pendiente (7)	0,77	1,00	1,00	1,4	1,4	7	7	19,57	2,80	0,21	21,2
Consistencia y dureza (7)	1,8	1,00	1,00	1,00	1,00	5	5	15,80	2,26	0,17	17,1
Cobertura vegetal (5)	0,55	0,71	0,71	1,00	1,00	5	5	13,97	2,00	0,15	15,1
Hidrogeología (5)	0,11	0,14	0,14	1,00	1,00	5	5	12,39	1,77	0,13	13,4
Geomorfología (1)	0,11	0,14	0,14	0,2	0,2	1,00	1	2,79	0,40	0,03	3,0
Tectonismo (1)	0,11	0,14	0,14	0,2	0,2	1	1,00	2,79	0,40	0,03	3,0
<b>Total</b>	4,45	4,42	4,42	6,6	6,6	33	33	92,49	13,21	1,00	100

#### 4.7. Cálculo de los Factores Condicionantes de la Inestabilidad (FCI).

Para el cálculo de los FCI se ha tenido en consideración siete (7) factores geológicos considerando la importancia de cada uno con respecto al otro. De esta manera se tiene en orden de importancia los siguientes valores:

Para la litología de (9); consistencia singenética siete (7); pendiente; siete (7); para la cobertura vegetal; (5); para la hidrogeología (5). El tectonismo y geomorfología con valores de uno (1) respectivamente. Estos valores son agregados a la tabla siguiendo el procedimiento propuesto por Hayman.

De los cálculos efectuados anteriormente que están representados en la tabla (30) son los factores condicionantes de los MM. de acuerdo a su grado de mayor influencia como se muestra en el siguiente gráfico.

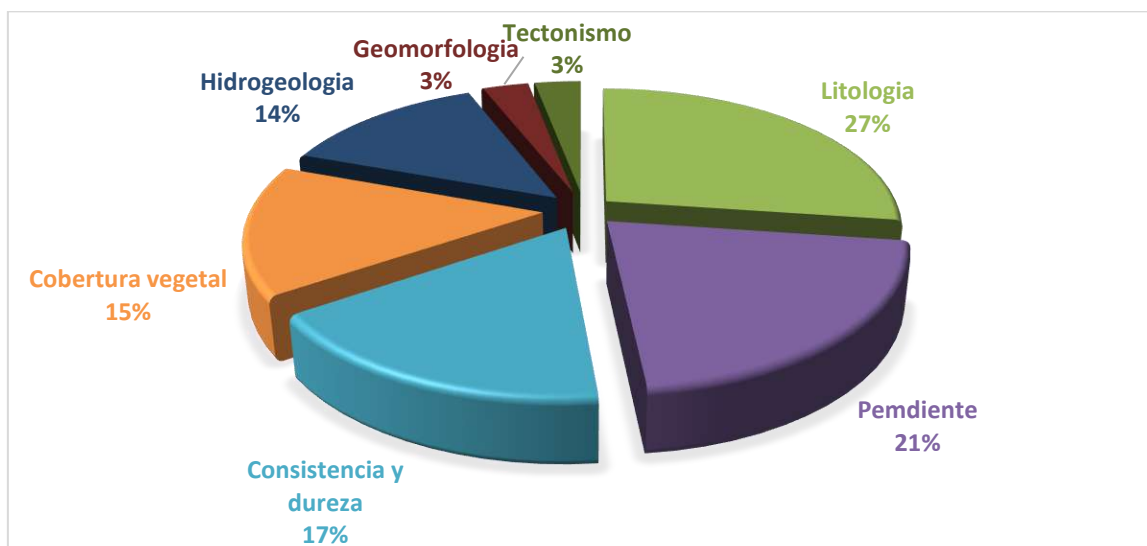


Figura 23. Porcentaje de los factores condicionante de la Inestabilidad (FCI) para el movimiento de masa, cabe indicar que el tectonismo no es un factor condicionante debido a que las rocas volcánicas son depositadas posteriormente a la fase Tectónica Incaica.

#### 4.8. Cálculo del Coeficiente de Consistencia (CC)

Para verificar si los datos calculados poseen una consistencia se aplica el cálculo del Coeficiente de Consistencia (CC):

Aplicando la fórmula:

$$CC = \frac{IC}{IA} \quad IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}$$

IC : Índice de consistencia.

IA : Índice aleatorio.

Egivmax = Eigenvalor máximo o principal = 0,27 máximo valor de FCI

n= 7, son 7 factores analizados, entonces IA = 1,32 (tabla 9, pág. 43)

Egivmax Reemplazando valores:

IC = Egivmax / n – 1; IC=0,27/6

IC = 0,045

Reemplazando:

CC = IC/IA=0,045/1,32

CC = 0,0341, este valor es menor que 0,1 por lo tanto los datos analizados poseen consistencia.

#### **4.9. Superposición de los Mapas Factores y elaboración del mapa de susceptibilidad**

Se han elaborado los siguientes mapas factores: litológico, pendientes, geomorfológico, cobertura vegetal y tectónico. La superposición de estos mapas indica que las zonas donde se concentran la mayor cantidad de MM. son en el sector norte y noroeste del área de investigación. El mapa factor tectónico no está dentro del área de superposición por lo que no es un condicionante para los MM. Según esta superposición se ha elaborado el mapa de susceptibilidad lo cual indica que las zonas más susceptibles a los MM. están ubicados en el sector Norte a noroeste del área de investigación.

#### **4.10. Contratación de la hipótesis**

El mayor porcentaje de rocas volcánicas es (85%) que son de edad cenozoica post Tectónica Incaica por lo tanto no han sido afectadas por esta fase compresional intensa. Un porcentaje pequeño del orden de 10% es ocupado por afloramientos de rocas Cretácicas en las cuales se ha determinado tres (03) movimientos de masa (MM). Las características físicas de las rocas volcánicas como, la litología, consistencia, dureza singenética de las rocas volcánicas, pendiente y la cobertura vegetal alóctona son factores geológicos condicionantes para que se hayan generado los MM. en las rocas volcánicas. El pequeño porcentaje de afloramientos

(10%) en el cual se ha generado tres (03) MM. el factor tectónico es el condicionante más importante. Por lo tanto, la hipótesis esta contrastada positivamente.

La investigación demuestra que el análisis de la susceptibilidad a los MM. por la secuencia volcánica que corresponde al volcanismo de tipo explosivo que ha sido depositada después de la fase tectónica.



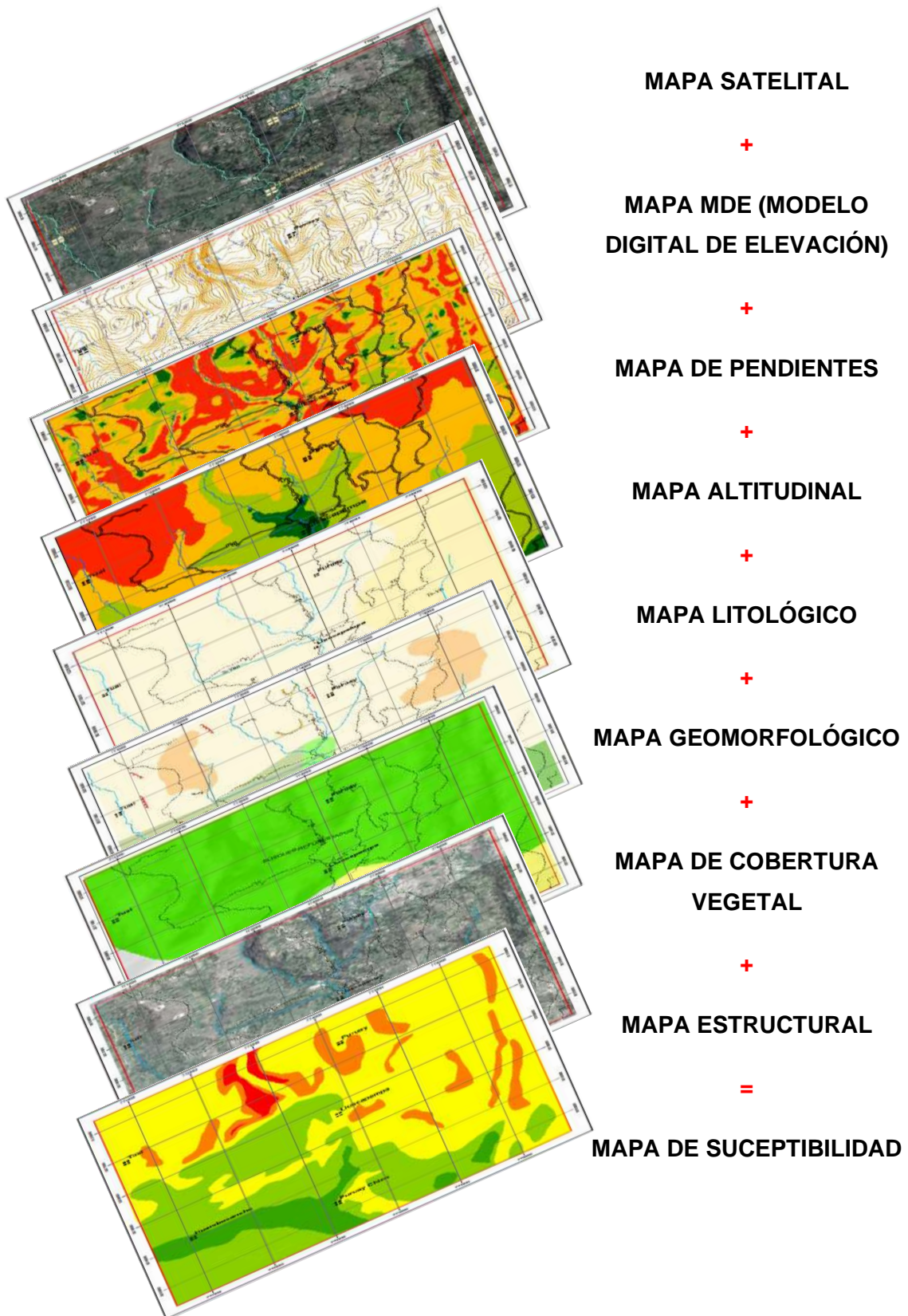


Figura 24. Superposición de los mapas factores litológica, pendiente, cobertura vegetal, tectónica, los cuales indica que los MM. se ubican mayormente en la zona Norte a Noroeste del área de investigación. El mapa factor tectónico se sale fuera del área de influencia de los MM. por tanto no es un factor condicionante a los MM.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

Se determinó 11 movimientos de masa en toda el área de influencia de 3.2 Km y se clasifican en 4 deslizamientos, 3 flujos de detritos, 3 caídas de rocas y un movimiento complejo, mayormente ubicados en rocas volcánicas.

Los factores condicionantes de la inestabilidad (FCI) que afectan el CC.PP Huambocancha Baja son: la litología de las rocas volcánicas (27%), la pendiente (21%), la dureza de las rocas (17) y la cobertura vegetal (15%). Se ha determinado además que el factor tectónico no es condicionante de la inestabilidad en rocas volcánicas.

La elaboración del mapa de susceptibilidad ha sido posible superponiendo los 7 mapas factores; y como resultado son las zonas que han sufrido MM. se ubican mayormente en afloramientos de rocas volcánicas, con pendiente escarpada y de material homogéneo débilmente consolidado

Las rocas volcánicas abarcan un 85% de toda el área, las rocas Cretácicas en un 10% y los depósitos cuaternarios inconsolidados en un 5% de acuerdo a los resultados del mapa de seceptibilidad.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

Realizar un estudio microscópico petromineralógico de secciones delgadas para mayor detalle del contenido mineralógico.

Evitar en lo posible las construcciones de viviendas en áreas donde afloran rocas volcánicas tobáceas con altas pendientes (60° a 70°).

Realizar la construcción de muros de contención en aquellos lugares donde se evidencian el inicio de movimientos de masa (MM).

Realizar un estudio hidrogeológico para obtener el grado exacto de humedad que afectan las propiedades de las rocas volcánicas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayala, F et al. 1987. Los riesgos geológicos: guía didáctica. Madrid, ITGME.
- Barredo, J.1996. Sistema de Información Geográfica y evaluación multicriterio. Editorial RA-MA. Madrid, España.
- Campos, L. 2011. Ocurrencia de aluviones en la subcuenca del Río Shullcas durante el cuaternario y su relación con los retrocesos de los glaciares de la cordillera Huaytapallana, Región Junín. Perú.
- Carrara, A. et al 1995. GIS Technology in Mapping landslide Hazard. Kluwe Academic Publishers. London, pág. 135-178.
- Carrara, A. 2008. GIS Technology in Mapping landslide Hazard. Kluwe Academic Publishers. London, pág. 135-178.
- Cascini, et al. 2005. Landslide hazard and risk zoning for urban planning and development. State of the Report (SOA7).
- Castellanos, A. & Carrillo. 2003. Los desastres y fundamentos de la protección contra los mismos. En gerencia de desastres en Cuba.
- Cornforth, H. 2005. Landslides In Practice: Investigation, Analysis, and Remedial/ Preventative Options in Soils, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Corominas, J. & Alonso, E. 1984. Inestabilidad de laderas en el Pirineo catalán. Tipología y Causas. Jornadas sobre Inestabilidad de laderas en el Pirineo. Barcelona.
- COSUDE – CARE. 2008. Gestión de Riesgos de Deslizamiento del Ronquillo, Urubamba y Corisorgona-Levantamiento Geofísico de Georadar”.
- Cruden, D.M. 1991. A simple Definition of a Landslide Bulletin of the International Association of Engineering Geology.
- Crozier, M. 1999. Prediction of rainfall-triggering landslides: a test of the antecedent water status model. Earth surface processes and landforms.
- Daniel. A. 2007. Deslizamiento de la ladera sur del Viaducto N°1, autopista Caracas la Guaira. Venezuela.

- Domínguez, M. 2003. Tesis doctoral: Geomorfología e inestabilidad de ladera en la cuenca carbonífera central (Valle de Nalón, Asturias). Análisis de la susceptibilidad ligada a los movimientos superficiales del terreno
- Ferrer, M. 1984. Mecanismos de rotura de taludes mineros y análisis de su estabilidad. Tesina.
- Fidel, L. 2006. Estudio de Riesgos geológicos del Perú. Franja N°4. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Serie C. Geodinámica e Ingeniería Geológica. Boletín N°29.
- Fidel, L. 2007. Deslizamiento traslacional - Flujo de detritos de Mayunmarca. Lima. Perú.
- García, A., 1966, Contribución para la clasificación de los movimientos de terreno: Revista de Obras Públicas.
- Gonzales de Vallejo, L. (2002), Ingeniería Geológica. PEARSON. Madrid. España.
- Guzmán, M. 2007. Deslizamiento rotacional de San Isidro en la Ciudad de la Paz. Bolivia
- Hayman, B. 1998. Fundamentals of engineering Design. Upper Sadle River, Prentice Hall, New Jersey.
- Hervas, J. 2002. Elaboración de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante SIG, Teledetección y Métodos de Evaluación Multicriterio. Aplicación a la Depresión de Tirajana (Gran Canaria). pág. 169- 180.
- Hoek, E. & Bray, W. 1981. Rock Slope Engineering. The Institution of Mining and Metallurgy. London.
- Huaripata, M. 2013. Tesis profesional: "Modelo Geodinámico de la quebrada Cruz Blanca, microcuenca Cruz Blanca – Los Chilcos.
- Hutchinson, N. 1988. Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Holland.
- IGACC, 2005. Geomorfología aplicada a levantamiento edafológico y zonificación física de tierras. Bogotá- Colombia.

- INGEOMINAS. 1998. Zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa en las cuencas de los Ríos Bolo y Fraile y avenidas torrenciales en la cabecera municipal de pradera - Valle del Cauca. Bogotá
- INGEOMINAS, 2000. Guía Metodológica. Evaluación de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa. 1º edición, Colombia.
- INDECI, 2005. Programa de Prevención y Medidas de Mitigación ante Desastres de la Ciudad de los Baños del Inca. Cajamarca.
- INDECI. 2011. Análisis de susceptibilidad ante peligros por Movimientos de Masa en Laderas. Manual de Estimación de Riesgos ante Movimientos en Masa en Laderas.
- INGEOMINAS. 2001. Mapa de categorías de amenaza relativa por movimientos en masa de Colombia, escala 1:1.500.000". Bogotá
- Keefer, D. 1984. Landslides caused by earthquakes. Geological Survey of America Bulletin.
- Kosaca, R; Gonzales, E; Arias, H; Minaya, A; Farfan; T icona, J 2002. Estudio Geodinámico y Evaluación de los Peligros de las localidades de Callalli y Sibayo.
- Lagos, A., et al 2006, Aportes al Análisis de Cuencas Sedimentarias en los alrededores de las localidades de los Baños del Inca, Cruz Blanca, Otuzco, distrito de Cajamarca. Boletín del XIII Congreso Peruano de Geología. Publicación Especial Nº 7. Lima- Perú.
- Lagos, A. & Quispe, Z. 2007. Aportes al Análisis de Cuencas Sedimentarias en los alrededores de las localidades de los Baños del Inca, Cruz Blanca, Otuzco, Distrito de Cajamarca.
- Luis, E. 2007. Caída de bloques en el litoral de Huicha de Chiloé. Chile. SENAGEOMIN.
- Luque, G. 2011. Peligros Geológicos y zonas críticas en el Perú". Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico – INGEMMET – PERÚ.
- Luzi, L. 1995. GIS for slope stability zonation in the Fabriano area, Central Italy. Unpublished MSc. Thesis, ITC Enschede the Netherlands.

- Martínez, A. 1972. Análisis de Estabilidad de Taludes. Laboratorio de Geología y Geomorfología Aplicada. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Mora S & Vahrson G., 1991. Mitigación de Georriesgos en Centroamérica.
- Moreno, J. 2007. Deslizamiento de El Mirador, km 105 Carretera Bogotá-Villavicencio. Colombia.
- Morgenstern, N. 1997. Toward landslide risk assessment in practice. Proceeding of the international Workshop on landslide risk assessment. Honolulu, Hawaii.
- Montrasio, L et al. 2011. Towards a real-time susceptibility assessment of rainfall-induced shallow landslides on a regional scale.
- Núñez, S; Medina, L 2008. Riesgos geológicos en la región Ucayali. INGEMMET, Serie C. Geodinámica e Ingeniería Geológica, N°37.
- Ochoa, M. y Lagos, A. 2008. Susceptibilidad a los Movimientos en Masa en la Cuenca de Río Rímac. Sector Ticlio- Matucana. Lima- Perú. XIII Congreso Latinoamericano y XII Congreso Peruano de Geología.
- Ochoa, M. 2010. Peligros Geológicos en la Cuenca Alta del Río Rímac, entre Ticlio y Matucana. Lima- Perú. XIII Congreso Latinoamericano y XII Congreso Peruano de Geología.
- Parkhurst, S. 2000. Risk assessment and quantification of slope conditions based upon site inspection surveys. 8th International Symposium on Landslides Cardiff.
- Pérez, A. 2014. Evaluación de los Riesgos y peligros Geológicos de la Quebrada Puyllucana, Baños del Inca- Cajamarca. Tesis para obtener el Título de ingeniero Geólogo. EAP de Ingeniería Geológica. Perú.
- Petak, J. & Atkisson, A. 1982. Natural Hazard Risk Assessment and Public Policy: Anticipating. New York: Springer-Verlag.
- Pierson, C. & Scott, M. 1985. Downstream dilution of a lahar: Transition from debris flow to hyperconcentrated streamflow: Water Resources Research.
- Reyes, L. 1980. Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Boletín 31. INGEMMET.

- Reyes, L. 1980. Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba (hojas 15-f, 15-g, 16-g). Editada por el INGEMMET.
- Richards, G. 1985. Geotechnical aspects of Residual Soils". Southeast Asian Geotechnical. Society, Scorpion Press, Hong Kong.
- Saaty, L. & Vargas, G. 1991. Prediction, Projection, and Forecasting: Applications of the Analytical Hierarchy Process in Economics, Finance, Politics, Games, and Sports. Boston.
- Smith, J. 2001. Spending on safety nets for the poor: how much, for how many? The case of Malawi, African Region Working Paper Series.
- Soeters, R & Van Westen, J. 1996. "Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation. In: Turner, A.K. and Schuster, R.L. Transportation Board, National
- Suárez, J. 1996. Deslizamientos: Análisis Geotécnico. Colombia.
- Suárez, J. 1998. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Colombia
- UNESCO, 2000. Disaster Reduction. Environmental and Development BRIEFS.
- Valderrama, P., Fidel, L., Reginald, H., Grosse, J. 2008. Geodinámica del Nevado Huascarán, nuevos alcances sobre "el evento Matacoto." Sociedad Geológica del Perú.
- Vargas, G. 1999. Guía técnica para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por Movimientos de masa. Villavicencio.
- Varnes, J. 1978. Slope movement types and processes. In Landslides, Analysis and Control, Special Report N°176. Washington.
- Varnes, J. 1984. Landslide Hazard Zonation: A review of principles and practice. Natural Hazards 3, UNESCO.
- Villacorta, S.; Vásquez, J.; Núñez, S. 2011. Inventario de Peligros Geológicos en la Cuenca del Río Chillón, Lima – Perú.
- Zavala, B., & Barrantes, R. (2007). Zonas Críticas por Peligros Geológicos y Geohidrológicos en la región Cajamarca. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima.



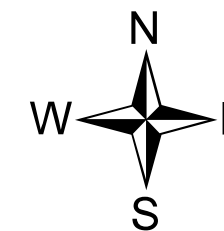
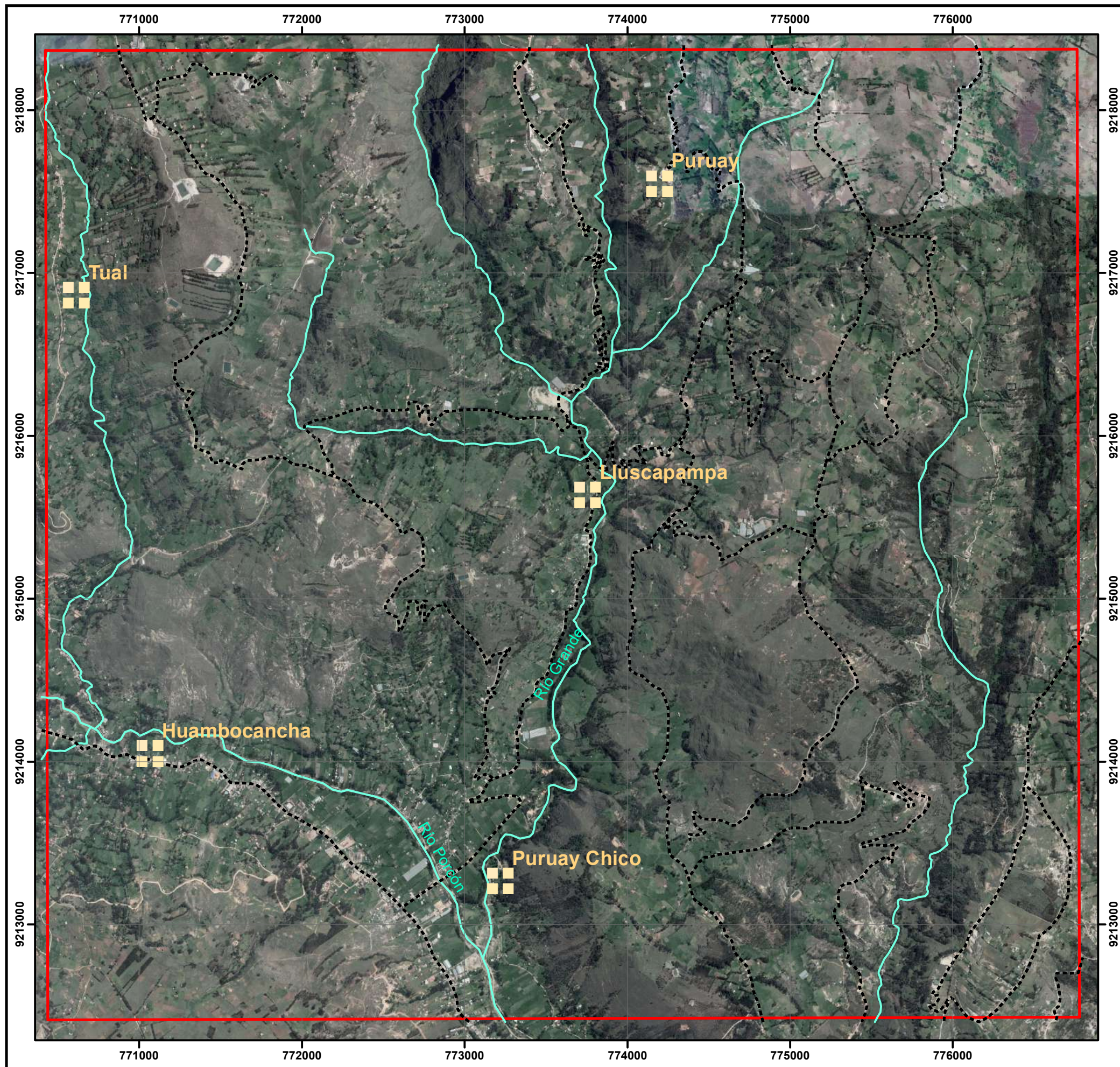
Zezeze, J. 2002. Landslide susceptibility assessment considering landslide typology. A case study in the area north of Lisbon. Natural Hazards and Earth System Sciences.

## **ANEXOS**




### **MAPAS TEMÁTICOS**

- 1. P01- SATELITAL**
- 2. P02- MDE (MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN)**
- 3. P03- DE PENDIENTES**
- 4. P04- ALTITUDINAL**
- 5. P05- LITOLÓGICO**
- 6. P06- GEOMORFOLÓGICO**
- 7. P07- DE COBERTURA VEGETAL**
- 8. P08- ESTRUCTURAL**
- 9. P09- DE SUCEPTIBILIDAD**

# PLANO SATELITAL HUAMBOCANCHA BAJA




**SIMBOLOGÍA**

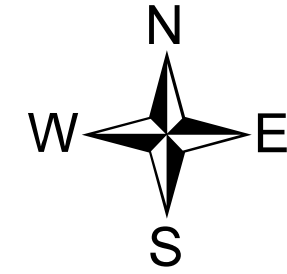
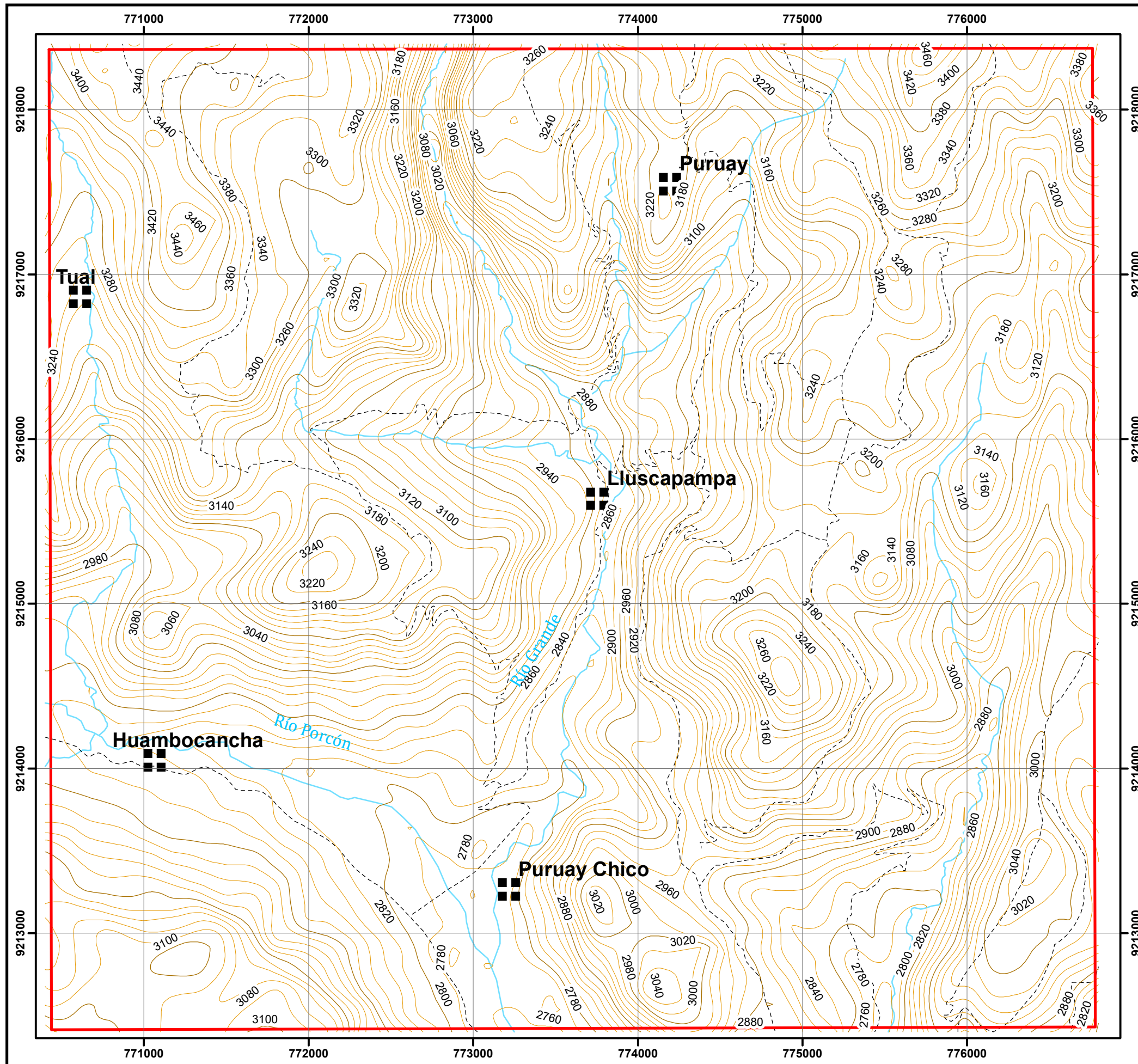
-  Centros poblados
-  Vías
-  Drenaje








ESCALA GRÁFICA

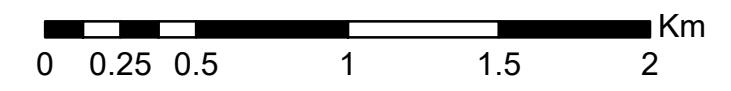
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica		
	TESIS: Evaluación de Peligros Geológicos y elaboración de mapa de susceptibilidad en la zona Huambocancha Baja.		
	PLANO: Satelital		
	TESISTA: HERNÁNDEZ MAYTA, Silvio		
	ASESOR: Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE		PLANO N°:
DATUM: WGS 84	Zona o Huzo Horario: 17 sur	<b>01</b>	
Cajamarca, Octubre del 2021	ESCALA NUMÉRICA: 1/25.000		

# PLANO MDE - HUAMBOCANCHA BAJA




## SIMBOLOGÍA

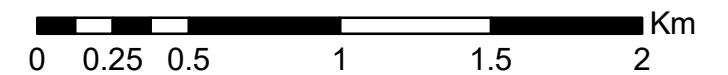
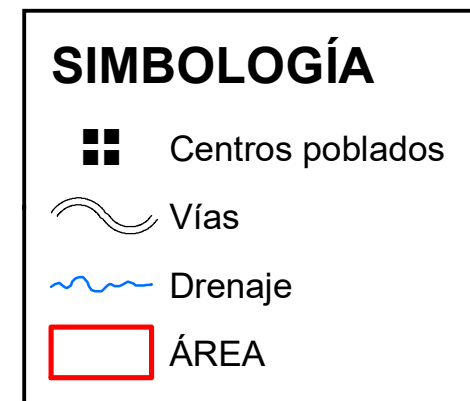
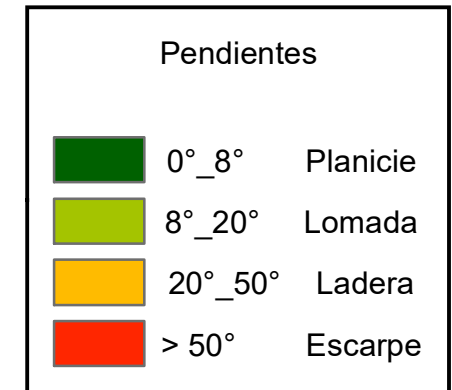
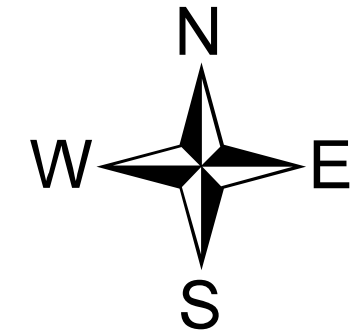
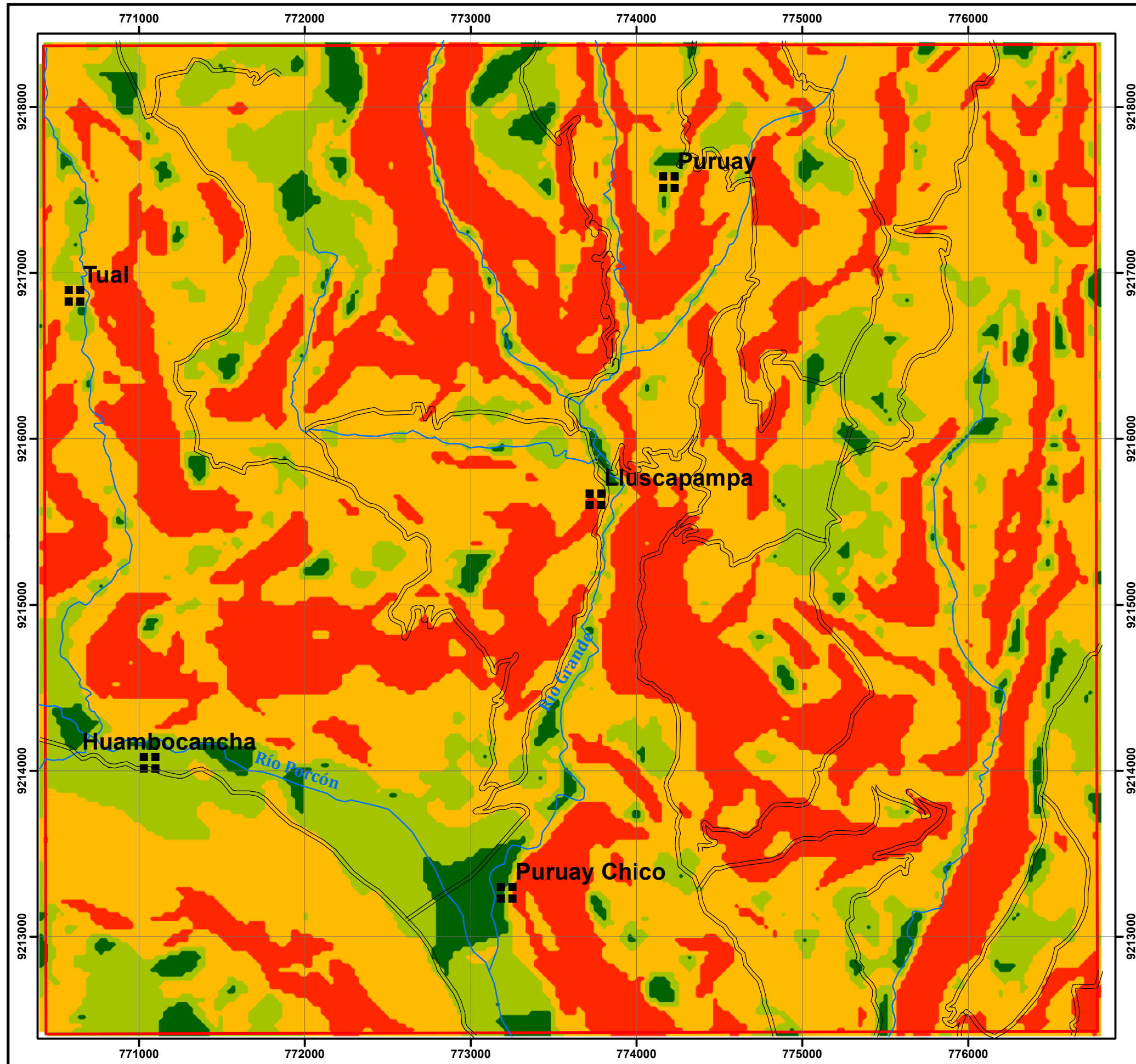
-  Centros poblados
-  Curvas Mayores\_100
-  Curvas menores\_20
-  Vías
-  Drenaje



ESCALA GRÁFICA

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica	
	TESIS: Evaluación de Peligros Geológicos y elaboración de mapa de susceptibilidad en la zona Huambocancha Baja.	
	PLANO: MDE	
	TESISISTA: HERNÁNDEZ MAYTA, Silvio	
	ASESOR: Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE	
DATUM: WGS 84	Zona o Huzo Horario: 17 sur	PLANO N°:
Cajamarca, Octubre del 2021	ESCALA NUMÉRICA: 1/25,000	<b>02</b>

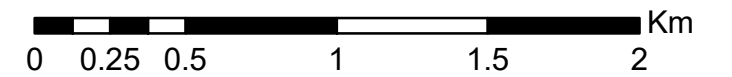
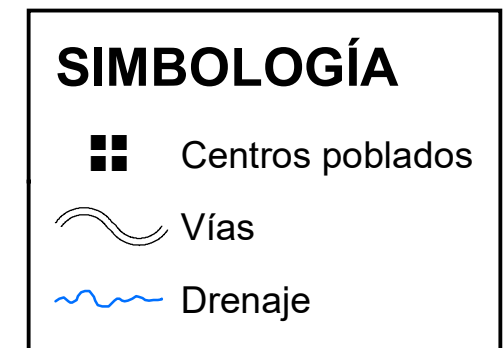
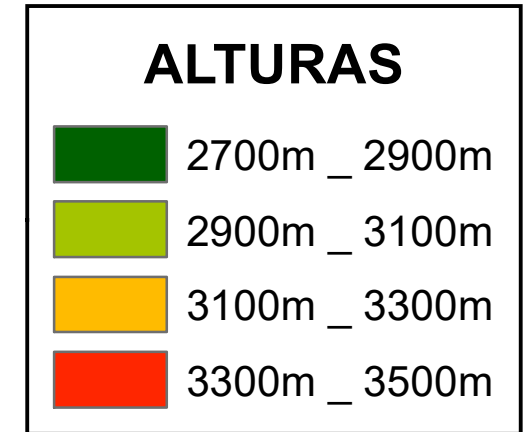
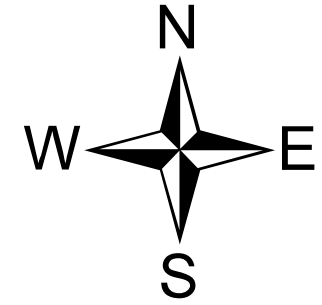
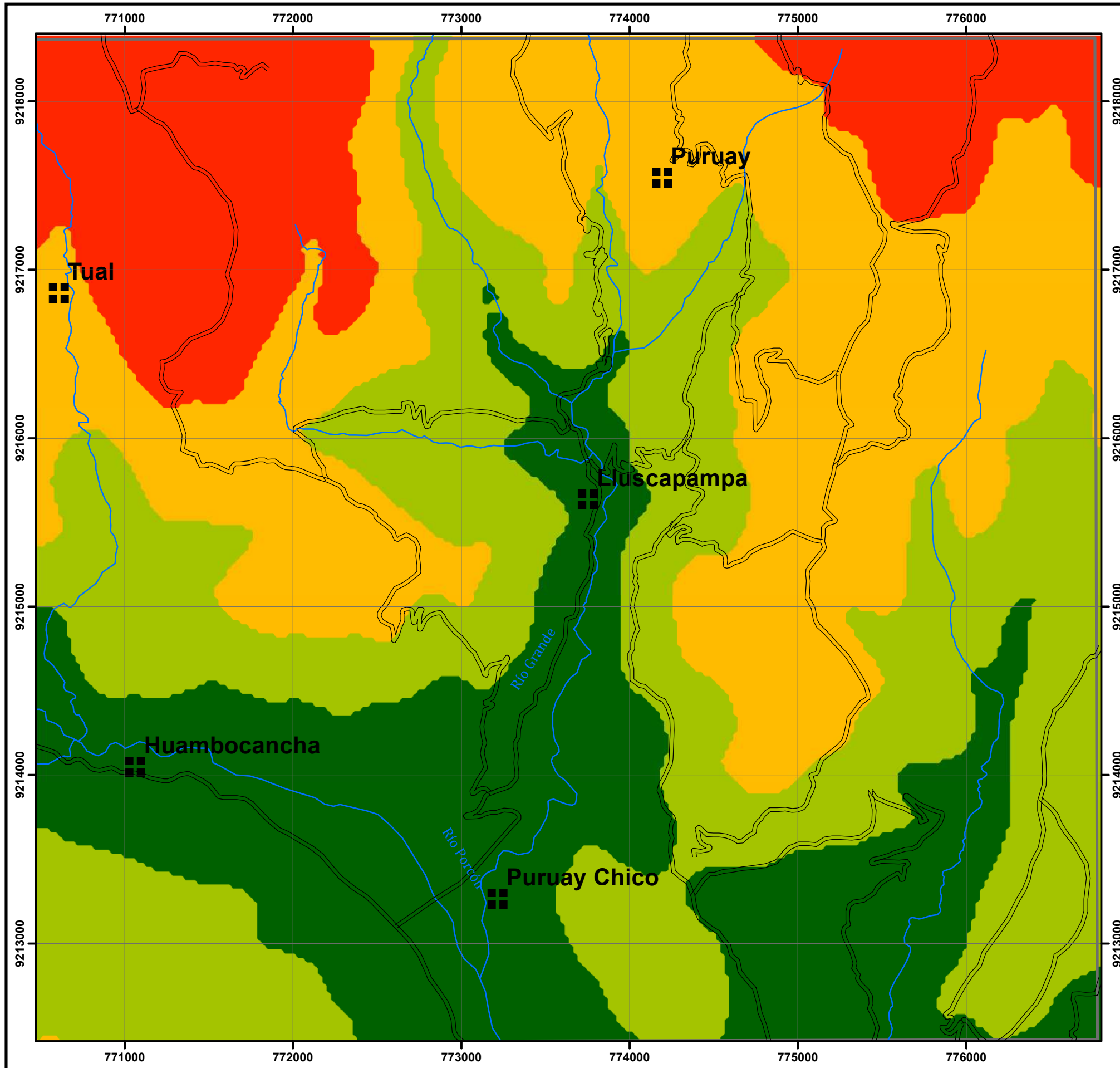
# PLANO DE PENDIENTES - HUAMBOCANCHA BAJA



ESCALA GRÁFICA

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica	
	TESIS: Evaluación de Peligros Geológicos y elaboración de mapa de susceptibilidad en la zona Huambocancha Baja.	
	PLANO: DE PENDIENTES	
	TESISTA: HERNÁNDEZ MAYTA, Silvio	
	ASESOR: Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE	
DATUM: WGS 84	Zona o Huzo Horario: 17 sur	<b>PLANO N°: 03</b>
Cajamarca, Octubre del 2021	ESCALA NUMÉRICA: 1/25,000	

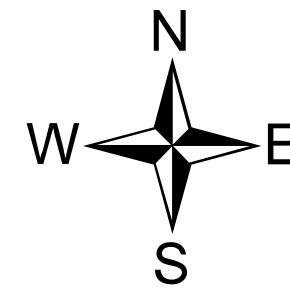
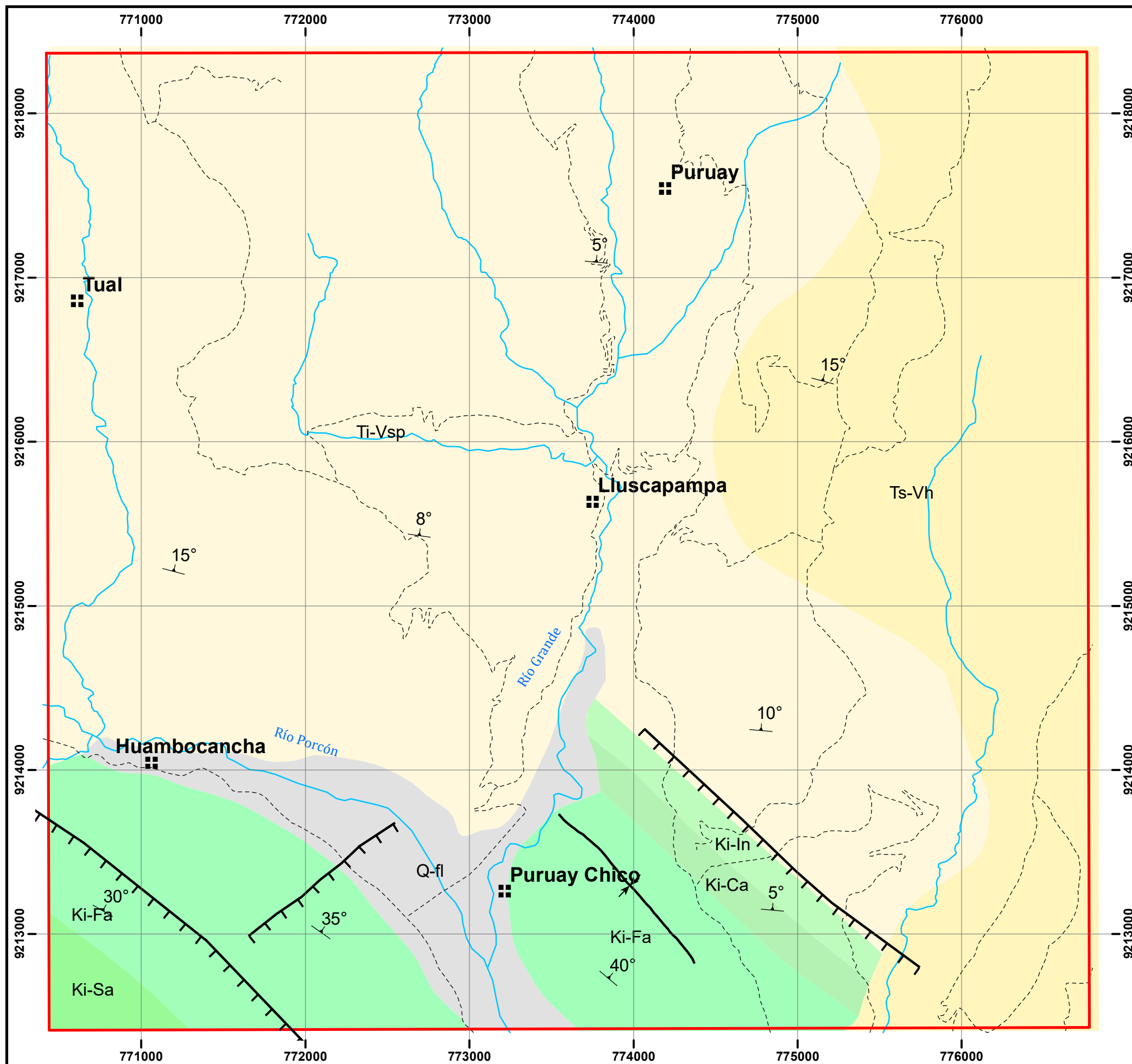
# PLANO ALTITUDINAL - HUAMBOCANCHA BAJA



ESCALA GRÁFICA

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
	Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica		
	TESIS: Evaluación de Peligros Geológicos y elaboración de mapa de susceptibilidad en la zona Huambocancha Baja.		
	PLANO: ALTITUDINAL		
	TESISTA: HERNÁNDEZ MAYTA, Silvio		
ASESOR: Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE		PLANO N°:	
DATUM: WGS 84	Zona o Huzo Horario: 17 sur		
Cajamarca, Octubre del 2021	ESCALA NUMÉRICA: 1/25,000	<b>04</b>	

# PLANO LITOLÓGICO - HUAMBOCANCHA BAJA



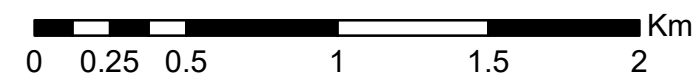
**SIMBOLOGÍA**

- Buzamiento
- ÁREA
- Falla normal
- Centros poblados
- Eje de sinclinal
- Vías
- Drenaje

**LEYENDA**

**Geología**

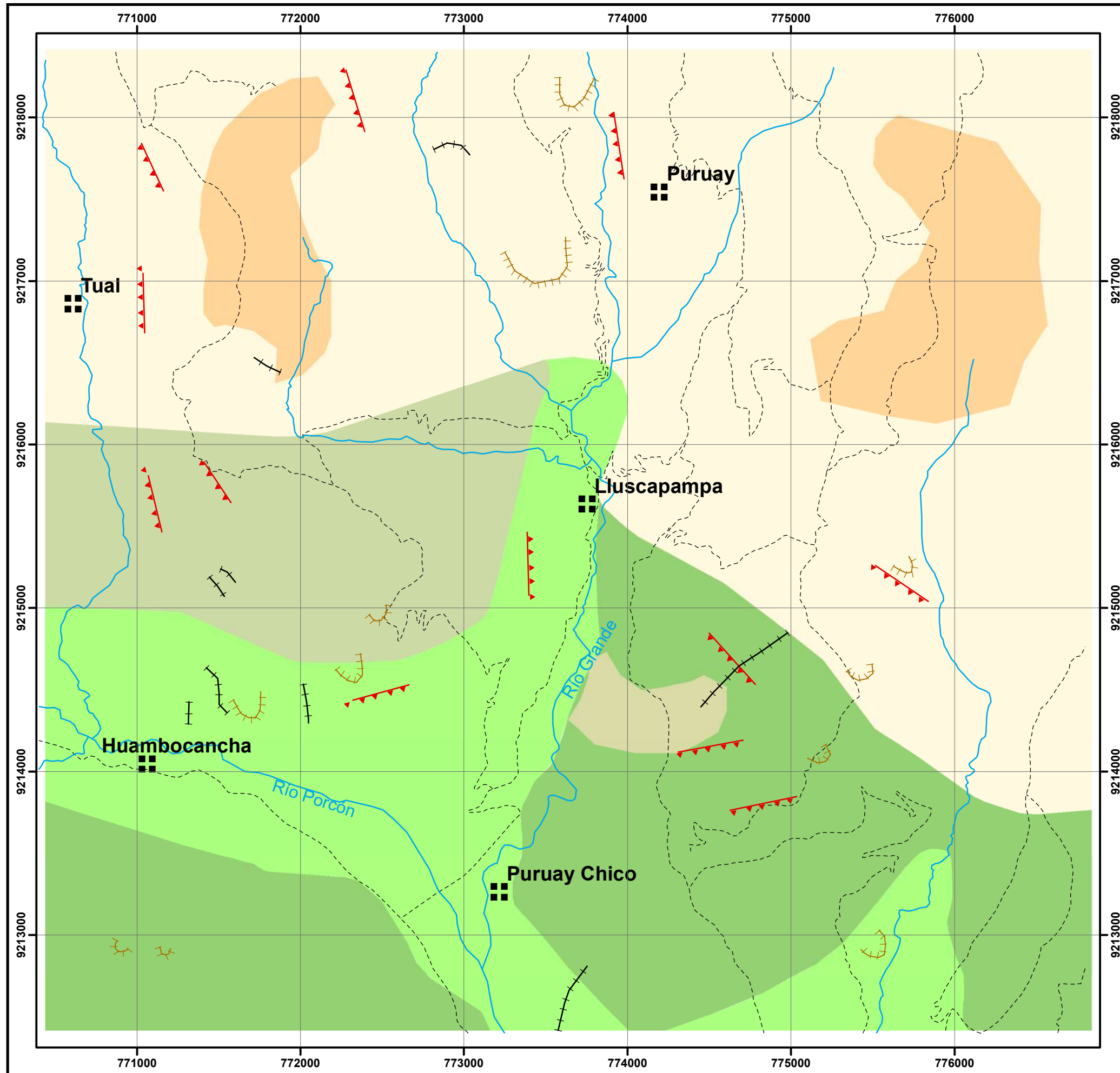
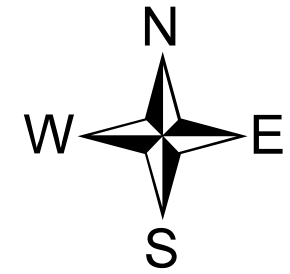
- Ki-In
- Ki-Fa
- Ki-Ca
- Ki-Sa
- Q-fl
- Ti-Vsp
- Ts-Vh



ESCALA GRÁFICA

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica	
	TESIS: Evaluación de Peligros Geológicos y elaboración de mapa de susceptibilidad en la zona Huambocancha Baja.	
	PLANO: LITOLÓGICO	
	TESISTA: HERNÁNDEZ MAYTA, Silvio	
	ASESOR: Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE	
DATUM: WGS 84	Zona o Huzo Horario: 17 sur	PLANO N°: <b>05</b>
Cajamarca, Octubre del 2021	ESCALA NUMÉRICA: 1/25,000	

# PLANO GEOMORFOLÓGICO - HUAMBOCANCHA BAJA

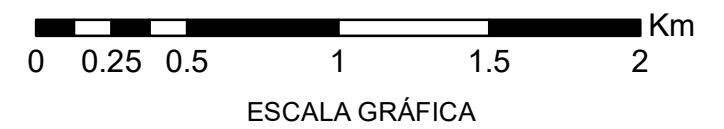


### GEOFORMAS

- Planicie acumulativa lacustre
- Valle en U
- Laderas
- Colinas volcánicas
- Pie de monte deluvial
- Lomadas

### SIMBOLOGÍA

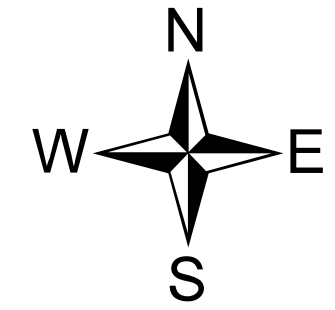
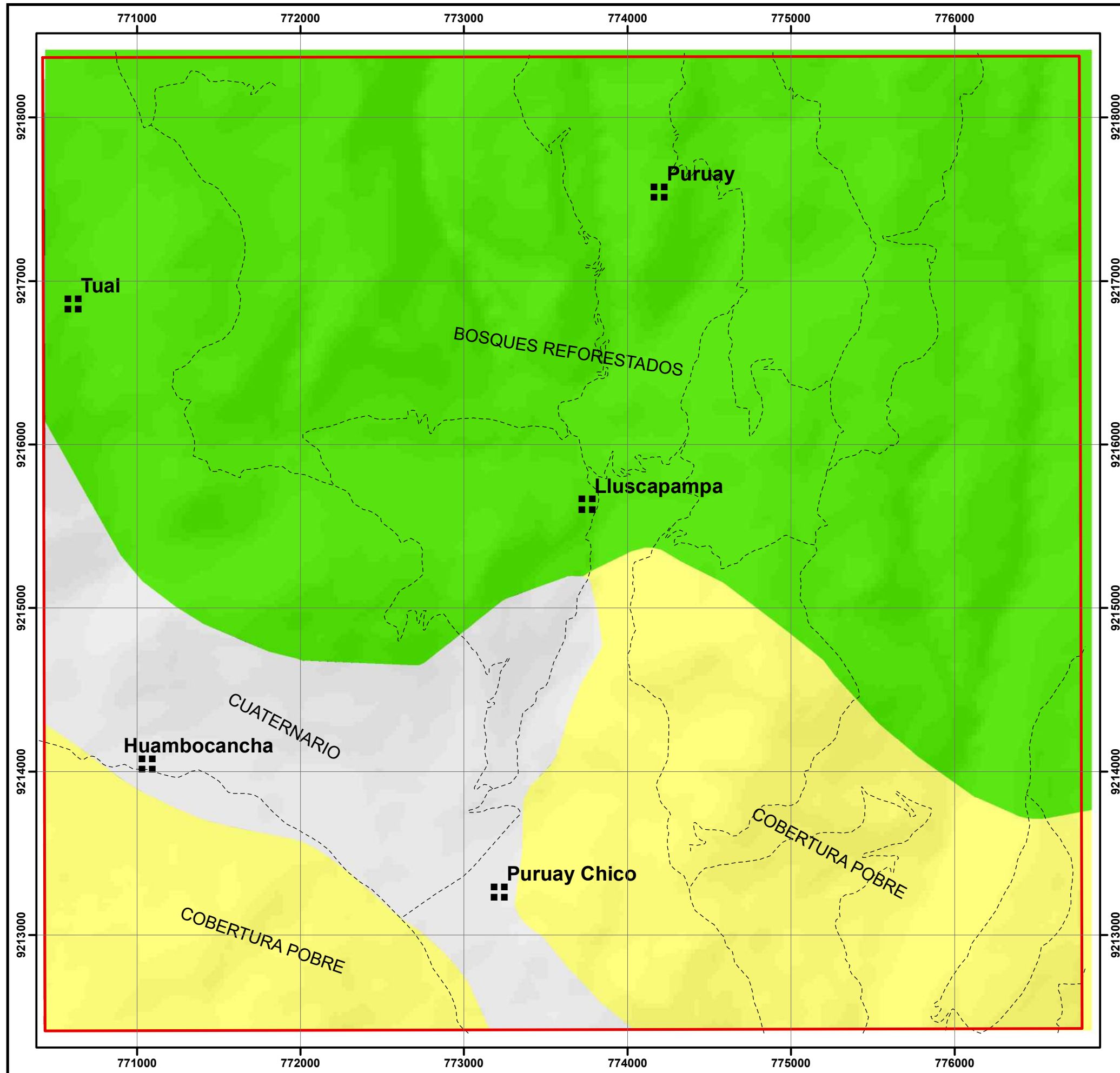
- Centros poblados
- Drenajes
- Vías
- Deslizamientos
- Cárcavas
- Escarpes



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica	
	TESIS: Evaluación de Peligros Geológicos y elaboración de mapa de susceptibilidad en la zona Huambocancha Baja.	
	PLANO: GEOMORFOLÓGICO	
	TESISISTA: HERNÁNDEZ MAYTA, Silvio	
	ASESOR: Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE	
	DATUM: WGS 84	Zona o Huzo Horario: 17 sur
Cajamarca, Octubre del 2021	ESCALA NUMÉRICA: 1/25,000	PLANO N°: <b>06</b>



# PLANO DE COBERTURA VEGETAL - HUAMBOCANCHA BAJA

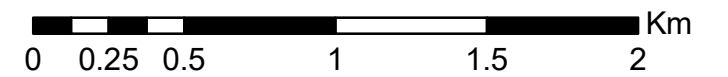


**COBERTURA VEGETAL**


- BOSQUES REFORESTADOS
- COBERTURA POBRE
- CUATERNARIO

**SIMBOLOGÍA**

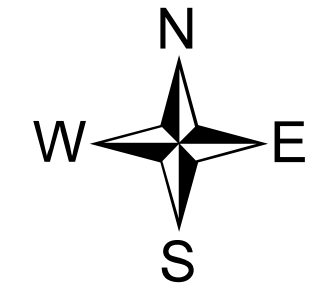
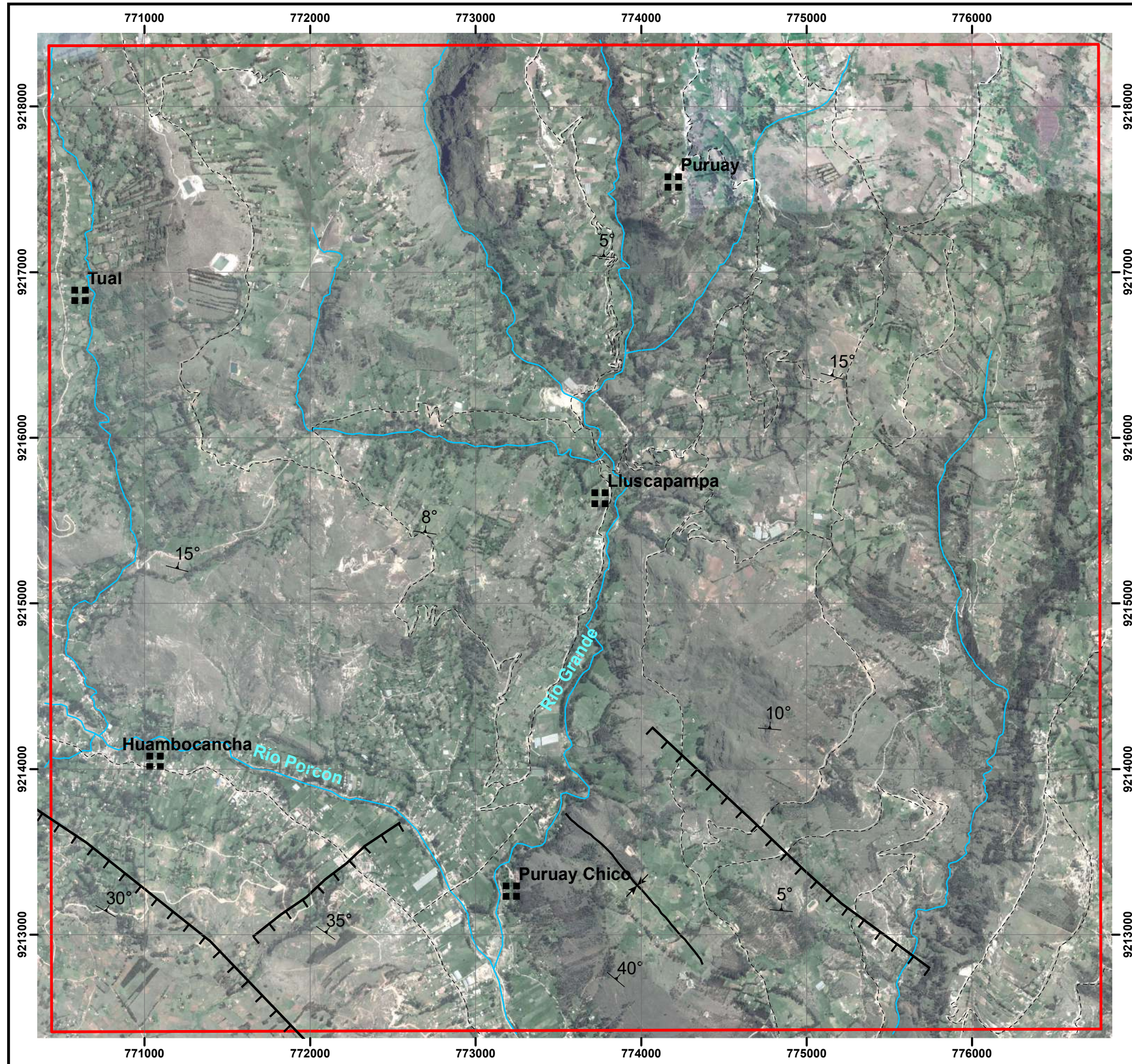
- Área
- Centros poblados
- Vías



ESCALA GRÁFICA

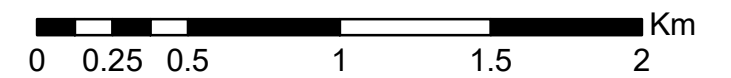
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica	
	TESIS: Evaluación de Peligros Geológicos y elaboración de mapa de susceptibilidad en la zona Huambocancha Baja.	
	PLANO: DE COBERTURA VEGETAL	
	TESISTA: HERNÁNDEZ MAYTA, Silvio	
	ASESOR: Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE	
DATUM: WGS 84	Zona o Huzo Horario: 17 sur	PLANO N°:
Cajamarca, Octubre del 2021		ESCALA NUMÉRICA: 1/25,000
		07

# PLANO ESTRUCTURAL - HUAMBOCANCHA BAJA



**SIMBOLOGÍA**

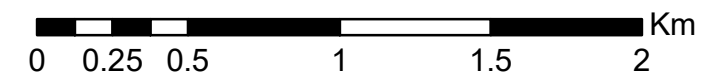
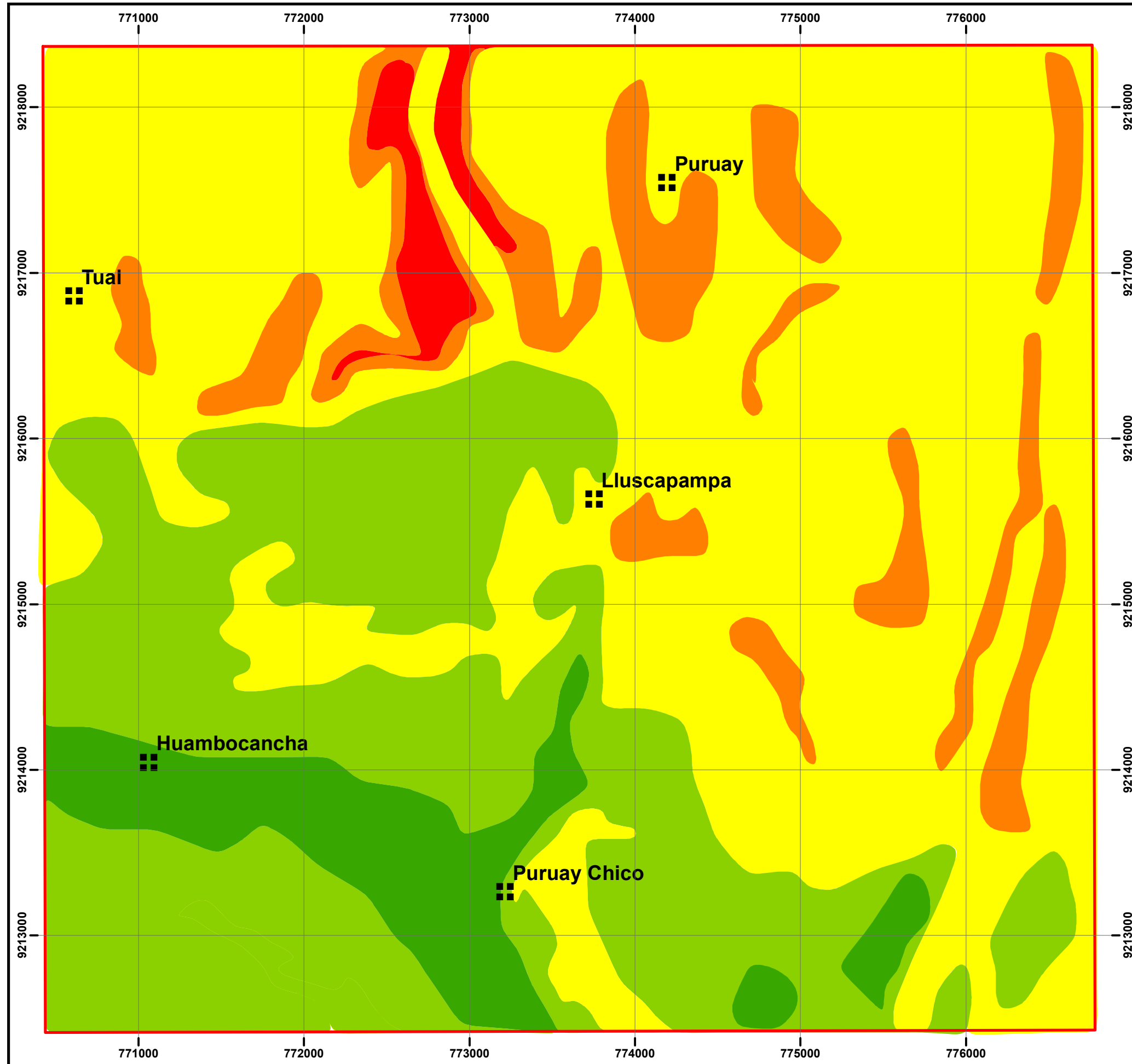
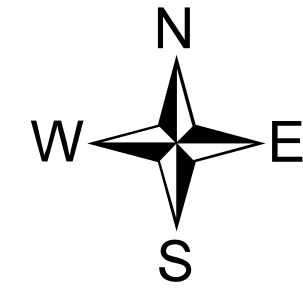
- Buzamiento
- ÁREA
- Falla normal
- Centros poblados
- Eje de sinclinal
- Vías
- Drenaje




ESCALA GRÁFICA

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica	
	TESIS: Evaluación de Peligros Geológicos y elaboración de mapa de susceptibilidad en la zona Huambocancha Baja.	
	PLANO: ESTRUCTURAL	
	TESISTA: HERNÁNDEZ MAYTA, Silvio	
	ASESOR: Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE	
DATUM: WGS 84	Zona o Huzo Horario: 17 sur	PLANO N°:
Cajamarca, Octubre del 2021		ESCALA NUMÉRICA: 1/25,000
		08

# PLANO DE SUSCEPTIBILIDAD - HUAMBOCANCHA BAJA



ESCALA GRÁFICA

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica	
	TESIS: Evaluación de Peligros Geológicos y elaboración de mapa de susceptibilidad en la zona Huambocancha Baja.	
	PLANO: DE SUSCEPTIBILIDAD	
	TESISTA: HERNÁNDEZ MAYTA, Silvio	
	ASESOR: Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE	
DATUM: WGS 84	Zona o Huzo Horario: 17 sur	PLANO N°:
Cajamarca, Octubre del 2021		ESCALA NUMÉRICA: 1/25,000
		09