

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



TESIS

**EVALUACIÓN DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS Y MAPA DE
SUSCEPTIBILIDAD. ZONA DE AGOCUCHO. CAJAMARCA – PERÚ**

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

AUTOR

BACH. BARBOZA SALAZAR VICTOR ANTONIO

ASESOR

DR. LAGOS MANRIQUE ALEJANDRO CLAUDIO

CAJAMARCA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: VICTOR ANTONIO BARBOZA SALAZAR
DNI: 44171632
Escuela Profesional: INGENIERÍA GEOLÓGICA
2. Asesor: ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE
Facultad: INGENIERÍA
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
EVALUACIÓN DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS Y MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD. ZONA DE AGOCUCHO.
CAJAMARCA - PERÚ
6. Fecha de evaluación: 14 DE JUNIO DEL 2025
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 12%
9. Código Documento: oid:::3117:467017665
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 14/06/2025

 <p>Ing. Alejandro C. Lagos Manrique</p>	 <p>Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258601 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 14/06/2025 23:14:46-0500</p>
<p>FIRMA DEL ASESOR Alejandro Claudio Lagos Manrique DNI: 09224934</p>	<p>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</p>



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO: "EVALUACIÓN DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS Y MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD. ZONA DE AGOCUCHO. CAJAMARCA - PERÚ."

ASESOR : Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 043-2018-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 10 de enero del 2018, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los once días del mes de enero del 2018, siendo las once horas (11:00 a.m.), en el Auditorio de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : M.Cs. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Vocal : Ing. Roberto Severino Gonzáles Yana.
Secretario : M.Cs. Ing. José Alfredo Siveroni Morales.

Para proceder a escuchar y evaluar la Sustentación Pública de tesis titulada: "EVALUACIÓN DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS Y MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD. ZONA DE AGOCUCHO. CAJAMARCA - PERÚ", presentado por el Bachiller en Ingeniería Geológica VÍCTOR ANTONIO BARBOZA SALAZAR y asesorado por el Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.

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

EVALUACIÓN PRIVADA: 5-0 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA: 11-0 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 16-0 PTS DIECISEIS (en letras)

En consecuencia se lo declara APROBADO con el calificativo de DIECISEIS acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las 12:00m horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

M.Cs. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Presidente

Ing. Roberto Severino Gonzáles Yana.
Vocal

M.Cs. Ing. José Alfredo Siveroni Morales.
Secretario

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS

Bachiller en Ingeniería Geológica: VÍCTOR ANTONIO BARBOZA SALAZAR.

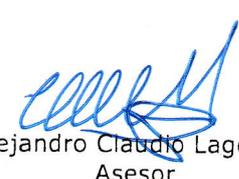
RUBRO	PUNTAJE
	Máximo/Calificación
2. DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	
2.1. Capacidad de síntesis	2
2.2. Dominio del tema	3
2.3. Consistencia de las alternativas presentadas	3
2.4. Precisión y seguridad en las respuestas	3
PUNTAJE TOTAL (MÁXIMO 12 PUNTOS)	11

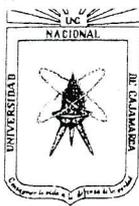
Cajamarca, 11 de enero del 2018.


M.Cs. Ing. Crispin Zenón Quispe Mamani.
Presidente


Ing. Roberto Severino Gonzáles Yana.
Vocal


M.Cs. Ing. José Alfredo Siveroni Morales.
Secretario


Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



EVALUACIÓN FINAL DE LA SUSTENTACIÓN DE TESIS

Bachiller en Ingeniería Geológica: VÍCTOR ANTONIO BARBOZA SALAZAR.

RUBRO	PUNTAJE
A.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PRIVADA	5.0
B.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	11.0
EVALUACIÓN FINAL	
EN NÚMEROS (A + B)	16.0
EN LETRAS (A + B)	DIECISEIS
- Excelente 20 - 19	BUENO
- Muy Bueno 18 - 17	
- Bueno 16 - 14	
- Regular 13 a 11	
- Desaprobado 10 a menos	

Cajamarca, 11 de enero del 2018


M.Cs. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Presidente


Ing. Roberto Severino Gonzáles Yana.
Vocal


M.Cs. Ing. José Alfredo Siveroni Morales.
Secretario


Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Asesor

AGRADECIMIENTO

Mi especial agradecimiento a la Universidad Nacional de Cajamarca, a los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica en especial al Dr.Ing. Alejandro Lagos Manrique por los años de enseñanza hacia mi persona y al grupo de profesionales vinculados a la Geología que influenciaron para el desarrollo de esta tesis.

DEDICATORIA

A mis padres, Bertha y Lucho de quienes aprendí el esfuerzo y el empeño para los proyectos de mi vida y lograr mis metas, me dieron educación, comprensión, apoyo y sabios consejos a lo largo de toda mi vida.

A mis hermanos por la ayuda, el amparo y soporte brindado para con este proyecto de superación personal.

A mi novia Yelina por el soporte y motivación brindada para con este proyecto de superación personal.

Y en general a amigos y demás familiares por el cariño y respaldo permanente.

RESUMEN

La localidad de Agocucho ubicadas al Sur- Oeste de la ciudad de Cajamarca está situada en las faldas de los cerros cuyos afloramientos están conformadas por rocas areniscosas. Estas secuencias sedimentarias muestran una intensa fracturación, esta característica estructural y litológica sumada a las intensas lluvias que se producen, han generado una intensa erosión produciéndose una serie de movimientos de masa (MM). Se ha planteado las siguientes interrogantes ¿Cuáles son las zonas más susceptibles a los Movimientos de Masas, en la localidad de Agocucho y alrededores?, ¿Qué tipo de Movimientos de Masa predomina? y ¿Qué factores geológicos son los condicionantes para los MM? Entre los objetivos planteados están el de determinar las áreas más susceptibles a los MM; determinar el tipo de MM que predomina, determinar el o los factores geológicos condicionantes para los movimientos de masa y confeccionar los mapas factores (litológico, de pendiente, geomorfológico, cobertura vegetal e hidrogeológico). La hipótesis planteada es que características litológicas, estructurales, pendientes e hidrogeológicas son los factores importantes que condicionan la susceptibilidad a MM en la zona de Agocucho. Se ha determinado que la zona de estudio se ubica en un relleno cuaternario de varios metros de grosor. Los caseríos La Simba, Shingal, Cashaloma, La Iglesia Santiago Apostol están ubicados en estas zonas inestables. El grado de inestabilidad de los terrenos está catalogado según esta tesis como de grado media a alto. Los factores condicionantes de la inestabilidad (FCI) son principalmente el litológico con 31% seguido de tectónico con 24% y pendiente con 19%. Los factores condicionantes menos importantes son el hidrogeológico con 17%, geomorfológico con 6% y cobertura vegetal con 3%. Los movimientos de masa más frecuente en la zona de estudio son mayormente los deslizamientos seguido de flujos de lodos, caída de rocas.

Palabras claves: Movimiento de Masa, susceptibilidad, método heurístico

ABSTRACT

The town of Agocucho located to the South West of the city of Cajamarca is located in the foothills of the mountains where outcrops are formed Por sandstones. These sedimentary sequences show an intense fracturing, structural and lithologic this feature combined with heavy rains that occur have generated intense erosion produced a series of mass movements (MM). It has raised the following questions What are the areas most susceptible to mass movements in the town and surrounding Agocucho ?, What kind of Mass Movements predominates? and geological factors What are the conditions for MM? Among the objectives are to determine the most susceptible to the MM areas; determine the type of MM predominates, determine the geological factors or conditions for mass movements and make maps factors (lithology, slope, geomorphology, plant and hydrogeological coverage). The hypothesis is that lithological, structural, earrings and hydrogeological characteristics are the important factors affecting the Susceptibility to MM Agocucho area. It has been determined that the study area is located in a quaternary fill several meters thick. The hamlets The Simba, Shingal, Cashaloma, The Santiago Apostol Church are located in these unstable areas. The degree of instability of the land is classified according to this thesis as middle level to high. The conditions of instability (FCI) are mainly lithologic factors with 31% followed by 24% Tectonic and outstanding by 19%. Less important factors are the hydrogeological conditions with 17%, 6% and geomorphological mulched with 3%. The most common mass movements in the study area are mostly landslides followed by mud flow, rockfall.

Keywords: Mass Movement, susceptibility, Heuristics

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE FOTOS	x
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO II.....	1
MARCO TEÓRICO	3
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.2. BASES TEÓRICAS	6
2.2.1. Peligro.....	6
2.2.2 Peligrosidad	8
2.2.3 Vulnerabilidad.....	9
2.2.4 Susceptibilidad	9
2.2.5 Riesgo.....	10
2.2.6 Movimientos en Masa (MM):	16
2.2.7 Parámetros y procesos de inestabilidad.....	18
2.2.8 Caídas o desprendimientos.....	24
2.2.9 Deslizamientos	27
2.2.10 Flujos	38
2.2.11 Movimientos complejos:	40
2.2.12 Otros peligros.....	41
2.2.13 Herramientas y técnicas para la evaluación de peligros.....	42
2.2.14 Sistema de Información Geográfica (sig):	43
2.2.15 Método heurístico o empírico	44
2.2.16 Método probabilístico	44
2.2.17 Matriz de Jerarquías Múltiples (MJM).	45
2.2.18 Parámetros estadísticos.....	47
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	49
CAPÍTULO III.....	50

MATERIALES Y MÉTODOS.....	50
3.1. UBICACIÓN.....	50
3.2. ACCESIBILIDAD	51
3.3. CLIMA Y VEGETACIÓN	51
3.3.1. Clima.....	51
3.3.2. Vegetación	53
3.4. GEOMORFOLOGÍA Y FISIOGRAFÍA.....	54
3.5. DESCRIPCION DE EQUIPO DE MEDICIÓN	61
3.6. TÉCNICAS DE ANALISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....	61
3.7. EQUIPOS Y MATERIALES	62
CAPÍTULO IV	63
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	63
4.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	63
4.1.1. Método Heurístico	64
4.1.2. Método Probabilístico	70
4.1.3. Calculo de los Factores Condicionantes de la Inestabilidad (FCI).....	78
4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	79
CAPÍTULO V	80
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de Peligros Geológicos.....	8
Tabla 2: Procesos de erosión hídrica e inestabilidad	19
Tabla 3: Clasificación de pendientes.....	21
Tabla 4: Categorías vs el grado de susceptibilidad de las unidades tectónicas	22
Tabla 5: Tipos de movimientos de masa (MM)	27
Tabla 6: Tamaño de deslizamientos por área en planta. Fuente: Conforth, 2005	35
Tabla 7: Detalles que indican actividad o inactividad de deslizamientos (Crozier, 1984)	37
Tabla 8: Comparación del método empírico vs el método probabilístico.....	45
Tabla 9 : Matriz de jerarquías múltiples.....	46
Tabla 10: Matriz de Jerarquías Múltiples con seis unidades geológicas.	47
Tabla 11: Categorías de susceptibilidad	48
Tabla 12: Vías de acceso a la zona de estudio.....	51
Tabla 13: Los movimientos de masa analizados en el área de estudio	63
Tabla 14: Relación de movimientos de masa vs área en Km ²	64
Tabla 15: Representación de los Movimientos de Masa vs áreas en Km ²	64
Tabla 16: Ponderación de unidades de pendiente	65
Tabla 17: Ponderación de unidades litológicas	66
Tabla 18: Ponderación de unidades tectónicas de Lagos (2015).....	67
Tabla 19: Ponderación de unidades hidrogeológicas.....	67
Tabla 20: Ponderación de unidades geomorfológicas.....	68
Tabla 21: Ponderación de unidades de cobertura vegetal	69
Tabla 22: Categorización de las unidades de Cobertura vegetal	72
Tabla 23: Categorización de las unidades Geomorfológicas.....	73
Tabla 24: Categorización de las unidades Litológicas.....	74

Tabla 25: Categorización de las unidades de pendientes	75
Tabla 26: Categorización de las unidades tectónicas	76
Tabla 27: Categorización de las unidades hidrogeológicas.....	77
Tabla 28: Cálculo de los Factores Condicionantes de la Inestabilidad donde se agrega el factor tectónico de Lagos (2015)	78
Tabla 29: Formato de trabajo para datos de los movimientos de masa	95
Tabla 30: Formato de los aspectos estructurales y geotécnicos.	96
Tabla 31: Ficha de inventario de peligros geológicos.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de Peligros.	6
Figura 2: Relación entre los procesos, factores y metodologías y técnicas de análisis.	23
Figura 3: Detalles a analizar en un deslizamiento (Elementos).....	34
Figura 4: Signos para reconocer un problema de deslizamientos.....	36
Figura 5: Tipos de movimientos de flujo.....	40
Figura 6: Mapa de ubicación del área de estudio.....	50
Figura 7: Precipitación anual para varios años en Cajamarca (Weberbauer)	52
Figura 8: Las seis Unidades de análisis para la zona de estudio propuesta por Lagos (2015).	61
Figura 9: Ocurrencia y ponderación de unidades de pendientes	65
Figura 10: Ocurrencia y ponderación de unidades litológicas.	66
Figura 11: Ocurrencia y Ponderación de unidades tectónicas propuesta por Lagos en el 2015.....	67
Figura 12: Ocurrencia y ponderación de unidades hidrogeológicas.....	68

Figura 13: Ocurrencia y ponderación de unidades geomorfológicas.....	69
Figura 14: Ocurrencia y ponderación de unidades de cobertura vegetal.	70
Figura 15: Porcentajes de los MM en la zona de estudio.....	79

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1: Quebrada Sachamayo genera una gran erosión vertical y que deja al descubierto el relleno de gran espesor y que abarca gran parte de la zona de estudio.	53
Foto 2: Plaza de Armas de Agocucho. Se observa la Iglesia Santiago Apóstol.	54
Foto 3: Relieve montañoso configurado en rocas areniscosas de la Formación Chimú. Foto tomada mirando al Noroeste de la localidad de Agocucho	55
Foto 4: Geoformas suaves labradas sobre rocas areniscosas de la Formación Chimú.	56
Foto 5: Los depósitos coluviales son abundantes en el área de estudio. Foto tomada en la zona de Ronquillo	59
Foto 6: Flujo de detritos al noroeste de Agocucho	89
Foto 7: Caída de Rocas	89
Foto 8: Flujo de detritos ubicados al suroeste de la Plaza de Agocucho	90
Foto 9: Deslizamiento mayor, nótese la gran escarpa de falla del deslizamiento ubicado al suroeste de Agocucho	90
Foto 10: Deslizamiento medianos asociados a grandes movimiento de masa en Agocucho.....	91
Foto 11: Deslizamiento mayores asociados a un escarpe principal.....	91
Foto 12: Deslizamientos menores combinados con poco aporte de detritos.....	92
Foto 13: A la derecha flujo de detritos y a la izquierda deslizamiento ambos asociados con caída de rocas.....	92
Foto 14: Deslizamientos con algunas caídas de rocas.	92
Foto 15: Vista panorámica de algunos deslizamientos en el área de estudio.	93

Foto 16: A la izquierda caída de rocas y a la derecha flujos detritos.....	93
Foto 17: Caída de rocas areniscosas en la Formación Chimú.....	93
Foto 18: Ala izquierda deslizamientos y a la derecha flujo de detritos al oeste de Agocucho.....	94
Foto 19: Ala derecha movimiento complejo al noroeste de Agocucho. Nótese las rocas, flujos y deslizamiento (a y b). Ala derecha deslizamiento (c).....	94

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

El valle de Cajamarca se formó como consecuencia de una depresión tectónica, en ella se ubica la ciudad de Cajamarca. El crecimiento poblacional hace que la expansión urbana se realice hacia el sector SE de la ciudad de Cajamarca. En esta dirección se ubica la localidad de Agocucho, La Colpa, La Paccha. Estas localidades se ubican muy cerca de la prolongación de la avenida San Martín, que es una de las vías principales de la ciudad de Cajamarca.

No existen trabajos detallados sobre peligros geológicos en estas zonas de expansión urbana, esta carencia genera un problema debido a que la ciudad de Cajamarca crece en forma horizontal precisamente hacia el sector Sur- Este.

Los problemas planteados son ¿cuáles son las zonas más susceptibles a los Movimientos de Masas, en la localidad de Agocucho y alrededores?, ¿qué tipo de Movimientos de Masa predominan? y ¿qué factores geológicos son los condicionantes para los movimientos de masa?

Esta investigación se justifica desde punto de vista científico porque dará un aporte al conocimiento de los peligros geológicos en la zona de Agocucho y sus alrededores. En lo social, porque servirá como un aporte al conocimiento del comportamiento de los terrenos y en donde se realizarán futuras obras de ingeniería.

Este trabajo de investigación se realizó en la localidad de Agocucho y los alrededores abarcando un área total de 30 km².

La hipótesis planteada es que las características litológicas, estructurales, pendientes e hidrogeológicas son los factores más importantes que condicionan la susceptibilidad a los movimientos de masa en la zona de Agocucho y alrededores.

Entre los objetivos planteados están el de Determinar, mediante la confección del mapa de susceptibilidad, las áreas más susceptibles a los Movimientos de Masas, en la localidad de Agocucho y alrededores; determinar el tipo de movimientos de masa que predomina en la localidad; determinar el o los factores geológicos condicionantes para los movimientos de masa en la localidad de Agocucho y Alrededores. y por ultimo confeccionar los mapas factores (litológico, de pendiente, geomorfológico, cobertura vegetal e hidrogeológico).

La distribución de los capítulos siguientes está de la siguiente manera: En el capítulo ii se muestra 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. También hay un capítulo de referencias bibliográficas y de anexos.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

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. El enfoque de las investigaciones más recientes nos muestra la aplicación del método de cartografiado nacional de peligros geológicos y la elaboración de modelos de susceptibilidad con Sistemas de Información Geográfica.

Estudios anteriores en la zona han sido realizados por el 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.

El Gobierno Regional de Cajamarca en el 2010 y 2011 desarrolló el "Estudio Geomorfológico del Departamento de Cajamarca"; donde ha elaborado mapas temáticos del medio físico, entre ellos el mapa Geomorfológico del Departamento de Cajamarca, el cual refleja la distribución espacial de las diferentes formas del relieve actual que existen en el territorio, como resultado de la ocurrencia de diferentes procesos endógenos y exógenos; es decir, permite tener una apreciación

departamental del relieve. El objetivo de dicho estudio fue brindar información técnica sobre aspectos geomorfológicos del territorio del Departamento de Cajamarca.

EI INGEMMET, en el 2011 realizó estudios en la región de Cajamarca y en donde concluye que esta región es afectada frecuentemente por inundaciones, huaycos y deslizamientos. Dicho estudio indica que en la ocurrencia de peligros Geológicos 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).

La Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación realizó el Proyecto: “Gestión de Riesgo de Deslizamiento del Ronquillo, Urubamba y Corisorgona - Levantamiento Geofísico de Georadar”. COSUDE– CARE (2008); interpretan al basamento Cretáceo de la zona de Ronquillo y alrededores. Determinando los espesores de los materiales no consolidados del orden de 8 a 25 m y ángulos de arrastre de 45° a más; por ende lo consideran como zonas de alto riesgo de deslizamientos.

Lagos A. (2015) realiza un estudio en la localidad de Urubamba donde incorpora por primera vez el Mapa Factor Tectónico y demuestra que funciona perfectamente en el análisis de Movimientos de Masa (MM). De esta manera se suman a seis (6) los mapas factores a analizar. Con este nuevo tipo de análisis de MM, este autor, determinó que la zona de mayor susceptibilidad a los MM está ubicada en el sector Sur- Este, coincidiendo con la ubicación de la terminación periclinal del sinclinal Urubamba en donde se concentran gran cantidad de fallas y fracturas.

Ochoa M. (2010) Peligros Geológicos en la cuenca alta del Rímac entre Ticlio y Matucana, en este estudio determina cualitativa y cuantitativamente los peligros geológicos existentes en las localidades de Ticlio y Matucana. Concluye que el entorno geográfico de montañas y valles de fuertes 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. Para las categorizaciones de susceptibilidad aplicó métodos de evaluación (Heurísticos y probabilísticos), esto debido que ambos métodos son manejables con los sistemas de información geográfica; y para ambos mapas de susceptibilidad heurísticos y probabilísticos, las zonificaciones de propensión y/o probabilidad de ocurrencia espacial de peligros geológicos nos muestran susceptibilidades muy bajas a bajas que representan el 20% de la superficie total desarrollado en zonas de cumbre altioplánicas de baja pendiente y para susceptibilidades media a muy alta, en un total del 80%, zonificado a lo largo de las laderas y fondo de valle del río Rímac.

Según Carrara et al. (2008), 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; asumiéndose que los factores que causaron roturas en una región específica son similares a los que podrían generar deslizamientos en el futuro.

La predicción de áreas potenciales de rotura presenta una gran incertidumbre debido a los pocos datos disponibles y las deficiencias de los modelos de susceptibilidad (Zezere 2002); por lo que es necesario, el desarrollo de metodologías rápidas y fiables que permitan una primera

aproximación y delimitación de las áreas más susceptibles; las cuales deben ser, en la medida posible, suficientemente generalizables para su aplicación a otras zonas semejantes con una mínima adaptación.

Hartlen y Viberg (1996), definen que en 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.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. 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.

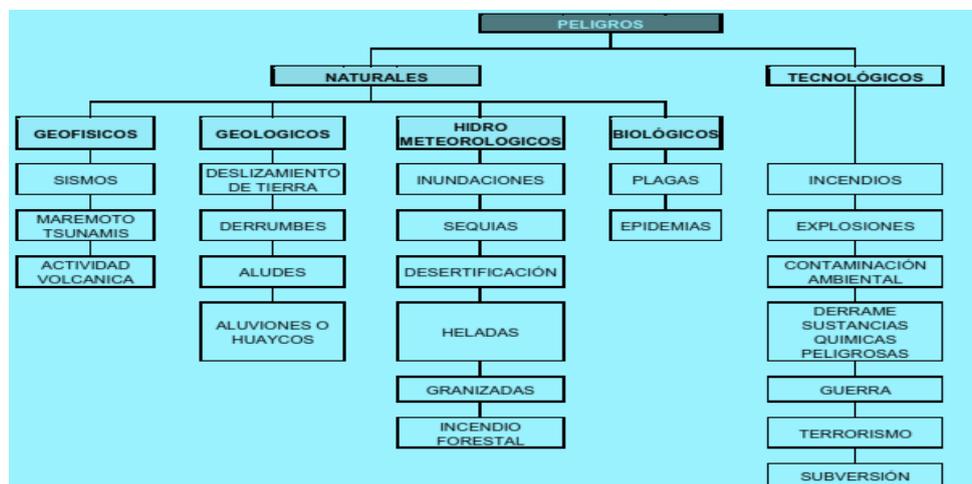


Figura 1: Tipos de Peligros.

Fuente: UNESCO.

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 (Fuente: UNESCO 2000). Tabla 2.

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 (Cruden, 1991). Algunos movimientos en masa, como la reptacion 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 (Crozier, 1999, Crozier, 2005). Tabla 1.

En la literatura científica y técnica existen numerosas clasificaciones de los movimientos de ladera. La primera clasificación de amplia aceptación fue la de Sharpe (1938). Con posterioridad aparecieron las de Varnes (1978), Nemcok et al. (1972), Hutchinson (1988), Sassa (1989) y más recientemente, las de Dikau et al. (1996) y Cruden y Varnes (1996).

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 (hazard) y riesgo (risk).

Tabla 1: Clasificación de Peligros Geológicos.

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

Fuente. UNESCO 2000

2.2.2 Peligrosidad

El concepto de amenaza o peligrosidad (*hazard*) corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un proceso, con un nivel de intensidad determinado dentro de cierto período de tiempo y en un área específica. Finalmente el concepto de riesgo (*risk*) se define como las potenciales pérdidas económicas ante la ocurrencia de un determinado fenómeno. Varnes (1984).

La peligrosidad en una ladera es la probabilidad de ocurrencia de una rotura de determinada magnitud. El análisis de la peligrosidad es la confección de mapas de peligrosidad que expresan cartográficamente los resultados de los análisis. El primer paso consiste en la obtención y tratamiento de los parámetros que se van a utilizar (normalmente factores que se relacionan con la estabilidad), para estimar la peligrosidad. En un segundo paso se

estima la contribución relativa de estos factores en la generación de deslizamientos para, finalmente, clasificar el territorio en área con distinto grado de peligro.

Aunque existen diversas técnicas de estimación de la peligrosidad, todas ellas se basan en el principio del actualismo.

2.2.3 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad (V) es el grado de pérdida provocado por la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud determinado sobre un elemento o conjunto de elementos, el impacto del fenómeno sobre un determinado lugar. Abarca desde el uso del territorio hasta la estructura de los edificios y construcciones, y depende estrechamente de la respuesta de la población frente al riesgo. Estos elementos expuestos pueden ser: personas, bienes, propiedades, infraestructuras y servicios que puedan sufrir las consecuencias directas e indirectas.

2.2.4 Susceptibilidad

Se denomina a la predisposición del terreno a la ocurrencia de fenómenos de movimiento en masa y no implica el aspecto temporal del fenómeno. La mayor parte de los estudios de peligrosidad evalúan únicamente la susceptibilidad a la rotura.

La susceptibilidad se define también 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 directamente 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 (precipitación, sismos, etc.). Para la construcción de mapas de susceptibilidad se utilizan los mapas de inventario (áreas que sufren o han sufrido procesos) y mapas de factores condicionantes que favorecen o entorpecen el desarrollo de los procesos.

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, experiencia de los investigadores, etc.

La zonificación de la susceptibilidad y/o amenaza requiere un detallado inventario de los procesos de inestabilidad; el estudio de estos procesos en relación con su marco ambiental; el análisis de los factores de susceptibilidad; la representación espacial de los factores y de los procesos de inestabilidad (Mora y Vahrson, 1993).

Nuevas herramientas como los Sistemas de Información Geográfica y el uso de sensores remotos, agilizan cada vez el tratamiento de la información, permitiendo rápidamente la actualización de la misma. Estudios de susceptibilidad y/o amenaza multitemporal permiten predecir con más confiabilidad las áreas, observando el desarrollo de la inestabilidad en el tiempo y más rapidez en la captura de variables involucradas en los análisis. Las técnicas de zonificación están en desarrollo constante, y cada día surgen nuevos métodos, más precisos y confiables, que pueden ser usados en diversas regiones a un costo razonable. Un mapa ideal de susceptibilidad y/o amenaza por movimientos de masa, debería proveer información sobre la probabilidad de ocurrencia espacial y temporal, tipo, magnitud, velocidad, distancia de recorrido, y límite de regresión de los movimientos de masa en cierta área de interés (Suárez, 1998).

2.2.5 Riesgo

El riesgo es la posibilidad de afectar significativamente las vidas o bienes a causa de un fenómeno dañino que tiene una probabilidad determinada de ocurrir dentro de un período de tiempo dado. La

relación entre amenaza y riesgo se establece por medio de la expresión.

Riesgo= Amenaza x Vulnerabilidad

Riesgo = [Peligrosidad x Vulnerabilidad] – capacidad de respuesta

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.

Factores de amenaza y factores de riesgo: Los factores de amenaza de conformidad con lo anterior son:

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

Y 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.

Medidas y tipos de riesgo

Las medidas que se pueden tomar en casos de movimientos de masas pueden ser de tipo preventivo o correctivo.

Los riesgos asociados a los movimientos de masas pueden denominarse:

- Riesgos evitables, según su origen sea evitable o sus consecuencias anulables.

- Riesgos controlables, según se trate de un evento predecible o un evento cuyos efectos sean atenuables.
- Riesgo incontrolable cuando no se puede predecir o evaluar completamente el riesgo, ni existen soluciones al alcance de la tecnología.
- Riesgos aceptables, cuando se marca una diferencia entre el mayor nivel de riesgo y la máxima previsión.

Las medidas aplicables pueden ser:

- Sistemas de observación y alarmas.
- Reducción de la exposición.
- Reducción de la amenaza.
- Incremento de la resistencia.
- Jerarquización de prioridades.
- Jerarquización de estudios.

Factores que afectan la estabilidad del terreno (FCI)

La distribución espacial y temporal de los movimientos de masa está condicionada por la presencia de diversos factores, propios de la ladera y externos a ella.

Desde el punto de vista físico los deslizamientos se producen como consecuencia de los desequilibrios existentes entre las fuerzas que actúan sobre un volumen del terreno, desestabilizando el mismo. 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).

- 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.

Intensidad

Se expresa en la siguiente fórmula:

$$\text{Intensidad (Susceptibilidad)} = (\text{FC} \times \text{FD})$$

Donde:

FC= Factores condicionantes (geología, geomorfología, hidrogeología, pendiente y actividad humana).

FD= Factores desencadenantes (precipitaciones, sismicidad, actividad humana, y dinámica fluvial).

Suárez (1998), agrupa estos factores en dos grupos:

- Condiciones originales del talud, que determinan la susceptibilidad al deterioro.
- Factores de deterioro, que producen una modificación lenta de las condiciones originales del talud y son capaces de producir movimientos leves.

Causas y factores de la inestabilidad

Las causas de la inestabilidad pueden ser intrínsecas, detonantes y contribuyentes.

Causas intrínsecas. Las causas intrínsecas suelen ser naturales y se relacionan con las aguas subterráneas, con los materiales, con la tectónica, con la topografía abrupta, etc. En la evaluación de la amenaza estas causas pueden configurar los factores de la susceptibilidad del material al movimiento de masa. En las causas

intrínsecas hay que tener en cuenta los siguientes factores inherentes a los materiales:

- Factores relacionados con la composición y fábrica textural (como textura mineral, de diques que destruyen la roca).
- Factores relacionados con el estado de alteración de los materiales o de degradación mecánica.
- Factores relacionados con la actitud estructural, es decir, con la disposición de los materiales los cuales pueden estar orientados, favorable o desfavorablemente.
- Cambios en el estado inicial de los esfuerzos.

Causas detonantes. Las causas detonantes pueden ser naturales como la lluvia, el sismo (evaluado en términos de aceleración de la gravedad) y la erosión, o artificiales como cortes, deforestación, etc. En la evaluación de la amenaza estos se constituyen en factores detonantes.

En los detonantes hay que tener en cuenta los órdenes de las amenazas. Las amenazas de primer orden no son causadas por otras amenazas pero pueden ser detonantes de las de segundo orden. Las de tercer orden son causadas por las de primero o segundo orden. Estas son:

- **Primer orden:** sismos, huracanes, erupciones volcánicas y lluvias.
- **Segundo orden:** deslizamientos, maremotos, inundaciones, sequías.
- **Tercer orden:** aludes, avalanchas, flujos.

Causas contribuyentes. Las causas contribuyentes son similares a las causas detonantes o a las intrínsecas, pero su acción se limita simplemente a la anticipación del evento. Son aquellas que afectan de alguna manera las propiedades intrínsecas del sistema o que agravan el factor detonante del evento. Por ejemplo la remoción del

soporte (natural o artificial), el sobre empinamiento (por acción hídrica), las sobrecargas (construcciones, saturación, deposiciones). En la evaluación de las causas contribuyentes hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- Factores relacionados con la composición de la roca.
- Factores relacionados con la degradabilidad de la roca.
- Factores relacionados con la estructura geológica.
- Factores por ambiente sismotectónico o volcánico.
- Factores antrópicos (sobrecargas, pérdida de soporte, manejo y alteración del drenaje, esfuerzos dinámicos, deforestación, mal uso y manejo del suelo).
- Factores climáticos (variaciones de la temperatura, máximas y mínimas, cantidad de lluvia, intensidad y distribución de las precipitaciones).

Componentes en el manejo de peligros

Los avances en el manejo y monitoreo de los peligros se presentan como fundamentos en los análisis de riesgos propuestos por la UNDRO 1991, referidas a la aplicación de las siguientes actividades:

Descripción de peligros geológicos

Las clasificaciones de movimientos en masa de Varnes (1978) y Hutchinson (1988) son, hoy en día, los sistemas más ampliamente aceptados en el mundo de habla inglesa e hispana. Varnes (1978) emplea como criterio principal en la clasificación, el tipo de movimiento y en segundo lugar, el tipo de material. Así, divide los movimientos en masa en cinco tipos: caídas, vuelcos, deslizamientos, propagaciones y flujos. Además, divide los materiales en dos clases: rocas y suelos, estos últimos subdivididos en detritos y tierra. De esta manera, presenta definiciones para varias posibles combinaciones de tipo de movimiento y material. En

la literatura científica se han propuesto distintas definiciones para referirnos a movimientos en masa (MM), pero la descrita anteriormente es la más aceptada.

2.2.6 Movimientos en Masa (MM):

Según Medina (1991) son los fenómenos geológicos que en su mecanismo involucran la movilización de volúmenes de materiales hacia niveles inferiores, bajo la acción directa de la gravedad. Para Villota (1991), son procesos denudativos relacionados con desplazamientos o transposición más o menos rápida de volúmenes variables de suelo, roca o detritos sobre una pendiente, por incidencia de fuerzas de desplazamiento y agentes geomorfológicos. Suárez (1998) afirma que son procesos geotécnicos activos de los taludes y laderas que corresponden generalmente a movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforma un talud de roca, suelo natural, relleno artificial o una combinación de ellos. Los movimientos ocurren generalmente a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos. Algunos segmentos de la ladera pueden moverse hacia arriba mientras otros lo hacen hacia abajo.

Estos movimientos de masa ocurren sobre una ladera o talud, términos que son usados indistintamente para referirse a una masa de tierra con cierta pendiente. Para Suárez (1998), una ladera o talud natural es una masa de tierra no plana sino con pendiente o cambio de altura significativo que se define como ladera si su conformación tuvo como origen un proceso natural y como talud si se conformó de manera artificial. Para Bloom (1991), los taludes son superficies irregulares que no pueden ser descritos por una simple ecuación matemática.

Una primera aproximación, puede ser la de discriminar los flujos rápidos y los deslizamientos, es decir los fenómenos de transporte de masas y de desplazamiento de masas. El transporte de masas se da en avalanchas, flujos, fenómenos de escurrimiento y deyección de materiales. Los desplazamientos de masas, se dan en fenómenos de reptación, desprendimientos, deslizamientos, subsidencias (cavernas de erosión y disolución) y propagación lateral de materiales.

Clasificación de los Movimientos de masa (MM)

Existe una diversidad de clasificaciones de movimientos de masa. La mayoría de las clasificaciones consideran dos variables básicas: el tipo de movimiento y el tipo de material involucrado. 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.

Según Millán (1998), se pueden complementar las clasificaciones al considerar elementos como: la tasa de movimiento, morfometría de área afectada y depósito resultante, la edad, el grado de alteración de la masa desplazada, las causas, el grado de desarrollo y el estado de actividad.

2.2.7 Parámetros y procesos de inestabilidad

El movimiento de masas ocurre cuando el esfuerzo cortante supera la resistencia al corte del suelo. Esto puede ocurrir al aumentar el esfuerzo cortante (sismos, variaciones morfológicas desfavorables, etc.) o al disminuir la resistencia al corte del suelo (saturación, meteorización, etc.).

Los parámetros que influyen en la inestabilidad de las masas son: El tipo de material (clase de rocas, capa alterada), tipo de cobertura, pendiente (gradiente, forma y longitud de las laderas), condiciones hidrológicas (infiltración, permeabilidad, profundidad del agua subterránea y cantidad de agua). Procesos morfológicos (erosión fluvial e hídrica y movimientos de masa). Parámetros externos (como la distribución de la pluviosidad, es decir, relación intensidad período, la sismicidad y el vulcanismo).

Los procesos que facilitan el movimiento de masas: La gravedad proporciona la energía para el movimiento pendiente abajo de las masas de suelo. No obstante el movimiento se favorece por la acción del agua, por la geometría de los depósitos y por la naturaleza de los materiales. De ahí que los procesos que influyen en la inestabilidad sean:

Resecamiento del suelo. Si el exceso de agua provoca el deslizamiento, también la falta de agua. 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.

Saturación del material con agua. No se promueve el movimiento por lubricación. La tensión superficial de la humedad da cierta cohesión al suelo, pero la fuerte lluvia obliga a la salida del aire de los poros destruyendo la tensión superficial y reduciendo la cohesión de la masa. Simultáneamente, con la saturación del suelo, el agua de los poros entra bajo presión y trata de apartar los

granos individuales y unidades de roca, disminuyendo la fricción interna del material.

Modificaciones por erosión. Porque altera la geometría del depósito, venciendo la pendiente crítica del talud o provocando la pérdida de su pata. También la deposición o sobrecarga de materiales erosionados interviene en la estabilidad de una masa al modificar la pendiente o al generar esfuerzos adicionales en su interior, que alteren la estabilidad de los materiales.

Variaciones del material y otros. Como cambios en la naturaleza del suelo (por meteorización o por alteración natural o artificial de los materiales), esfuerzos dinámicos (sismos, tráfico, etc.), sobrecargas artificiales e intervención del hombre (talas, construcciones, etc.). Tabla 2.

Tabla 2: Procesos de erosión hídrica e inestabilidad

TIPO	ACCIÓN	CONSECUENCIA	MEDIDAS
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)

Factores condicionantes: Denominados así debido a que obedecen a las características propiamente del terreno; además de ellos depende la distribución espacial de los eventos. Se le denomina también factores determinantes. Figura 2

- **Geología:** Es quizás uno de los factores más importantes que predisponen la ocurrencia de deslizamientos. El término geología refiere al tipo o tipos de materiales que conforman una ladera, de acuerdo a esto se puede conocer desde la forma de rotura y tipo de movimiento con que pueda darse un deslizamiento. Es distinto un deslizamiento en suelo que en roca, en arcillas que en arenas, etc. Ahí radica la importancia de este factor, ya que de acuerdo a las características geológicas de los materiales se plantea el análisis para su tratamiento y solución.
- **Geomorfología:** La geomorfología está referida a la forma con que se presentan en el campo las unidades geológicas, y que son el resultado de la acción de agentes erosivos como el agua, viento, hielo, etc.; las cuales moldean el terreno de formas caprichosas como se las encuentra hoy en día. Es así que se pueden presentar cóncavas en el caso de depresiones, convexas en el caso de colinas o planas en el caso de llanuras. Además, según las geoformas es posible reconstruir la evolución de la geodinámica en cualquier área, lo que ocurrió en el pasado ocurrirá en el futuro. Por ejemplo, la probabilidad de que ocurra un movimiento en masa en una ladera escarpada es mayor a la probabilidad de que ocurra en una llanura.
- **Pendiente:** La pendiente viene a ser la relación que guarda la distancia unitaria horizontal con la vertical de la ladera, reflejada en la inclinación de esta. Es así que se puede plantear que a mayor pendiente mayor probabilidad de que ocurra un movimiento de ladera, Tabla 3.

Tabla 3: Clasificación de pendientes

Categorías	Pendiente (°)
Suave	<15°
Moderadamente suave	15°- 30°
Moderadamente escarpado	31°- 45°
Escarpada	46°- 55°
Muy escarpada	>55°

Fuente : Zulfahmi et al, 2002.

- **Cobertura vegetal:** La presencia o ausencia de vegetación sobre una ladera determina de alguna forma la estabilidad de esta, Por ejemplo, funciona para evitar problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales, en caso de árboles de raíz profunda estos le aportan una resistencia cohesiva significativa a los mantos de suelo más superficiales y al mismo tiempo, facilitan el drenaje subterráneo, reduciendo en esta forma la probabilidad de deslizamientos.

Por otra parte, influyen de forma negativa ya que sus raíces a través de la energía mecánica que ejercen sobre el terreno, rompen y abren grietas para apoyarse sobre él, generando superficies de debilidad susceptibles a sufrir roturas profundas, o en tal caso sirven como caminos por donde se infiltra el agua de lluvia hacia estratos más profundos en forma rápida, lo cual desfavorece a la estabilidad de una ladera.

Por otro lado, la ausencia de vegetación, facilita la de erosión de los terrenos, generándose, en caso de que el agente erosivo sea el agua, generando surcos y finalmente cárcavas que socavan e inestabilizan las laderas, sea cual fuese el material.

- Tectónica.** Las rocas han sufrido la acción de los diferentes procesos tectónicos debido a la evolución de la geodinámica interna de la tierra. Los procesos tectónicos tienen diferentes edades e intensidades. Por ejemplo, para el caso del Perú, la Tectónica Brasilida es la más intensa y la más antigua (1500 Millones de años aproximadamente) y que afectó a rocas de esas edades (matamorfismo catatermal y mesotermal incluyendo esquistosidad de flujo y de fractura). Posteriormente se han producido fases tectónicas como la tectónica Caledoniana, Hercínica, Fase Peruana, Incaica y Quechuana. Todas estas afectan a las rocas disminuyendo sensiblemente su resistencia a la erosión y facilitando de esta manera los movimientos de masa (Lagos 2016). Tabla 4.

Tabla 4: Categorías vs el grado de susceptibilidad de las unidades tectónicas

Categorías	Grado de susceptibilidad A los MM
Tectonica leve	Baja
Tectonica Media	Intermedia
Tectonica intensa	Alta
Tectonica muy intensa	Muy alta

Fuente: Lagos (2015)

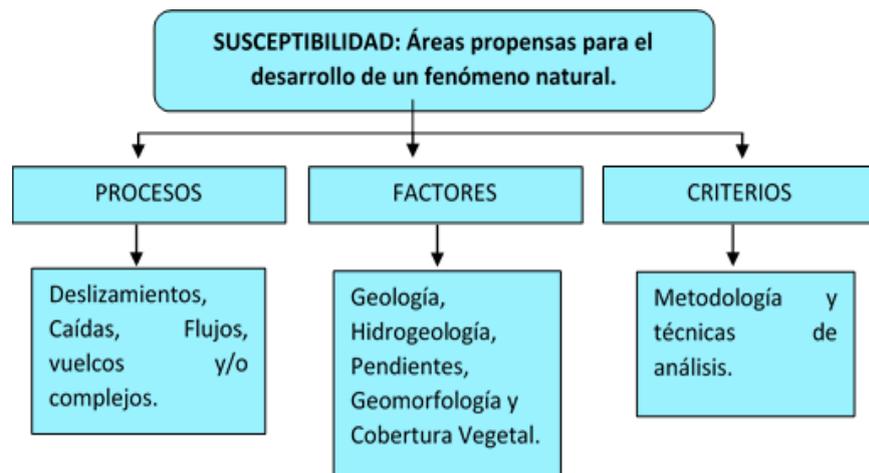


Figura 2: Relación entre los procesos, factores y metodologías y técnicas de análisis.

Factores detonantes

También conocidos como extrínsecos, disparadores o factores externos; dentro de los más importantes abordaremos las precipitaciones pluviales, sismicidad y la actividad antrópica.

- **Precipitación pluvial:** La lluvia es uno de los principales factores que afecta la estabilidad de laderas, muchos deslizamientos ocurren durante o después de los periodos de lluvia, además las áreas donde se registra mayor precipitación anual presentan mayores problemas de estabilidad debido entre otras cosas, a la existencia de caudales de flujo subterráneo y materiales más meteorizados que tienen incidencia en las propiedades geomecánicas del terreno.

El efecto de la infiltración de agua de lluvia en una ladera aumenta la presión de poros de esta e induce a una disminución de la resistencia al cortante, que a su vez puede activar un deslizamiento.

- **Sismicidad:** Después de las precipitaciones pluviales los sismos son los principales desencadenantes de movimientos en masa. Cuando se presenta un sismo se generan fuerzas inerciales dentro de la ladera, las cuales aumentan los esfuerzos cortantes actuantes en la superficie de deslizamiento, lo anterior puede provocar desprendimientos de bloques, deslizamientos, flujos de suelos y avalanchas, dependiendo de las características intrínsecas de la ladera como son su topografía, el tipo y propiedades de las rocas, los suelos de cobertura vegetal, el nivel freático y el tipo de vegetación, además de la magnitud del sismo y de la distancia al epicentro.

2.2.8 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. La propagación de los desprendimientos en laderas con pendientes superiores a los 76° se produce preferentemente por caída libre, por debajo de este ángulo los impactos contra el terreno son frecuentes mientras que en laderas de menos de 45° la propagación se realiza por rodadura y, eventualmente, por deslizamiento.

Las caídas con una trayectoria básicamente vertical de abrigos desarrollados en acantilados por la socavación efectuada por un río, el oleaje o la meteorización y disgregación de las rocas

a su pie son consideradas colapsos (García Yagüe y García Álvarez, 1988).

El material caído, una vez desparramado por la ladera, no suele experimentar nuevos movimientos. Cuando las caídas son frecuentes, los bloques se acumulan al pie de los escarpes rocosos formando canchales que ocasionalmente experimentan roturas y originan corrientes de derrubios. El área fuente de desprendimientos es de difícil acceso. Por este motivo, aunque es posible la sujeción de los bloques en origen, el tratamiento suele consistir en la interposición de obstáculos en el recorrido (pantallas dinámicas, zanjas). En ocasiones, los desprendimientos rocosos son fenómenos precursores de roturas de ladera de grandes proporciones.

En las caídas una masa de cualquier tamaño se desprende de un talud de pendiente fuerte, a lo largo de una superficie, en la cual ocurre ningún o muy poco desplazamiento de corte y desciende principalmente a través del aire por caída libre, a saltos o rodando. (Suárez, 1998).

Respecto al material involucrado, Suárez (1998) dice que las caídas de roca corresponden a bloques de roca relativamente sana. Las caídas de residuos o detritos están compuestas por fragmentos de materiales pétreos y las caídas de tierra corresponden a materiales compuestos de partículas pequeñas de suelo o masas blandas.

Vargas (1999), divide las caídas en tres categorías:

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.

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.

Desplomes: disgregación de una masa litológica, generalmente rocosa y de volumen considerable, que forma un depósito de material grueso en la base.

Vuelco por flexión (flexural toppling): 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 (facies flysch).

Desplome: La parte movida cae con un movimiento brusco de giro, al menos inicial, apoyado en su base externa. Estos movimientos se producen en bordes acantilados rocosos o de materiales areno-arcillosos compactados. Si la ladera es empinada, las roturas por vuelco pueden transformarse en caídas. En formaciones detríticas (terrazas aluviales) y en rocas blandas (arcillitas y limolitas) los desplomes suelen darse en taludes empinados que han sufrido excavaciones rápidas (por ejemplo, en las márgenes cóncavas de los meandros) a favor de grietas de tracción que se desarrollan paralelamente al acantilado. La generación de un mecanismo de vuelco en macizos rocosos es poco frecuente en la naturaleza. 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. La progresión del vuelco hacia la parte alta de la ladera podría conducir a la rotura generalizada de la misma. El desarrollo de un vuelco a gran escala en la ladera puede comportar cambios significativos en la permeabilidad del macizo rocoso tanto en el espacio como en el tiempo. La abertura de grietas puede

facilitar el drenaje del macizo y ayudar a la auto estabilización (Giraud et al. 1990).

2.2.9 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). Tabla 5.

Tabla 5: Tipos de movimientos de masa (MM)

TIPO DE MATERIAL				
TIPO DE MOVIMIENTO DE MASA (MM)		ROCA	SUELOS	
			Predomina material grueso (>50%)	Predomina material fino
Caídas		Caídas de roca	Caída de escombros	Caída de suelo
Deslizamiento	Rotacional	Deslizamiento rotacional de roca	Deslizamiento rotacional. de escombros	Deslizamiento o. Rotacional de tierra
	Traslacional	Deslizamiento traslacional de roca	Deslizamiento traslacional. de escombros	Deslizamiento o traslacional de tierra
Flujos		Flujos de roca	Flujos de escombros	Flujos de lodo
Complejos		Combinación de varios tipos de movimiento		

Fuente: Suarez (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 a la largo de toda la superficie de falla. Los deslizamientos pueden ser de una sola masa que se mueve, o pueden comprender varias unidades o masas semiindependientes (Suárez, 1998).

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

- **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. En materiales arcillosos, especialmente si hay presencia de agua, el pie puede evolucionar hacia un deslizamiento de tierras o colada de tierras. Posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento. El deslizamiento rotacional presenta en su parte superior hundimientos y en su parte inferior se producen flujos de materiales que se acumulan en la pata de la ladera o son transportados (Suárez, 1998). Un deslizamiento rotacional está principalmente asociado con pendientes entre 20 y 40 grados y su relación profundidad-longitud D/L (Depth/Length), es del orden de 0.3 a 0.1. Además ocurren usualmente en suelos homogéneos, sean naturales o artificiales (Suárez, 1998).

- **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 o deslizamientos planos. 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. Las roturas de cuñas no suelen alcanzar grandes dimensiones debido a que la intersección de planos de gran penetración en el macizo rocoso es infrecuente.

Los deslizamientos en los que la masa desplazada se trocea en su movimiento descendente y resulta una acumulación caótica de bloques al pie de la ladera, se denominan *corrimientos* (García 1966). Cuando la rotura por cizalla tiene lugar en suelos no cohesivos constituidos por partículas gruesas, se denominan *deslizamientos de derrubios* (debris slides).

Causas de los deslizamientos

- La ocurrencia de los deslizamientos es consecuencia de un complejo campo de esfuerzos (stress es una fuerza por unidad de área) que está activo en una masa de roca o de suelo en la pendiente. Básicamente, los dos parámetros más determinantes son:
 - Un incremento del stress de corte
 - Una disminución en la resistencia del material

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 continúa de áreas propensas a deslizamientos.
- Incremento de la precipitación regional causada por los cambios de los patrones climáticos

Pérdidas económicas debidas a los deslizamientos

- **Costos Directos:**

Reparación, reemplazo o mantenimiento como resultado de los daños a la propiedad o infraestructura debido a los deslizamientos.

- **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. Los efectos secundarios, inundaciones causadas por los deslizamientos

Clasificación de los deslizamientos

Los siguientes factores pueden ser utilizados para clasificar los deslizamientos:

- Material: Roca, suelo, litología, estructura, propiedades geotécnicas.

- Atributos geomórficos: meteorización, forma de la pendiente.
- Geometría del deslizamiento: profundidad, longitud, altura, etc.
- Tipo de movimiento: Falla, deslizamiento, flujo, etc
- Clima: Tropical, Periglacial etc.
- Humedad: Seco, mojado, saturado
- Velocidad del movimiento: Muy lento, lento, etc.
- Mecanismo de disparo: Terremoto, lluvias, etc.

Clasificación de Varnes (1978)

- Material: yacimiento de roca, debris, tierra
- Movimiento: caída, derrumbe, deslizamiento, flujo, complejo
- Secundario: contenido de agua (seco a mojado)
- Velocidad: (lento a rápido)

Tipos de deslizamientos:

Según la profundidad pueden ser deslizamientos superficiales o profundos. Los deslizamientos superficiales “*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. 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 (Montrasio et al, 2011). Los deslizamientos profundos son

aquellos en el cual la superficie de ruptura es mayor a 1 m de profundidad.

Según el tipo de movimiento los deslizamientos pueden ser:
Progresivo. La superficie de falla se extiende en la misma dirección del movimiento.

Retrogresivo. La superficie de falla se extiende en dirección opuesta al movimiento.

Ampliándose. La superficie de falla se extiende hacia una u otra de las márgenes laterales.

Alargándose. La superficie de falla se alarga agregando continuamente volumen de material desplazado. La superficie de falla puede alargarse en una o más direcciones. El término alargándose puede utilizarse indistintamente con el término progresivo.

Confinado. Se refiere a movimientos que tienen un escarpe visible pero no tienen superficie de falla visible en el pie de la masa desplazada.

Disminuyendo. El volumen de material siendo desplazado, disminuye con el tiempo.

2.2.9.1. Elementos de un deslizamiento

Los deslizamientos poseen los siguientes elementos. Figura 2.

Corona: zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento ladera abajo. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi-paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

Cabeza: parte superior del cuerpo principal de un deslizamiento a lo largo del contacto entre el material desplazado y el escarpe principal.

Cima: punto más alto del contacto entre el material desplazado y el escarpe principal.

Escarpa principal: superficie de pendiente muy fuerte, localizada en el límite del deslizamiento y originada por el material desplazado de la ladera. Si este escarpe se proyecta bajo el material desplazado, se obtiene la superficie de ruptura.

Escarpas secundarias: superficies de pendiente muy fuerte en el material desplazado y producida por el movimiento dentro de este material.

Cuerpo principal: parte del material desplazado que yace sobre la superficie de falla, entre el escarpe principal y el pie de la superficie de falla.

Superficie de falla: o superficie de ruptura o plano de falla, corresponde al plano más débil a lo largo del cual se rompe el material debido a que las fuerzas que actúan sobre él son superiores a la resistencia interna del material a lo largo de ese plano.

Flanco: costado izquierdo o derecho del cuerpo principal de un deslizamiento.

Depresión: volumen de un deslizamiento que está limitado por el escarpe principal, la masa deprimida y la superficie original del terreno.

Pie: porción de material desplazado que descansa ladera abajo desde la punta de la superficie de ruptura.

Dedo: margen del material desplazado más distante del escarpe principal.

Punta: punto sobre el perímetro del pie que se encuentra más alejado de la corona del deslizamiento.

Base: área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

Superficie original del terreno: superficie de la ladera que existía antes de la ocurrencia del deslizamiento.

Zona de acumulación: corresponde al área donde el material desplazado es depositado. Figura 3.

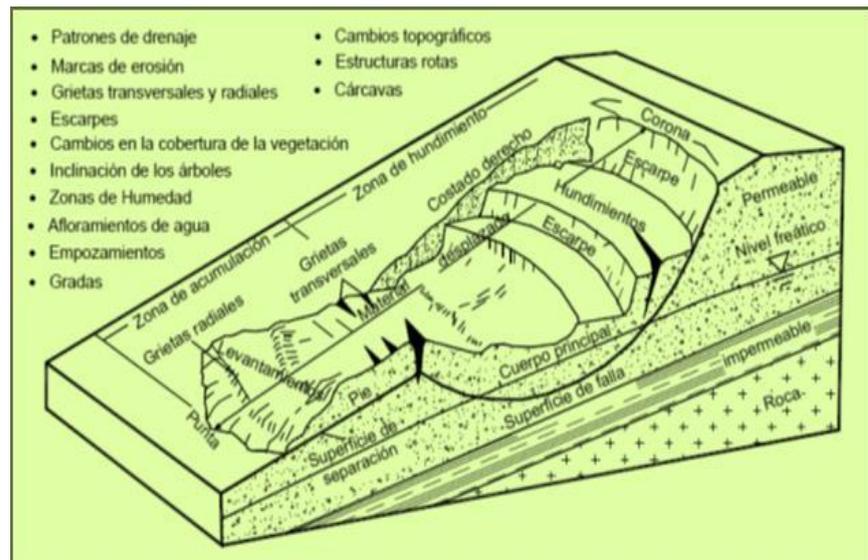


Figura 3: Detalles a analizar en un deslizamiento (Elementos).

Fuente:Suárez (1998)

2.2.9.2. Dimensiones de un deslizamiento

Ancho de la masa desplazada W_d : Ancho máximo de la masa desplazada perpendicularmente a la longitud, L_d .

Ancho de la superficie de falla W_r : Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicularmente a la longitud L_r .

Longitud de la masa deslizada L_d : Distancia mínima entre la punta y la cabeza.

Longitud de la superficie de falla L_r : Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.

Profundidad de la masa desplazada D_d : Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por W_d y L_d .

Profundidad de la superficie de falla Dr: Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por Wr y Lr.

Longitud total L: Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.

Longitud de la línea central Lcl: 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.

2.2.9.3. Tamaño del deslizamiento

En cuanto a la magnitud no hay tamaños estandarizados para la descripción de deslizamientos que pueda proporcionar alguna referencia. La tabla 5 es usada en el presente trabajo de investigación, como guía para describir el tamaño de deslizamientos. Tabla 6.

2.2.9.4. Evidencias de deslizamientos

Tabla 6: Tamaño de deslizamientos por área en planta. Fuente: Conforth, 2005.

Descriptor	Área (pies 2)	Área (m2)
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

Las condiciones de inestabilidad de un sitio 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. Figura 4.

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.

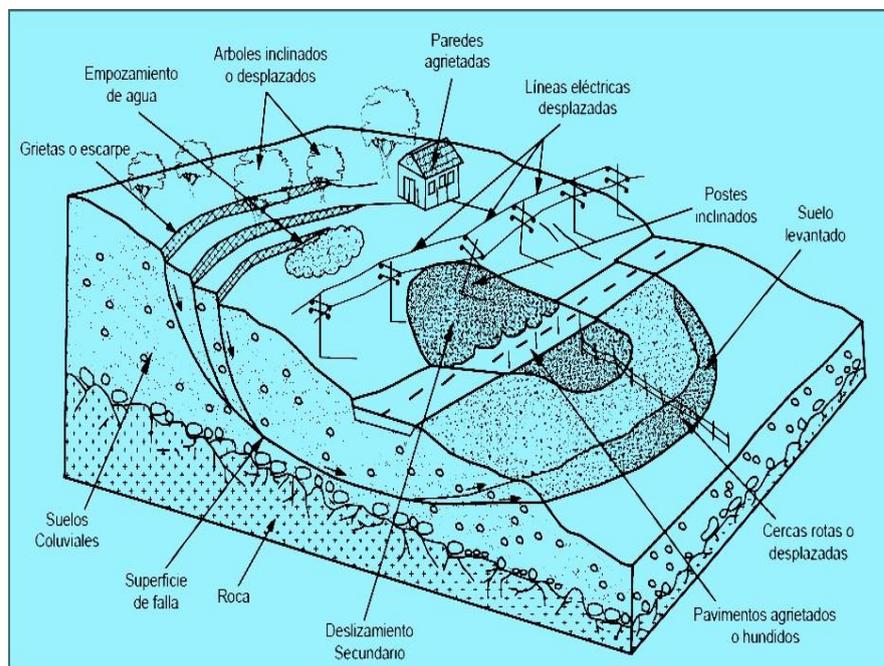


Figura 4: Signos para reconocer un problema de deslizamientos.

Fuente: Suárez, 1998.

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 observaciones (Abramson et al, 2002). Las evidencias más comunes son las siguientes (Figura 10).
Tabla 7.

- 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, lagunas, etc.) 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.
- Desplazamientos o asentamientos en el terreno.

Tabla 7: Detalles que indican actividad o inactividad de deslizamientos (Crozier, 1984)

DESLIZAMIENTO ACTIVO	DESLIZAMIENTO INACTIVO
Escarpes, terrazas y hundimiento con bordes puntiagudos	Escarpes terrazas y hundimiento con bordes redondeados
Grietas sin relleno	Grietas rellenas
Movimiento de masa secundarios sobre las caras de los escarpes	No hay movimiento de masa secundarios sobre las caras de los escarpes
Superficie 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 empozamientos y depresiones	Sistema de drenaje integrado al paisaje
Diques de depositación en el perímetro del deslizamiento	Aparece suelo nuevo u oxidado sobre las superficies de ruptura expuesta
Solo aparece vegetación de rápido crecimiento sobre las áreas de ruptura	Vegetación muy similar dentro y fuera del área deslizada
Vegetación en estado muy diferente dentro y fuera del área de deslizamiento	Arboles curvados torcidos
Arboles inclinados pero no torcidos No aparecen capas secundarias de soporte en los troncos de los arboles	Aparecen capas secundarias de soporte en los troncos de los arboles

2.2.10 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.

Existe una gradación desde los deslizamientos a los flujos dependiendo del contenido de agua, movilidad y evolución del movimiento. Un deslizamiento de derrubios puede convertirse en una corriente o avalancha de derrubios a medida que el material pierde cohesión, incorpora agua y discurre por pendientes más empinadas. En los flujos existen movimientos laterales de las partículas o bloques pequeños dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla (Suárez, 1998).

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 están asociados a la presencia de agua, se subdividen. Figura 5:

- Flujos de roca. Comprenden 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 (Suárez, 1998).
- 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. (Suárez, 1998).
- Flujo de lodo: los materiales transportados son muy finos y el contenido de humedad es muy alto. Suárez caracteriza este movimiento diciendo, “un flujo de lodo posee tres unidades morfológicas: un área de origen que generalmente es un deslizamiento, un camino o canal de flujo y finalmente una zona de acumulación, a semejanza de un abanico de depositación” (Suárez, 1998).

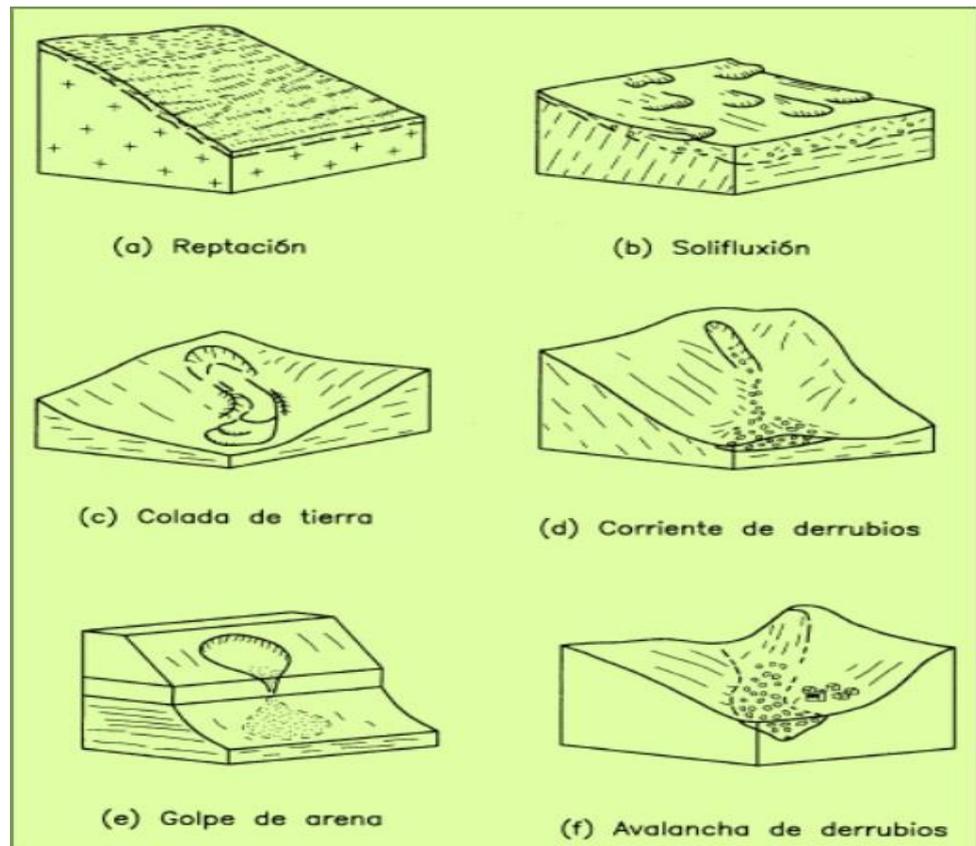


Figura 5: Tipos de movimientos de flujo.

Fuente: Corominas y García (1997)

2.2.11 Movimientos complejos:

Se les denomina complejos, debido a que se producen por una combinación de dos o más de los tipos descritos anteriormente (Suárez, 1998).

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 ser movimientos desde lentos hasta extremadamente lentos (unos pocos centímetros por año) del suelo

subsuperficial, sin una superficie de falla definida (Suárez, 1988).

Keefer (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.

2.2.12 Otros peligros

Coladas de tierra (earth flows): Es la deformación plástica, lenta y no necesariamente muy húmeda, de tierra o rocas blandas (flysch, 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 (mud flows) (Corominas y Alonso, 1984; Ayala et al. 1987). En este caso, adoptan una forma elongada, lobulada en el pie (lengua), formando un volumen positivo sobre la superficie original del terreno. El estiramiento del material y el correspondiente cambio de forma, caracteriza el movimiento como un flujo. En numerosas ocasiones se ha observado que las coladas de tierra y de barro tienen su inicio al pie de deslizamientos. Algunos autores han observado que algunas formas de coladas de barro progresan principalmente por deslizamiento sobre superficies de cizalla con moderada deformación interna (Hutchinson, 1988), en este caso se denominan deslizamiento de tierras (earthslides, mudslides)

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

2.2.13 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.

Percepción remota:

Considerada una de las más importantes de las herramientas para el evaluador. Su uso en los estudios de peligros se han 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 & Vargas (1991); las herramientas principales para la captura de información antes menciona son: las imágenes satelitales de tipo Landsat y fotografías aéreas.

Cartografía:

El soporte cartográfico sirve como marco contenedor de la información recopilada, tanto de fotointerpretación en gabinete y mapeo e inventario en campo. Se reconocen dos tipos de cartografía necesarias para la evaluación de susceptibilidad:

- A. Cartografía base o topográfica: 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.

- B. 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.

2.2.14 Sistema de Información Geográfica (sig):

Funcionan como un sistema implementado en un ordenador que facilita la adquisición, almacenamiento, administración, análisis y visualización de base de datos geográficos; típicamente incluye funcionalidades de interrelación de base de datos, manipulación y procesamiento de datos en el espacio; hechas mediante técnicas de combinación o superposición de mapas.

- A. Elementos componentes para la evaluación: Elaboración y preparación de base de datos; la construcción de una base de datos topográfica implica un proceso de abstracción para pasar de la complejidad del mundo real a una representación simplificada asequible para el lenguaje de los ordenadores actuales.

- B. 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.

Con la aparición de los sistemas de información geográfica (SIG), los modelos se perfeccionaron, ganándose objetividad y tiempo en los procesos de análisis.

Metodologías y técnicas de zonación y cartografía de peligrosidad (Westen et al., 1997), describe las metodologías heurísticas y probabilísticas, las cuales se desarrollarán para el estudio debido a su versatilidad y facilidad de interrelación de base de datos de mapas temáticos.

2.2.15 Método heurístico o empírico.

Son los basados en la experiencia del investigador para clasificar y ponderar la distribución de los factores causantes de la ocurrencia de movimientos de masas. Estos mapas generalmente sirven de base para trabajos de mayor detalle y para delimitar las zonas más peligrosas (**Carrara et al 1995**). Se utiliza para clasificar y ponderar la distribución de los factores causantes de la ocurrencia de movimientos de masas. Sirven de base para trabajos de mayor detalle y para delimitar zonas peligrosas Tabla 8.

2.2.16 Método probabilístico

Este método se basa en el análisis de las relaciones observadas en campo entre cada factor. Una de las desventajas suele ser el alto costo en la adquisición de los datos de campo.

Tabla 8: Comparación del método empírico vs el método probabilístico

Método	Base de Análisis	Forma de análisis	Ventajas	Desventajas
Método Heurístico	Conocimiento a priori de los factores que producen la inestabilidad	Ponderación de factores	Rapidez para ser hecho por un experto	Depende de la experiencia del evaluador
Método Probabilístico	Relaciones observadas entre cada factor	Análisis univariante y multivariante de los factores	La veracidad depende de la calidad de los datos	Costo en adquisición de datos

Fuente: Santacana (2011)

Ponderación: Se efectúa analizando la mayor y menor frecuencia. Para el caso de las unidades litológicas la mayor y menor frecuencia son 26 y 8 respectivamente. La diferencia entre ellos es 18. Como la ponderación va siempre de 1 (mínimo) y 5 (máximo). El valor de 18 es dividido entre 5. Esta división da 3,6. Entonces los 5 intervalos serán respectivamente: (8,0 - 11,6); (11,7- 15,2); (15,3- 18,8); (18,9- 22,4); (22,5- 26,0). Siendo por lo tanto la ponderación: 1, 2, 3, 4, 5 respectivamente.

2.2.17 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 pre establecidas. Tabla 9.

Permite asignar ponderaciones de importancia a los factores condicionantes de la inestabilidad (mapa factor), 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 9 muestra cómo se hallan los pesos obtenidos.

Tabla 9 : Matriz de jerarquías múltiples.

$i \backslash j$	Unidades Litológicas	Pendientes	Unidades Hidrogeológicas	Unidades Geomorfológicas	Uso de suelos
Unidades Litológicas	1	a_{21}	a_{31}	a_{41}	a_{51}
Pendientes	a_{12}	1	a_{32}	a_{42}	a_{52}
Unidades Hidrogeológicas	a_{13}	a_{23}	1	a_{43}	a_{53}
Unidades Geomorfológicas	a_{14}	a_{24}	a_{34}	1	a_{54}
Uso de suelos	a_{15}	a_{25}	a_{35}	a_{45}	1

Fuente: Hayman (1998).

Ejemplo de aplicación. El orden de las seis unidades propuestas por Lagos (2015), que están en la tabla es debido al análisis realizadas en campo en donde se prioriza la importancia de cada unidad analizada con respecto a las otras. Tabla 10

Tabla 10: Matriz de Jerarquías Múltiples con seis unidades geológicas.

	Unidades Geológicas (9)	Unidades Tectónicas (7)	Unidades pendiente (5)	Unidades geomorfológica (5)	Unidades cobertura vegetal (3)	Unidades hidrogeológicas (3)
Unidades geológicas (9)	9/9	9/7	9/5	9/5	9/3	9/3
Unidades tectónicas (7)	7/9	7/7	7/5	7/5	7/3	7/3
Unidades pendiente (5)	5/9	5/7	5/5	7/9	5/3	5/3
Unidades geomorfológicas (5)	5/9	5/7	5/5	5/5	5/3	5/3
Unidades cobertura vegetal (3)	5/9	3/7	3/5	3/5	3/3	3/3
Unidades hidrogeológicas (3)	3/9	3/7	3/5	3/5	3/3	3/3

Fuente: Lagos (2015)

2.2.18 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 11.

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.

$$\text{INTERVALO} = (\text{V}_{\text{máx}} - \text{V}_{\text{mín}}) / \text{N}^{\circ} \text{ de clases}$$

Tabla 11: Categorías de susceptibilidad.

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

Fuente: INGEOMINAS
(2001)

Diagramas estadísticos

A. Histogramas:

Divide el conjunto de datos en una serie de intervalos y representan bajo la forma de barras, las frecuencias o densidad de distribución de una variable respecto a una condición.

B. Normalización de datos:

Con la normalización de datos se procede a ajustar los valores de rangos asignados a los mapas de susceptibilidad calculado con la técnica de densidad de puntos o divarial.

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 áreas o lugares vulnerables a sufrir pérdidas 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.

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

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

La zona de estudio se ubica al Sur Este de la ciudad de Cajamarca, posee un área total de 25 km² aprox. (Figura 6).

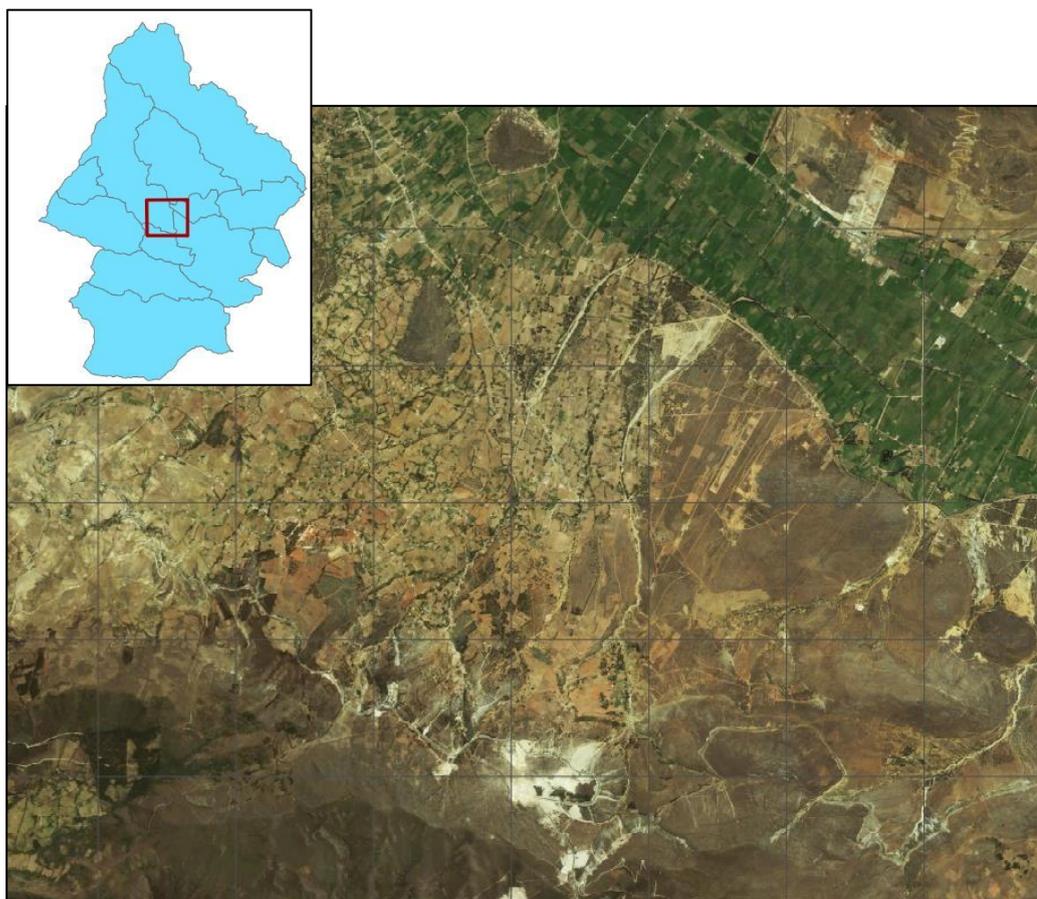


Figura 6: Mapa de ubicación del área de estudio

3.2. ACCESIBILIDAD

Al área de estudio se puede llegar por diversas vías. Tabla 12:

Tabla 12: Vías de acceso a la zona de estudio.

TRAMO	TIPO	TIEMPO
Cajamarca- Agocucho	Afirmado	50 minutos
Cajamarca- La Colpa	Afirmado	40 minutos
Cajamarca – La Paccha	Herradura	30 minutos

3.3. CLIMA Y VEGETACIÓN

3.3.1. Clima

Las precipitaciones están conformadas por las aguas meteóricas tanto en forma líquida como sólida. Por su intensidad se identifica en:

Clima húmedo – templado, presentando una temperatura media anual de 14°C. Esta zona de la ciudad de Cajamarca se caracteriza por presentar 3 periodos de precipitaciones: Uno lluvioso en los meses de diciembre-marzo, otro intermedio entre los meses de abril, septiembre, octubre y noviembre y uno seco en los meses de mayo- agosto. (Figura 7).

- Ligera.....menor a 2.5 mm.³/hora.
- Moderada..... de 2.5 a 7.6 mm.³/hora.
- Fuerte.....mayor a 7.6 mm.³/hora.

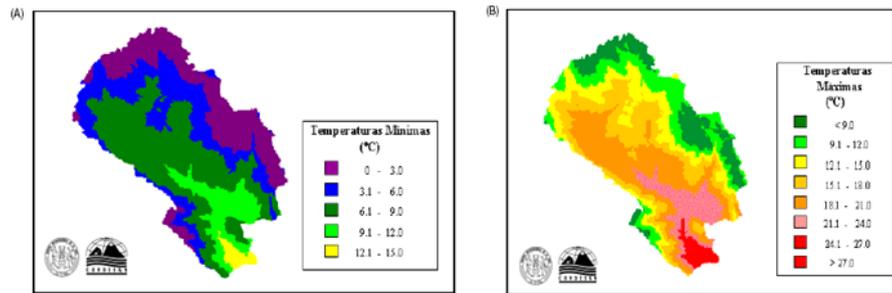


Figura 7: Precipitación anual para varios años en Cajamarca (Weberbauer).

Fuente SENAMHI

La campiña de Cajamarca posee un clima muy variado caracterizado por su extremo cambio diurno y sus contrastes estacionales. En general podemos decir que el clima es frío y relativamente seco en gran parte del año. Las curvas de humedad acusan contrastes bien notorios entre los meses de sequía y los meses lluviosos, descienden desde el mes de agosto y vuelven a ascender en diciembre pero estos ascensos y descensos no son del todo uniforme al transcurso de los años. La temperatura es variable entre los límites promedios de 24° como máximo y de +3° como mínimo para un mismo punto en el mismo Valle. Estos cambios climatológicos contribuyen insensiblemente a modificar el aspecto del paisaje fisiográfico actuando de manera diferente sobre los caracteres físico- químicos de las diferentes rocas La zona pertenece a la región natural denominada “Región Quechua”. La cual presenta climas variados:

3.3.2. Vegetación

Se puede distinguir tres grupos florales pasando desde el fondo de la cuenca que es pantanosa y ascendiendo las caídas de los cerros con escasa vegetación del tipo sub- matorral disperso hasta llegar a la zona de la penillanura de la puna o “jalca” que comienza en la región desde los 3650m.s.n.m y se encuentra cubierta principalmente por una vegetación característica de pajonal de estepa y hierbas entre las que se puede distinguir Calamogroptis fuscata , gramíneas , carex y otras que constituyen parte de la flora descrita por el Profesor Weberbauer(1945), quien al describir la cuenca de Cajamarca dice lo siguiente: ISSAC TAFUR: “La vegetación que predomina en la Cuenca de Cajamarca es claramente periódica, una etapa de gramíneas pobre y baja con pequeños arbustos y subarbustos que crecen dispersos”

La zona de estudio presenta una vegetación conformada por árboles de Pino, graminias, alisos, agabe sp. (Penca), además de vegetación de cultivo como son hortalizas, maíz, tubérculos.

Los más abundantes son los eucaliptos, los cuales son utilizados para la comercialización de madera. Si se encuentra pastos naturales, cactus y arbustos, estos generalmente lo encontramos en la areniscas de las formaciones: Chimú y Farrat; una vegetación menos desarrollada en la formación Carhuaz.



Foto 1: Quebrada Sachamayo genera una gran erosión vertical y que deja al descubierto el relleno de gran espesor y que abarca gran parte de la zona de estudio.

3.4. GEOMORFOLOGÍA Y FISIOGRAFÍA

Las formas geográficas del área de estudio corresponden a la Cordillera Occidental cuya topografía esta disectada por quebradas y ríos. Posee alturas que oscilan entre los 2800 y 3350msnm y que correspondería a la región natural denominada “Quechua”.

La fisiografía está controlada por la falla Regional Agocucho que posee una orientación NOO- SEE

En el área de estudio el principal agente erosivo es el agua proveniente de las precipitaciones pluviales, que luego se escurre superficialmente erosionando y modelando el terreno.

La morfología del terreno en la localidad de Agocucho está claramente controlada por la dureza de las rocas, por ejemplo, las geoformas que exhiben los afloramientos areniscosos son abruptas, de mayor altitud y pendiente, mientras que las constituidas por areniscas finas arcillosas muestran formas y pendientes suaves.

Valle: Esta geoforma abarca un gran porcentaje del área. Se ubica mayormente en el vértice inferior izquierdo del área de estudio. Está controlada por la falla longitudinal Cajamarca y fallas paralelas secundarias generado colapsos tectónico formando graben. Parte de la ciudad de Cajamarca está asentada sobre esta unidad geomorfológica.



Foto 2: Plaza de Armas de Agocucho. Se observa la Iglesia Santiago Apóstol.

(Figura 9).

Relieve Montañoso

Esta superficie de erosión se ha formado sobre rocas de la Fm. Farrat compuesta por areniscas cuarzosas con cemento silicio que le proporciona gran resistencia a la erosión. Forma montañas escarpadas y agrestes. Figura 10.



Foto 3: Relieve montañoso configurado en rocas areniscosas de la Formación Chimú. Foto tomada mirando al Noroeste de la localidad de

Colinas de pendientes medias y bajas

Esta superficie de erosión se ha formado sobre rocas calcáreas dominadas por las de composiciones arcillosas y areniscosas. Poseen formas bastante suaves, abarcando casi la totalidad del área de estudio. Una peculiaridad es la mayor denudación que ha sufrido el sector SE con respecto al resto del área en donde la erosión continua socavando intensamente rocas del basamento. Esta podría ser una de las consecuencias de la gran susceptibilidad al deslizamiento de esta zona. Figura 11.



Foto 4: Geoformas suaves labradas sobre rocas areniscosas de la Formación Chimú.

3.5 GEOLOGIA REGIONAL

En la zona de estudio existen rocas que poseen edades del cretáceo inferior al reciente.

Las rocas más antiguas son de la Formación Chimú seguida de las Formaciones Santa, Carhuáz, Farrat, Inca y Chúlec.

Los niveles limolíticos y areniscosas de la Formación Carhuáz indican una depositación en un ambiente continental lacustre. La Formación Farrat exhibe unas areniscas de color gris blanquecinas que representan un ambiente continental playero. Recientes estudios de paleocorrientes identificadas en las areniscas de la Formación Farrat indican una dirección de aporte y NNO- SSE para la parte inferior y medio y los *ripless marks* indican direcciones Norte a Sur en la parte superior. Lagos et al. (2010).

Los sedimentos marinos comienzan con el nivel transgresivo de la Formación. Inca, seguida por la Formación Chúlec:

3.5.1 CRETÁCICO INFERIOR

3.5.1.1 Grupo Goyllarisquizga

Formación Chimú (Ki-chi). Esta unidad estratigráfica aflora en la esquina SE del área de estudio formando el núcleo del anticlinal Agocucho. Litológicamente consiste en una alternancia de areniscas cuarzosas con cemento silíceo en estratos delgados a medianos.

Formación Santa (Ki-sa). Esta denominación fue dada por Benavides (1956) en el valle de Santa (Ancash). Su grosor en su localidad típica es aproximadamente de 300. Aflora a modo de una delgada franja. Litológicamente está constituida por areniscas y lutitas gris oscuras. Posee un grosor de 70 m. aprox.

Formación Carhuáz (Ki-ca). Fue descrita por Benavides (1956) en su localidad típica situada en Carhuáz, Callejón de Huaylas. En algunas partes presenta también delgados niveles carbonosos. Al igual que la fm. Santa, aumenta su grosor hacia el Oeste y disminuye hacia el Este. En su localidad típica, se tiene aproximadamente 1550 m., sin embargo más al Norte puede variar entre 200 a 400 m (Bellido, 1970).

Litológicamente está compuesta por niveles delgados de areniscas de grano fino, de variados colores como gris rojizo, gris violáceo, gris verdoso a gris amarillento. En varios lugares muestra una intensa alteración dando como resultados suelos de estos mismos colores.

Formación Farrat (Ki-fa). Su localidad tipo es la hacienda Farrat, donde tiene un grosor de 500 m.

Esta formación conjuntamente con las Formaciones: Carhuáz, Santa y Chimú, pasa hacia el Este a una facies de plataforma que se le denomina como Formación Goyllarisquizga. Su ambiente de depositación es deltaico– fluvial. La flora fósil indica una regresión, la cual debió haberse producido en tiempos del Aptiano.

Litológicamente está compuesta de estratos delgados de areniscas gris blanquecinas y cuya composición química está conformada principalmente de óxido de sílice. En el área de estudio estas rocas generalmente se muestran muy fracturadas como consecuencia de sistemas de fallas.

Formación Inca (ki-in). Fue inicialmente llamada “Capas Rojas” en el año de 1950 por Tafur. Sin embargo la fauna encontrada por Benavides permite asignarle una edad Aptiano superior- Albiano inferior. Su nombre fue posteriormente definido por Benavides en el año 1956 refiriéndose a los afloramientos ubicados al este de los Baños del Inca en la ciudad de Cajamarca.

Formación Chulec (Ki-chu). Esta unidad fue determinada por Mc.Laughlin en el año 1925 y que al igual que en los Andes Centrales, se extiende en la zona norte del Perú sobreyaciendo concordantemente a la Formación Inca e infrayaciendo con la misma relación a la Formación Pariatambo.

Litológicamente esta conforma por estratos gruesos y medianos de calizas y margas de coloración gris

amarillentas. Sus afloramientos abarcan un pequeño porcentaje del área de estudio. Aflorando en el sector NO principalmente.

3.5.2 CUATERNARIO

Depósitos coluviales

Estos depósitos se han generado por la alteración, principalmente, de las rocas areniscosas, poseen coloraciones rojizas. Los fragmentos son subangulosos a angulosos. Estos depósitos se ubican principalmente en los alrededores de la localidad de Agocucho y La Colpa. Figura 12.



Foto 5: Los depósitos coluviales son abundantes en el área de estudio. Foto tomada en la zona de Ronquillo.

Depósitos fluviales

Están conformados por materiales que provienen de las quebradas, estos depósitos forman pequeñas terrazas. Los clastos son mayormente de naturaleza areniscosa.

3.6 PROCEDIMIENTO

Etapa de gabinete I

Recopilación de información bibliográfica. Esta etapa consistió en la revisión de toda la información existente de trabajos realizados sobre el área de estudio.

Etapa de Campo

- Reconocimiento del área de estudio, los diferentes movimientos de masa.
- Para la toma de datos de coordenadas se utilizó GPS tipo Garmin en el sistema PSAD 56.
- Recolección de muestras de rocas sedimentarias para su estudio petrológico.

Etapa de Gabinete II

Los datos de las mediciones de las pendientes de los MM fueron transferidos al programa Excel 2010. Los diferentes mapas factores fueron realizados en el software ARGIS 9.1.

Los datos recolectados en campo de los diversos MM fueron procesados y analizados mediante el método heurístico y el método probabilístico teniendo como unidad de análisis el terreno donde se ubican los MM mediante la elaboración de los seis (6) mapas factores. Figura 13.



Figura 8: Las seis Unidades de análisis para la zona de estudio propuesta por Lagos (2015).

Fuente Lagos (2015)

3.5. DESCRIPCIÓN DE EQUIPO DE MEDICIÓN

Arc Gis: Software GIS para visualizar, crear, manipular y gestionar información geográfica, estos corresponden a lugares, direcciones, posiciones en terreno, áreas urbanas y rurales; regiones y cualquier tipo de ubicaciones en terrenos determinados. Esta información es trabajada de manera sistémica, lo que representa una diferencia sustancial a lo relacionado al trabajo con información planos y mapas.

Microsoft Excel: Es una aplicación para manejar hojas de cálculo.

3.6. TÉCNICAS DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

La Técnica de análisis fue el estadístico para la evaluación de la susceptibilidad de los MM mediante los métodos Heurístico y probabilístico. Los diferentes MM fueron minuciosamente analizados y evaluados.

Las unidades geológicas y sus MM involucrados fueron plasmados en el mapa geológico a escala 1/10000 y en el sistema PSSAD 56. Se generaron mapas factores: litológico, hidrogeológico, de pendiente, cobertura vegetal

3.7. EQUIPOS Y MATERIALES

- Plano topográfico (1/10,000) en coordenadas UTM, en el sistema PSAD56.
- Planos geológicos a escala 1/100000 del área de estudio y zonas Aledañas publicados por el INGEMMET.
- GPS. Navegador tipo Garmin, Picota, Brújulas tipo Brunton, Wincha y flexómetro. (50m).
- Brújula tipo Brunton Azimutal.
- Protactor a escala 1/12500
- Cámara fotográfica digital. Marca Canon
- Laptop

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En el área de estudio se han identificado y analizado por el método heurístico y el probabilístico un total de 10 movimientos de masa (MM) y que han abarcado un total de 4.51 km². Se han medido sus áreas de influencias así como todas sus características tanto: litológicas, tectónica, pendientes, geomorfología, cobertura vegetal e hidrogeológica. A continuación se muestra la tabla 13, 14 y 15 donde se detallan los diferentes tipos de MM analizados.

Tabla 13: Los movimientos de masa analizados en el área de estudio.

N°	NOMBRE	CÓDIGO	AREA (Km ²)	COORDENADAS	
				ESTE	NORTE
1	Deslizamiento (des)	Ago-01	0.9	780897	9200654
2	Deslizamiento (des)	Ago-02	0.8	780711	9200375
3	Deslizamiento (des)	Ago-03	0.65	780868	9200667
4	Deslizamiento (des)	Ago-04	0.59	777880	9199933
5	Caída de rocas(cro)	Ago-07	0.52	780159	9199328
6	Caída de rocas(cro)	Ago-08	0.13	778292	9199799
7	Caída de rocas(cro)	Ago-09	0.21	780019	9198875
8	Flujo de detritos (fde)	Ago-10	0.22	780607	9199956
9	Flujo de detritos (fde)	Ago-11	0.42	778787	9200259
10	Movimiento Complejos (mco)	Ago-13	0.07	778205	9200247
		TOTAL	4.51		

Tabla 14: Relación de movimientos de masa vs área en Km²

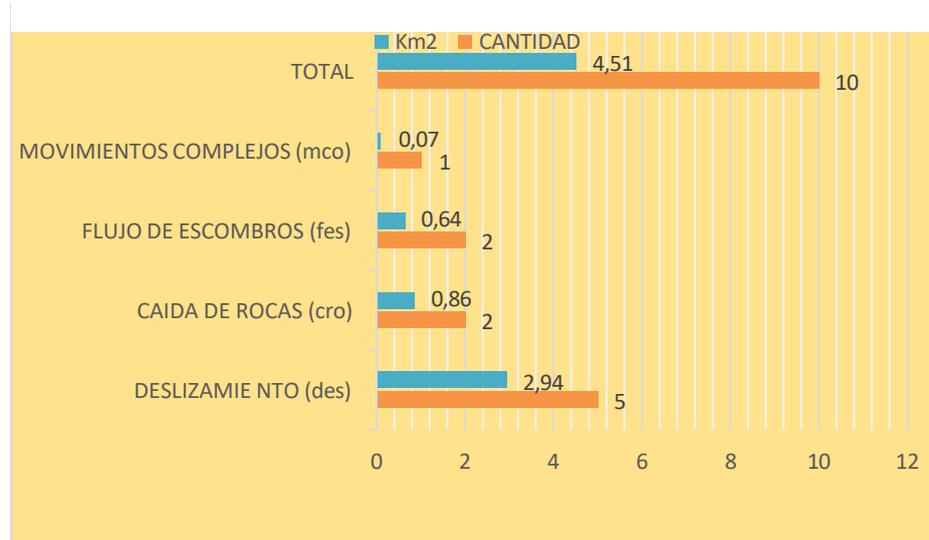


Tabla 15: Representación de los Movimientos de Masa vs áreas en Km².

MOVIMIENTO DE MASA	CANTIDAD	Km2
DESLIZAMIENTOS (des)	5	2.94
CAIDA DE ROCAS (cro)	2	0.86
FLUJO DE ESCOMBROS (fes)	2	0.64
MOVIMIENTOS COMPLEJOS (mco)	1	0.07
TOTAL	10	4.51

4.1.1. Método Heurístico

Unidades de pendiente

De los 10 movimientos de masa (MM) identificados 6 se ubican en pendientes entre 41 y 45 grados y mayores a 45°, siendo los de menor frecuencia aquellos MM ubicados en pendientes entre 6 y 30 grados estando estos en cantidades de 1 y 2 respectivamente.

Tabla 16 y figura 14. Las altas pendientes están predominantemente en afloramientos rocosos de la Formación Chimú.

Tabla 16: Ponderación de unidades de pendiente

UNIDAD	OCURRENCIAS	PONDERACIÓN	CATEGORIZACIÓN
< 6°	1	1	Muy Baja
6-15°	1	1	Muy Baja
16-30°	2	3	Media
31-45°	3	5	Muy alta
> 45°	3	5	Muy alta
Total	10		

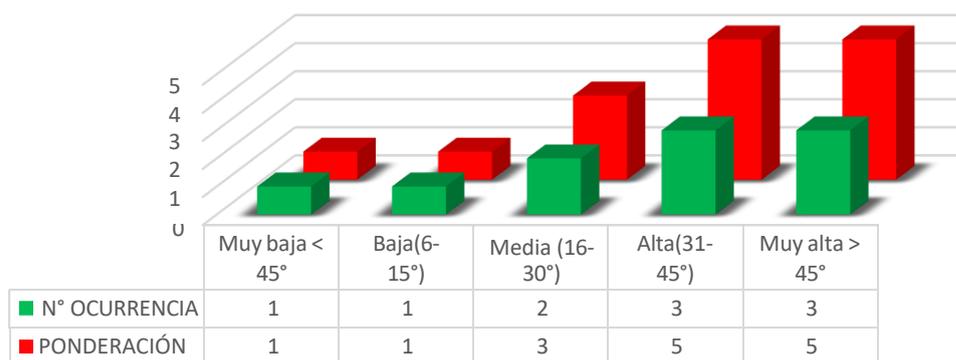


Figura 9: Ocurrencia y ponderación de unidades de pendientes

Unidades litológicas

Dentro de los MM analizados, estos se encuentran mayormente en rocas areniscas lutáceas y limoarcillitas rojizas y anaranjadas muy intemperizadas pertenecientes a la Formación Chimú Santa y Carhuaz. Las areniscas muestran esta coloración rojiza debido a la oxidación (limonita y hematita). Tabla 17 y figura 15.

Tabla 17: Ponderación de unidades litológicas

TIPOS DE LITOLOGÍA	N° OCURRENCIA	PONDERACIÓN
Depósitos coluviales fluvio aluviales	1	1
Areniscas cuarzosas	2	3
Arenisca lutáceas	3	5
Limoarcillitas rojizas	3	5
Total	10	

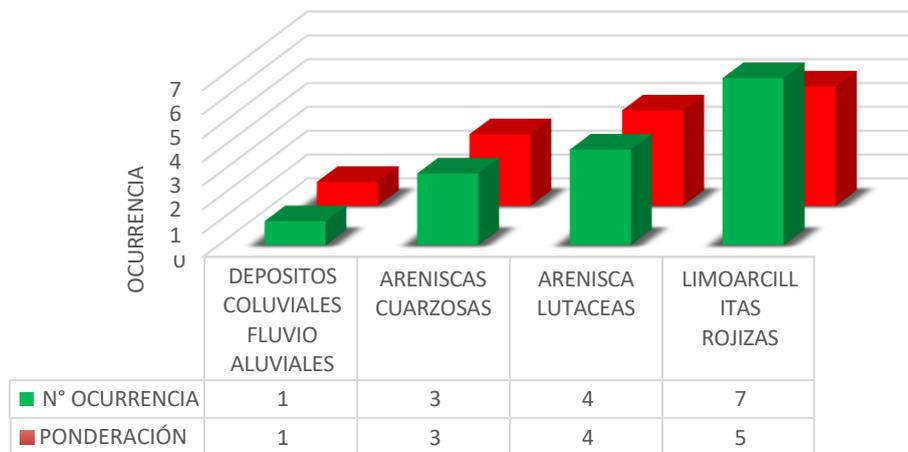


Figura 10: Ocurrencia y ponderación de unidades litológicas.

Unidades tectónicas

Dentro de los MM analizados, estos se encuentran mayormente en rocas que han sufrido mayor tectonismo esto es debido a dos causas: por un lado a la presencia de la falla Agocucho que es de carácter regional y que ha generado un fracturamiento secundario muy intenso y por el otro a la presencia del núcleo del Anticlinal La Colpa y que a su vez genera más aún el fracturamiento . Tabla 18 y figura 16.

Tabla 18: Ponderación de unidades tectónicas de Lagos (2015)

TIPOS DE TECTONISMO	N° OCURRENCIA	PONDERACIÓN
Tectónica leve	1	1
Tectónica media	2	3
Tectónica intensa	3	4
Tectónica muy intensa	4	5

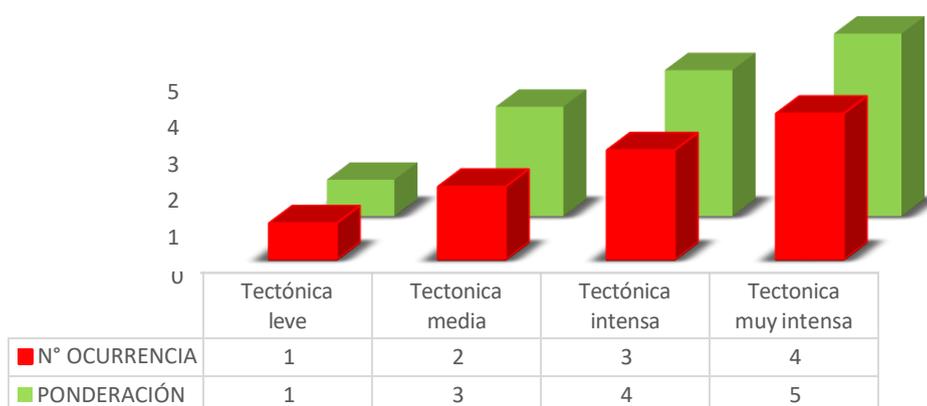


Figura 11: Ocurrencia y Ponderación de unidades tectónicas propuesta por Lagos en el 2015.

Unidades hidrogeológicas

Dentro de los MM analizados, estos se encuentran mayormente en rocas areniscosas muy porosas y que están intensamente fracturadas considerándose a estas como acuíferos sedimentarios fracturados y a las limoarcillitas como acuitardo sedimentario. Tabla 19 y figura 17.

Tabla 19: Ponderación de unidades hidrogeológicas

UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	N° OCURRENCIA	PONDERACIÓN
Acuífero poroso inconsolidado	1	1
Acuífero poroso intacto	2	2
Acuífero sedimentario fracturado	3	4
Acuitardo sedimentario	4	5
Total	10	

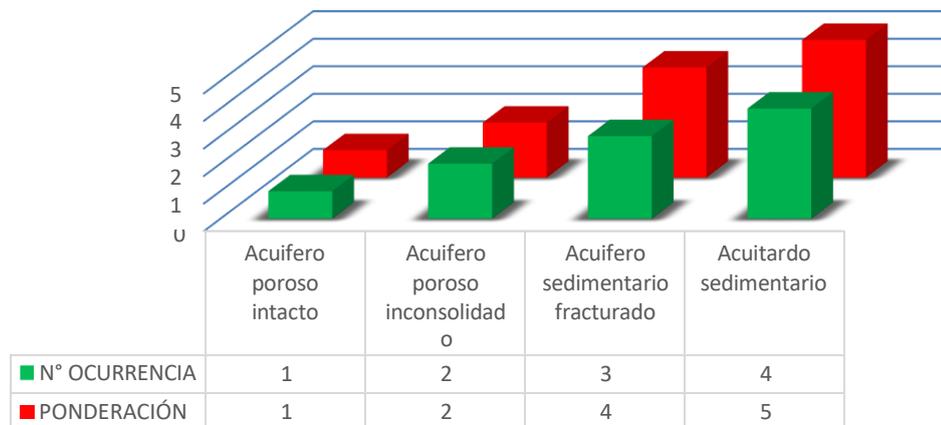


Figura 12: Ocurrencia y ponderación de unidades hidrogeológicas

Unidades geomorfológicas

Dentro de los MM analizados, estos se encuentran mayormente en unidades geomorfológicas de montañas y del anticlinal Agocucho y que están configuradas en rocas areniscosas y limoarcillíticas de las Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat. Los MM están ubicados dentro del Flanco Este del Anticlinal La Colpa. Tabla 20 y figura 18.

Tabla 20: Ponderación de unidades geomorfológicas

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	N° OCURRENCIA	PONDERACIÓN
Valles y quebradas	1	1
Colinas	2	3
Montañas	3	4
Anticlinal La Colpa	4	5
Total	10	

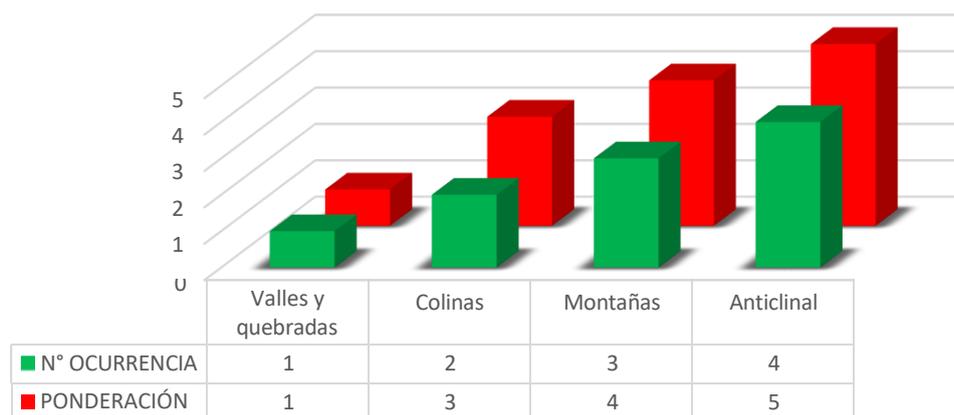


Figura 13: Ocurrencia y ponderación de unidades geomorfológicas

Unidades de cobertura vegetal

Dentro de los MM analizados, estos se encuentran mayormente en zonas de pobre cobertura vegetal y también en zonas urbana con infraestructura. Esto mayormente porque esta zona al ser de litología mayormente areniscosa con abundante oxidación ha impedido el crecimiento de una frondosa vegetación. La zona urbana de Agocucho se ha enclavado sobre esta misma zona poco densa en vegetación. Tabla 21 y figura 19.

Tabla 21: Ponderación de unidades de cobertura vegetal

COBERTURA VEGETAL	N° OCURRENCIA	PONDERACIÓN
Cultivos y bosques reforestados	1	1
Pastos naturales	2	2
Pobre cobertura estacional	4	5
Zona Urbana con infraestructura	3	3
Total	10	

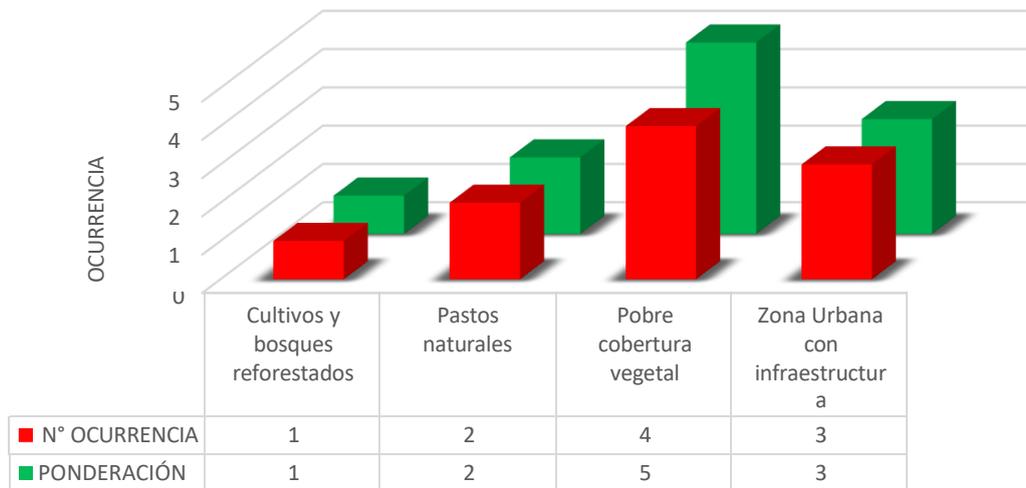


Figura 14: Ocurrencia y ponderación de unidades de cobertura vegetal.

4.1.2. Método Probabilístico

Cálculo de la susceptibilidad de las unidades litológicas a los MM.

La mayor cantidad de MM se ubican en areniscas rojizas, y areniscas cuarzosas y poseen una normalización de 16,36, indicando una mayor susceptibilidad a los movimientos de masa respecto a las otras litologías (Tabla 22).

Cálculo de la susceptibilidad de las unidades de cobertura vegetal a los MM.

La mayor cantidad de MM se ubican en áreas con pobre cobertura vegetal y pastos naturales, con una normalización de 16,10, indicando una mayor susceptibilidad a los movimientos de masa respecto a las otras unidades de cobertura vegetal (Tabla 23).

Cálculo de la susceptibilidad de las unidades Geomorfológicas a los MM.

La mayor cantidad de MM se ubican en montañas y Anticlinal Agocucho con una normalización de 16,13, indicando una mayor

susceptibilidad a los movimientos de masa respecto a las otras unidades geomorfológicas (Tabla 24).

Cálculo de la susceptibilidad de las unidades de pendientes a los MM.

La mayor cantidad de MM se ubican en zonas de pendientes altas a muy altas con una normalización de 16,04 y 16.09, indicando una mayor susceptibilidad a los movimientos de masa respecto a las otras unidades de pendientes (Tabla 25).

Cálculo de la susceptibilidad de las unidades tectónicas a los MM.

La mayor cantidad de MM se ubican en zonas de con alta concentración de fracturas con una normalización de 15.98 y 16.01, indicando una mayor susceptibilidad a los movimientos de masa respecto a las otras unidades tectónicas (Tabla 26).

Cálculo de la susceptibilidad de las unidades hidrogeológicas a los MM.

La mayor cantidad de MM se ubican en zonas de acuíferos sedimentarios fracturados con una normalización de 16.29, indicando una mayor susceptibilidad a los movimientos de masa respecto a las otras unidades hidrogeológicas (Tabla 27).

Tabla 22: Categorización de las unidades de Cobertura vegetal

1	2	3	4	Movimiento de Masa				Peso de las unidades a movimientos de masa				Categorización y Normalización de datos			
				Des	Cro	Fld	Mco	9	10	11	12	W= $\sum(10+11+\dots+12)$	ln(W*100000)	Valor	Categoría
				5	6	7	8								
CÓDIGO	UNIDAD	Nº. Ocurrencias	UCP (Km ²)	Tipo 1 (Km ²)	Tipo 2 (Km ²)	Tipo 3 (Km ²)	Tipo 4 (Km ²)	5/4 *100	6/4 *100	7/4 *100	8/4 *100				
I-cbr	Cultivos y bosques reforestados	1	0.24	0.02	0.05	0.08	0.01	8.33	20.83	33.33	4.17	66.67	15.71	1	Baja
II-pna	Pastos naturales	2	0.30	0.10	0.08	0.09	0.02	33.33	26.67	30.00	6.67	96.67	16.08	4	Alta
III-pcv	Pobre cobertura vegetal	4	2.82	1.06	0.97	0.22	0.51	37.59	34.40	7.80	18.09	97.87	16.10	5	Muy alta
IV- zui	Zona Urbana con infraestructura	3	1.15	0.15	0.55	0.15	0.2	13.0	47.83	13.04	17.39	91.30	16.03	3	Regular
TOTAL		10	4.51												

Tabla 23: Categorización de las unidades Geomorfológicas

1 CÓDIGO	2 UNIDAD	3 N°. Ocurrencias	4 UCP (Km ²)	Movimiento de Masa				Peso de las unidades a movimientos de masa				Categorización y Normalización de datos			
				Des	Cro	Fld	Mco	9	10	11	12	W= $\sum(10+1+...+12)$	ln(W*100000)	Valor	Categoría
				5 Tipo 1 (Km ²)	6 Tipo 2 (Km ²)	7 Tipo 3 (Km ²)	8 Tipo 4 (Km ²)	5/4 *100	6/4 *100	7/4 *100	8/4 *100				
I-vq	valles y quebrada	1	0.28	0.02	0.05	0.02	0.01	7.14	17.86	7.14	3.57	35.71	15.09	1	Baja
II-co	Colinas	2	0.99	0.15	0.27	0.11	0.09	15.15	27.27	11.11	9.09	62.63	15.65	3	Alta
III-mo	Montaña	4	2.12	1.06	0.93	0.07	0.09	50.00	43.87	3.30	4.25	101.42	16.13	5	Muy alta
IV-an	Anticlinal	3	1.12	0.21	0.24	0.10	0.13	18.75	21.43	8.93	11.61	60.71	15.62	4	Regular
TOTAL		10	4.51												

Tabla 24: Categorización de las unidades Litológicas

1 CÓDIGO	2 UNIDAD	3 Nº. Ocurrencias	4 UCP (Km ²)	Movimiento de Masa				Peso de las unidades a movimientos de masa				Categorización y normalización de datos			
				Des	Cro	Fld	Mco	9	10	11	12				
				5	6	7	8	5/4 *100	6/4 *100	7/4 *100	8/4 *100	$W = \sum(10 + 11 + \dots + 12)$	$\ln(W * 10000)$	Valor	Categoría
Tipo 1 (Km ²)	Tipo 2 (Km ²)	Tipo 3 (Km ²)	Tipo 4 (Km ²)												
I-Cofl	Depósitos Coluviales Fluvioaluviales	1	0.31	0.01	0.03	0.07	0.08	3.23	9.68	22.581	25.81	61.29	15.63	1	Baja
II-Ac	Areniscas cuarzosas	2	0.99	0.20	0.50	0.10	0.40	20.20	50.51	10.10	40.40	121.21	16.31	4	Alta
III-AI	areniscas lutaceas	3	1.45	0.89	0.49	0.05	0.42	61.38	33.79	3.45	28.96	127.59	16.36	5	Muy alta
IV-Lr	limoarcillitas rojizas	4	1.76	0.20	0.70	0.10	0.12	11.36	39.77	5.68	6.82	63.64	15.67	3	Regular
TOTAL		10	4.51												

Tabla 25: Categorización de las unidades de pendientes

1 CÓDIGO	2 UNIDAD	3 N°. Ocurrencias	4 UCP (Km2)	Movimiento de Masa				Peso de las unidades a Movimientos de Masa				Categorización y normalización de datos			
				Des	Cro	Fes	Mco	9	10	11	12	W= $\sum(10+11+\dots+12)$	ln(W*100000)	Valor	Categoría
				5 Tipo 1 (Km ²)	6 Tipo 2 (Km ²)	7 Tipo 3 (Km ²)	8 Tipo 4 (Km ²)	5/4 *100	6/4 *100	7/4 *100	8/4 *100				
I- mb	Muy baja < 15°	1	0.09	0.00	0.02	0.01	0.001	1.11	22.22	11.11	1.11	35.56	15.08	1	Muy Baja
iii- b	Baja (6-15°)	1	0.25	0.02	0.09	0.06	0.04	8.00	36.00	24.00	16.00	84.00	15.94	2	Baja
III- m	Media (16-30°)	2	0.45	0.05	0.09	0.15	0.09	11.11	20.00	33.33	20.00	84.44	15.95	3	Media
IV- a	Alta (31-45°)	2	1.76	0.67	0.30	0.37	0.29	38.07	17.05	21.02	16.48	92.61	16.04	4	Alta
V- ma	Muy alta (> 45°)	4	1.96	0.71	0.41	0.45	0.34	36.22	20.92	22.96	17.35	97.45	16.09	5	Muy alta
TOTAL		10	4.51												

Tabla 26: Categorización de las unidades tectónicas

1 CÓDIGO	2 UNIDAD	3 N° Ocurrencias	4 UCP (Km ²)	Movimiento de Masa				Peso de las unidades a Movimientos de Masa				Categorización y normalización de datos			
				Des	Cro	Fes	Mco	9	10	11	12				
				5 Tipo 1 (Km ²)	6 Tipo 2 (Km ²)	7 Tipo 3 (Km ²)	8 Tipo 4 (Km ²)	5/4 *100	6/4 *100	7/4 *100	8/4 *100	W=Σ(10+ 11++12)	ln(W*10 0000)	Valo r	Catego ría
T-l	Tectonismo leve	1	0.18	0.02	0.02	0.03	0.001	11.67	11.11	16.67	0.56	40.00	15.20	1	Baja
T-m	Tectonismo medio	1	0.98	0.14	0.13	0.10	0.25	14.29	13.27	10.20	25.51	63.27	15.66	3	Media
T-i	tectonismo intenso	3	1.47	0.56	0.21	0.18	0.22	38.10	14.29	12.24	14.97	79.59	15.89	4	Alta
T-mi	Tectonismo muy intenso	5	1.88	0.65	0.43	0.35	0.26	34.57	22.87	18.62	13.83	89.89	16.01	5	Muy alta
TOTAL		10	4.51												

Fuente Lagos (2015)

Tabla 27: Categorización de las unidades hidrogeológicas

1 CÓDIGO	2 UNIDAD	3 Nº. Ocurrencias	4 UCP (km ²)	Movimiento de Masa				Peso de las unidades a movimientos de masa				Categorización y normalización de datos			
				Des	Cro	Fld	Mco	9	10	11	12				
				5	6	7	8	5/4 *100	6/4 *100	7/4 *100	8/4 *100	W= $\sum(10+11+\dots+12)$	ln(W*10000)	Valor	Categoría
Tipo 1 (Km ²)	Tipo 2 (Km ²)	Tipo 3 (Km ²)	Tipo 4 (Km ²)												
I-api	Acuífero poroso inconsolidado	1	0.15	0.02	0.05	0.02	0.01	13.33	33.33	13.33	6.67	66.67	15.71	1	Baja
II-asi	Acuífero sed. Intacto	2	1.05	0.30	0.35	0.28	0.27	28.57	33.33	26.67	25.71	114.29	16.25	4	Alta
III-asf	Acuífero sed. fracturado	4	2.09	0.86	0.76	0.27	0.59	41.15	36.36	12.92	28.23	118.66	16.29	5	Muy alta
IV-as	Acuitardo sedimentario	3	1.22	0.21	0.70	0.10	0.13	17.21	57.38	8.20	10.66	93.44	16.05	3	Regular

4.1.3. Cálculo de los Factores Condicionantes de la Inestabilidad (FCI).

El cálculo de los FCI de Hayman y Lagos (2015) se ha confeccionado teniendo en consideración, mediante la evaluación en campo, la importancia de cada factor con respecto al otro. Es así que se han dado los siguientes valores de importancia: de nueve (9) para la litología; siete (7) para el tectonismo; cinco (5) para la pendiente e hidrogeología y uno (1) para geomorfología y cobertura vegetal respectivamente. Con estos valores se procede a llenar el cuadro siguiendo el procedimiento propuesto por Hayman.

Análisis de la Tabla FCI

Realizando la comparación entre cada par de factores (*pair wise*) se obtiene que los factores condicionantes de la inestabilidad (FCI) son el litológico (31%), tectónico (24%) y pendiente (19%) siendo menos importante el hidrogeológico (17%) el geomorfológico (6%) seguido de cobertura vegetal con 3%. Tabla 28 y figura 20.

Tabla 28: Cálculo de los Factores Condicionantes de la Inestabilidad donde se agrega el factor tectónico de Lagos (2015)

Factores condicionantes de Inestabilidad (FCI)	Litología (9)	Tectonismo (7)	Pendiente (5)	Hidrogeología (5)	Geomorfología (1)	Cobertura vegetal (1)	Σ fila	$(a)\Sigma$ fila/n	$(a)/\Sigma(a)(100)$	PORCENTAJE (%)
Litología (9)	1.00	1.29	1.8	1.8	9	9	23.89	3.98	0.31	31
Tectonismo (7)	0.77	1.00	1.4	1.4	7	7	18.57	3.10	0.24	24
Pendiente (5)	1.8	0.71	1.00	1	5	5	14.51	2.42	0.19	19
Hidrogeología (5)	0.55	0.71	1	1.00	5	5	13.26	2.21	0.17	17
Geomorfología (1)	0.11	0.14	0.2	0.2	1.00	3	4.65	0.78	0.06	6
Cobertura vegetal (1)	0.11	0.14	0.2	0.2	1	1.00	2.65	0.44	0.03	3
Total	4.34	3.99	5.6	5.6	28	30	77.53	12.92	1.00	100

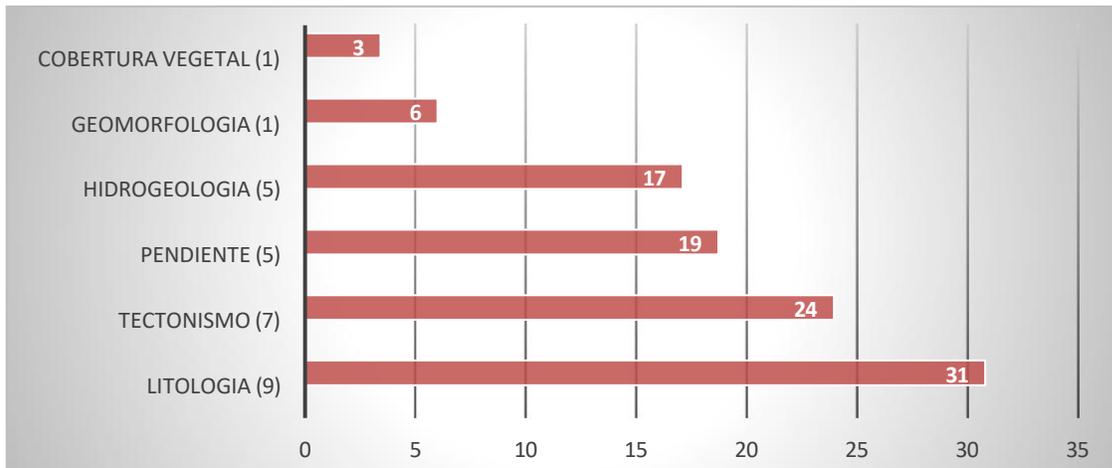


Figura 15: Porcentajes de los MM en la zona de estudio

Fuente Hayman y Lagos (2015)

4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

En este trabajo de investigación se ha determinado que los factores condicionantes de la inestabilidad son principalmente el litológico, el tectónico y la pendiente contrastándose de una manera positiva con la hipótesis planteada. A su vez se determinó que los factores detonantes (temporales) serían un evento de lluvia torrencial y una acción

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se han identificado 10 movimientos de masa que abarcaron un total de 4.51 Km². Los que predominan son los deslizamientos en cantidad de seis (05) que representan un 40% y caída de rocas en una cantidad de cuatro (2) con un porcentaje de 27%, seguidas de flujo de detritos con 20% y movimientos complejos en cantidad de 1 y que representa un 13%.
- Las zonas más propensas a sufrir procesos de movimientos de masa son aquellas que se encuentran ubicadas en la parte Sur Oeste de la localidad de Agocucho. Estos terrenos poseen pendientes pronunciadas de 30 a 40 grados conformadas litológicamente por areniscas arcillosas, muy alteradas por la acción de la meteorización y gran fracturamiento. Se ha determinado que la zona de estudio se ubica en un relleno cuaternario de varios metros de grosor. Los caseríos La Simba, Shingal, Cashaloma, La Iglesia Santiago Apostol están ubicados en estas zonas inestables.
- El grado de inestabilidad de los terrenos está catalogado según esta tesis como de grado media a alto.
- Los factores condicionantes de la inestabilidad (FCI) son principalmente el litológico con 31% seguido de tectónico con 24% y pendiente con 19%. Los

factores condicionantes menos importantes son el hidrogeológico con 17%, geomorfológico con 6% y cobertura vegetal con 3%.

- Los movimientos de masa más frecuente en la zona de estudio son mayormente los deslizamientos seguido de flujos de lodos, caída de rocas.
- La superposición de los seis (6) mapas factores indica una concentración en el lado SE de factores condicionantes de la inestabilidad como son: concentración de mayor cantidad de fracturas, altas pendientes, y rocas areniscosas intensamente oxidadas y alteradas.

RECOMENDACIONES

- A las autoridades, realizar obras de remediación, debido a que la zona de estudio presenta peligros de movimientos de masa (MM).
- A los habitantes de estas zonas que eviten realizar construcciones de sus viviendas en las zonas con pendientes altas debido a que son susceptibles a Movimientos de Masa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, 2008. "Gestión de Riesgos de Deslizamiento del Ronquillo, Urubamba y Corisorgona- Levantamiento Geofísico de Georadar". COSUDE – CARE.

Barredo J. 1996. Sistema de Información Geográfica y evaluación multicriterio. Editorial RA-MA. Madrid, España.

Billings Marland P. 1974, Estructural Geology. Editorial universitaria de Buenos Aires. Rivadavia. Argentina.

Carrara A. 1995. GIS Technology in Mapping landslide Hazard. Kluwe Academic Publishers. London, pág. 135-178.

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.

Hayman B. 1998. Fundamentals of engineering Design. Upper Sadle River, PrenticeHall, 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). Instituto Geológico y Minero de España, pag 169- 180.

Huaripata M. 2013 Tesis profesional: "Modelo Geodinámico de la quebrada Cruz Blanca, microcuenca Cruz Blanca – Los Chilcos.

INGEOMINAS, 2000. Guía Metodológica. Evaluación de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa. 1º edición, Colombia.

IGACC., 2005 Geomorfología aplicada a levantamiento edafológico y zonificación física de tierras. Bogotá- Colombia.

INDECI 2005 Programa de Prevención y Medidas de Mitigación ante Desastres de la Ciudad de los Baños del Inca.

Kosaca R., Gonzales E., Arias H., Minaya A., Ticona, J. 2002 Estudio Geodinámico y Evaluación de los Peligros de las localidades de Callalli y Sibayo.

Lagos A. 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 N° 7. Lima-Perú.

Lagos A. 2015 Modelamiento de la Relación entre los procesos tectónicos y la inestabilidad en los terrenos de la localidad de Urubamba y Tres Ríos. Tesis para obtener el grado Académico de Doctor en Ciencias. Escuela de Post Grado de La Universidad Nacional de Cajamarca. Perú 101 p.

Lagos A. y 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.

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.

Ochoa M. y Lagos A. 2008. Susceptibilidad a los Movimientos en Masa en la Cuenca de Rio Rímac. Sector Ticlio- Matucana. Lima- Perú. XIII Congreso Latinoamericano y XII Congreso Peruano de Geología.

Reyes L. 1980, Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos Y Cajabamba (hojas 15-f, 15-g, 16-g). Editada por el INGEMMET.

UNESCO, 2000 Disaster Reduction. Enviromental and Development BRIEFS.

Vera J. 1994 Estratigrafía. Principio y Métodos. Editorial Rueda.

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

Domínguez M. 2003 Tesis doctoral: Geomorfología e inestabilidad de laderas en la cuenca carbonífera central (Valle de Nalón, Asturias). Análisis de la susceptibilidad ligada a los movimientos superficiales del terreno

Perez 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.

Luque G. 2011 Peligros Geológicos y zonas críticas en el Perú”. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico – INGEMMET - PERÚ

Núñez S. & Medina L. 2008 Riesgos geológicos en la región Ucayali .INGEMMET, Serie C. Geodinámica e Ingeniería Geológica, N°37.

Campo L. 2011 Ocurrencia de aluviones en la subcuenca del Rio Shullcas durante el cuaternario y su relación con los retrocesos de los glaciares de la cordillera Huaytapallana, Región Junín – Perú. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo. Universidad Nacional de Cajamarca- Perú.

Reyes L. 1980 Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba (Boletín 31 - INGEMMET).

Valderrama P. Fidel L., Reginald H., Grosse J. 2008. Geodinámica del Nevado Huascarán, nuevos alcances sobre “el evento Matacoto.” Sociedad Geológica del Perú.

Villacorta S., Vásquez J. y Núñez S. 2011 Inventario de Peligros Geológicos en la Cuenca del Río Chillón, Lima – Perú.

LINKOGRAFIA

- http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos_tecnicos/uso_suelo/evaluacion6.pdf. Visto el 11 de Junio del 2014
- <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea65s/ch16.htm#1>.planificación para el desarrollo. Visto el 20 de Mayo del 2014
- <http://estabilidad-de-taludes7.webnode.es/news/marco-teorico/>.Visto el 07 Mayo del 2014
- <http://historiadehondurasenlinea.blogspot.com/2012/12/de-riesgo-y-vulnerabilidad-1-ii-parte.html>. Visto el 23 de Abril del 2014
- http://www.ugr.es/~agcasco/msecgeol/descargas/desnat_docs/desastres_naturales.pdf. Visto el 10 de Abril del 2014
- <http://carpetademedioambiente.files.wordpress.com/2009/12/apuntes-t7-riesgo-geologicos-externos.pdf>. Visto el 18 de Marzo del 2014
- <http://carpetademedioambiente.files.wordpress.com/2009/12/apuntes-t7-riesgo-geologicos-externos.pdf>. Visto el 15 de Marzo del 2014
- <http://proteccioncivil.guanajuato.gob.mx/atlas/geologico/pdf/informe-xichusep10.pdf> .Visto el 15 de Marzo del 2014

ANEXOS



Foto 6: Flujo de detritos al noroeste de Agocucho.



Foto 7: Caída de Rocas



Foto 8: Flujo de detritos ubicados al suroeste de la Plaza de Agocucho.



Foto 9: Deslizamiento mayor, nótese la gran escarpa de falla del deslizamiento ubicado al suroeste de Agocucho.



Foto 10: Deslizamiento medianos asociados a grandes movimiento de masa en Agocucho.

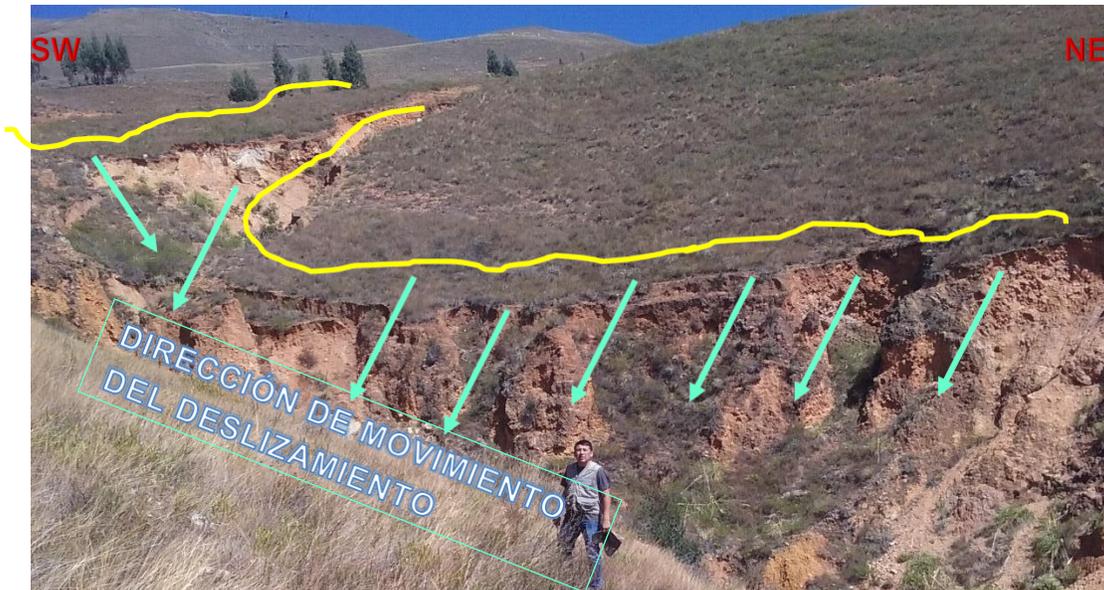


Foto 11: Deslizamiento mayores asociados a un escarpe principal.



Foto 12: Deslizamientos menores combinados con poco aporte de detritos.



Foto 13: A la derecha flujo de detritos y a la izquierda deslizamiento ambos asociados con caída de rocas.



Foto 14: Deslizamientos con algunas caídas de rocas.



Foto 15: Vista panorámica de algunos deslizamientos en el área de estudio.



Foto 16: A la izquierda caída de rocas y a la derecha flujos detritos.



Foto 17: Caída de rocas areniscosas en la Formación Chimú.



Foto 18: Ala izquierda deslizamientos y a la derecha flujo de detritos al oeste de Agocucho.



Foto 19: Ala derecha movimiento complejo al noroeste de Agocucho. Nótese las rocas, flujos y deslizamiento (a y b). Ala derecha deslizamiento (c).

FORMATOS PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA – 01

Tabla 29: Formato de trabajo para datos de los movimientos de masa.

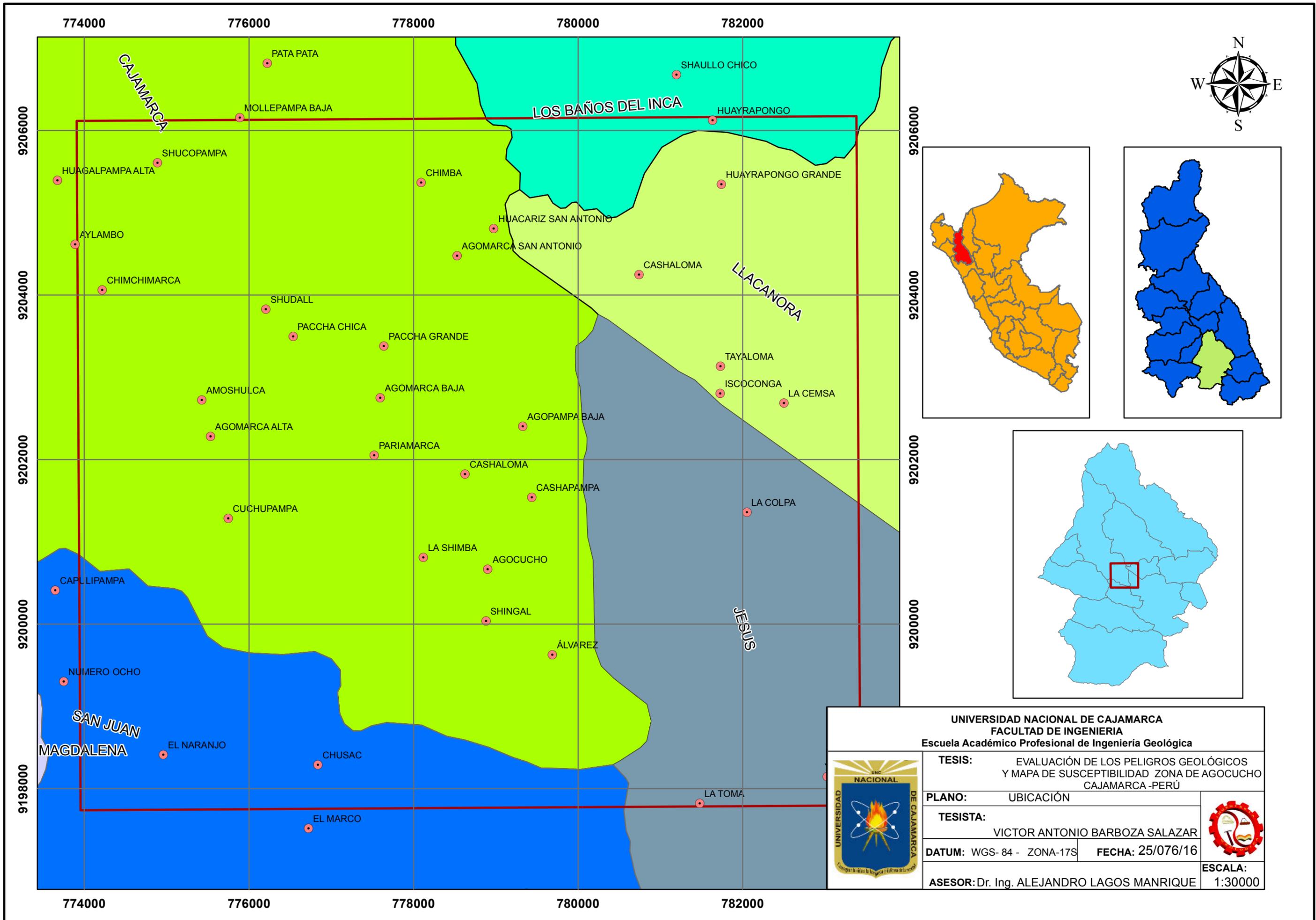
DAÑOS OCASIONADOS () O PROBABLE (X)						
		Camino rural (Km)	X	Vía férrea(Km)		
Viviendas afectadas		Viviendas destruidas		Cultivos o pastizales (has)		
Muertos/ desaparecidos		Heridos		Damnificados		
Canal		Puente		Redes de energía		
Gaseoducto/oleoducto				Patrimonio Natural o cultural		
Otra infraestructura mayor				ESCUELA		
Característica de los daños	Sin daño	Leve	Moderado	Severo		
		X				
CALIFICACION DE RIESGO						
Grado del peligro	Bajo	Medio	Alto	Muy alto		
Vulnerabilidad		X				
Riesgo estimado		Medio				
OTRAS OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES						
Medidas u obras de prevención y/o mitigación realizada		Si	X	No	Cual es	Plantaciones
DESCRIPCION DE LAS MEDIDAS ADOPTADAS: Control del efecto en la carretera.						
RECOMENDACIÓN DE OBRAS DE PREVENCION: Plantaciones de tallo cortos.						

Tabla 30: Formato de los aspectos estructurales y geotécnicos.

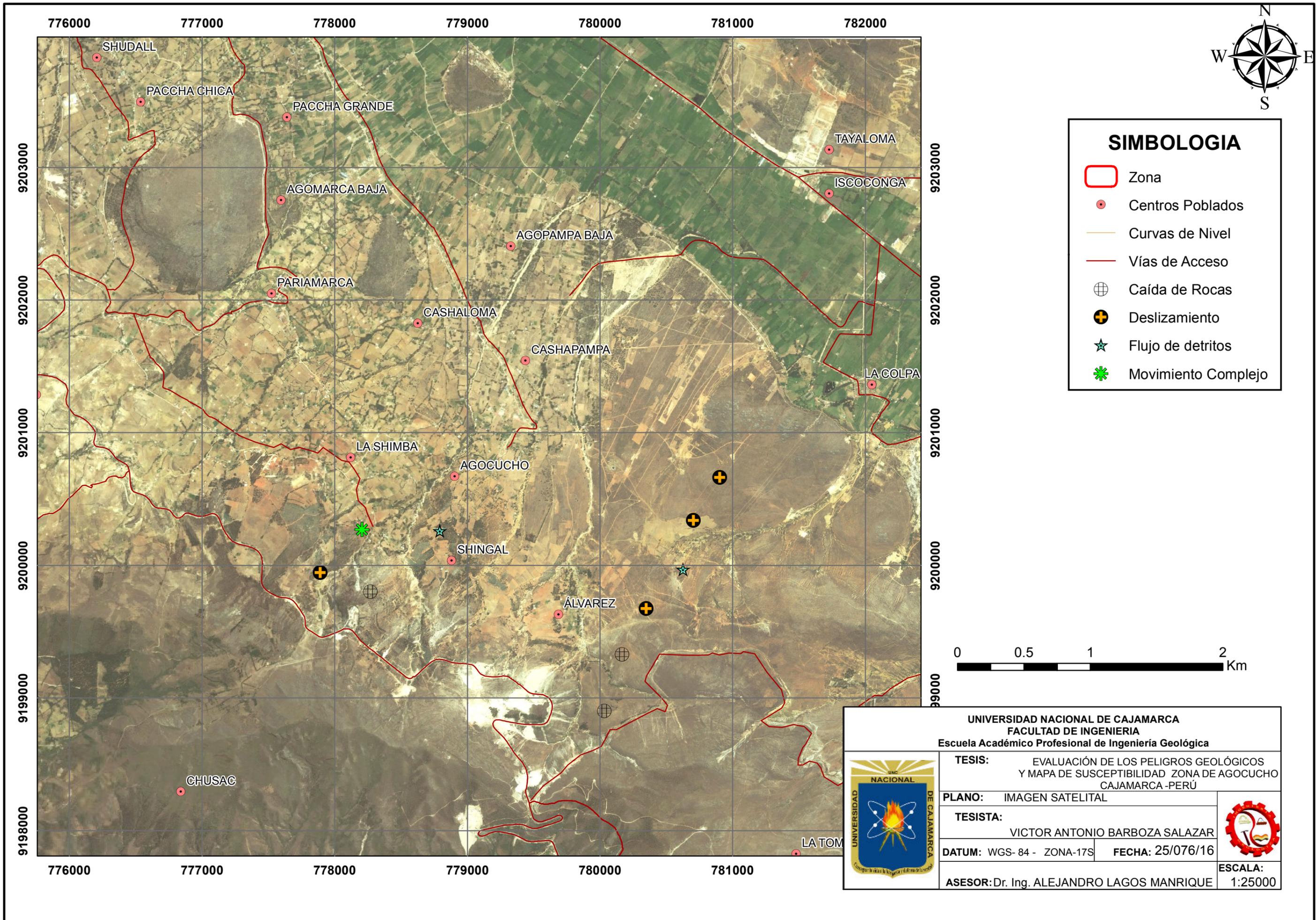
ASPECTOS ESTRUCTURALES Y GEOTÉCNICOS																															
LITOLOGÍA DEL SUSTRATO										DEPÓSITOS SUPERFICIALES O SUELOS																					
Sedim.	X	Litología Predominante	Arenisca	Aluv.	Fluv.	Prol.	Col.	Del.	Eól.	Res	Lac	Mar	Flu- glac.	Glac.	Antro.																
Volc- sed																															
Volcanic.																															
Intrusivo		Formación/Grupo	Formación Chimú	Bloq.	Bolon.	Grava	Arena	Limo	Arcilla	Seco	P. Sat	Med. Sat	Satur.																		
Metam.		Unidad/Complejo																													
SUELOS GRANULARES (COMPACIDAD)										SUELOS COHESIVOS (CONSISTENCIA)										ESPESOR (m)											
M. suelto		Suelto	X	Med. Den so		De nso		Muy denso		Muy blando		Blando	X	Med. Comp		Compact o		Muy compac		Dur o		3									
ESTRUCTURAS Y DISCONTINUIDADES EN LAS ROCAS															INTENSIDAD DE FRACTUR.					GRADO DE ALTERACIÓN											
Fallamiento		Plegamiento					X	Sinclinal																							
Fracturamiento					Diaclasamiento					Esquistosidad					Estratificación					X	F1	F2	F3	F4	F5	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Planar		Cuña		Vuelco		Mixto		Favorable al talud		Desfavorable al talud	X	Horiz			X											X					
FOTOGRAFÍA																															

Tabla 31: Ficha de inventario de peligros geológicos.

FICHA DE INVENTARIO DE PELIGROS GEOLÓGICOS															
UBICACIÓN GEOGRÁFICA															
FICHA N°			NORTE		ESTE		COTA	FRANJA N°	CUADRÁNGULO (IGN)						
d	c	s	0	1			9212056	768403	3250 msnm	17	15-f				
REGIÓN/DPTO.			PROVINCIA		DISTRITO			PARAJE / CASERÍO / LUGAR							
CAJAMARCA			CAJAMARCA		CAJAMARCA			CASERÍO AGOCUCHO							
CUENCA HIDROGRÁFICA			FECHA		EFECTUADO POR:			FOTOGRAFÍA							
PACÍFICO			22	05	16	ANTONIO BARBOZA			Deslizamiento compuesto de suelos.						
TIPOLOGÍA															
TIPO DE PELIGRO								NOMBRE ESPECÍFICO		DENOMINACIÓN					
Caída		Vuelco		Flujo	Desplaz. Lateral		Reptación	Deslizamiento compuesto de suelos.		DESLIZAMIENTO					
Deslizamiento	X	Mov. Complejo		Otro peligro geológico											
DESCRIPCIÓN															
PROCESOS O CAUSAS NATURALES							ACTIVIDAD ANTRÓPICA								
FACTORES DE SITIO				DEL ENTORNO GEOLÓGICO				FACTORES ANTRÓPICOS							
Sustrato de mala calidad (muy meteorizados)				X	Precipitaciones pluviales intensas (pluviosidad alta)				X	Excavaciones, voladuras (cortes en el pie de ladera o talud)					
Alternancia de rocas de diferente competencia					Deshielo y/o retroceso glaciar					Sobrecargas (rellenos en la corona de un talud)					
Rocas muy fracturadas o diaclasadas					Aguas subterráneas infiltración/presión de poros					Ocupación inadecuado del suelo por el hombre (áreas vulnerables)					
Orientación desfavorable de discontinuidades				X	Dinámica fluvial (Socavamiento del pie de un talud)					Desembalse violento de presas o lagunas naturales					
Naturaleza del suelo (incompetencia)					Colmatación del cauce fluvial (sedimentación)					Aprovechamiento de recursos hídricos					X
Material de remoción antiguo, susceptible					Dinámica marina (erosión de costas)			Dinámica eólica		Desforestación o sobrepastoreo de las laderas					
Pendiente del terreno		X	Morfología		Actividad volcánica			Sismicidad y/o fallas activas		Mal sistema de riego; uso inadecuado de agua de escorrentía					
Ausencia o escasez de vegetación				X	Rotura de un dique morrénico			Otro factor:		Colapso de alguna estructura inducida por un sismo		Actividad minera			
Otro factor					Otro peligro geológico					Otro factor:					

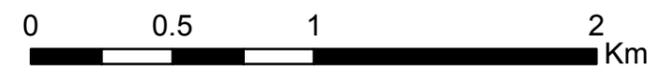


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica	
	TESIS: EVALUACIÓN DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS Y MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD ZONA DE AGOCUCHO CAJAMARCA -PERÚ
PLANO: UBICACIÓN	TESISTA: VICTOR ANTONIO BARBOZA SALAZAR
DATUM: WGS- 84 - ZONA-17S	FECHA: 25/076/16
ASESOR: Dr. Ing. ALEJANDRO LAGOS MANRIQUE	ESCALA: 1:30000

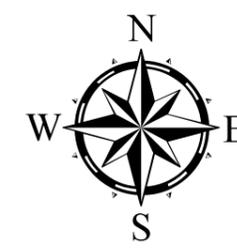
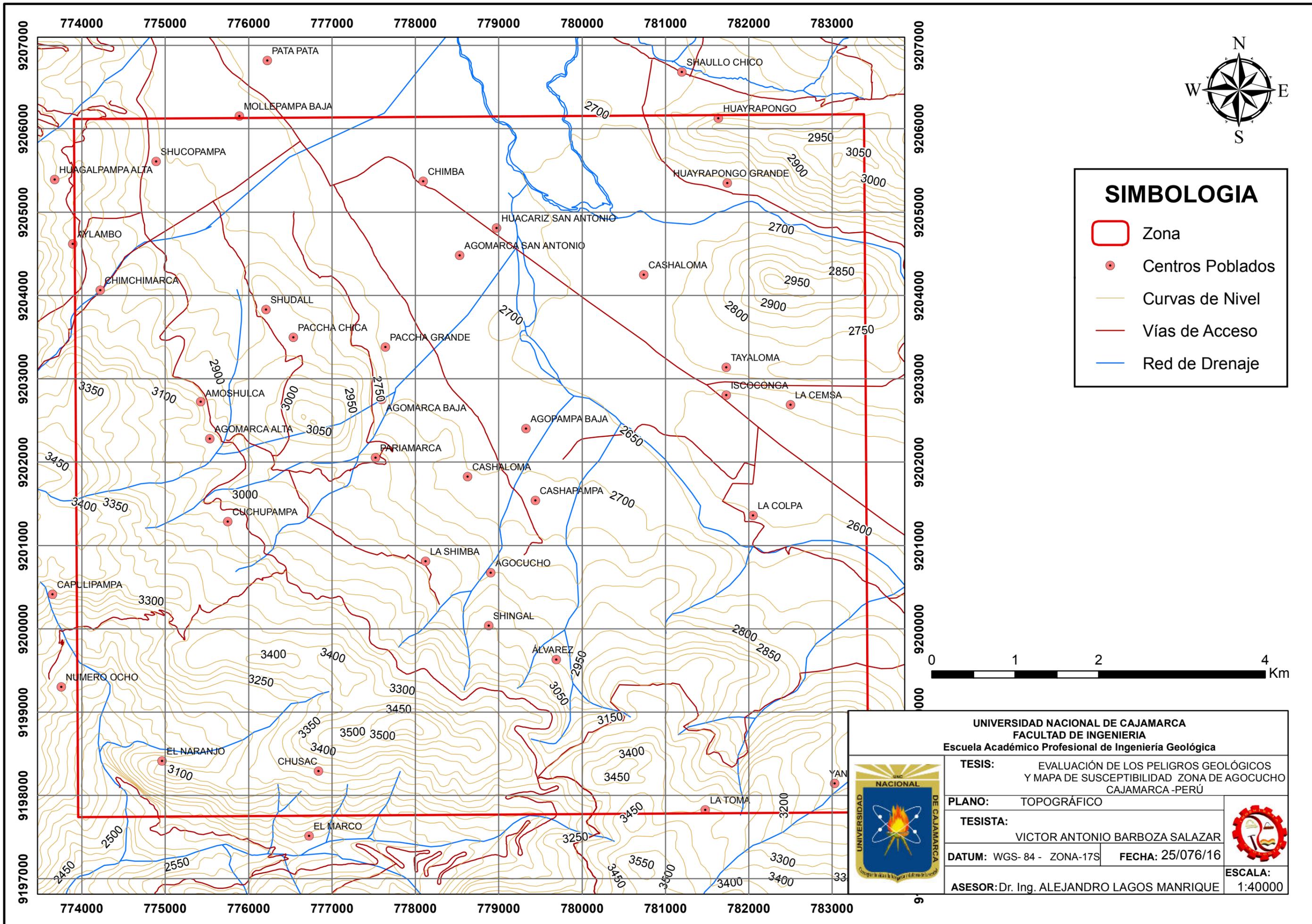


SIMBOLOGIA

-  Zona
-  Centros Poblados
-  Curvas de Nivel
-  Vías de Acceso
-  Caída de Rocas
-  Deslizamiento
-  Flujo de detritos
-  Movimiento Complejo



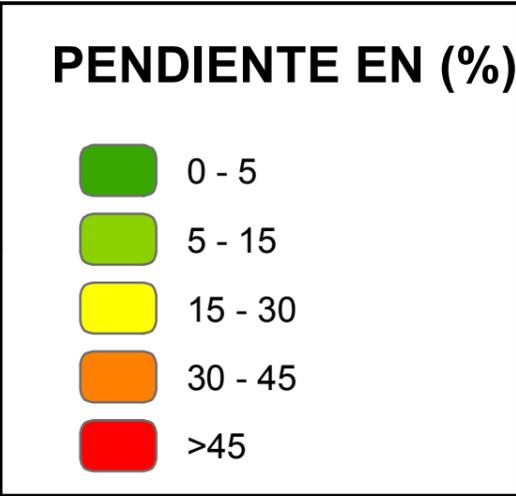
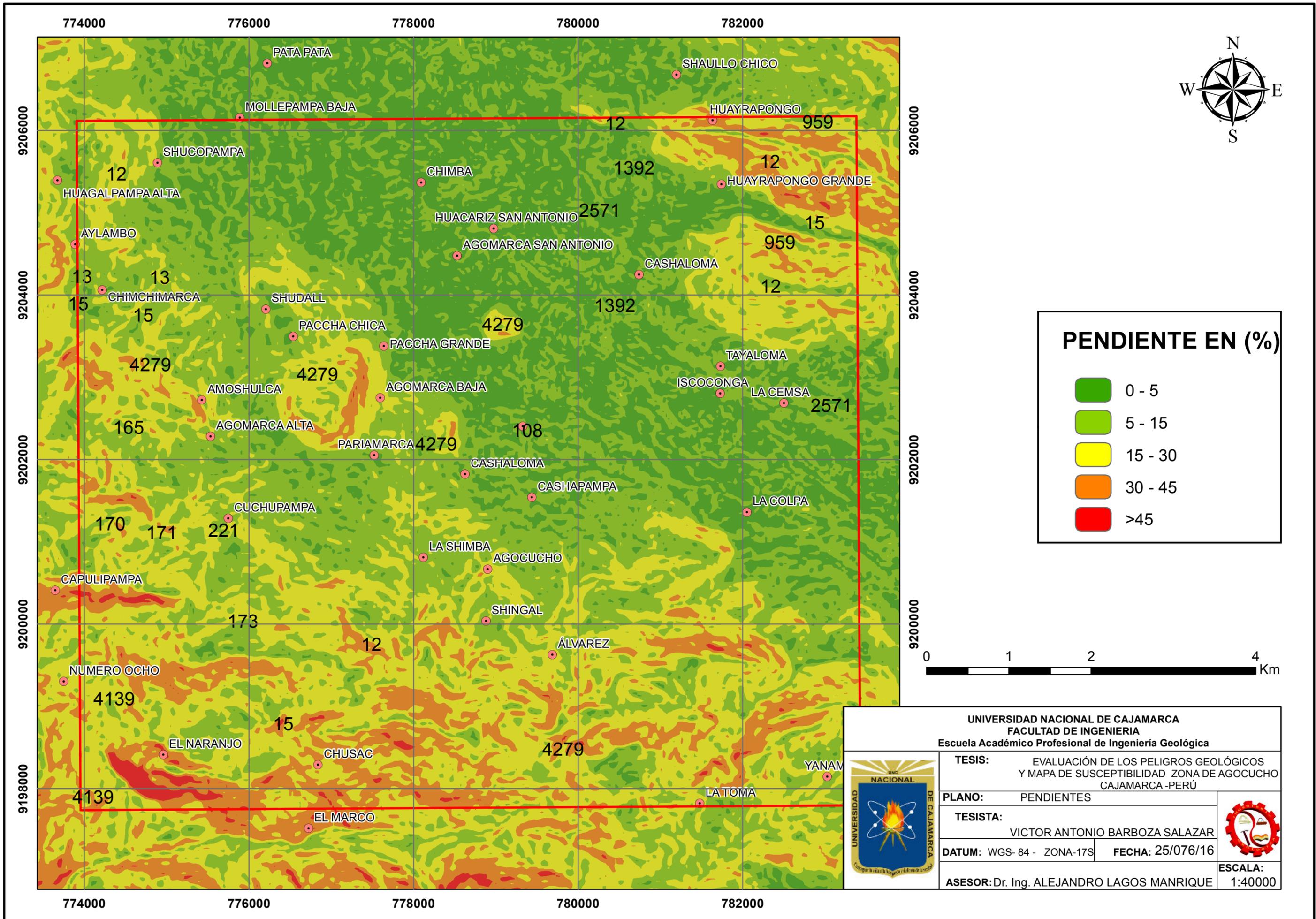
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica	
	TESIS: EVALUACIÓN DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS Y MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD ZONA DE AGOCUCHO CAJAMARCA -PERÚ
	PLANO: IMAGEN SATELITAL
TESISTA: VICTOR ANTONIO BARBOZA SALAZAR	
DATUM: WGS- 84 - ZONA-17S FECHA: 25/076/16	
ASESOR: Dr. Ing. ALEJANDRO LAGOS MANRIQUE	
ESCALA: 1:25000	



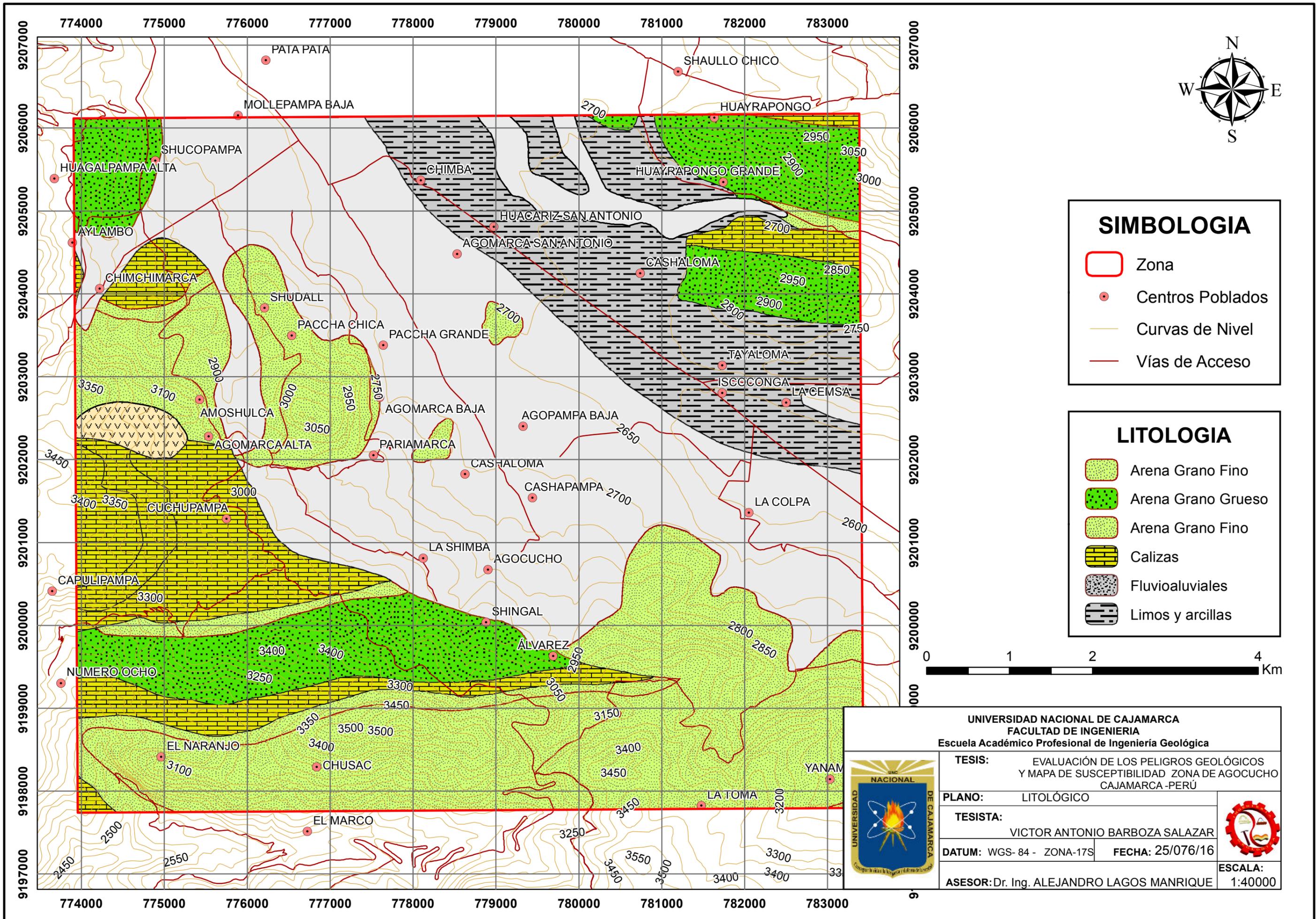
SIMBOLOGIA

- Zona
- Centros Poblados
- Curvas de Nivel
- Vías de Acceso
- Red de Drenaje





UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica	
	TESIS: EVALUACIÓN DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS Y MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD ZONA DE AGOCUCHO CAJAMARCA -PERÚ
	PLANO: PENDIENTES
	TESISTA: VICTOR ANTONIO BARBOZA SALAZAR
DATUM: WGS- 84 - ZONA-17S	FECHA: 25/07/16
ASESOR: Dr. Ing. ALEJANDRO LAGOS MANRIQUE	ESCALA: 1:40000



SIMBOLOGIA

- Zona
- Centros Poblados
- Curvas de Nivel
- Vías de Acceso

LITOLOGIA

- Arena Grano Fino
- Arena Grano Grueso
- Arena Grano Fino
- Calizas
- Fluvioaluviales
- Limos y arcillas

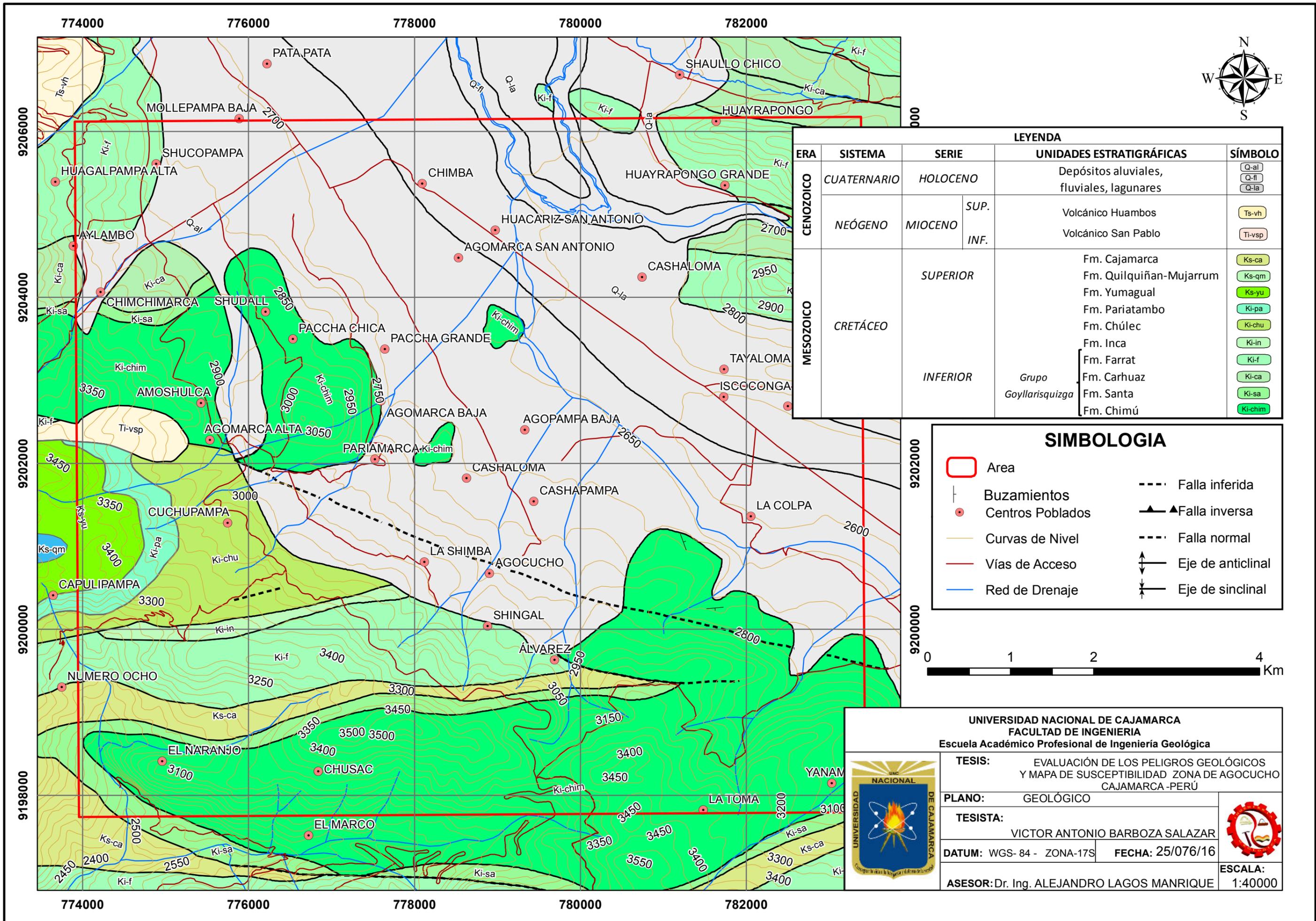


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
 Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica



TESIS: EVALUACIÓN DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS Y MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD ZONA DE AGOCUCHO CAJAMARCA -PERÚ	
PLANO: LITOLÓGICO	
TESISTA: VICTOR ANTONIO BARBOZA SALAZAR	
DATUM: WGS- 84 - ZONA-17S	FECHA: 25/076/16
ASESOR: Dr. Ing. ALEJANDRO LAGOS MANRIQUE	
ESCALA: 1:40000	





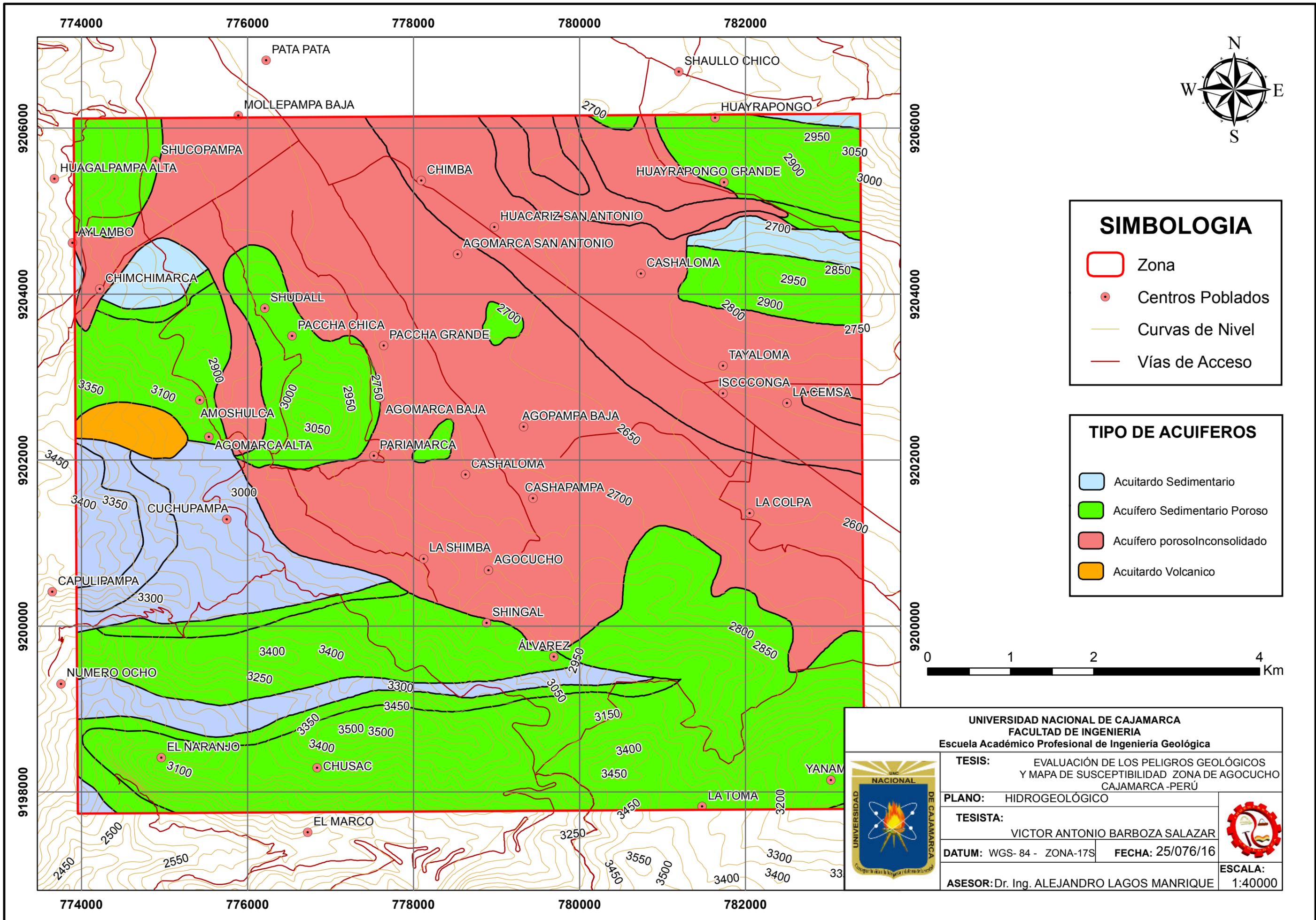
LEYENDA					
ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO		Depósitos aluviales, fluviales, lagunares	Q-al Q-fl Q-la
		NEÓGENO	MIOCENO	SUP.	Volcánico Huambos
				INF.	Volcánico San Pablo
MESOZOICO	CRETÁCEO	SUPERIOR		Fm. Cajamarca Fm. Quilquiñan-Mujarrum Fm. Yumagual Fm. Pariatambo Fm. Chúlec	Ks-ca Ks-qm Ks-yu Ki-pa Ki-chu
		INFERIOR		Fm. Inca Fm. Farrat Fm. Carhuaz Fm. Santa Fm. Chimú	Ki-in Ki-f Ki-ca Ki-sa Ki-chim

SIMBOLOGIA	
	Area
	Buzamientos
	Centros Poblados
	Curvas de Nivel
	Vías de Acceso
	Red de Drenaje
	Falla inferida
	Falla inversa
	Falla normal
	Eje de anticlinal
	Eje de sinclinal



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica

	TESIS: EVALUACIÓN DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS Y MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD ZONA DE AGOCUCHO CAJAMARCA -PERÚ	
	PLANO: GEOLÓGICO	
	TESISTA: VICTOR ANTONIO BARBOZA SALAZAR	
DATUM: WGS- 84 - ZONA-17S	FECHA: 25/07/16	
ASESOR: Dr. Ing. ALEJANDRO LAGOS MANRIQUE	ESCALA: 1:40000	



774000 776000 778000 780000 782000

9206000

9204000

9202000

9200000

9198000

774000 776000 778000 780000 782000

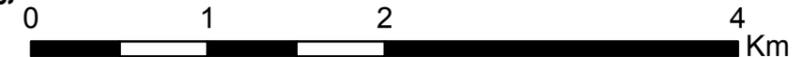


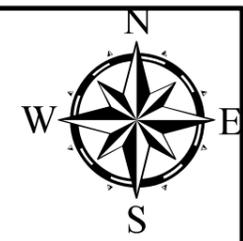
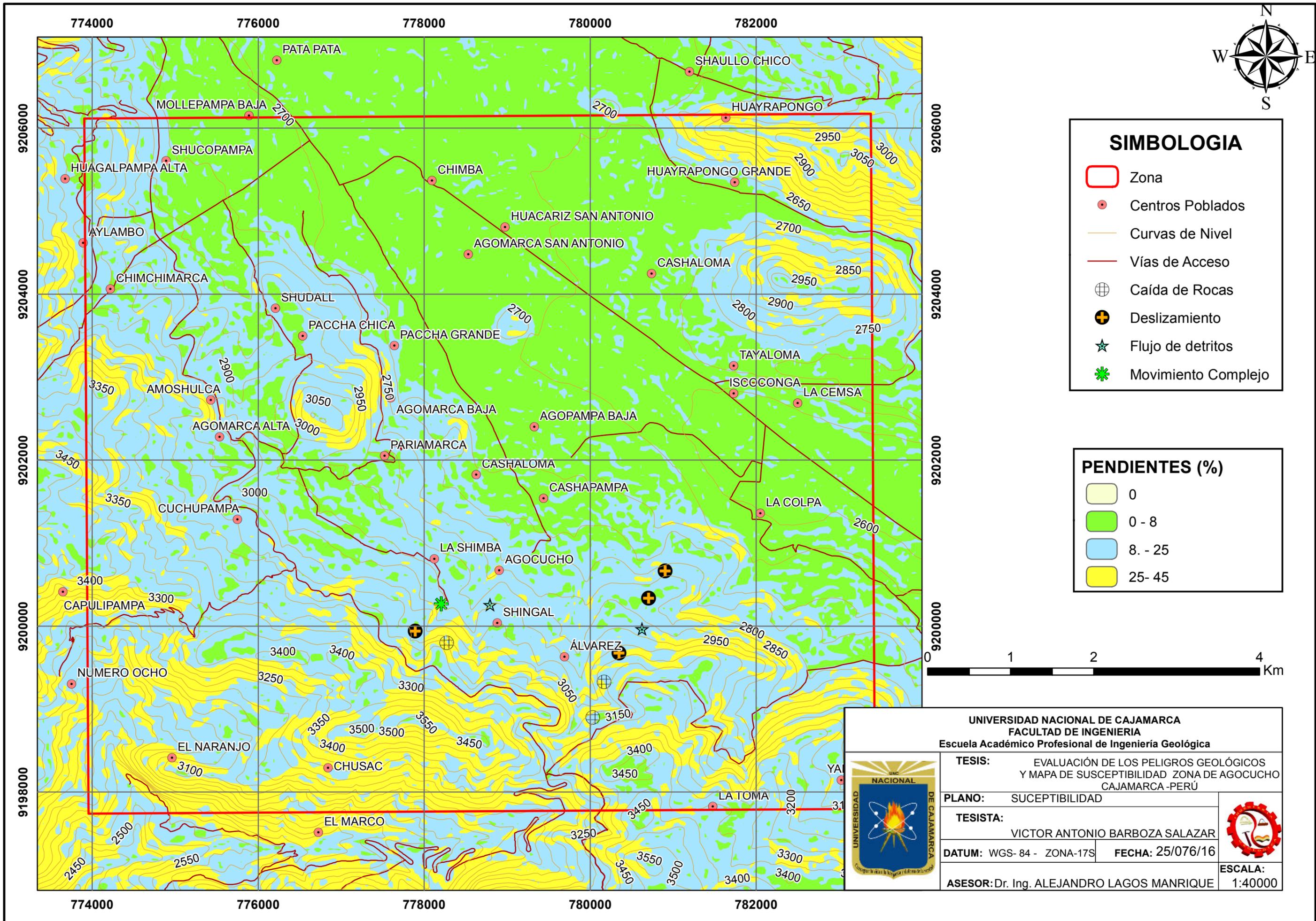
SIMBOLOGIA

- Zona
- Centros Poblados
- Curvas de Nivel
- Vías de Acceso

TIPO DE ACUIFEROS

- Acuitardo Sedimentario
- Acuífero Sedimentario Poroso
- Acuífero poroso Inconsolidado
- Acuitardo Volcanico





SIMBOLOGIA

- Zona
- Centros Poblados
- Curvas de Nivel
- Vías de Acceso
- ⊕ Caída de Rocas
- ⊕ Deslizamiento
- ★ Flujo de detritos
- ✱ Movimiento Complejo

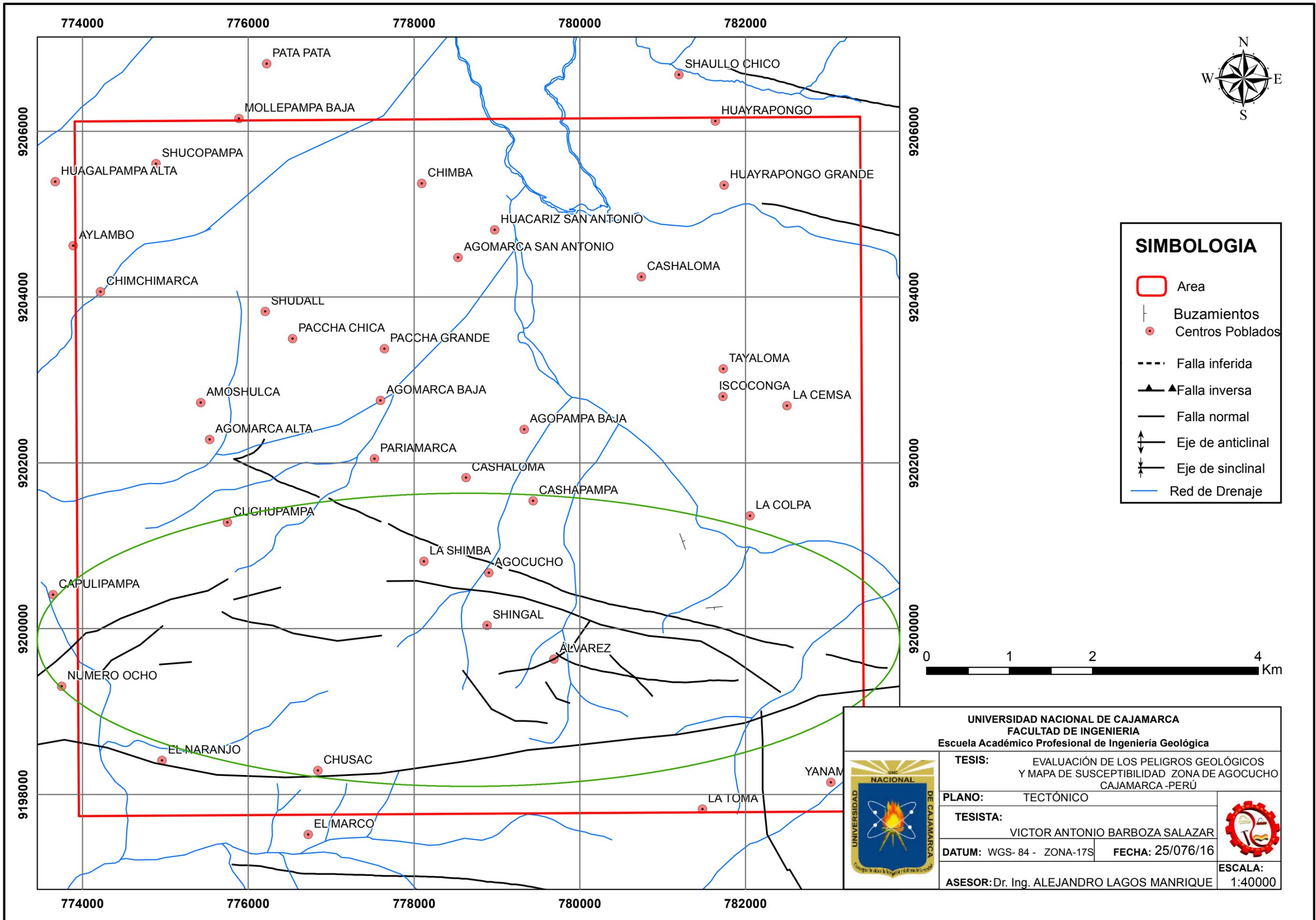
PENDIENTES (%)

- 0
- 0 - 8
- 8 - 25
- 25- 45



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica	
	TESIS: EVALUACIÓN DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS Y MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD ZONA DE AGOCUCHO CAJAMARCA -PERÚ
	PLANO: SUCEPTIBILIDAD
	TESISTA: VICTOR ANTONIO BARBOZA SALAZAR
	DATUM: WGS- 84 - ZONA-17S FECHA: 25/076/16
ASESOR: Dr. Ing. ALEJANDRO LAGOS MANRIQUE	
ESCALA: 1:40000	





SIMBOLOGIA

- Area
- Buzamientos
- Centros Poblados
- Falla inferida
- Falla inversa
- Falla normal
- Eje de anticlinal
- Eje de sinclinal
- Red de Drenaje

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica	
	TESIS: EVALUACIÓN DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS Y MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD ZONA DE AGOCUCHO CAJAMARCA -PERÚ
PLANO: TECTÓNICO	
TESISTA: VICTOR ANTONIO BARBOZA SALAZAR	
DATUM: WGS- 84 - ZONA-17S	FECHA: 25/076/16
ASESOR: Dr. Ing. ALEJANDRO LAGOS MANRIQUE	
ESCALA: 1:40000	