



DOCTORADO EN CIENCIAS
MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

TESIS:

MODELAMIENTO DE LA RELACIÓN ENTRE LOS PROCESOS
TECTÓNICOS Y LA INESTABILIDAD EN LOS TERRENOS DE LAS
ZONAS: URUBAMBA Y TRES RÍOS. CAJAMARCA- PERÚ

Por:
Mg. Alejandro Claudio Lagos Manrique

Comité Científico:

Asesor:
Valentín Paredes Oliva

Julio, 2015



DOCTORADO EN CIENCIAS
MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

TESIS APROBADA:

**MODELAMIENTO DE LA RELACIÓN ENTRE LOS PROCESOS TECTÓNICOS Y
LA INESTABILIDAD EN LOS TERRENOS DE LAS ZONAS: URUBAMBA Y
TRES RÍOS. CAJAMARCA- PERÚ**

Por:
Mg. Alejandro Claudio Lagos Manrique

Comité Científico:

Dr. Nilton Deza Arroyo
Presidente del Comité

Dra. Rosa Llique Mondragón
Miembro Titular

Dr. Edin Alva Plasencia
Miembro Titular

Dr. Valentín Paredes Oliva
Asesor

Mayo, 2015

COPYRIGHT © 2015 by
ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE
Todos los derechos reservados

A:

A MIS PADRES, HERMANOS, ESPOSA E HIJOS POR SU PERSEVERANCIA,
PACIENCIA Y APOYO, QUE SIN ELLOS NO HABRÍA SIDO POSIBLE LA
CULMINACIÓN DE ESTA TESIS

AGRADECIMIENTO:

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, por apoyarme con el financiamiento para realizar mis estudios de Doctorado.

A LA ESCUELA DE POST GRADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Y A TODOS MIS DOCENTES, por formarme como investigador.

AL Dr. VALENTÍN PAREDES OLIVA, mi asesor por su constante seguimiento tanto en el avance como en la culminación de esta tesis.

A LOS INTEGRANTES DEL COMITÉ CIENTÍFICO Dr. NILTON DEZA ARROYO, Dra. ROSA LLIQUE MONDRAGÓN, Dr. EDIN ALVA PLASENCIA y al Dr. MIGUEL MOSQUEIRA MORENO por sus correcciones, aportes y sugerencias oportunas para la buena presentación de este trabajo de investigación.

LISTA DE ABREVIACIONES

- **Fm:** Formación.
- **Gpo:** Grupo.
- **MA:** Millones de años.
- **COSUDE:** Cooperación Suiza para el Desarrollo.
- **MM:** Movimiento de Masa.
- **UNESCO:** Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- **INGEMMET:** Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
- **INGEOMINAS:** Instituto Geológico y Minas de Colombia.
- **GIS:** Sistema de Información Geográfica.
- **INDECI:** Instituto Nacional de Defensa Civil

GLOSARIO

Formación. Conjunto de rocas que se diferencia de otra notablemente por haberse formado en diferentes ambientes de depositación y que posee contactos definidos.

Grupo. Se refiere a un conjunto de formaciones geológicas y que en conjunto poseen rasgos comunes.

Suelo. Se refiere a la parte superficial de la corteza terrestre, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas.

Tectónica. Estudio de la estructura y desarrollo de la corteza terrestre relacionada con los procesos mecánicos, movimientos y deformaciones que la afecta.

Procesos tectónicos. Fases consecutivas de los fenómenos tectónicos que afectan a las rocas sólidas y que causan pliegues, fracturas, fallas, etc.

Plegamientos. Ondulaciones u olas en las rocas de la tierra como consecuencia de esfuerzos tectónicos. Alcanzan su mayor desarrollo en formaciones estratificadas tales como rocas sedimentarias y volcánicas o sus equivalentes metamorfizados.

Meteorización. Proceso de alteración y erosión de las rocas convirtiéndolos en diferentes fragmentos que pueden ser transportados y sedimentados.

RESUMEN

LAGOS MANRIQUE, Alejandro Claudio. Modelamiento de la Relación entre los Procesos Tectónicos y la Inestabilidad en los terrenos de las zonas: Urubamba y Tres Ríos, Cajamarca – Perú. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias. Escuela de Post- Grado de la Universidad Nacional de Cajamarca. 109 páginas. La investigación se realizó en la zona de Urubamba y Tres Ríos, en la ciudad de Cajamarca, en cuyo sector sur- este se producen frecuentes movimientos en masa y que están relacionados al tipo de roca, al grado de tectonismo, condiciones hidrogeológicas etc. Para realizar el modelamiento de esta relación se aplicó el método estadístico heurístico y probabilístico. Los parámetros que se han tenido en cuenta son los mapas factores: litológico, pendientes, geomorfológico, cobertura vegetal, hidrogeológico y el tectónico. La superposición de estos mapas y aplicando el método de Análisis de los factores condicionantes de la inestabilidad (FCI) indica que el mapa factor litológico (32%), tectónico (25%) y el hidrogeológico (18%) son las condicionantes principales de la inestabilidad. Al aplicar la prueba de Pearson se logró demostrar una relación directamente proporcional entre estos mapas factores geológicos y la susceptibilidad, se concluye que a mayor presencia de agua en las rocas y al mayor contenido de material arcillo- calcáreo en su litología y un alto grado de tectonismo, mayor es la susceptibilidad a los movimientos de masa. Esta relación permitió determinar el modelo científico tipo conceptual de la relación directa entre ellas y la inestabilidad.

Palabras clave: *Mapa factor, Método probabilístico, método heurístico.*

ABSTRACT

LAGOS MANRIQUE, Alejandro Claudio. Modeling the Relationship between Tectonic Processing and the Instability of soils of the areas: Urubamba and Tres Rios, Cajamarca – Peru. Thesis in for the Degree of Doctor of Science. Graduate school of the University National of Cajamarca. 119 pages. The research was conducted in the Urubamba Valley and Tres Rios, in the city of Cajamarca, in whose south- eastern sector there are frequent mass movements in relationship the type of rock, to the degree of tectonism, hidrogeological conditions etc. To performan the modeling of the relationship is applied the statistical heuristic and probabilistic method. The parameters that have benn taken into account are the factors maps: lithologic, geomorphologic, vegetation cover, hidrogeological and tectonic. The overlap of these maps and applyind the method of analysis of the determinants (FCI) of indicates that the lithologic factor map (32%), tectonic (25%), and the hidrogeological (18%) are the mean determinants of the instability. To apply the test of Pearson it has been demonstrated a relationship between these maps geological factor and susceptibility, indicating that to greater presence of water on the rocks added to the largest contained material clay- calcareous in the lithology and high degree of tectonism the greater will the susceptibility to mass movements. This relationship allowed to determine the scientific model of conceptual type of the direct relationship between them and the inestability.

Key words: Factor map, probabilistic method, heuristic method.

CONTENIDO

Ítem	Página
DERECHO DE AUTOR	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
LISTA DE ABREVIACIONES	iv
GLOSARIO	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
CONTENIDO	viii

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMA	1
1.1.1 Situación problemática	1
1.1.2 Formulación del problema	2
1.1.3 Justificación del Problema	2
1.1.4 Modelo Teórico	3
1.2 HIPÓTESIS	2
1.2.1 Hipótesis de la Investigación	2
1.2.2 Operacionalización de la Hipótesis	2

	Página
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 General	4
1.3.2 Específicos	4
1.4 IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE UNIDADES DE ANÁLISIS	4
1.4.1 Unidad de Análisis	4
1.5 DISEÑO DEL EXPERIMENTO	5
1.6 ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.7 LIMITACIONES	6
1.8 MODELO TEÓRICO	6

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	9
2.2 BASES TEÓRICAS	12
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	19

CAPÍTULO III: DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	22
3.1.1 Accesibilidad	22
3.1.2 Geografía	24
3.1.3 Clima	24
3.1.4 Vegetación	25
3.1.5 Drenaje	25

	Página
3.1.6 Altitudes y topografía	27
3.1.7 Geomorfología	27
3.1.8 Estratigrafía	30
3.1.9 Cretáceo Inferior	33
3.1.10 Cretáceo Superior	35
3.1.11 Paleógeno Neógeno	36
3.1.12 Cuaternario	38
3.1.13 Rocas intrusivas	39
3.2 MÉTODOS EMPLEADOS	41
3.2.1 Herramientas manuales	41
3.2.2 Herramientas gráficas	42
3.3 Identificación de los Movimientos en Masa (MM)	44
3.3.1 Toma de coordenadas UTM (Sistema PASAD 56)	44
3.3.2 Toma de Muestras	44
3.4 Análisis Estadístico	44
3.5 Ponderación de las Unidades o Mapas Factores	45
3.6 Cálculo de los pesos estadísticos	49
3.7 Grado de incertidumbre	49

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS	53
4.1.1 Método Empírico o Heurístico	55
4.1.2 Método Probabilístico	59

	Página	
4.1.3	Análisis de Importancia de factores condicionantes de la inestabilidad	68
4.1.4	Determinación del Coeficiente de consistencia RC)	71
4.1.5	Determinación del coeficiente de correlación de Pearson	72
4.1.6	Flujo diagrama de la relación de los MM vs la Tectónica	72
4.2	DISCUSIÓN	82
4.2.1	Análisis de los mapas factores	82
4.2.2	Análisis de los factores condicionantes de la inestabilidad del terreno	82
4.2.3	Relación de las características litológicas con los MM	82
4.2.4	Relación de las características tectónicas con los MM	82
4.2.5	Relación de las características hidrogeológicas con los MM	83
4.2.6	Relación de las características de pendiente y geomorfología con los MM	83
4.2.7	Los factores temporales y los MM	84
 CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 		
5.1	CONCLUSIONES	85
5.2	RECOMENDACIONES	86
5.3	PROPUESTA METODOLÓGICA	87

	Página
LISTA DE REFERENCIAS	89
ANEXOS	92
LISTA DE ILUSTRACIONES	
Tablas	
1. Operacionalización de la Hipótesis	3
2. Índices aleatorios de consistencia (IA)	21
3. Matriz de jerarquías múltiples	23
4. Coordenadas UTM PASAD 56 de la zona de estudio	27
5. Vías de acceso para la zona de estudio	27
6. Representación de las herramientas gráficas	47
7. Caracterización y semicuantificación de riesgos	48
8. Ponderación de las unidades litológicas	51
9. Ponderación de unidades de pendiente	51
10. Ponderación de las unidades hidrogeológicas	52
11. Ponderación de unidades de cobertura vegetal	53
12. Ponderación de unidades geomorfológicas	54
13. Ponderación de unidades tectónicas	55
14. Aplicación del Método probabilístico para calcular el peso o susceptibilidad de las unidades litológicas	56
15. Estimación del grado de incertidumbre de los mapas factores	57
16. Estimación del grado de Incertidumbre de los suelos	58
17. Relación de los movimientos de masa registrados en el área de estudio	59
18. Cálculo de la susceptibilidad de las unidades litológicas	68

19. Cálculo de susceptibilidad de las unidades de pendiente	69
20. Cálculo de la susceptibilidad de las unidades hidrogeológicas	70
21. Cálculo de la susceptibilidad de las unidades tectónicas	71
22. Cálculo de la susceptibilidad de las unidades geomorfológicas	72
23. Cálculo de la susceptibilidad de la cobertura vegetal	73
24. Resultados obtenidos por el método Probabilístico	74
25. Análisis de importancia de los FCI	76
26. Determinación del Coeficiente de correlación de Pearson	79

Figuras

1. Representación de las unidades de análisis para la zona de estudio	5
2. Mapa de ubicación del área de estudio	28
3. Representación de la precipitación en la ciudad de Cajamarca	30
4. Valle de Cajamarca, unidad geomorfológica en donde se emplaza la ciudad de Cajamarca	32
5. Relieve montañoso conformado por areniscas de la formación Chimú	33
6. Geoformas suaves labradas sobre rocas calcáreas cretáceas	34
7. Geoformas “ruiniformes” en tobas riolíticas y dacíticas	34
8. Columna estratigráfica generalizada del área de estudio	36
9. Mapa Geológico del área de estudio	37
10. Afloramientos del nivel superior de los volcánicos Huambos	43
11. Depósitos coluviales, observados en la zona de Ronquillo- Cushunga	43
12. Depósitos fluviales utilizados como material de construcción	44

13. Roca subvolcánica traquiandesítica, observada en los alrededores de Cushunga	45
14. Ponderación de las unidades litológicas	61
15. Ponderación de unidades de pendiente	62
16. Ponderación de las unidades geomorfológicas	63
17. Ponderación de las unidades hidrogeológicas	63
18. Ponderación de las unidades de cobertura vegetal	64
19. Ponderación de las unidades tectónicas	65
20. Factores condicionantes de la inestabilidad HP)	77
21. Flujo diagrama que explica el Modelo científico tipo Conceptual entre los diversos factores geológicos y la inestabilidad en la zona de estudio	80
22. Mapa factor litológico	81
23. Mapa factor de pendiente	82
24. Mapa factor geomorfológico	83
25. Mapa de cobertura vegetal	84
26. Mapa factor hidrogeológico	85
27. Mapa factor tectónico	86
28. Superposición de mapas factores	87

APÉNDICE:

Apéndice de tablas	Página
Tabla 1. Ponderación de unidades litológicas	87
Tabla 2. Ponderación de unidades de pendiente	88
Tabla 3. Ponderación de unidades Geomorfológicas	88
Tabla 4. Ponderación de unidades Hidrogeológicas	89
Tabla 5. Ponderación de unidades de Cobertura vegetal	89
Tabla 6. Ponderación de unidades Tectónicas	90
Apéndice de fotos	
Foto 1. Caída de rocas observada en la carretera Cajamarca– Chamis	99
Foto 2. Movimiento complejo de suelos, generado en el contacto de las rocas. Tomada al pie de la carretera a Chamis	99
Foto 3. Flujo de detritos en el km 1 carretera Cajamarca– Cumbe Mayo, se observan a las calizas arcillosas y muy erosionadas	100
Foto 4. Deslizamiento de gran magnitud que se observa en la zona de Ronquillo. Este deslizamiento podría represar la confluencia de los ríos Urubambay Tres Ríos	100
Foto 5. Deslizamiento producido en calizas arcillosas de la formación Chulec	101
Foto 6. Flujo de lodo producto de las precipitaciones pluviales. Nótese la Vivienda que se encuentra dentro de la zona de deslizamiento.	101
Foto 7. Deslizamiento en rocas volcánicas, poco común en la zona de estudio. Carretera que va a Cumbemayo	102
Foto 8. Caída de rocas que se produce en calizas de la formación Chulec	103

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los movimientos de masa (MM) son uno de los procesos más destructivos que afectan a los humanos causando miles de muertes y daño a las propiedades por varios millones de dólares cada año Brabb (1989), sin embargo muy pocas personas son conscientes de su importancia. Más del 90% de las pérdidas por movimientos de masa son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control Suarez (1989). El estudio de la ocurrencia de estos movimientos de masa está sujeto a muchos grados de incertidumbre debido a que estos, incluyen diferentes tipos de litologías, intensidad de tectonismo, rasgos geomorfológicos, pendientes, cobertura vegetal, hidrogeología, etc. Cuando existe alto grado de incertidumbre de la posibilidad o no de la ocurrencia de un MM es común cometer errores en el manejo de control de estos MM. El costo de estos errores puede ser muy alto.

Con el fin de tratar de minimizar este alto grado de incertidumbre ha conllevado a realizar este trabajo de investigación en la zona de Urubamba y Tres Ríos, departamento y región de Cajamarca.

1.1 Problema

1.1.1 Situación Problemática

La zona de Urubamba y Tres Ríos es inestable. Esta inestabilidad es más evidente en estaciones lluviosas. Los suelos de composición arcillo-calcareo retienen agua sobresaturándose. Según estudios de GEORADAR realizados por **COSUDE- CARE (2008)** los suelos analizados en la zona de estudio poseen hasta 20 m de espesor, Estos suelos se han formado por el fracturamiento intenso y erosión, de las rocas de las formaciones geológicas: Chulec, Pariatambo, Yumagual, Mujarrún y el grupo Quilquiñán, todas de edad cretácea. La generación de esta inestabilidad es favorecida aún más por los altos ángulos de arrastre que superan los 40° según el estudio de GEORADAR realizados por **COSUDE- CARE (2008)**. Los pobladores que habitan las zonas aledañas manifiestan que en épocas pasadas han ocurrido una serie de movimientos en masa de regular magnitud y que continúan en la actualidad. La acción erosiva y sobresaturación de los suelos se incrementa año tras año y por consiguiente la probabilidad de un eventual deslizamiento de gran magnitud es latente. El peligro mayor es el represamiento natural en la confluencia de los ríos Urubamba y Tres Ríos que ante un eventual desembalse comprometería gran parte de la ciudad de Cajamarca.

1.1.2 Formulación del problema

General

- ¿Se puede obtener un modelo que explique la relación entre los procesos tectónicos y la inestabilidad de los terrenos en la zona de Urubamba y Tres Ríos?

Secundarios

- ¿Cuál es la influencia de los procesos tectónicos sobre la inestabilidad de los terrenos en el área de estudio?
- ¿Cuáles son las características principales de estos procesos tectónicos?

1.2 Hipótesis

1.2.1 Hipótesis de la investigación

El modelo de la relación entre los procesos tectónicos y la inestabilidad de los terrenos en la zona de Urubamba y Tres Ríos es la interrelación del tectonismo, litología e hidrogeología.

1.2.2 Operacionalización de la hipótesis. Tabla 1.

Tabla 1. Operacionalización de la Hipótesis.

Variable	Definición Conceptual	Dimensión	Definición Operacional	Indicadores	Unid. del Indicador
Variable Independiente					
Procesos tectónicos Agentes geológicos estructurales (fallas y fracturas).	Conjunto de elementos que afectan a las rocas y que resultan de fuerzas dentro de la tierra y causan pliegues, fallas y fracturas.	Intensidad de los procesos tectónicos.	Observación y medición en campo de las estructuras geológicas (fallas y fracturas y pliegues).	Instrumentos de mediciones como brújula, GPS, lápiz de dureza y representados en mapas geológicos.	Tamaño: grande medio pequeño
Condiciones hidrogeológicas	Conjunto de elementos relacionados con la presencia de agua. A mayor presencia de agua, la roca será más alterada.	Intensidad de los procesos hidrogeológicos	Observación y medición en campo.	Instrumentos de medición, brújula etc. GPS,	Grado: alto medio bajo
Variables Dependientes					
Alteración, Fracturamiento y fallamiento de las rocas	A mayor intensidad de fallamiento y fracturamiento menor será la resistencia de las rocas a la erosión.	Intensidad de alteración de las rocas en función a los procesos tectónicos.	Medición mediante jerarquización cuantitativa usando tablas estandarizadas	Grado de alteración usando instrumentos de medición de dureza de las rocas y software específicos de geología.	Grado: alto medio bajo
Inestabilidad de los terrenos	Las rocas afectadas por los procesos tectónicos se vuelven inestables.	Intensidad del grado de inestabilidad de los suelos	Medición mediante jerarquización cuantitativa usando tablas estandarizadas	Instrumentos de medidas de movimiento de masas. Utilización de software específicos de geología.	Grado: alto medio bajo
Características litológicas de las rocas	Se refiere al estudio de la composición química de las rocas y suelos. Las calizas compuestas por CO ₃ Ca, se alteran con facilidad mientras que las areniscas constituidas por SiO ₂ son más resistentes a la erosión.	Intensidad de los procesos tectónicos.	Observación y medición en campo de las estructuras geológicas (fallas y fracturas y pliegues).	Instrumentos de mediciones como brújula, GPS, lápiz de dureza y representados en mapas geológicos	Tamaño: grande medio pequeño

1.3 Objetivos

1.3.1 General

- Obtener un modelo que explique la relación entre los procesos tectónicos y la inestabilidad de los terrenos en la zona de Urubamba y Tres Ríos.

1.3.2 Específicos

- Determinar la influencia de los procesos tectónicos sobre la inestabilidad en los terrenos de las zonas de Urubamba y Tres Ríos
- Determinar las características principales de los procesos tectónicos en la zona de Urubamba y Tres Ríos
- Determinar la importancia del Mapa Factor Tectónico en el Análisis de los Movimientos de Masa (MM).

1.4 Identificación y selección de las unidades de análisis

1.4.1 Unidad de análisis

Debido a que esta investigación está basada en evaluar los diversos parámetros de las rocas y los suelos, se ha optado por tener varias unidades de análisis del terreno: litología, geomorfología, pendientes del terreno, condiciones hidrogeológicas, tectonismo y cobertura vegetal. Las características de estas unidades de análisis condicionan la susceptibilidad a los deslizamientos de los terrenos (Figura 1).

Población. Todos los tipos de rocas.

Muestra. 10 tipos de rocas presentes en los diferentes movimientos de masa.

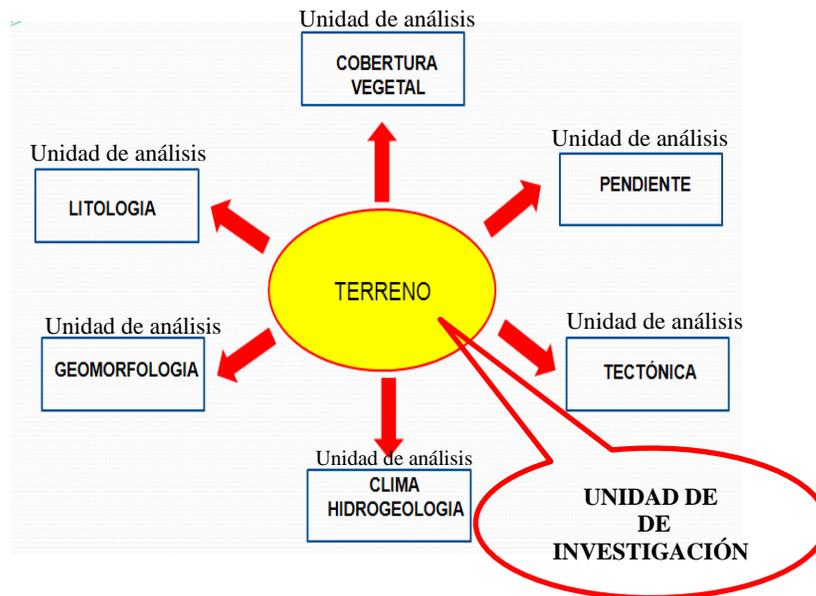


Figura 1. Representación de las unidades de análisis para la zona de estudios.

1.5 Tipo y Diseño de la investigación

Tipo de Investigación: Descriptiva, Diseño: Analítico, no experimental de Sección: Transversal, Correlacional y Causal (**Carrasco 2006**):

Diseño No Experimental, porque esta investigación consistió en analizar los efectos generados por los procesos geológicos de la Geodinámica Interna y Externa. No existiendo manipulación de las variables.

Se consideró como de Sección Transversal, porque este estudio se dio en un tiempo determinado. Siendo el fin relacionar las variables en un momento dado

debido a la evolución acelerada de la geodinámica externa que presenta la zona de estudio.

Por último se consideró como Correlacional- Causal, porque las causas de los procesos de la geodinámica interna y externa generan efectos en las rocas y suelos mediante la erosión y meteorización de estas rocas.

1.6 Alcances de la investigación

Esta investigación es innovadora debida a que proporciona un gran aporte al medio ambiente y a la sociedad. Con los resultados obtenidos se determinó el origen real del problema de los movimientos en masas (MM) y que son muy frecuentes en la zona de estudio. Se pueden utilizar varios tipos de monitoreos principalmente para el uso de los suelos y evitar la sobre explotación agrícola debido, a que esta actividad incrementa la infiltración de las aguas de las lluvias.

Desde el punto de vista científico, en esta investigación se ha utilizado, por primera vez, el mapa factor tectónico en el análisis de la inestabilidad. La utilización de este mapa factor es muy importante debido a que los eventos tectónicos que afectaron a la zona de estudio, son de edades diferentes (tectónica Incaica, la más intensa (40 MA aproximadamente) y la Quechua la menos intensa (5 MA aproximadamente).

Este estudio servirá también como un gran apoyo al conocimiento y prevención de desastres naturales y que puedan ser aplicados en el área de estudio y en otras áreas de similares características.

1.7 Limitación

El área de estudio posee pocas vías de acceso que dificultaron los controles de campo. También hubo reacciones negativas de los pobladores debido a la coyuntura social actual.

1.8 Modelo teórico

Mediante la realización del análisis geológico detallado se ha obtenido el siguiente modelo teórico: Las rocas calizas arcillosas, arcillitas calcáreas, areniscas calcáreas y margas son de origen marino, que pertenecen a la edad geológica del cretáceo (100 millones de años aprox.). Estas calizas se han formado en un ambiente marino de poca profundidad y muy cercanos a las zonas de aporte; por esta razón poseen un gran porcentaje de material terrígeno (arcillas, limos y arenas finas que provienen de un ambiente continental). La presencia de estos materiales en las calizas las hacen muy vulnerables a los agentes erosivos tales como: lluvias, aguas de escorrentías, etc. Además de acuerdo a **Reyes (1980)** en la zona se han producido varios levantamiento en la edad cuaternaria y que estos continúan y por consiguiente los agentes erosivos actúan con gran intensidad destruyendo y modificando la topografía de la zona de estudio. Desde el punto de vista estructural, la ubicación de la terminación periclinal del sinclinal

Urubamba, estructura geológica que se formó durante la fase Tectónica Inca (Fase Compresiva del Paleógeno- Neógeno de hace 40 millones de años aprox.), ha generado una serie de fracturas y fallas que han contribuido aún más en la meteorización y erosión casi total de estas rocas transformándolas en suelos arcillosos sobre todo en el sector Sur- Este. Estos suelos son aprovechados para sembríos, debido a su alta fertilidad, es común observar también, que estos ubicados en zonas de pendientes moderadas y altas generan una serie de deslizamientos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes teóricos de la Investigación

Internacionales

Suárez (1998), en su trabajo de investigación sobre deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, manifiesta que la ocurrencia de los movimientos de masa (MM) es un fenómeno sujeto a muchos grados de incertidumbre debido a que incluyen diferentes tipos de movimientos, velocidades, modos de fallas, materiales, restricciones geológicas. etc. Concluye que la zonificación de amenazas y riesgos es una herramienta muy útil para la toma de decisiones especialmente en las primeras etapas de planificación de un proyecto.

Gonzales y Fauqué (2007), en el estudio denominado Deslizamiento Traslacional (Pandeo), Quebrada de la Troya, La Rioja, Argentina, describen muy detalladamente los movimientos que presentan los taludes y que coincide con la inclinación de las capas. Las rocas están multipartidas por sistemas de diaclasas considerando que este factor es muy importante debido a que facilitan los movimientos de ladera. Concluyen que dichas discontinuidades facilitan la infiltración de agua y condicionan dicho deslizamiento.

Lara (2007), en su estudio de investigación de Flujo de lodo del Valle del Aconcagua, en Chile el 18 de agosto de 1987, se determinó que luego de

precipitaciones de gran intensidad entre 148 y 185 mm en 24 horas se produjo un voluminoso flujo de lodo y bloques destruyendo 160 m de la losa vial impidiendo el tránsito de normal en esta vía. Este flujo de lodo movilizó también bloques de hasta 450 toneladas y se debió remover 450,000 m³ de material para restablecer el tránsito normal. Este estudio concluye que el factor condicionante fue el intenso fracturamiento del sustrato rocoso, además de la disponibilidad de material coluvial sobre la ladera. El factor gatillante fue la intensa precipitación dada durante cinco días anteriores y que saturaron el material fino desencadenándose este evento.

Carrara (1978), diferenció las técnicas de zonificación en tres formatos así:

- Modelos de Caja Blanca (*White box model*), los cuales se basan en modelos físicos de estabilidad de taludes y modelos hidrológicos. A estos se les conoce como modelos determinísticos.
- Modelos de Caja Negra (*Black box model*), los cuales se basan en análisis estadístico solamente.
- Modelo de Caja Gris (*Gray box model*), basados parcialmente en modelos físicos y parcialmente en estadística.

Moreno (2007). En su estudio denominado Deslizamiento de El Mirador, Km 105 Carretera Bogotá- Villavicencio, Colombia, describe detalladamente el origen y evolución de este movimiento desde 1964 hasta 1997. Determina que este deslizamiento se desencadenó por el proceso erosivo y que removió rocas trituradas en una zona de falla y que de los factores desencadenantes son la fuerte trituración

y cizallamiento de las rocas y su exposición por la erosión hídrica severa que destruyó toda la cobertura vegetal. Concluye que el factor detonante fue la fuerte erosión y que no fue controlada por 24 años y que las fuertes lluvias mantuvieron activo el deslizamiento por varios años.

Plaza (2007), en el estudio realizado sobre el deslizamiento represamiento de la Josefina en Ecuador, describe que dicho deslizamiento alcanzó 1500 m de longitud y entre 80 a 100 m de espesor. La masa movida formó una presa natural de 1,1 km de longitud a lo largo del río Paute con 400 m de ancho y 100 m arriba taponando los cauces de los ríos Paute y Jadan. En este estudio se indica que se produjo un represamiento en los ríos Paute y Jadan creando aguas arriba un embalse de 200 millones de m³, que inundó tierras de cultivo, casas, una central termoeléctrica, una antigua línea de ferrocarril, la vía panamericana sur. Este estudio concluye que el movimiento se debió a que la parte sur de la ladera estaba formada por rocas muy fracturadas con planos favorables a la dirección del movimiento. Se concluyó que el represamiento represo los ríos Jadan y Paute creando aguas arriba un embalse de 200 millones de m³, que inundó tierras de cultivo, casas, una central termoeléctrica, una antigua línea de ferrocarril, la vía panamericana sur.

Lara (2007), realiza el estudio de Flujo de detritos de Antofagasta en 1991, Chile, en donde describe detalladamente el área y las características de este movimiento en masa. Indica que la madrugada del 18 de junio de 1991 extensos sectores de la ciudad de Antofagasta y sus alrededores fue arrasada por una sucesión de flujos

detríticos. El saldo de este evento fueron 91 víctimas fatales, 19 desaparecidos, 700 viviendas totalmente destruidas, otras con daño severo y perdidas por casi US\$ 71 millones. Este estudio concluyo que el factor condicionante fue la alta disponibilidad de material detrítico en los abanicos aluviales que descienden hacia la costa. El factor gatillante fueron las intensas precipitaciones acompañadas de fuertes vientos. Las quebradas cercanas a Antofagasta recibieron hasta 42 mm en un día valor que superó con creces el promedio de 3 mm/día registrada históricamente.

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

El primer SIGs utilizado para zonificar movimientos de masa fue reportado por **Newman (1978)**, para un trabajo en California. Posteriormente se han reportado centenares de casos utilizando diferentes técnicas y concepciones teóricas. La mayoría de los casos corresponden a investigaciones relacionadas con la zonificación cualitativa de amenazas con énfasis en la entrada de información geomorfológica, utilizando modelos de muy sencillos pero realísticos.

La utilización de SIGs para análisis de susceptibilidad a los deslizamientos ha sido reportada en varias ocasiones por **Brabb (1984)**. Estos estudios tuvieron en cuenta otros factores como geología, pendientes y deslizamientos antiguos. Posteriormente

se han presentado trabajos utilizando análisis estadístico multivariado, especialmente por **Carrara (1978)**, en Italia y recientemente se ha popularizado la utilización de SIGs para modelos determinísticos, utilizando factores de seguridad. **Zezeze (2002)**, también indica que con la aparición de los SIGs los numerosos modelos existentes para abordar el tema de susceptibilidad se han perfeccionado ganando objetividad y tiempo en los procesos de análisis pero al mismo tiempo la predicción de áreas potenciales de fracturas presentaron una gran incertidumbre probablemente por la deficiencia de los modelos de susceptibilidad. Estas técnicas que abordan los temas de inestabilidad mediante el SIG usan el modelo heurístico que está basado en la experiencia del investigador y los mapas generados sirven de base para trabajos de mayor detalle y el modelo probabilístico que permite establecer relaciones estadísticas entre una serie de factores condicionantes de los movimientos de ladera y que requiere crear una base de datos. La comparación de estos dos modelos permite reducir el grado de objetividad de los resultados.

Nacionales

Reyes (1980), en el boletín N° 31 Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba, describe al área de estudio geomorfológicamente como superficies de erosión, clasificándolo entre los 2500 y 3000 m.s.n.m., con una clara disposición escalonada sugiriendo intermitencias de periodos de estabilidad tectónica y ascensión rápida de la zona. En este proceso evolutivo, explica, que mientras se formaban las últimas superficies de erosión, las primeras habían alcanzado considerables alturas. Finalmente con los últimos movimientos verticales

todo el macizo andino en su conjunto alcanzó niveles superiores. En la actualidad, el levantamiento continuo y los agentes erosivos están en plena actividad destruyendo y modificando la topografía. En este mismo boletín describe climatológicamente dos estaciones: una lluviosa de diciembre a marzo y otra seca de abril a noviembre con sus respectivas etapas transicionales, estos ciclos tienen periodos excepcionales de sequías y/o abundantes precipitaciones con funestas consecuencias para la agricultura, ganadería y en general para la economía de la región.

Fidel (2003), en su investigación, *Estudio de riesgos Geológicos en la Franja 4* concluye que mediante la interacción del modelo de cartografiado de peligros y los de riesgos geológicos utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG). Concluye la positiva aplicabilidad de los mapas vectores en la determinación de zonas susceptibles a inestabilidades.

Fidel (2007). En su estudio de deslizamiento traslacional- Flujo de detritos Mayunmarca- Perú, los resultados de este estudio indican que las causas de este deslizamiento fueron:

- Sobresaturación de la cubierta de suelo debido a las infiltraciones de agua de lluvias.
- Intensa erosión retrogresiva que profundizo el cauce de la quebrada que drenaban la ladera.
- Fuertes precipitaciones entre los meses de octubre y marzo cuyas aguas percolaron a través de las fracturas, fallas y grietas preexistentes.

- Gruesos depósitos recientes con taludes superiores a 45°.

Este estudio concluye que el movimiento de masa desplazó un volumen de material de 1,600 millones de m³, que se acumuló en el cauce del río Mantaro. Así mismo causó la muerte de alrededor de 600 personas, dejando más de 2,500 damnificados y destruyendo 3.8 km de la carretera La Mejorada- Ayacucho.

Vargas (1986), en su estudio Geología Ingenieril en la Cuenca del río Rímac Sector 9, realizando la caracterización litológica de consistencia y resistencia de los afloramientos rocosos y la susceptibilidad a los deslizamientos, descubre que existe una relación inversamente proporcional entre la resistencia y la consistencia de los afloramientos rocosos y la susceptibilidad a los deslizamientos en donde los afloramientos menos consistentes y menos resistentes son altamente susceptibles a los deslizamientos. Los procesos de la Geodinámica Externa generan taludes cuyo movimiento es hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforman un talud de roca, suelo natural o relleno o una combinación de ellos. Este estudio concluye que dichos movimientos ocurren generalmente a lo largo de superficies de fallas, por cada libre principalmente seguidos de movimientos de masa, erosión o flujos.

INDECI (2011), afirma que la susceptibilidad a los movimientos de masa se puede evaluar de dos formas diferentes:

- Mediante el sistema de la experiencia. Donde se utiliza la observación directa de la mayor cantidad de movimientos de masa ocurridos en el área estudiada y se evalúa la relación entre los movimientos de masa y la geomorfología.
- Mediante sistemas teóricos. Donde se realiza un cartografiado de los factores que se considere que puedan afectar la ocurrencia de movimientos de masa y luego se analiza la posible contribución de cada uno de ellos.

Así mismo plantea un modelo que permite representar la interacción de las diferentes variables seleccionados (pendientes, suelos, geología etc.) en donde usa la siguiente ecuación: Susceptibilidad= Capa de pendiente + capa de suelo + capa de geología + capa de hidrogeología, para obtener este modelo final utiliza el método heurístico. Añade que este modelo final de susceptibilidad implica una serie de limitaciones e incertidumbres que deben ser tomadas en cuenta al interpretar los resultados.

Ochoa (2010), en su estudio, *Peligros geológicos en la Cuenca Alta del Rímac entre Ticlio y Matucana*, llega a las siguientes conclusiones: que el entorno geográfico de montañas y valles de fuertes pendientes condicionan la erosión y la actividad de la geodinámica externa; que la dinámica de flujos de lodos y escombros está condicionada a las intensas precipitaciones excepcionales; que la identificación de peligros geológicos y su área de influencia expresados en mapas de susceptibilidad, son herramientas principales que deben ser tomadas en cuenta por autoridades para la programación de planes de desarrollo y ordenamiento

territorial de la comunidad. Asimismo esta misma autora en su estudio: *Análisis Comparativo de Modelos Heurístico y Probabilístico para evaluar la susceptibilidad a movimientos en masa en la Cuenca Alta del río Rímac. Sector: Ticlio- Matucana- Lima*, concluye que los mapas de susceptibilidad son resultados de la interacción de las ponderaciones de los mapas temáticos (hidrogeológico, litológico, geomorfológico, pendiente y de cobertura vegetal). Manifiesta además, que la zonificación de susceptibilidad con el método probabilístico tiene mayor conformidad que el heurístico debido a que en su procesamiento se han hecho uso de ponderaciones más confiables, generadas con técnicas estadísticas que revelan la relación de dependencia entre la superficie erosionada y la propensión a la inestabilidad.

Locales

Lagos et al., (2006), en el estudio *Aportes al Análisis de Cuencas Sedimentarias en los alrededores de las localidades de los Baños del Inca, Cruz Blanca, Otuzco, distrito de Cajamarca*, realizan estudios sedimentológicos y estratigráficos aplicando técnicas de análisis de cuencas con la finalidad de caracterizar el ambiente de depositación de las secuencias sedimentarias. Los resultados obtenidos concluyen que existen variaciones laterales de facies y que fueron controlados por la paleo depresión que existió durante el cretáceo inferior. Estas variaciones consisten en un mayor contenido de material arcilloso en el sector SE del área de estudio (zonas de Urubamba, Tres Ríos y Corisorgona). Debido a estos resultados,

este trabajo concluye que esta caracterización litológica influye en la inestabilidad de los terrenos y suelos en este sector en mención.

COSUDE– CARE (2008), realizó el Proyecto; *Gestión de Riesgo de Deslizamiento del Ronquillo, Urubamba y Corisorgona- Levantamiento Geofísico de Georadar*, con la finalidad de calcular la profundidad e inclinación del suelo susceptible al deslizamiento. Este estudio dio como resultado para los depósitos cuaternarios en la zona de Corisorgona espesores de 3 a 8 metros y ángulos de arrastre de hasta 45°; para el área de Ronquillo un suelo no consolidado con espesores de hasta 25 metros y ángulo de arrastre de hasta 40°; area de Urubamba suelo no consolidados con 15 a 25 metros de espesor y ángulo de arrastre mayor de 45°. Este estudio concluye que estas zonas poseen un alto riesgo de deslizamientos.

Lagos et al., (2011), en el estudio *Análisis Estructural y su relación con los intrusivos Miocénicos- Zona de Urubamba- Tres Ríos*, realizan un análisis poblacional de fallas y fracturas con la finalidad de demostrar la posible relación existente entre estas y los cuerpos intrusivos y la mineralización. Los resultados de estos análisis indican la presencia de un intenso fracturamiento en el sector Sur-Este del área de estudio, concluyendo que este estilo tectónico ha generado debilidad en las rocas areniscosas y calcáreas por lo que las hace más susceptibles a los movimientos de masa (MM).

2.2 Bases teóricas

Tectónica de Placas.

Palacios (1993), manifiesta que el Perú se ubica dentro del marco de la Tectónica de Placas, la cual se ubica al Este de la convergencia de la placa continental denominada Sudamericana y la Placa litosférica descendente de Nazca. Teniendo en cuenta esto podemos decir los procesos de denudación o desgaste de la superficie en la zona de Cajamarca es consecuencia de la Tectónica de Placas. Este conocimiento de la situación real del territorio peruano nos lleva a tener un enfoque diferente en el tratamiento de los deslizamientos en todo el territorio peruano.

Hervas (2002), sostiene que en primer lugar las investigaciones sobre la evaluación de riesgos de deslizamientos que utilizan herramientas SIG y que determinan zonas de alto riesgo tienen dificultad en conocer bien los parámetros de entrada y por otro la medida del control de calidad de los datos ingresados para el procesamiento son difíciles de probar, no siendo recomendable usar un solo método específico de análisis de susceptibilidad siendo necesario realizar comparaciones entre el método heurístico y el probabilístico. Este mismo autor ha hecho notar que la mayoría de los trabajos de investigación sobre deslizamientos ya sea aplicando las herramientas SIG no consideran el efecto tectónico que genera una mayor alteración de las rocas.

Martínez (1972), manifiesta que los deslizamientos son 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. Estos se producen al superarse la resistencia al corte del material y tiene lugar a lo largo de una o varias superficies de falla a través de una franja relativamente angosta del material. Las caídas de rocas están compuestas por bloques y/o cantos de roca con o sin presencia de finos. Las pendientes de estos taludes comúnmente son muy empinadas (más de 45°). Sin embargo los flujos de detritos consisten en movimientos relativamente rápidos y están compuestos por materiales gruesos con menos del 10% de finos. En cuanto a los movimientos complejos, estos, están compuestos por la combinación de dos o más tipos de deslizamientos. Muy a menudo un tipo de proceso activo puede convertirse en otro a medida que progresa el fenómeno.

Inestabilidad de los movimientos de masa (MM).

La **UNESCO (2000)**, explica que estos movimientos en masa se inestabilizan cuando el esfuerzo de corte excede al esfuerzo de resistencia del material. Por lo tanto dicha inestabilidad genera los deslizamientos. Así mismo define a la Susceptibilidad como 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 estudios de peligrosidad evalúan únicamente la susceptibilidad a la rotura, siendo pocos los que estudian el peligro de alcance por los deslizamientos. Así mismo, define a Mapas de susceptibilidad como documentos de aproximación, que previo análisis sirven para identificar zonas problemáticas (de riesgo). Para la generación de estos mapas, se utiliza la superposición de mapas temáticos de los

diferentes factores condicionantes, gracias al establecimiento de base de datos que se asocian en un sistema de información geográfica.

Modelo científico

Con este término se hace referencia a la representación de carácter gráfica, abstracta, matemática, etc. de determinados procesos o fenómenos con el propósito de exponerlos, detallarlos, estudiarlos y analizarlos. A partir de un modelo científico es posible obtener efectos o resultados certeros o probables acerca del fenómeno de estudio. Los modelos científicos pueden ser clasificados de acuerdo a su estructura interna. Ibáñez J. (2008):

Modelos físicos, este tipo de modelo se identifica por la representación de un elemento determinado, proporcionando la oportunidad de exponerlo a acontecimientos de diversa índole.

Modelos matemáticos, tienen como finalidad la representación de distintos fenómenos, o los vínculos existentes entre ellos, por medio de una fórmula de carácter matemático. Se pueden clasificar en:

- Modelos deterministas. Cuentan con la particularidad de que los datos empleados y el fenómeno estudiado se conocen de manera total. Es decir que las fórmulas utilizadas son de tal exactitud que logran obtener un resultado preciso. Por ejemplo, la ley de la gravitación formulada por Newton.

- Modelos numéricos, aquí las circunstancias de inicio y la realidad física son simbolizadas por medio de una serie numérica. Con la aplicación de un método específico se requiere un resultado también de carácter numérico que proporciona las consecuencias o derivaciones de las condiciones dadas al principio.
- Modelo estocástico, no se conocen los datos con exactitud de manera que se observa un cierto grado de incertidumbre. Como consecuencia, el resultado obtenido representara una probabilidad y no una certeza total.
- Modelo gráfico, incluyen la figuración de datos numéricos por medio de técnicas, graficas determinadas, tales como símbolos o vectores. A partir de los mismos se representan visualmente relaciones entre los elementos involucrados.
- Modelo conceptual, hace referencia a cuadros conceptuales en donde se relacionan un conjunto de elementos determinados, conteniendo además postulaciones sobre la naturaleza de los fenómenos representados a través de dichos conceptos.

Método heurístico y probabilístico.

Existen dos métodos para el análisis de inestabilidad: el metodo heurístico o empírico y el estadístico o probabilístico. El primero está basado 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. Por el contrario el segundo permite establecer relaciones estadísticas entre una serie de factores condicionantes de los movimientos de laderas como la litología, pendiente, geomorfología etc. y la distribución actual y/o pasada de los movimientos a escala de detalle. Su uso requiere crear una base de datos que incluya toda la información. **(Carrara 2008).**

Análisis Estadístico Univariado o Divariado.

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

Esta fórmula es la siguiente:

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

Dónde:

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

DZX = Superficie acumulada de movimiento en masa en Km²

S = Superficie total acumulada de la UCP.

UCP = Unidad Cartográfica de Parámetro.

Histogramas de frecuencias.

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.

Normalización de datos.

Con la normalización de datos se procede a ajustar los valores de rangos asignados a las variables analizadas.

Correlación de Pearson.

Es una prueba estadística que analiza la relación de dos o más variables medidas en un nivel por intervalos. Esta prueba no considera a una como “independiente” y a la otra como “dependiente” debido a que no evalúa la causa ni el efecto. Este coeficiente puede variar de **-1,00 a +1,00** **-1,00**: Correlación negativa perfecta (A mayor X, menor Y) de manera proporcional. Es decir que cada vez que X aumenta una unidad, Y disminuye siempre en una cantidad constante (**Horna 2011**):

-0,90: Correlación negativo muy fuerte.

-0,75: Correlación negativa considerable.

-0,50: Correlación negativa media.

-0,25: Correlación negativa débil.

-0,10: Correlación negativa muy débil.

0,00: No existe correlación entre las variables.

+0,10: Correlación positiva muy débil.

+0,25: Correlación positiva débil.

- +0,50: Correlación positiva media.
- +0,75: Correlación positiva considerable.
- +0,90: Correlación positiva muy fuerte.
- +1,00: Correlación positiva perfecta.

Coeficiente de Consistencia (RC).

Se utiliza para probar la consistencia y confiabilidad de las ponderaciones, se requiere que el valor sea menor a 0,10. Se utiliza la siguiente fórmula:

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

Dónde:

- RC : Coeficiente de Consistencia.
- IC : Índice de consistencia.
- IA : Índice aleatorio.
- $\lambda \max$: Eigenvalor máximo o principal.

La tabla 2 muestra los valores de índice de consistencia (IA) para un número determinado de mapas factores.

Tabla 2 Índices Aleatorios de Consistencia (IA).

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

Fuente: INGEOMINAS (2000).

Susceptibilidad.

Es 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, siendo pocos los que estudian el peligro de alcance de deslizamiento y reduciéndose aún más los que establecen la potencialidad. La susceptibilidad se define como la posibilidad de que una zona quede afectada por un determinado proceso, y se expresa a través de distintos grados cualitativos y relativos. Depende 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 (**Suárez 1998**).

Mapa de susceptibilidad.

Proveen 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**)

Mora y Vahrson (1991) opinan que 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 y disparo; la representación espacial de los factores y

de los procesos de inestabilidad. Herramientas como los Sistemas de Información Geográfica, agilizan cada vez más el tratamiento de la información, permitiendo rápidamente la actualización de la misma. Estudios de susceptibilidad permiten predecir con más confiabilidad las áreas, observando el desarrollo de la inestabilidad en el tiempo. Las técnicas de zonificación están en desarrollo constante.

Matriz de Jerarquías Múltiples (Analytic Hierarch Process AHP). 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. 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 3 muestra cómo se hallan los pesos obtenidos.

Tabla 3. Matriz de jerarquías múltiples

j \ i	Unidades litológica	Pendientes	Unidades hidrogeológicas	Unidades geomorfológicas	Usos de suelos
Unidad litológica	1	a21	a31	a41	a51
Pendientes	a12	1	a32	a42	a52
Unidades hidrogeológicas	a13	a23	1	a43	a53
Unidades geomorfológicas	a14	a24	a34	1	a54
Usos de suelos	a15	a25	a35	a45	1

Fuente: Hayman (1998).

2.3 Definición de términos básicos

- **Modelamiento.** Consiste en crear modelos, es decir arquetipos que expliquen la realidad (**Chirif 2007**).
- **Geodinámica externa.** Procesos externos de denudación y moldeado de la superficie terrestre (**Vera 1994**).
- **Meteorización.** Proceso de alteración y erosión de las rocas convirtiéndolos en diferentes fragmentos que pueden ser transportados y sedimentados (**Vera 1994**).
- **Fracturas.** Planos divisorios o superficies que dividen las rocas y a lo largo de los cuales no hubo movimiento visible paralelo o plano a superficie (**Billings 1974**).
- **Fallas.** Roturas a lo largo de las cuales las paredes opuestas se han movido la una con relación a la otra. La característica esencial es el movimiento diferencial paralelo a la superficie de la fractura (**Billings 1974**).
- **Deslizamientos.** Movimiento de masa rocosa o de los suelos por la pérdida de la estabilidad (**Martínez 1972**).
- **Caída de rocas.** 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**).

- **Flujo de detritos.** Se considerar como la terminación de la caída de rocas; los fragmentos de roca se van formando debido al transporte del material. (**Suárez 1998**).
- **Flujo de escombros.** Los materiales transportados son parecidos a los detritos y el contenido de humedad es ligeramente alto con respecto al flujo de detritos, se asemeja a un abanico de depositación (**Suárez 1998**).
- **Movimientos complejos.** Se les denomina movimientos complejos, debido a que se producen por una combinación de dos o más de los tipos de MM descritos anteriormente (**Suárez 1998**).
- **Montaña.** Es una elevación natural del terreno que supera los 700 metros respecto a su base. Las montañas se agrupan en cordilleras (**Vera 1994**).
- **Colina.** Es un accidente geográfico que no supera los 100 metros respecto a su base y que posee formas suaves (**Vera 1994**).

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

3.1 Ubicación del área de estudio

El estudio de investigación se realizó al noroeste de la ciudad de Cajamarca, en la zona de Urubamba y Tres Ríos. Geográficamente se encuentra comprendida entre las siguientes coordenadas UTM PASAD 56 (tabla 4).

Tabla 4. Coordenadas UTM PASAD 56 de la zona de estudio.

VERTICE	LATITUD	LONGITUD
A	9213000	762000
B	9213000	773000
C	9205000	762000
D	9205000	773000

La zona de estudio abarco una extensión total de 88km².

3.1.1 Accesibilidad

A la zona de estudio se pudo acceder de muchas maneras

En la tabla 5, se observa las diferentes vías de acceso al área de estudio.

Tabla 5. Vías de acceso para la zona de estudio

TRAMO	TIPO	TIEMPO (Hora)
Cajamarca- Cumbemayo	Afirmado	1,5
Cajamarca- Chamis	Afirmado	1
Chamis- Chetilla	Herradura	2

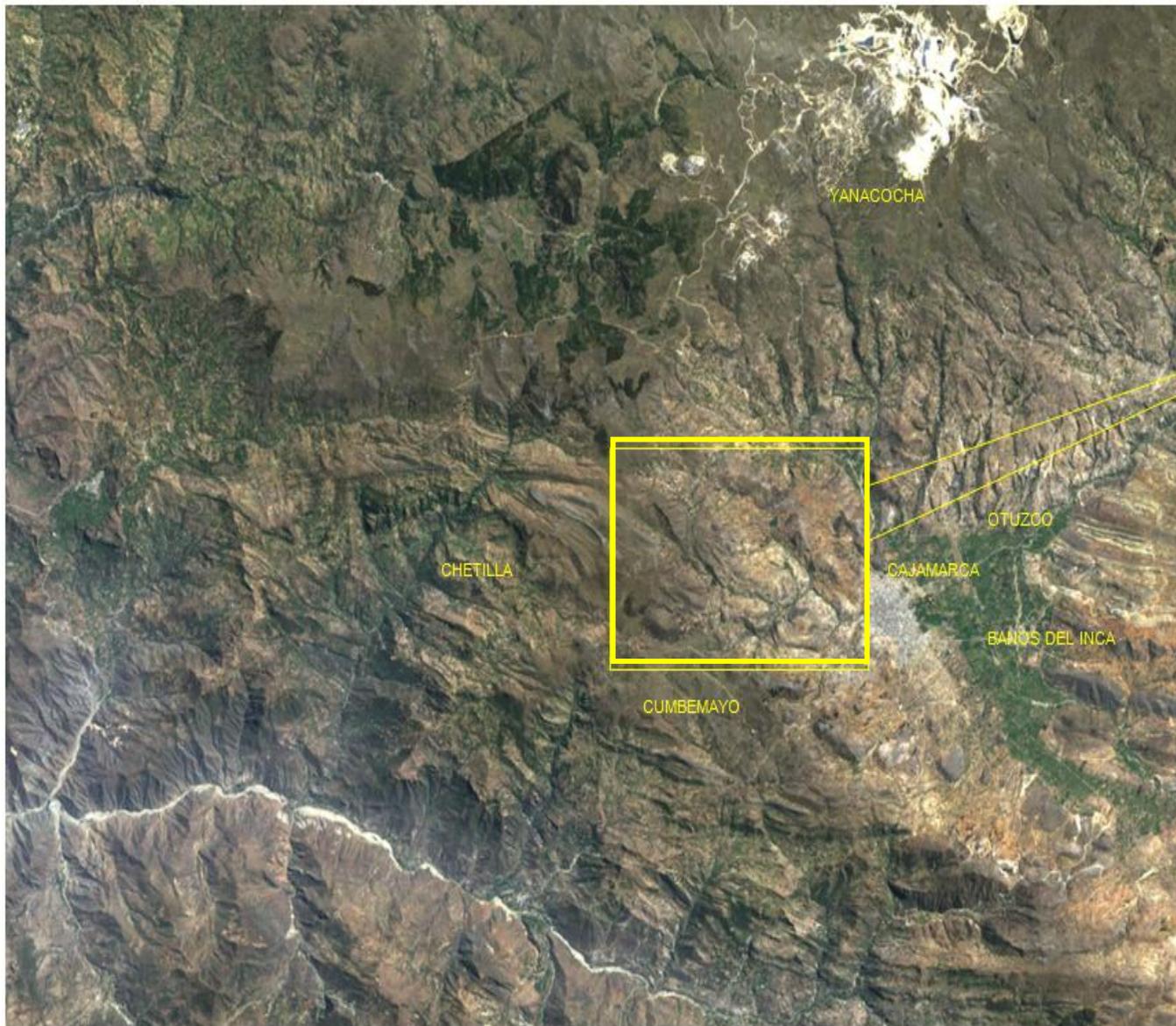


Figura 2. Mapa de ubicación del área de estudio.

3.1.2 Geografía

Topográficamente posee alturas mínimas de 2800 y máximas de 3350 msnm. Existen dos importantes ríos (Urubamba y Tres Ríos) los mismos que se unen en el sector Sur occidental de la zona de estudio. La morfología 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 los calcáreos muestran formas y pendientes suaves. Los volcánicos de edad Paleógena están como promontorios a causa de la gran denudación que sufrió la zona. Estos volcánicos muestran aspectos “ruiniformes”.

3.1.3 Clima

Los climas del área son semi-áridos. Las precipitaciones son todas las aguas meteóricas que caen a la superficie de la tierra, tanto en forma líquida como sólida (granizos, escarcha). Por su intensidad se identifica en: Clima húmedo-templado, presentando una temperatura media anual de 14,2 °C. Esta zona de estudio se caracteriza por presentar 3 periodos de precipitaciones los cuales son: Lluvioso en los meses de diciembre- marzo, intermedio entre los meses de abril, septiembre, octubre y noviembre y un período seco en los meses de mayo- agosto. En la figura 3 se muestra el comportamiento de las precipitaciones anuales registradas en el año 2012 para la localidad de Cajamarca.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Precipit. (mm)	89	102	126	93	37	13	6	8	34	76	58	78
Evapotra. (mm)	128	105	107	94	95	93	105	117	127	131	137	135
Días con lluvia	13	17	17	14	9	4	2	2	9	9	8	11
Temp. max. (°C)	22	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	22
Temp. min. (°C)	8	7	7	5	5	3	3	4	5	7	6	6
Temo. med. (°C)	14	14	14	14	14	13	13	14	14	14	14	14
Hum. Rel. med. (°C)	71	75	77	78	73	68	62	58	64	68	64	67
Rad. solar (mj/m2)	17.3	17.4	16.4	15.8	14.4	14.9	16.5	16.9	16.8	18.1	19.9	18.3
Horas sol n/n (%)	37	36	33	38	48	50	56	50	40	41	49	43
Veloc. Viento (m/s)	15	15	15	15	15	26	31	31	26	21	15	15

Figura 3. Registro del clima para la localidad de Cajamarca.

Fuente: Estación Weberbauer. SENAMHI (2012)

3.1.4 Vegetación

La zona de estudio presenta una típica vegetación de altura como son árboles de pino, gramíneas, alisos, pencas, pastizales propios de la zona como los ichus, además existen cultivos de hortalizas, maíz, tubérculos. Ente los árboles se tiene a los eucaliptos que son utilizados para la obtención de madera.

3.1.5 Drenaje

En esta área predomina el drenaje de tipo dendrítico especialmente en el material sedimentario. Estos drenajes cuentan con agua en la mayoría de los casos, en épocas de lluvia, por lo que el resto del año sucede lo contrario. En la zona es común encontrar drenajes en

formación de cárcavas y quebradas que ayudan a drenar el curso del agua en época de lluvias predominando la erosión de fondo y provocando deslizamientos y desplomes de algunas zonas con rocas frágiles, dando lugar a patrones de drenaje dendríticos y paralelos dependiendo de la litología del lugar.

Río Manzano. Tiene sus nacientes al norte del cerro Chamis, su cauce tiene forma de “v”, en este predomina la erosión en fondo sobre la lateral, siendo su patrón de drenaje dendrítico por la misma topografía de la zona.

Río Balconcillo. Nace al NE del cerro Secsemayo, su patrón de drenaje es dendrítico.

Río Cushunga. Es el más grande del área en estudio, su recorrido lo hace diagonalmente (NO– SE). En sus inicios predomina la erosión de fondo y mientras avanza, incrementa su ancho.

Río Tres Ríos. Su nombre se debe a que lo forman los 3 anteriores. Se caracteriza porque su lecho posee una pendiente suave y junto con el río Urubamba forman el río Ronquillo. Sus aguas son utilizadas para consumo humano (agua potable).

3.1.6 Altitudes y Topografía

La geografía corresponde a la Cordillera Occidental cuya topografía esta disectada por quebradas y ríos. Posee alturas que oscilan entre los 2800 y 3350 msnm y que correspondería a la región natural denominada “Quechua”. La fisiografía está controlada por el sinclinal Urubamba cuya orientación regional es NO- SE.

3.1.7 Geomorfología

Valle. Esta geoforma abarca un pequeño porcentaje del área. Se ubica mayormente en el vértice superior derecho. Está controlada por la falla longitudinal Cajamarca (FC) y fallas paralelas secundarias generando colapsos tectónico por graben. Parte de la ciudad de Cajamarca está asentada sobre esta unidad geomorfológica.

Superficies de erosión. En el área de estudio se han observado tres tipos de superficies de erosión básicamente diferenciados por el grado de erosión:

Relieve Montañoso. Esta superficie de erosión se ha formado sobre rocas de la formación Farrat y Chimú, compuesta por areniscas cuarzosas con cemento silicio que le proporciona gran resistencia a la erosión. Formada por colinas escarpadas y agrestes. Los cerros Balconcillo y Huañuman representan a esta superficie.

Colinas de pendientes medias y bajas. Se ha formado sobre rocas calcáreas de composición arcillosa y areniscosa. 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.

Superficies Ruiniformes. Esta superficie de erosión se ha formado sobre rocas volcánicas tobáceas de edad paleógena. Constituyen remanentes subhorizontales claramente contrastable con el resto de las geoformas.

3.1.8 Estratigrafía

En la zona de estudio existen rocas que poseen edades del cretáceo inferior al reciente. Se observan todas las unidades geológicas del cretáceo en aparente concordancia, lo que sugiere una tranquilidad tectónica durante la depositación. La característica litológica de toda la secuencia está marcada por rocas esencialmente clásticas en la parte inferior y una calcárea en la superior (Figuras 4 y 5).

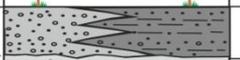
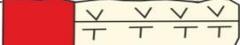
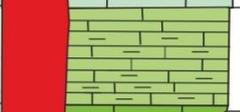
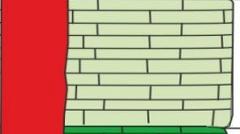
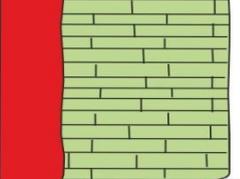
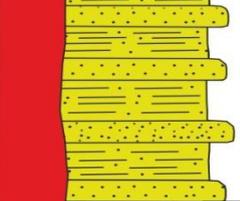
ERA	SISTEMA	UNIDAD LITOLÓGICA	ESPESOR (m)	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	
CENOZOICA	CUATERNARIO	DEP. COLUVIAL DEP. FLUVIAL	30		Arenas, arcillas, gravas	
		DEP. LACUSTRINO	100		Árenas, arenas arcillosas, gravas	
	PALEÓGENO NEÓGENO	VOLCÁNICOS HUAMBOS	200		Tobas riolíticas, andesitas, traquitas	
		GRUPO CALIPUY FORMACIÓN SAN PABLO	300		<i>Discordancia</i> Cuerpos intrusivos subvolcánicos Tobas riolíticas, andesitas, traquitas <i>Discordancia</i>	
MESOZOICA	CRETACEO SUPERIOR	FORMACIÓN CAJAMARCA	430		Calizas macizas, estratos gruesos, muy resistentes a la erosión, de color gris azulinas.	
		GRUPO QUILQUIÑAN	240		Calizas macizas, margosas intercaladas con limoarcillitas calcareas.	
		FORMACIÓN MUJARRUM	250		Arcillitas gris amarillentas intercaladas margas y calizas gris marrones.	
		FORMACIÓN YUMAGUAL	500		Calizas areniscosas, margas y arcillitas calcáreas de color gris marrones	
	CRETACEO INFERIOR	GRUPO GOYLLARISQUIZGA	FORMACIÓN PARIATAMBO	175		Calizas nodulares gris oscuras intercaladas con arcillitas calcareas
			FORMACIÓN CHULEC	450		Calizas areniscosas, margas y arcillitas calcareas estratos grueso y delgados bien definidos Intercalación de calizas y margas abundantes de restos fósiles.
			FORMACIÓN INCA	80		Areniscas ferruginosas, areniscas calcareas
		GRUPO GOYLLARISQUIZGA	FORMACIÓN FARRAT	400		limolitas, arcillitas y areniscas Areniscas grano medio, areniscas ferruginosas con arcillitas
				345		Areniscas grano fino intercalada con arcillitas
			FORMACIÓN CARHUAZ	80		Areniscas grano fino gris verdosas, arcillita, limoarcillitas y areniscas
				300		Limoarcillitas gris rojizas con nódulos de oxido de hierro
			FORMACIÓN SANTA	80		Arcillitas gris azulinas, arcillitas gris verdosas.
			FORMACIÓN CHIMU	300		Areniscas grano fino, gris blanquecinas, con niveles de oxidación. Areniscas, grano fino, arcillitas Areniscas grano fino, gris blanquecinas, estratificación sesgada (cruzada).

Figura 4. Columna Estratigráfica generalizada del área de estudio.

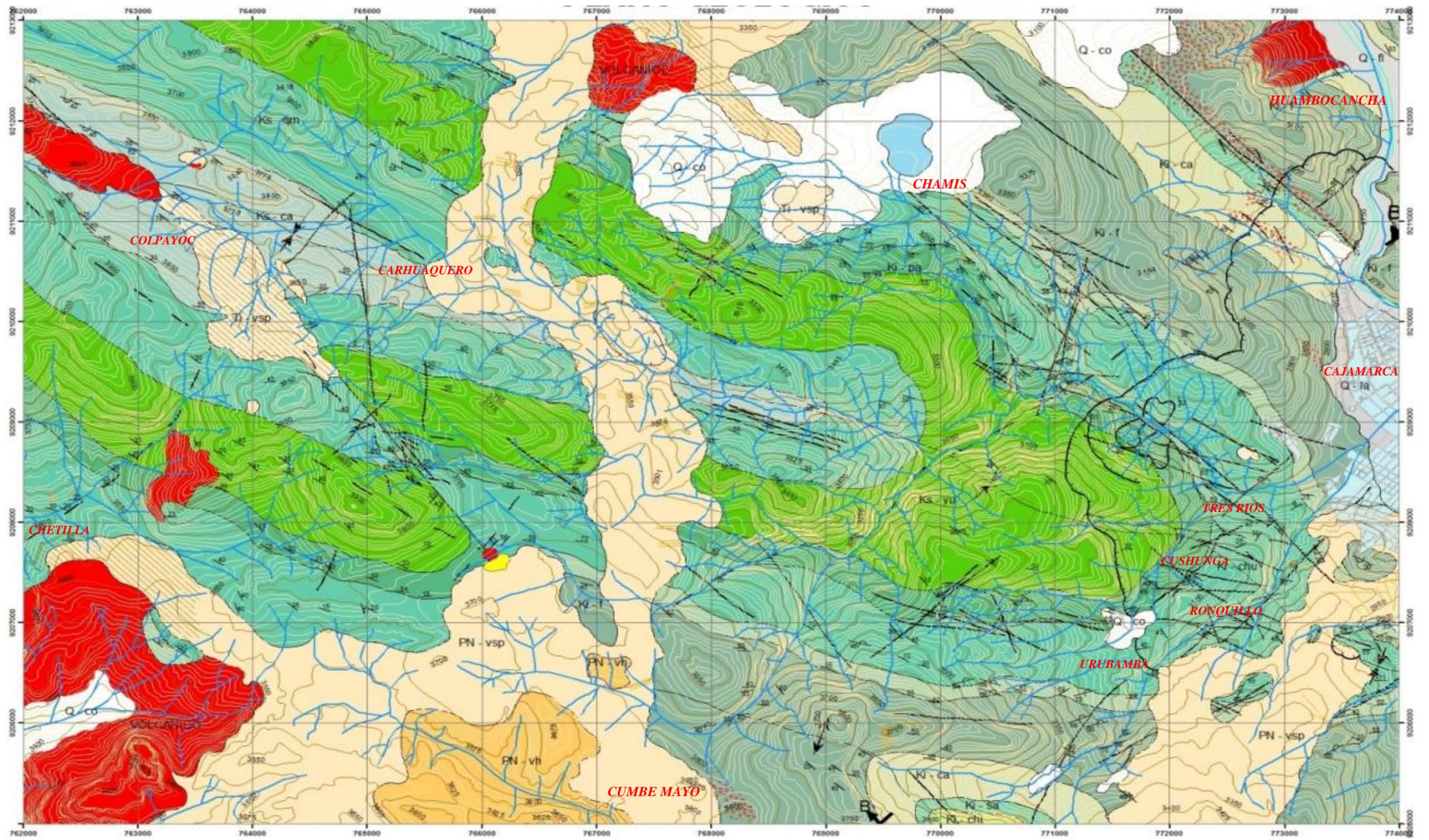


Figura 5. Mapa Geológico del área de estudio.

3.1.9 Cretáceo inferior

Grupo Goyllarizquisga

Formación Chimú (Ki- chi). Esta unidad estratigráfica aflora en la esquina SW del área de estudio formando el núcleo del anticlinal Cruz Blanca. Litológicamente la formación Chimú consiste en una alternancia de areniscas cuarzosas con cemento silíceo y lutitas en la parte inferior y de una gruesa secuencia de areniscas gris blanquecina en estratos gruesos en la parte superior.

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 m. disminuyendo hacia el norte y hacia el sur a grosores que van de 150- 200 m., igualmente hacia el este, llegando a grosores de hasta 100 m.

Formación Carhuaz (Ki- ca). Esta unidad estratigráfica fue estudiada por primera vez por Benavides. Está conformada por areniscas abigarradas de grano fino a medio, se intercala con niveles arcillíticos en estratos delgados, en algunas partes presenta delgados niveles carbonosos **Benavides (1956)**. Al igual que la formación 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**).

Formación Farrat (Ki- fa). 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.

Formación Inca (ki- in). Fue inicialmente llamada “Capas Rojas” por **Tafur (1950)**. La fauna encontrada permite asignarle una edad Aptiano superior (**Benavides 1956**). Esta unidad consiste de areniscas y limolitas ferruginosas.

Formación Chulec (Ki- chu). Esta unidad fue determinada por **Mc.Laughlin (1925)** y que al igual que en los Andes Centrales, se extiende en la zona norte del Perú sobreyaciendo concordantemente a la fm Inca e infrayaciendo con la misma relación a la formación Pariatambo. Esta unidad es incompetente estructuralmente, plegándose junto con las otras unidades calcáreas y mostrando una esquistosidad de fractura.

Formación Pariatambo (Ki- pa). Tiene su localidad típica en Pariatambo (cerca de la Oroya). Fue determinada por **Mc Laughlin (1925)** como miembro superior de las calizas Machay, posteriormente, **Benavides (1956)** lo eleva la categoría de formación. Su naturaleza bituminosa y su fauna encontrada evidencia un ambiente euxínico

(reductor), siendo de aguas moderadamente profundas en la parte central de la cuenca. Hacia el este, es de aguas más someras.

3.1.10 Cretáceo superior

Formación Yumagual (Ks- yu). Esta denominación fue dada por **Tafur (1950)**. Sobreyace en aparente concordancia a la formación Pariatambo e infrayace en igual relación a la formación Mujarrún. Consiste en una secuencia de margas y calizas gris amarillentas en estratos gruesos. Una de las características diagnósticas de esta unidad es la presencia de estratos gruesos macizos calcáreos compuesto en su mayor parte por restos de fósiles y microfósiles (cerro Colpayoc, Quebrada Callejón).

Formación Mujarrún (Ks- mu). **Tafur (1950)** reconoció con el nombre de formación Mujarrún y Quilquiñán a dos unidades consecutivas integradas dentro del grupo Pulluicana, después en el año 1956, Benavides, V. diferencia en la formación Mujarrún a los miembros Choro y Culebra y eleva a la categoría de grupo a la fm. Quilquiñán diferenciando dentro de este grupo a las formaciones Romirón y Coñor.

Grupo Quilquiñán (Ks- q). Este grupo está conformado litológicamente por margas lutitas con intercalaciones calcáreas. Hacia la parte superior continúan delgados lechos de calizas nodulares con marga pardo amarillentas muy fosilíferas (formación Romirón). Hacia la parte

superior se observan calizas gris blanquecinas intercaladas con lutitas areniscosas y margas delgadas con abundantes fósiles (formación Coñor). Este grupo descansa en aparente concordancia debajo de la formación Cajamarca.

Formación Cajamarca (Ks- ca). Nombre dado por **Benavides (1956)**. Corresponde a una de las secuencias calcáreas del Cretáceo superior que más destaca topográficamente, por su homogeneidad litológica y por su ocurrencia en bancos gruesos y duros y cuyos afloramientos exhiben una topografía kárstica con fuertes pendientes. Esta unidad yace concordantemente sobre el grupo Quilquiñán y con la misma relación infrayace a la formación Celendín. Según **Reyes (1980)** esta unidad consiste generalmente de calizas gris oscuras o azuladas y macizas con delgados lechos de lutitas de los mismos colores.

3.1.11 Paleógeno- Neógeno

A fines del Paleoceno o principios del Eoceno reaparece el vulcanismo andesítico. El comienzo de este vulcanismo en la zona de Cajamarca es afectado por el moderado plegamiento incaico. Según **Dalmayrac et al (1978)** a finales del Eoceno se produjo un plegamiento mayor denominado en el Perú Quechua 1 y que de acuerdo con la nomenclatura internacional debería llamarse Pirenaico (**Borkoski 1995**).

Grupo Calipuy. Consiste en una secuencia volcánica, que en su localidad típica incluye en el tope a tobas riolíticas, subhorizontales. En este trabajo también se ha determinado una secuencia volcánica subhorizontal que descansa discordantemente sobre el Volcánico San Pablo denominado Volcánico Huambos. Según **Reyes (1980)** el grupo Calipuy es el producto de un vulcanismo post- tectónico en la región cordillerana y representa el magmatismo efusivo que siguió al emplazamiento definitivo del batolito costanero. Descansa discordantemente sobre la secuencia sedimentaria cretácea. El grupo Calipuy se divide en tres formaciones: Volcánicos San Pablo, Chilete y Tembladera. En la zona de estudio afloran solamente los Volcánicos San Pablo:

Volcánicos San Pablo. Se denomina así a la secuencia superior del grupo. Calipuy que aflora en los alrededores del pueblo de San Pablo y noreste de San Miguel. Litológicamente está compuesta por dacitas y andesitas. En la parte superior de la secuencia se observan piroclásticos bien estratificados intercalado con aglomerados y brechas y lechos de calcedonia (**Reyes 1980**).

Volcánicos Huambos. Son depósitos subhorizontales de tobas andesíticas y traquíticas de color blanco amarillento. Estos depósitos se encuentran sobreyaciendo en discordancia angular a los sedimentos cretáceos y en discordancia erosional a los Volcánicos San Pablo. Sus afloramientos se encuentran rellenando paleo- depresiones como se

observa en las localidades de Otuzco y Cumbemayo. Estas rocas muestran una morfología ruiforme producto de la erosión.

3.1.12 Cuaternario

Depósitos coluviales

Son generados por la alteración, principalmente, de las rocas calcáreas, compuesta por material fino arcillo calcáreo, areno arcilloso, a veces suelen tener hasta 30 metros de espesor. Están ubicados mayormente en las partes altas de los cerros. En épocas de intensas lluvias se sobresaturan de agua y se deslizan pendiente abajo.

Depósitos fluviales

Están conformados por materiales con bastante transporte, estos depósitos están conformando horizontes formando terrazas. Los clastos son redondeados a subredondeados heterométricos y oligogométricos, de composición areniscosa, lutacea y calcárea mayormente.

3.1.13 Rocas intrusivas

En el área de estudio afloran stock, sill y diques que cortan a rocas volcánicas y sedimentarias. Los intrusivos profundos son mayormente dioríticos, tonalíticos y granodioríticos constituyendo la prolongación septentrional del batolito costanero. Los cuerpos hipabisales mayormente son pórfidos andesíticos y dacíticos ligado muchas veces a mineralizaciones metálicas (**Reyes 1980**).

Roca diorítica. Roca intrusiva de color gris verdosa con presencia de fenocristales de hornablendas, plagioclasas, poco cuarzo.

Roca traquiandesítica. Constituyen cuerpos de menores dimensiones. Son rocas subvolcánicas de color gris marrones con plagioclasas y hornblendas subredondeadas. En varios lugares las rocas han sufrido proceso de alteración hidrotermal manifestada por carbonatación (ruinas arqueológicas de Laizón).

3.2 Materiales y Métodos empleados

3.2.1 Los Materiales o herramientas. En la recolección de datos de campo se utilizaron los siguientes materiales o herramientas manuales y gráficas:

- Materiales o Herramientas manuales:

Muestreo de rocas y suelos: se utilizó la picota, GPS, lupa, ácido clorhídrico (HCl). Para la medición de los fenómenos de movimientos de masa se utilizaron la wincha, brújula.

Gabinete: se utilizaron los software ARC GIS y Excel 2007.

- Materiales o Herramientas gráficas. Lo constituyen las tablas de ponderación, las fichas y formatos de inventario de las diferentes unidades cartográficas, confeccionadas y adaptadas para la zona de estudio. Las fichas y formatos fueron utilizadas para reportar todo lo concerniente a daños ocasionados por los movimientos en masas actuales o antiguos (Tablas 6).

Tabla 6. Representación de las herramientas gráficas.

HERRAMIENTAS GRÁFICAS TABLAS	UTILIZACIÓN (VALORES DE 1 AL 5)
Ponderación de unidades de pendientes	Sirve para definir la inclinación de los terrenos.
Ponderación de unidades geomorfológicas	Sirve para ponderar la forma de los relieves de los suelos.
Ponderación de unidades litológicas	Sirve para determinar las diferentes litologías
Ponderación de unidades hidrogeológicas	Sirve para ponderar la interacción del agua con los suelos
Ponderación de unidades tectónicas	Sirve para ponderar el grado de tectonismo que afectó a los suelos o rocas.
Ponderación de unidades de cobertura vegetal	Sirve para estimar el grado de cobertura
Fichas estadísticas	Sirve para georeferenciar los eventos ocurridos en la actualidad como en el pasado. Sirve también para describir las características más saltantes de los fenómenos de remoción en masa.

Fuente: INGEMMET (1988).

Tabla 7. Caracterización y simicuantificación de riesgos

DAÑOS OCASIONADOS () O PROBABLE ()				
	Camino rural (Km)		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				
Característica de los daños	Sin daño	Leve	Moderado	Severo
CALIFICACIÓN DE RIESGO				
Grado del peligro	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Vulnerabilidad				
Riesgo estimado				
OTRAS OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES				
Medidas u obras de prevención y/o mitigación realizada	Si	No	Cual es	
DESCRIPCIÓN DE LAS MEDIDAS ADOPTADAS				
RECOMENDACIÓN DE OBRAS DE PREVENCIÓN				

Fuente: INGEMMET (1988).

3.2.2 Métodos empleados. Los métodos empleados en la identificación de los Movimientos de Masa (MM) fueron de la siguiente manera:

3.2.2.1 Los MM identificados en el área de estudio fueron 68, la mayoría de ellos ubicadas al Sur Este del área de estudio. Estos MM fueron medidos para determinar sus áreas de influencias. Para ello se procedió de la siguiente manera:

- Toma de coordenadas UTM (Sistema PASAD 56):

Cada MM fue ubicado en el mapa mediante la toma de coordenadas en el sistema UTM, mediante el GPS.

- Toma de Muestras

Se tomaron muestras de las rocas calcáreas en puntos específicos para la determinación de su composición química y el contenido de carbonato de calcio vs material arcilloso. Para la toma de muestras se siguió el siguiente procedimiento:

Representatividad. Las muestras tomadas fueron las más representativas de las zonas analizadas.

Libre de contaminación. Se escogieron lugares donde las rocas estaban libres de contaminación (materia orgánica, etc.)

Utilización de bolsas de muestreo. Esto evitó que la muestra sufra una contaminación posterior cuando fue enviada al laboratorio.

Todos los datos obtenidos en campo fueron transferidos a un mapa geológico a escala 1/12500. Posteriormente se procedió a realizar los análisis estadísticos:

3.2.2.2 Análisis Estadístico.

- Modelo Heurístico o empírico.
- Modelo Probabilístico.
- Análisis de Jerarquías Múltiples (AHP).
- Análisis estadístico univariado o divariado.
- Coeficiente de Correlación de Pearson.
- Mapas de susceptibilidad.

3.2.2.3 Ponderación de las Unidades o Mapas Factores

Ponderación. Se efectúa analizando la mayor y menor frecuencia. Como ejemplo utilizamos una mayor y menor frecuencia de 25 y 15 respectivamente. La diferencia entre ellos es 10. Como la ponderación va siempre de 1 (mínimo) y 5 (máximo). El valor de 10 es dividido entre el número de intervalos que en este caso es 5. Esta división da 2,0. Este valor es sumado sucesivamente y obtenemos los 5 intervalos que serán respectivamente: (15,0 - 17,0); (17,0- 19,0); (19,0-

21,0); (21,0- 23,0); (23,0- 25,0). Siendo por lo tanto la ponderación de 1 para 15 y 5 para 25 respectivamente.

Ponderación de unidades litológicas. Se considera como unidades más susceptibles a los depósitos inconsolidados, compuestos por materiales arcillosos y limosos y los de mayor resistencia a las rocas duras y compactas es decir que se basa en la competencia y calidad de la roca (Tabla 8).

Tabla 8. Ponderación de las unidades litológicas

Factores de Inestabilidad	Litología
1 (Bajo)	Unidades homogéneas, rocas duras, compactas, más antiguas. Bajo grado de alteración
↓	↓
5 (Muy alto)	Unidades heterogéneas, rocas más jóvenes, sedimentos recientes sueltos. Alto grado de alteración.

Fuente: Mora y Vahrson (1991)

Ponderación de unidades de pendientes. Se considera a las zonas más empinadas con pendientes altas las más susceptibles a deslizamientos (Tabla 9).

Tabla 9. Ponderación de unidades de pendiente

Mapa Factor	Código	Denominación	Ponderación	Categoría
PENDIENTE	PE- 001	< 5°	2	Baja
	PE- 002	6°- 15°	2	Baja
	PE- 003	16°-30°	5	Alta
	PE- 004	31°- 45°	5	Alta
	PE- 005	> 45°	4	Muy alta

Fuente: Mora y Vahrson (1991).

Ponderación de unidades hidrológicas. Se considera al agua por infiltración como un factor importante en la inestabilidad del terreno debido a las propiedades de expansión y dilatación de materiales por el contenido de humedad en sus estructuras (Tabla 10).

Tabla 10. Ponderación de las unidades hidrogeológicas

Mapa Factor	Código	Denominación	Ponderación	Categoría
HIDROGEOLOGICO	Api	Acuífero poroso inconsolidado	4	Alta
	Asf	Acuífero sedimentario fracturado	4	Alta
	Avf	Acuífero volcánico fracturado	5	Alta
	Acuiv	Acuitardo volcánico	2	Baja
	Acuis	Acuitardo sedimentario	2	Baja

Fuente: Mora y Vahrson (1991)

Ponderación de unidades de cobertura vegetal. Considera que las actividades de desarrollo que comprenden cortes y rellenos de talud y la supresión de toda vegetación pueden alterar la forma de la pendiente y las condiciones de las aguas subterráneas pudiendo aumentar significativamente la ocurrencia de peligros **IGAC (2005)** (Tabla 11).

Tabla 11. Ponderación de unidades de cobertura vegetal.

Mapa Factor	Código	Denominación	Ponderación	Categoría
COBERTURA VEGETAL	Cvr	Cultivos y bosques reforestados	3	Media
	Pn	Pastos naturales	2	Baja
	Pce	Pobre cobertura estacional	4	Alta
	Zu	Zona urbana	5	Muy alta

Fuente: Mora y Vahrson (1991)

Ponderación de unidades geomorfológicas. Consiste en la representación de las diferentes formas de los terrenos y considera a los terrenos montañosos y colinosos de mayor susceptibilidad la inestabilidad (Tabla 12).

Tabla 12. Ponderación de unidades geomorfológicas

Mapa Factor	Denom.	Cód.	Unidad	Ponderación	Categoría
GEOMORFÓLOGICO	Cumbres alpinas glaciáricas y/o glacioaluviales	Pf	Depósitos fluviales	2	Baja
		Pbo	Pampas y bofedales	1	Muy baja
		Zc	Zonas de cumbres	3	Media
	Montaña denudacional	Mat	Montañas en tobas riolíticas	3	Media
		Mcv	Montañas en aglomerado volcánico	3	Media
		Mts	Montaña en toba sedimentaria	4	Alta
	Montaña estructural	Prc	Plegamiento de roca cretácea	3	Media
		Su	Sinclinal Urubamba	3	Media
		Ca	Cumbre la Antena	2	Baja
	Valles y quebradas	Ve	Valle encañonado	4	Alta
		Vg	Valle glaciárico	4	Alta
		Vj	Valle juvenil	5	Muy alta

Fuente: Mora & Vahrson (1991)

La ponderación de unidades tectónica. Representa los diferentes estados de alteración de las rocas producidas por esfuerzos tectónicos y considera que la mayor concentración de movimiento en masa ocurre en rocas que han sufrido intenso fracturamiento y fallamiento. Esta tabla fue elaborada e

utilizada en los siguientes cálculos por el investigador (Tabla 13).

Tabla 13. Ponderación de unidades tectónicas.

Mapa Factor	Código	Denominación	Ponderación	Categoría
TECTÓNICO	T-001	Tobas riolíticas levemente fracturadas	2	Baja
	T-002	Tobas riolíticas intensamente fracturadas	4	alta
	T-003	Areniscas y lutitas intensamente fracturadas	5	Alta
	T-004	Areniscas y lutitas levemente fracturadas	2	Baja
	T-005	Margas, calizas, lutitas levemente fracturadas	2	Baja
	T-004	Marga calizas y lutitas intensamente fracturadas	4	Muy alta

3.2.2.4 Cálculo de los pesos estadísticos. Luego de haber construido las tablas de medición se procedió al cálculo estadístico del peso o susceptibilidad de todas unidades antes descritas dentro de la zona de estudio. Para este procedimiento se utilizó la fórmula propuesta por el **Ingeominas (1998)**. La tabla 14 muestra, a modo de ejemplo, el procedimiento realizado para el cálculo de los pesos estadístico de las unidades litológicas.

3.2.2.5 Grado de incertidumbre. Para determinar el grado de incertidumbre de los datos que se tomaron en campo se utilizaron las tablas 15 y 16.

Tabla 14. Aplicación del Método probabilístico para calcular el peso y susceptibilidad de las unidades litológicas

1	2	3	4	TIPO DE PELIGROS GEOLÓGICOS									
				SUSCEPTIBILIDAD O PELIGRO DE LAS UNIDADES A MOVIMIENTOS EN MASA									
				Dezliz.	Caída	Flujos	Otros Peligros	Muy Complejo					
				5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Código	Unidad	Número de ocurrencias	UCP (Km ²)	Tipo1 Km ²	Tipo2 Km ²	Tipo3 Km ²	Tipo4 Km ²	Tipo5 Km ²	5/4x 100	6/4x100	7/4x100	8/4x100	9/4x100
				L-001	Depósitos fluvio aluviales								
L-002	Depósitos glaciares y coluviales												
L-003	Areniscas gruesas y lutitas												
L-004	Conglomerados volcánicos y derrames andesíticos limolitas y areniscas												
L-005	Conglomerados areniscas y lutitas												
TOTAL													

Adaptada: Mora y Vahrson (1991).

Tabla 15. Estimación del grado de incertidumbre de los mapas factores

Mapas Factores	Variable	Grado de Incertidumbre
Topográfico	Ángulo de pendiente	Bajo
	Marco geomorfológico	Bajo
Litológico	Zonificación litológica general	Bajo
	Contexto tectónico general	Bajo
	Uso de los suelos	Alto
Inventario	Tipología	Intermedia
Hidrogeológico	Condiciones de agua subterránea	Alto

Fuente: Luzi (1995).

Tabla 16. Estimación del grado de incertidumbre de las diversas características de los suelos

Factor	Incertidumbre
Angulo de pendiente	bajo
Dirección de la ladera	bajo
Convexidad	bajo
Zonificación litológica general	bajo
Composición litológica detallada	alta
Contexto tectónico general	baja
Estructura detallada de la roca	alta
Aceleración sísmica	alta
Distribución de lluvias	intermedia
Marco geomorfológico	baja
Situación geomorfológica detallada	intermedia
Distribución de movimientos en masa actuales	intermedia
Tipología de los movimientos en masa actuales	intermedia
Actividad de movimientos en masa actuales	Intermedia/Alta
Características del suelo	Intermedia/alta
Distribución de movimientos en masa pasados	Alta
Distribución de tipos de suelo	Baja/Intermedia
Espesor del suelo	Alta
Condiciones del agua subterránea	Alta
Uso de suelo	Baja
Condiciones climatológicas pasadas	Alta

Fuente: Luzi (1995)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

Se ha identificado 68 Movimientos de Masa. En la tabla 17, se presenta la relación de los diferentes movimientos de masa identificados en la zona de estudio. Todos estos poseen características de litología, pendiente, vegetación, hidrogeología, geomorfología y lo más importante el tectonismo, las cuales fueron identificados y medidos.

El tratamiento estadístico se ha realizado utilizando el software Excel 2007 y el SPSS 15.0 y para la elaboración de los mapas el software ARGIS 9.3. La categorización y ponderación de los 68 fenómenos de remoción en masa han sido analizadas mediante los métodos heurísticos y probabilístico.

Tabla 17. Relación de los, movimientos de masa registradas en el área de estudio.

NÚMERO	NOMBRE ESPECÍFICO	CÓDIGO	AREA (Km ²)	COORDENADAS	
				ESTE	NORTE
1	Deslizamiento	MM1-01	0,30	770916	9210380
2	Deslizamiento	MM1-02	0,13	771883	9204477
3	Deslizamiento	MM1-03	0,60	772219	9209041
4	Deslizamiento	MM5-04	0,08	772435	9208838
5	Deslizamiento	MM1-05	0,76	771673	9208962
6	Deslizamiento	MM1-06	0,77	771676	9208688
7	Deslizamiento	MM1-07	0,50	773148	9208248
8	Deslizamiento	MM1-08	0,03	773052	9207580
9	Deslizamiento	MM1-09	0,11	772996	9027988
10	Deslizamiento	MM1-10	0,50	772499	9209706
11	Deslizamiento	MM1-11	0,54	773049	9209492
12	Deslizamiento	MM1-12	0,82	772930	9208418
13	Deslizamiento	MM1-13	0,65	772440	9209235
14	Deslizamiento	MM1-14	0,01	768568	9211512
15	Deslizamiento	MM1-15	0,60	772823	9208988

16	Deslizamiento	MM1-16	0,03	770850	9209100
17	Deslizamiento	MM1-17	0,01	769600	9208610
18	Deslizamiento	MM1-18	0,35	769120	9208210
19	Deslizamiento	MM1-19	0,01	768690	9207680
20	Deslizamiento	MM1-20	0,40	768090	9207410
21	Deslizamiento	MM1-21	0,51	770668	9210424
22	Deslizamiento	MM1-22	0,10	766956	9210362
23	Deslizamiento	MM1-23	0,31	772923	9208576
24	Caída de rocas	MM1-24	0,11	770999	9210303
25	Caída de rocas	MM1-25	0,01	771714	9209630
26	Caída de rocas	MM1-26	0,02	771933	9209410
27	Caída de rocas	MM1-27	0,11	771671	9208914
28	Caída de rocas	MM1-28	0,03	771857	9208586
29	Caída de rocas	MM1-29	0,05	773133	9207635
30	Caída de rocas	MM1-30	0,21	773294	9207811
31	Caída de rocas	MM1-31	0,01	772054	9209900
32	Caída de rocas	MM1-32	0,04	768886	9211706
33	Caída de rocas	MM1-33	0,05	772456	9209495
34	Caída de rocas	MM1-34	0,04	771704	9209143
35	Caída de rocas	MM1-35	0,1	769800	9211372
36	Caída de rocas	MM1-36	0,13	770520	9209016
37	Caída de rocas	MM1-37	0,10	767530	9206850
38	Caída de rocas	MM2-38	0,15	771310	9209786
39	Caída de rocas	MM2-39	0,25	767300	9206650
40	Flujo de detritos	MM2-40	0,15	767430	9205780
41	Flujo de detritos	MM2-41	0,25	774075	9207519
42	Flujo de detritos	MM2-42	0,70	774085	9207530
43	Flujo de detritos	MM3-43	0,08	771876	9209501
44	Flujo de detritos	MM3-44	0,13	770180	9211234
45	Flujo de detritos	MM3-45	0,16	768320	9210058
46	Flujo de detritos	MM3-46	0,12	772724	9207988
47	Flujo de detritos	MM3-47	0,17	774075	9207519
48	Flujo de detritos	MM3-48	0,14	772991	9206822
49	Flujo de detritos	MM3-49	0,01	772900	9206300
50	Flujo de detritos	MM3-50	0,01	773149	9205843
51	Flujo de detritos	MM3-51	0,20	770716	9205843
52	Flujo de detritos	MM1-65	0,10	771900	9209022
53	Flujo de escombros	MM4-52	0,24	770819	9210776
54	Flujo de escombros	MM4-53	0,24	769181	9204072
55	Flujo de escombros	MM4-54	0,20	766691	9206980
56	Flujo de escombros	MM4-55	0,26	766791	9206613
57	Flujo de escombros	MM4-56	0,30	768056	9207875
58	Flujo de escombros	MM4-57	0,26	767792	9208220
59	Mov. complejo	MM5-58	0,30	771545	9207512
60	Mov. complejo	MM5-59	0,17	772015	9208130
61	Mov. complejo	MM5-60	0,14	772948	9208045
62	Mov. complejo	MM5-61	0,19	772766	9207842
63	Mov. complejo	MM5-62	0,14	773708	9207951
64	Mov. complejo	MM5-63	0,10	769597	9211520
65	Mov. complejo	MM5-64	0,10	770915	9210323
66	Otros peligros	MM6-66	0,20	768670	9209161
67	Otros peligros	MM6-67	0,10	768357	9209277
68	Otros peligros	MM6-68	0,20	768871	9210998

TOTAL 14Km²

Se confeccionaron seis mapas factores: el litológico, geomorfológico, tectónico, cobertura vegetal, hidrogeológico y de pendiente. En el litológico e hidrogeológico se unieron las calizas, areniscas, volcánicos y material cuaternario para formar cuatro unidades. Al superponer estos seis mapas se observa que la mayor susceptibilidad a los MM está en la zona Sur Este del área de estudio abarcando a los centros poblados de: Ronquillo, Urubamba, Cushunga, Tres Ríos y San Ramón. En estos centros poblados se identificaron la mayoría de los MM, los cuales se utilizaron para realizar las distintas ponderaciones. A continuación se muestran los resultados obtenidos mediante ambos métodos:

4.1.1 Método Heurístico o Empírico

Ponderación de unidades litológicas. Esta ponderación indica que la mayor cantidad de movimiento en masa se encuentra en calizas, margas y lutitas (26) obteniéndose una ponderación de 5. Químicamente estas rocas son inestables por lo que son intensamente afectadas por los procesos exógenos y por lo tanto poseen una mayor susceptibilidad a los movimientos de masa (Figura 6).

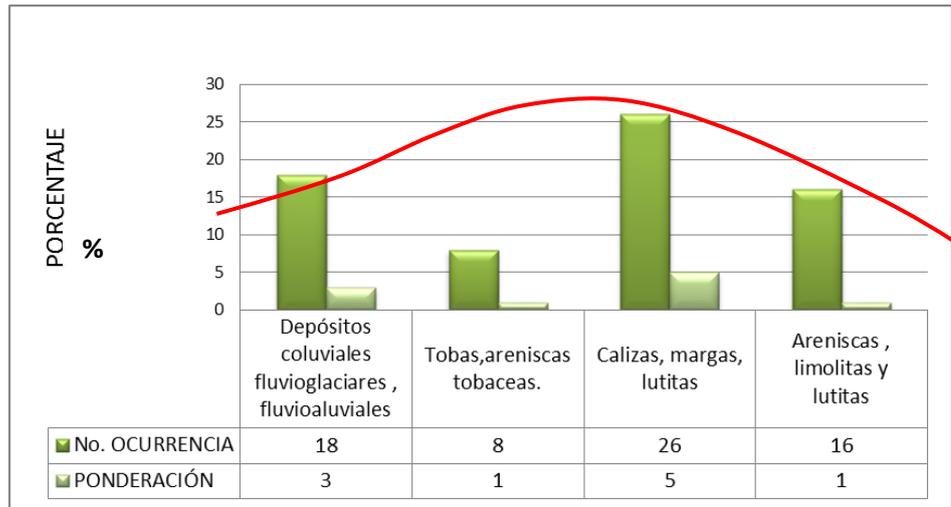


Figura 6. Ponderación de las unidades litológicas

Ponderación de unidades de pendiente. En la zona de estudio los movimientos en masa involucradas tienen una frecuencia de 26 y poseen pendientes mayores a 45% indicando que estos terrenos son los más susceptibles a los movimientos en masa, debido a que en estos predominan las rocas calcáreas, lutáceas y areniscas muy fracturadas y alteradas, por lo que a pendientes mayores de 45° éstos tienden a deslizarse (Figura 7).

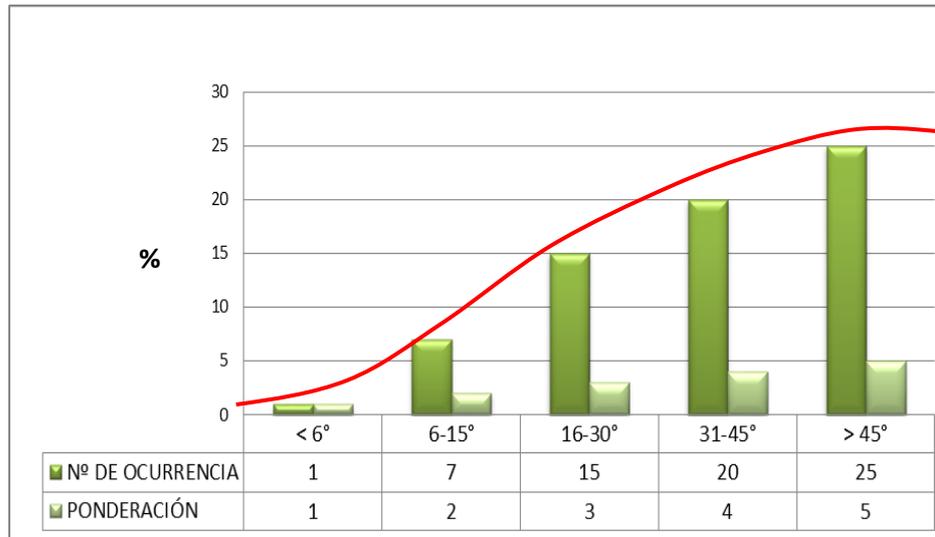


Figura 7. Ponderación de Unidades de Pendiente.

Ponderación de unidades de unidades geomorfológicas. El sinclinal de Urubamba por sus características geológicas, como su inclinación o inmersión hacia el Sur- Este, es la unidad geomorfológica que presenta una mayor cantidad de movimiento en masa (28). Esta característica es debida a que ha sido afectada en mayor medida por los procesos exógenos, debido a ello presentan una mayor susceptibilidad a los movimientos en masa (Figura 8).

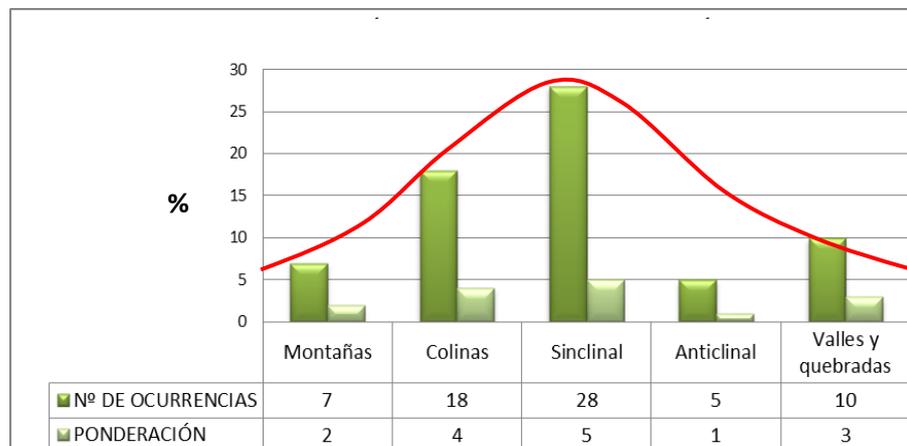


Figura 8. Ponderación de las Unidades Geomorfológicas

Ponderación de unidades hidrogeológicas. Esta ponderación determina que los movimientos en masa están en los acuitardos sedimentarios. La interacción del agua con las calizas, lutitas y margas genera una mayor meteorización de estas rocas por lo que los hace más susceptibles a los movimientos de masa (Figura 9).

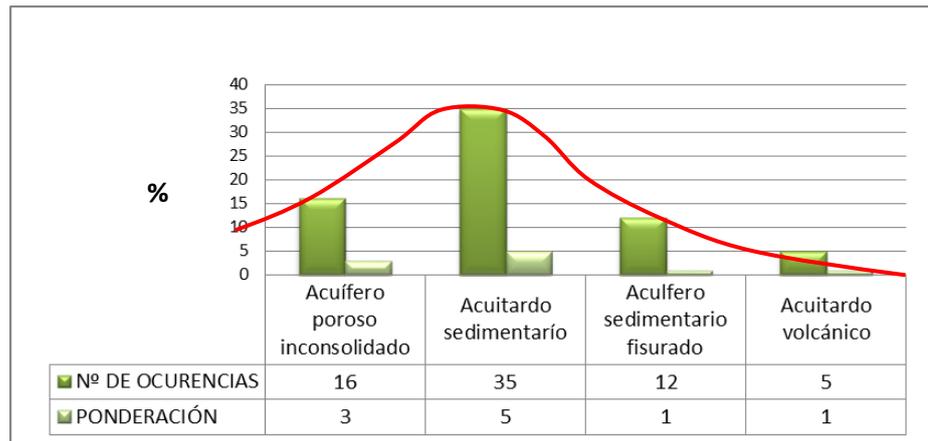


Figura 9. Ponderación de las Unidades hidrogeológicas.

Ponderación de unidades de cobertura vegetal. El cálculo determina que los pastos naturales condicionan a la estabilidad de los terrenos, mientras que las zonas con abundantes cultivos son los más susceptibles a los movimientos en masa debido a que estos suelos son removidos constantemente favoreciendo de esta manera la infiltración de las aguas (Figura 10).

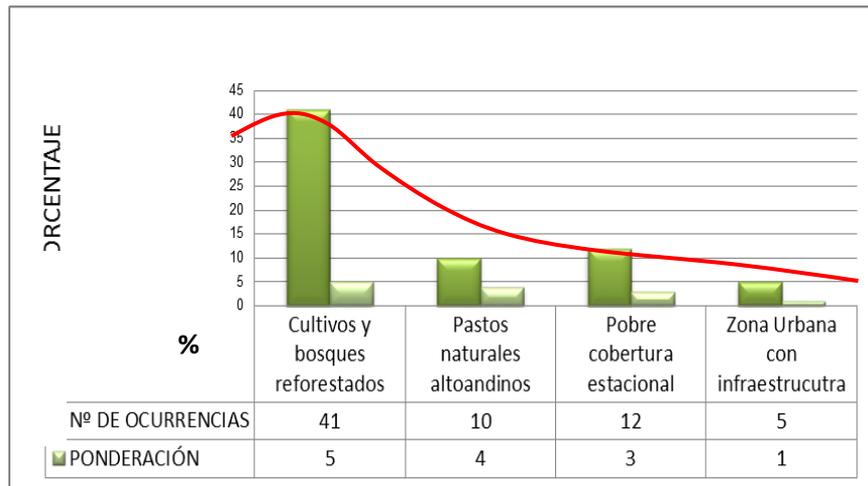


Figura 10. Ponderación de las unidades de cobertura vegetal

Ponderación de las unidades Tectónicas. Esta ponderación determina que las rocas que han sufrido mayor tectonismo son los más susceptibles a los movimientos en masa. En la zona de estudio existen huellas de varios episodios tectónicos: la Fase Peruana caracterizada por un levantamiento con movimientos epirogenéticos; la fase Tectónica Incaica (40 millones de años) de carácter compresivo considerada la más intensa y que afectó a las rocas cretáceas por esta razón estas se muestran muy inestables; la Tectónica Quechuana (5 millones de años) y que afectó a las rocas volcánicas es la de menor intensidad y por lo tanto estas rocas son las más estables (Figura 11).

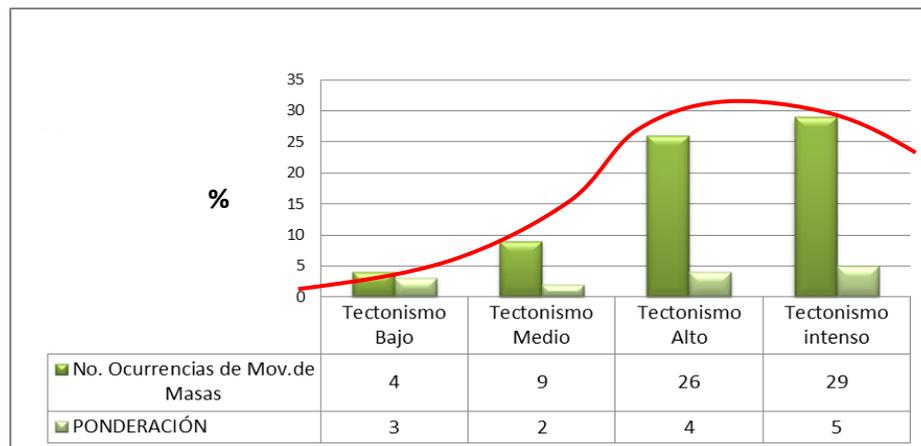


Figura 11. Ponderación de las unidades tectónicas.

4.1.2 Método Probabilístico

En las siguientes tablas y figuras se detallan las ponderaciones y categorizaciones de los 68 fenómenos de remoción en masa utilizando el método probabilístico.

4.1.2.1 Cálculo de la susceptibilidad de las unidades litológicas a los

MM. La mayor cantidad de MM se ubican en calizas, lutitas y margas y ocupan un área total de 6 km². con una normalización de 16,31, indicando una mayor susceptibilidad a los movimientos de masa respecto a las otras litologías (Tabla 18).

4.1.2.2 Cálculo de la susceptibilidad de las pendientes a los MM. Los

MM con mayor frecuencia se ubican en pendientes muy abruptas con una normalización de 16.24 y una categorización de muy alta de susceptibilidad a los

movimientos de masa respecto a las otras pendientes (Tabla 19).

4.1.2.3 Cálculo de la susceptibilidad de las unidades hidrogeológicas a los MM. Existe una mayor frecuencia de los MM en los acuitardos sedimentarios con una normalización de 16,29 y una categorización de muy alta (Tabla 20).

4.1.2.4 Cálculo de la susceptibilidad de las unidades tectónicas a los MM. Los MM con mayor frecuencia se ubican en rocas sedimentarias porque fueron afectadas por la tectónica Incaica (40 millones de años) que fue de carácter compresivo y muy intenso con una normalización de 16,61 y una categorización de muy alta (5). Sucede lo contrario con los MM que se ubican en rocas volcánicas, estas rocas fueron afectadas por la Tectónica Quechua (5 millones de años) y que fue la menos intensa y que fue posteriormente a la Tectónica Inca (Tabla 21)

4.1.2.5 Cálculo de la susceptibilidad de las unidades geomorfológicas a los MM. Los terrenos más afectados por los MM están ubicados en el sinclinal Urubamba, con una normalización de de 16,26 y una categorización de muy alta (Tabla 22).

4.1.2.6 Cálculo de la susceptibilidad de las unidades de cobertura vegetal a los MM. Los MM con mayor frecuencia se ubican

en zonas de cultivos y bosques reforestados con una normalización de 16,29 y una categorización de muy alta. (Tabla 23).

Tabla 18. Cálculo de susceptibilidad de las unidades litológicas

1	2	3	4	Tipo de Peligros Geológicos					Susceptibilidad o peso de las unidades a movimientos en masa					Categorización y Normalización de datos			
				Dlz	Cd	Fj	Otros peligros	Mov. Complejos	10	11	12	13	14				
				5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	$\sum(10+11+12+13+14)$	$\ln(W*100000)$	Valor	Categoría
CÓDIGO	UNIDAD	No. Ocurrencias	UCP (km²)	Tipo 1 (km²)	Tipo 2 (km²)	Tipo 3 (km²)	Tipo 4 (km²)	Tipo 5 (km²)	5/4*100	6/4*100	7/4*100	8/4*100	9/4*100				
I-1	Depósitos coluviales, Fluviales, fluvioaluviales	18	4,00	1,00	1,60	0,40	0,02	0,60	25,00	40,00	10,00	0,50	15,00	90,50	16,02	4	Alta
II-1	Tobas areniscas tobáceas	8	1,50	0,20	0,50	0,10	0,40	0,00	13,33	33,33	6,67	26,67	0,20	80,20	15,90	3	Media
Q-la	Calizas, margas, lutitas	26	6,00	2,50	2,00	2,00	0,42	0,34	41,67	33,33	33,33	7,00	5,67	121,00	16,31	5	Muy Alta
III-1	Areniscas, limolitas y lutitas	16	2,00	0,20	0,70	0,10	0,12	0,18	10,00	35,00	5,00	6,00	8,79	64,79	15,68	3	Baja
IV-1		68	14														

Tabla 19. Cálculo estadístico de susceptibilidad de las unidades de pendiente.

1 CÓDIGO	2 UNIDAD	3 No. Ocurrencias	4 UCP (km²)	Tipo de Peligros Geológicos					Susceptibilidad o peso de las unidades a movimientos en masa					Categorización y Normalización de datos			
				Dlz	Cd	Fj	Otros peligros	Complejos	10	11	12	13	14				
				5 Tipo 1 (km²)	6 Tipo 2 (km²)	7 Tipo 3 (km²)	8 Tipo 4 (km²)	9 Tipo 5 (km²)	5/4*100	6/4*100	7/4*100	8/4*100	9/4*100	$\Sigma(10+11+12...+14)$	$\ln(w*100000)$	Valor	Categoría
P-1	Muy Baja: < 5°	1	0,20	0,10	0,00	0,10	0,00	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	0,00	100,00	0,00	1	Muy Baja
P-2	Baja: 6-15°	7	3,00	1,00	0,48	0,52	0,38	0,05	33,33	16,00	17,27	12,67	1,71	80,98	15,91	3	Baja
P-3	Media: 16-30°	15	4,00	1,50	1,10	0,40	0,33	0,10	37,50	27,50	10,00	8,25	2,50	85,75	15,96	4	Media
P-4	Moderada: 31-45°	20	3,00	1,00	0,60	0,20	0,30	0,70	33,33	20,00	6,67	10,00	23,33	93,33	16,05	5	Alta
P-5	Abrupta: > 45°	25	3,80	2,00	0,30	1,40	0,13	0,47	52,63	7,89	36,84	3,42	12,37	113,16	16,24	3	Muy Alta
TOTAL		68	14,00														

Tabla 20. Cálculo estadístico de susceptibilidad de las unidades hidrológicas.

1	2	3	4	Tipo de Peligros Geológicos					Susceptibilidad o peso de las unidades a movimientos en masa					Categorización y Normalización de datos			
				Diz	Cd	Fj	Otros peligro	Mov. Complejo	10	11	12	13	14	$\Sigma(10 + 11 + 12 \dots + 14)$	$\ln(w*100000)$	Valor	Categoría
				5	6	7	8	9									
Api	Acuífero poroso inconsolidado	16	3,00	0,20	0,20	0,45	0,12	0,56	6,67	6,67	15,00	4,00	18,67	51,00	15,44	4	Baja
Asf	Acuífero sedimentario fisurado	12	2,00	1,00	0,20	0,12	0,14	0,24	50,00	10,00	6,00	7,00	11,78	84,78	15,95	3	Alta
As	Acuífero sedimentario	35	8,00	6,00	1,00	0,70	1,00	0,80	75,00	12,50	8,75	12,50	10,00	118,75	16,29	5	Muy Alta
At	Acuífero volcánico	5	1,00	0,10	0,12	0,21	0,20	0,00	10,00	12,00	21,00	20,00	0,00	63,00	15,66	2	Media
TOTAL		68	14														

Tabla 21. Cálculo estadístico de susceptibilidad de las unidades tectónicas.

1	2	3	4	Tipo de Peligros Geológicos					Susceptibilidad o peso de las unidades a movimientos en masa					Categorización y Normalización de datos			
				Dlz	Cd	Fj	Otros peligros	Mov. complejos	10	11	12	13	14				
				5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	$\sum(10+11+12...+14)$	$\ln(w*100000)$	Valor	Categoría
CÓDIGO	UNIDAD	No. Ocurrencias	UCP (km²)	Tipo 1 (km²)	Tipo 2 (km²)	Tipo 3 (km²)	Tipo 4 (km²)	Tipo 5 (km²)	5/4*100	6/4*100	7/4*100	8/4*100	9/4*100				
TB	Tectonismo bajo	4	1	0,11	0,15	0,50	0,20	0,11	11,00	15,00	50,00	20,00	11,00	107,00	16,19	4	medio
TM	tectonismo medio	9	4	2,00	0,60	1,00	0,15	0,13	50,00	15,00	25,00	3,75	3,36	97,11	16,09	2	bajo
TA	Tectonismo alto	26	4	1,20	0,70	0,40	1,50	0,70	30,00	17,50	10,00	37,50	17,50	112,50	16,24	5	alto
TI	Tectonismo intenso	29	5	2,70	1,20	1,50	1,30	1,50	54,00	24,00	30,00	26,00	30,00	164,00	16,61	1	Muy alto
TOTAL		68	14														

Tabla 22. Cálculo estadístico de susceptibilidad de las unidades geomorfológicas.

1	2	3	4	Tipo de Peligros Geológicos					Susceptibilidad o peso de las unidades a movimientos en masa					Categorización y Normalización de datos				
				Dlz	Cd	Fj	Otros peligros	Mov. Complejos	10	11	12	13	14					
				5	6	7	8	9	Tipo 1 (km²)	Tipo 2 (km²)	Tipo 3 (km²)	Tipo 4 (km²)	Tipo 5 (km²)	5/4*100	6/4*100	7/4*100	8/4*100	9/4*100
M	Montañas	7	2,00	0,50	0,20	0,25	0,80	0,00	25,00	10,00	12,50	40,00	0,00	87,50	15,98	1	Muy Baja	
C	Colinas	18	2,00	0,78	0,25	0,25	0,25	0,60	39,00	12,50	12,50	12,50	30,00	106,50	16,18	3	Media	
S	Sinclinal	28	5,00	4,00	0,70	0,20	0,46	0,40	80,00	14,00	4,00	9,20	8,00	115,20	16,26	5	Muy Alta	
A	Anticlinal	5	2,50	1,00	0,45	0,60	0,30	0,23	40,00	18,00	24,00	12,00	9,20	103,20	16,15	3	Baja	
V-q	Valle y quebradas	10	2,00	1,00	0,40	0,25	0,45	0,14	50,00	20,00	12,50	22,50	7,00	112,00	16,23	4	Alta	
TOTAL		68	14															

Tabla 23. Cálculo estadístico de susceptibilidad de las unidades de cobertura vegetal.

1	2	3	4	Tipo de Peligros Geológicos					Susceptibilidad o peso de las unidades a movimientos en masa					Categorización y Normalización de datos					
				Dlz	Cd	Fj	Otros peligros	Mov. Complejos	10	11	12	13	14						
				5	6	7	8	9	Tipo 1 (km ²)	Tipo 2 (km ²)	Tipo 3 (km ²)	Tipo 4 (km ²)	Tipo 5 (km ²)	5/4*100	6/4*100	7/4*100	8/4*100	9/4*100	$\Sigma(10+11+12...+14)$
CÓDIGO	UNIDAD	No. Ocurrencias	UCP (km ²)																
CBR	Cultivos y bosques reforestados	41	7,00	2,00	1,00	1,10	1,40	2,80	28,57	14,29	15,71	20,00	40,00	118,57	16,29	5	Muy Alta		
PNA	Pastos naturales altoandinos	10	4,00	1,10	0,70	0,23	0,47	0,13	27,50	17,50	5,75	11,70	3,36	65,81	15,70	2	Baja		
PCE	Pobre cobertura estacional	12	2,40	1,10	0,28	0,19	0,11	0,03	45,83	11,71	7,92	4,58	1,28	71,33	15,78	3	Media		
PCE	Zona Urbana con infraestructura	5	1,00	0,10	0,20	0,21	0,10	0,13	10,00	20,00	21,00	10,00	13,00	74,00	15,82	4	Alta		
TOTAL		68	14																

En la tabla 24, se muestran, a modo de comparación, los resultados finales obtenidos por el método Probabilístico.

Tabla 24. Resultados obtenidos por el método probabilístico

Tipo de Unidad	Tipo de análisis	Normalización	Categoría (Susceptibilidad)
Litológica	Calizas margas y lutitas.	16,31	5 (Alta)
Pendiente	Mayores de 45°.	16,24	5 (Alta)
Geomorfológica	Sinclinal Urubamba.	16,26	5 (Alta)
Tectónica	Rocas sedimentarias muy tectonizadas.	16,61	5 (Alta)
Cobertura vegetal	Cultivos y bosques reforestados.	16,29	5 (Alta)
Hidrogeológica	Acuitardos sedimentarios	16,29	5 (Alta)

4.1.3 Análisis de la importancia de los factores condicionantes de la inestabilidad (FCI). Este análisis se realizó mediante el método de Jerarquía Múltiple (AHP) confeccionado por **(Hayman 1998)**. Consiste en dar una valoración de 1, 3, 5 y 7, este orden se ha realizado tomando en consideración la importancia de uno con respecto al otro (juicio de expertos). Haciendo un análisis en campo se ha observado que la litología, tectonismo e hidrogeología son los factores más importantes que condicionan la inestabilidad con respecto a los factores, por esta razón ocupan los primeros casilleros.

En la tabla 25, se muestra el procedimiento dado por **Hayman (1998)**. Los valores de 26,17, 25,37 y 24,42% indican que los factores condicionantes de

la inestabilidad, según el estricto, orden son: el geológico, tectónico e hidrogeológico. En la figura 12, se representan estos resultados. Además se observa que la cobertura vegetal y geomorfológico poseen valores bajos con valores de 8 y 2% respectivamente.

Tabla 25. Análisis de Importancia de los Factores Condicionantes de la Inestabilidad (FCI).

Factores condicionantes de inestabilidad (FCI)	Litología	Tectonismo	Hidrogeología	Cobertura vegetal	Geomorfología	Pendiente	$\sum x_{ij}$	$\sum x_{ij}/n$	$\frac{\sum x_{ij}/n}{[\sum \sum x_{ij}/n]}$	%
Litología	1,00	1,29	1,800	3,00	3,00	9,00	19,09	3,18	0,32	32
Tectonismo	0,77	1,00	1,4	2,33	2,33	7,00	14,83	2,47	0,25	25
Hidrogeología	0,55	0,71	1,00	1,67	1,67	5,00	11,85	1,77	0,18	18
Cobertura vegetal	0,33	0,43	0,6	1,00	1,00	3,00	7,43	1,06	0,11	11
Geomorfología	0,33	0,43	0,6	1,00	1,00	3,00	7,43	1,06	0,11	11
Pendiente	0,11	0,14	0,20	0,33	0,33	1,00	2,11	0,35	0,03	3
Total	3,09	4,00	5,6	9,33	9,33	28,00	62,74	9,89	1,00	100

Fuente: Hayman (1998).

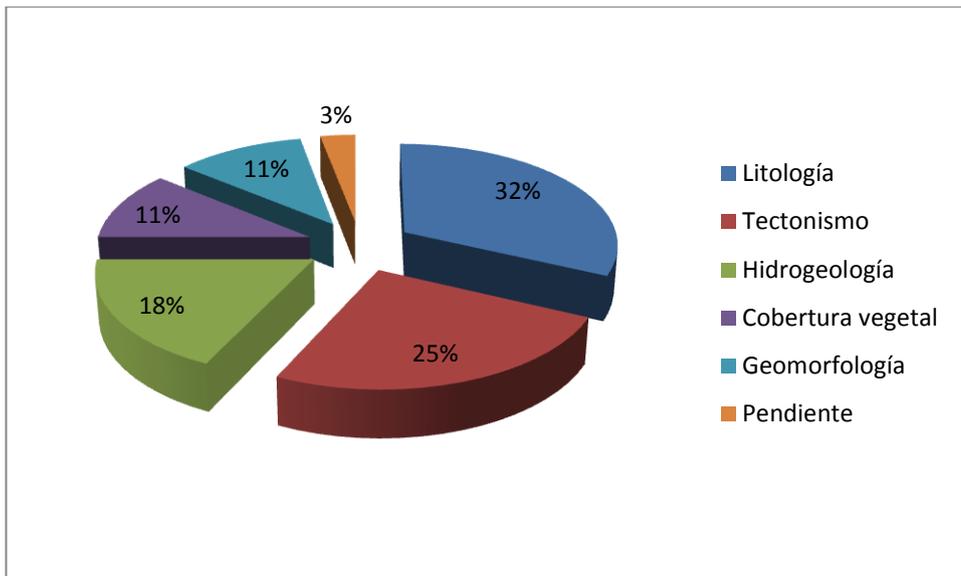


Figura 12. Factores Condicionantes de la Inestabilidad (AHP)

4.1.4 Determinación del Coeficiente de Consistencia (RC)

Aplicando la fórmula:

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

IC: Índice de consistencia.

IA: Índice aleatorio.

λ_{\max} : Eigenvalor máximo o principal.

$n = 6$, son seis mapas factores analizados (tabla 3, página 38), entonces $IA = 1,24$

Egivmax = 0,32 (tabla 25)

Reemplazando valores:

$$IC = \text{Egivmax} / n - 1; IC = 0,064$$

$$RC = 0,064 / 1,24 = 0,052$$

Siendo el valor de $RC = 0,052$, menor que 0,1 entonces los datos analizados poseen consistencia.

- 4.5 Determinación del Coeficiente de Correlación de Pearson. Utilizando este método estadístico se obtiene correlaciones altas cercanas a +1,0, para el litológico 0,94; tectónico 0,80 y para el hidrogeológico 0,56, indican alta susceptibilidad a los MM. La pendiente (-0,19) y geomorfológico (0,18) indican baja susceptibilidad a los MM (Tabla 26). La cobertura vegetal (- 0,31) posee una cierta correlación negativa que podría ser tomado en cuenta. Este valor indica que a menor cobertura vegetal más susceptibilidad a los MM.
- 4.6 Flujo diagrama de la relación de los MM vs la Tectónica. En la figura 13, se representa el flujo diagrama, en ella se puede apreciar la relación directamente proporcional entre la edad de la tectónica y la resistencia de las rocas a la erosión. En tal sentido, las calizas, areniscas y lutitas de edad cretácea fueron afectadas por la tectónica Incaica de edad cenozoica (40 millones de años), siendo la más intensa registrada en la zona de estudio, por consiguiente disminuyeron la resistencia de estas rocas a la erosión. Las rocas volcánicas depositadas posteriormente a dicha tectónica fueron afectada levemente por la tectónica Quechua (5 millones de años) y por lo tanto poseen una resistencia mayor a la erosión.
- 4.7 Confección de los mapas factores vs la susceptibilidad. En las Figuras: 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 20 están representadas los mapas factores construidos y su relación con la susceptibilidad a los MM. Se puede observar que el Mapa Factor Tectónico funciona perfectamente en el análisis de MM.

Tabla 26. Determinación del Coeficiente de correlación de Pearson

FACTORES CONDICIONANTES DE INESTABILIDAD	Litología	Tectonismo	Hidrogeología	Cobertura Vegetal	Geomorfología	Pendiente	Susceptibilidad
Litología	1						
Tectonismo	0,94743768	1					
Hidrogeología	0,78212049	0,8987858	1				
Cobertura Vegetal	0,02372354	0,17950105	0,45794228	1			
Geomorfología	-0,07148136	0,16890674	0,51437354	0,8495957	1		
Pendiente	0,0161798	-0,07173363	-0,02919121	0,33030402	0,25008661	1	
Susceptibilidad	0,93955824	0,80097802	0,56037198	-0,19304562	-0,30754566	0,17747138	1

ALTA	> 0.7	
MODERADA	0.5 - 0.7	
BAJA	0.3 - 0.5	

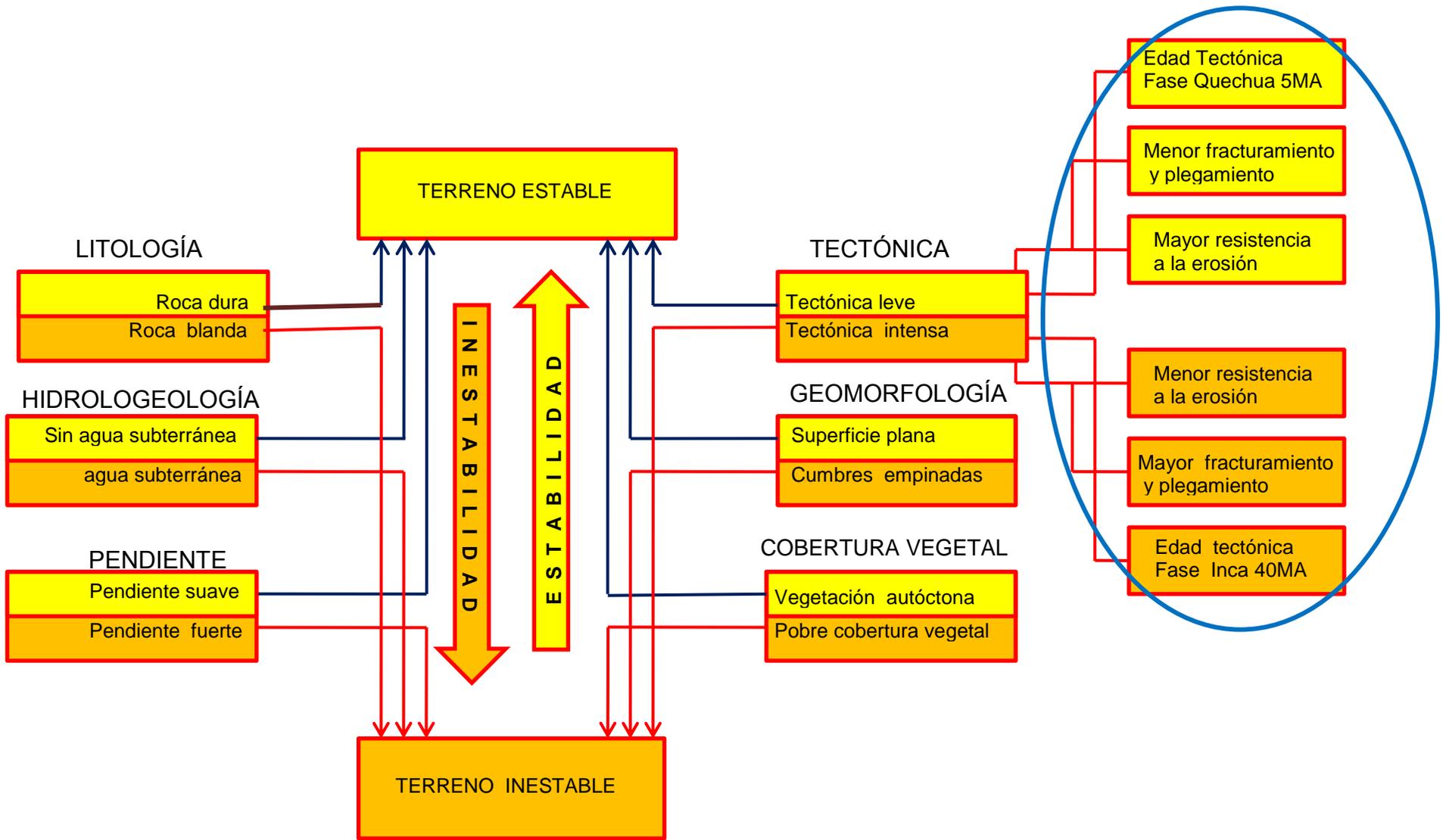


Figura 13. Flujo diagrama que explica el Modelo científico tipo Conceptual entre los diversos factores geológicos y la inestabilidad en la zona de estudio..

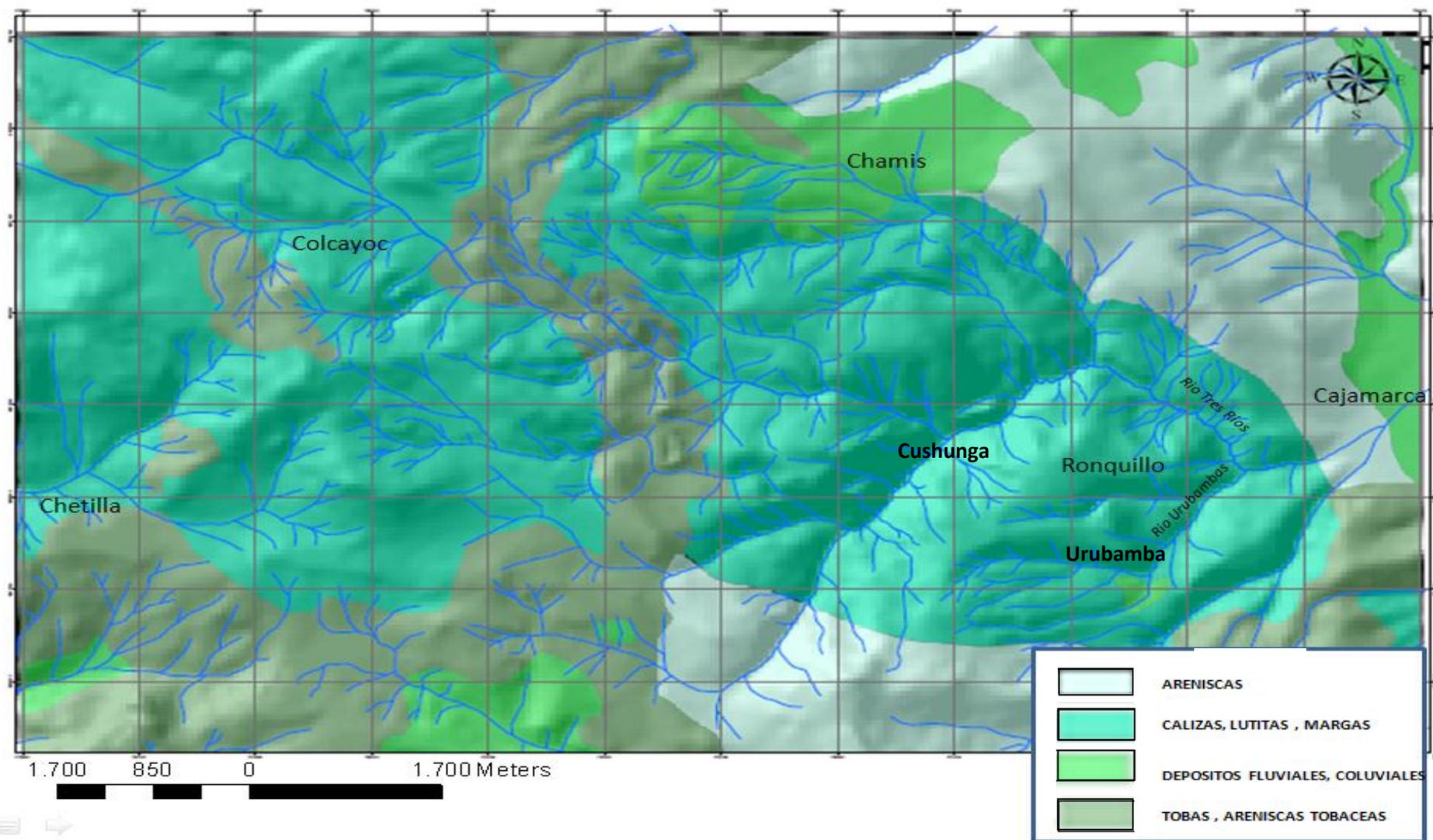


Figura 14. Mapa Factor litológico.

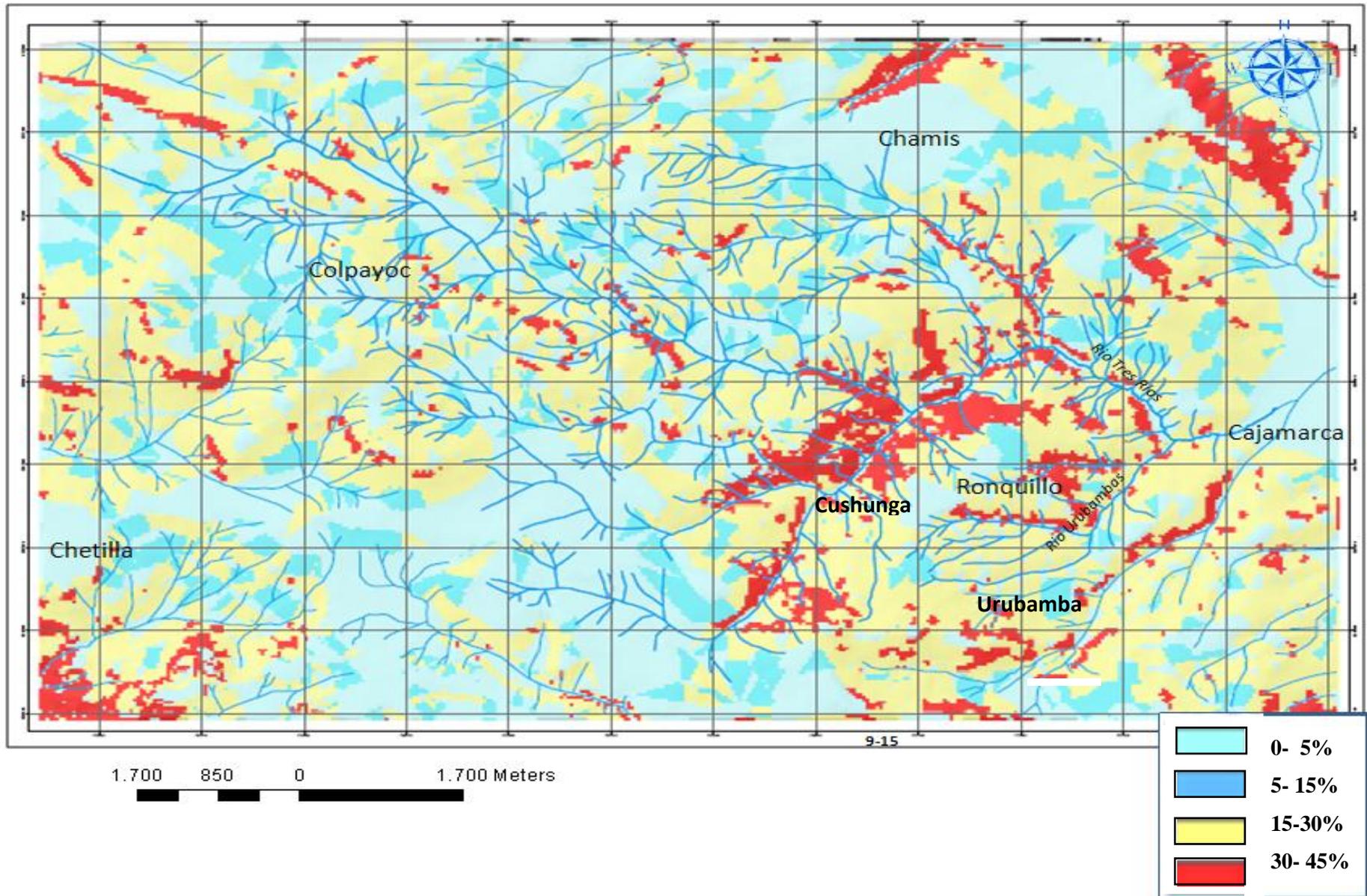


Figura 15. Mapa Factor de pendiente.

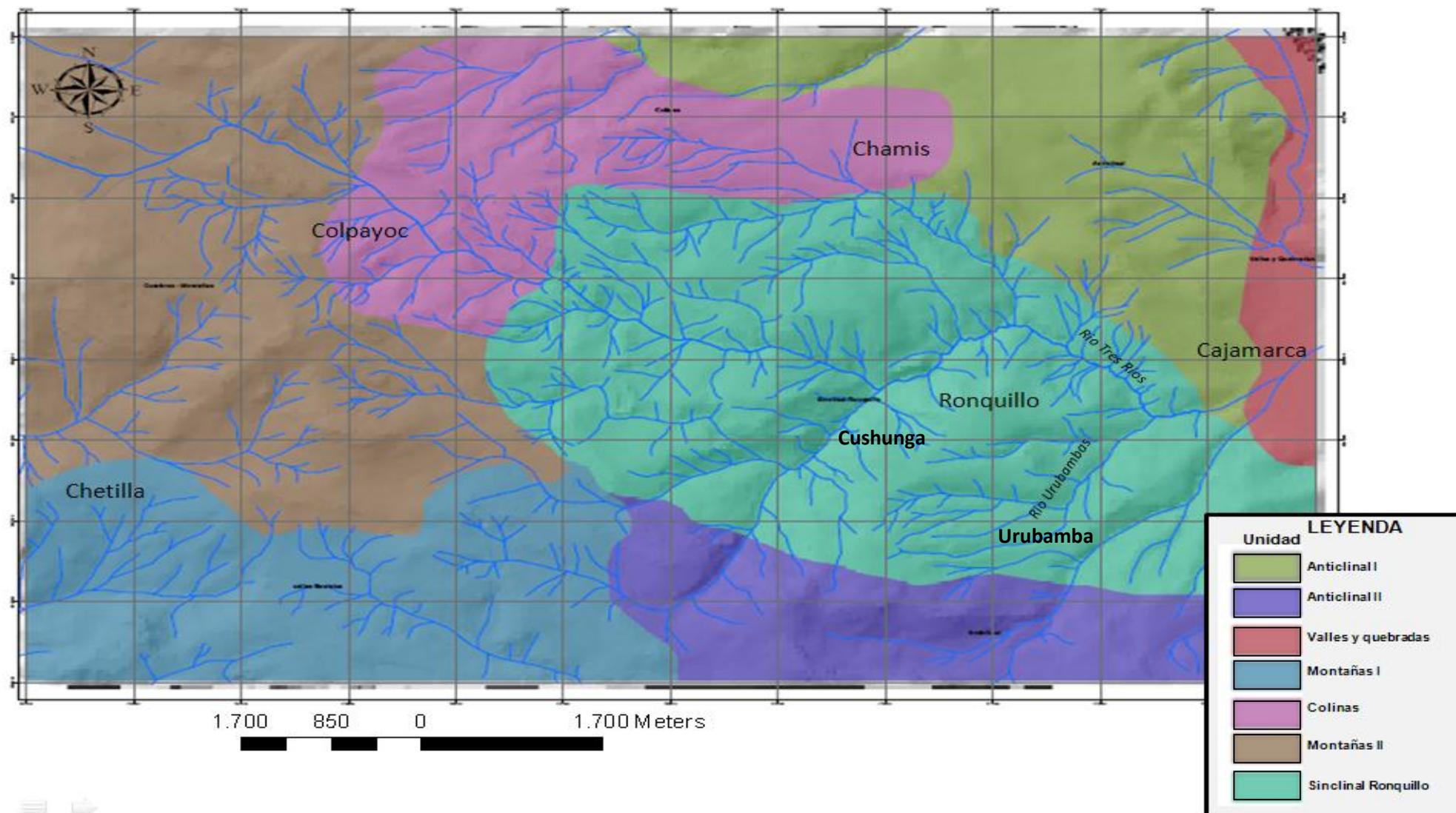


Figura 16. Mapa Factor geomorfológico.

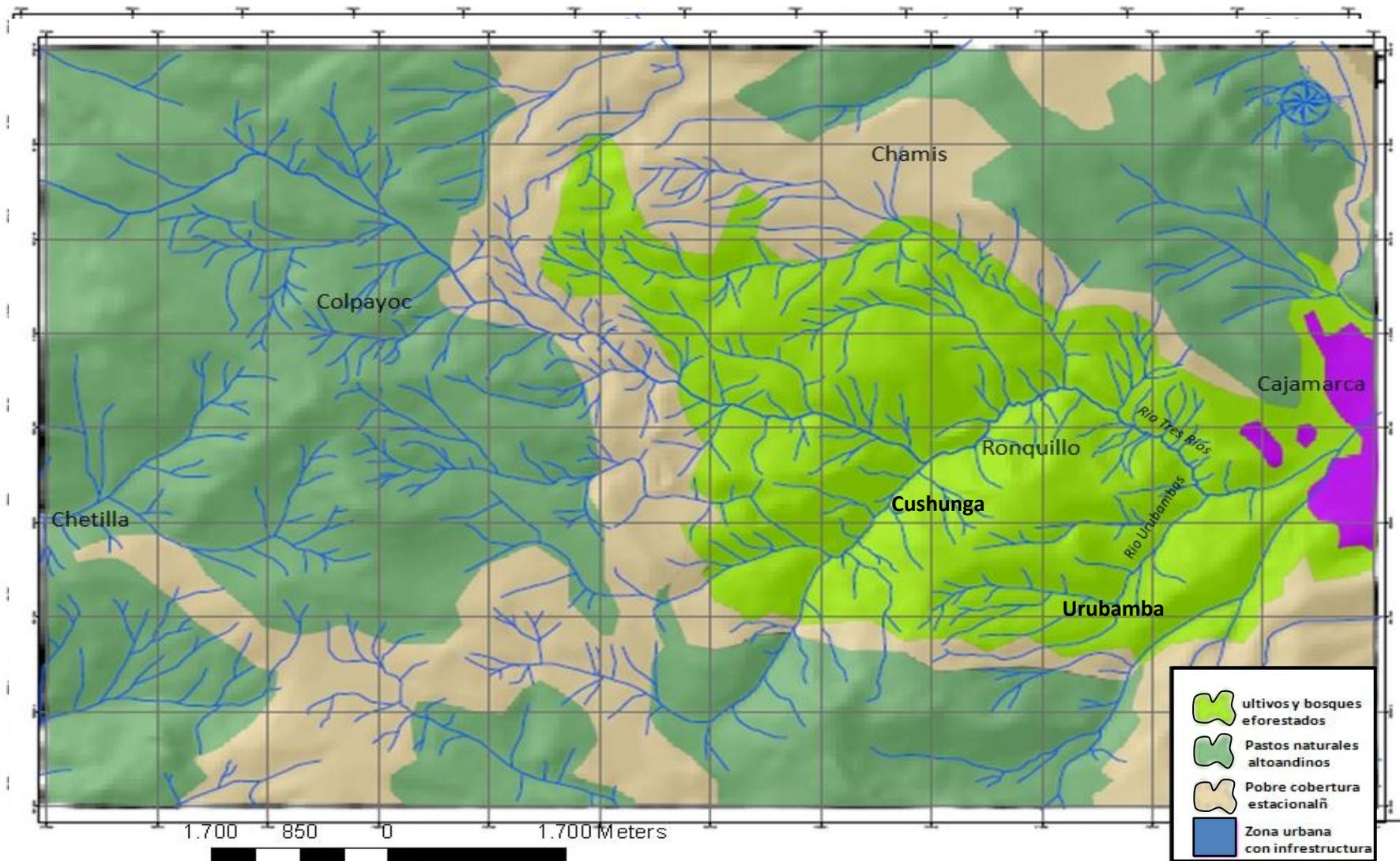


Figura 17. Mapa factor de cobertura vegetal.

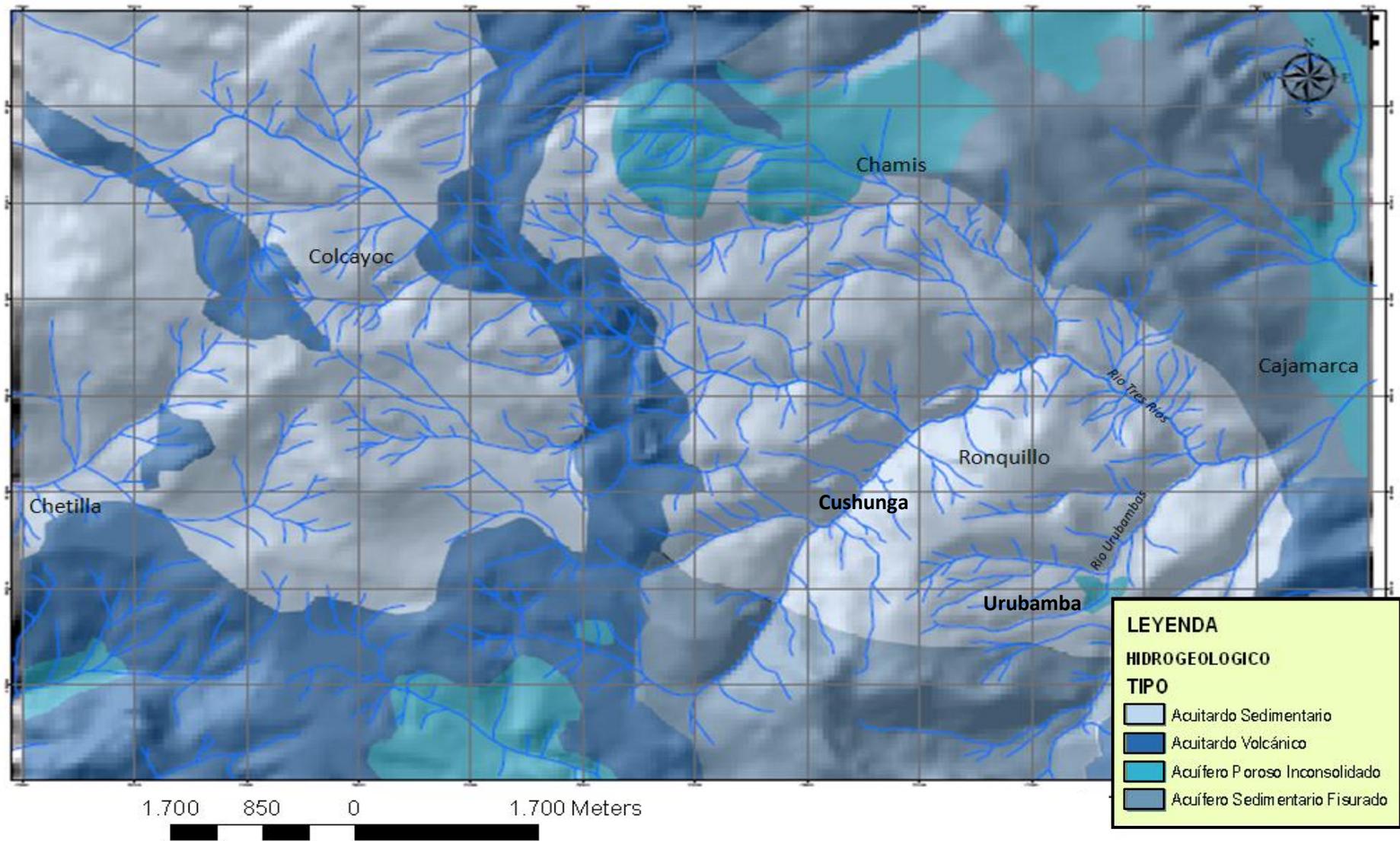


Figura 18. Mapa factor hidrogeológico

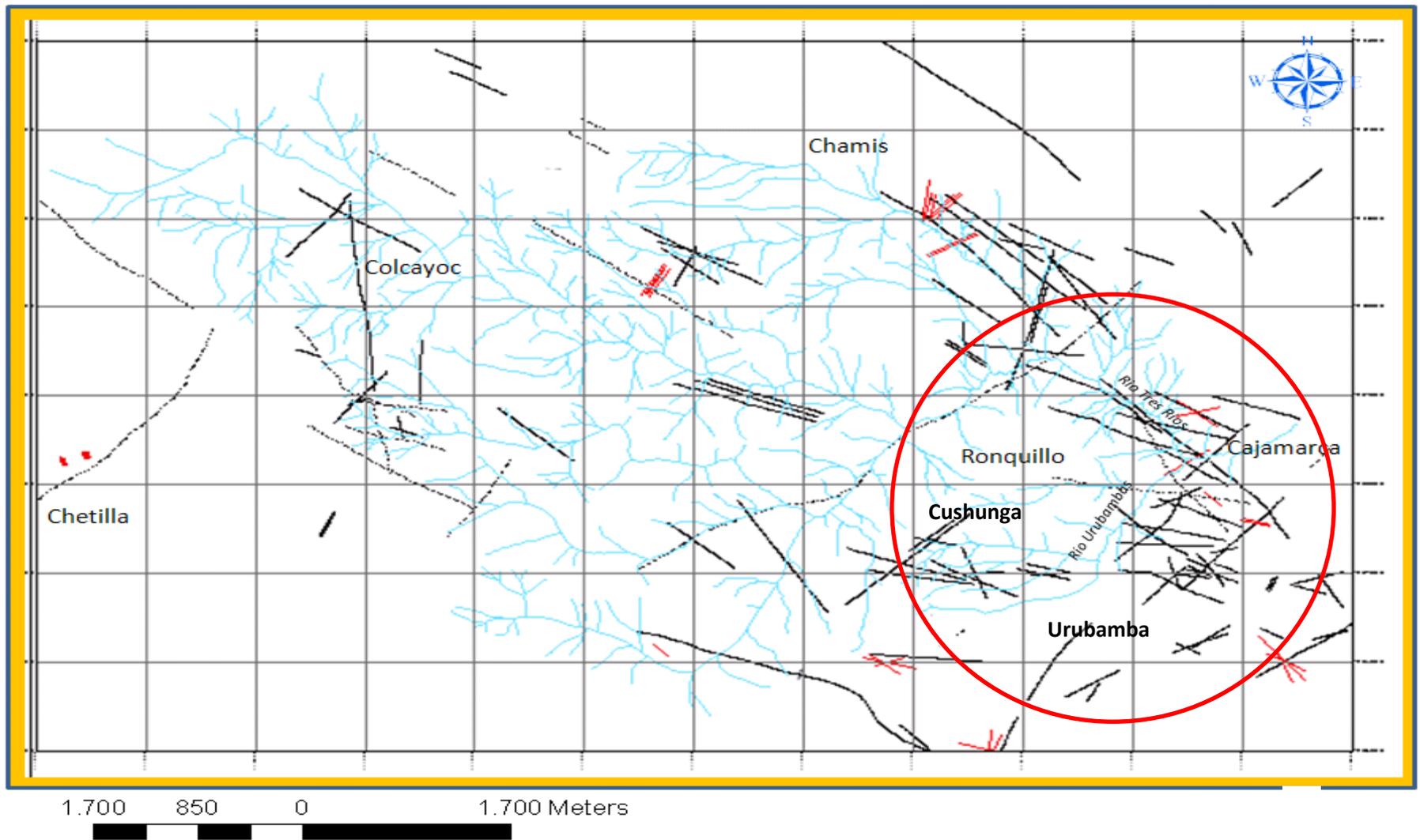


Figura 19. Mapa factor tectónico.

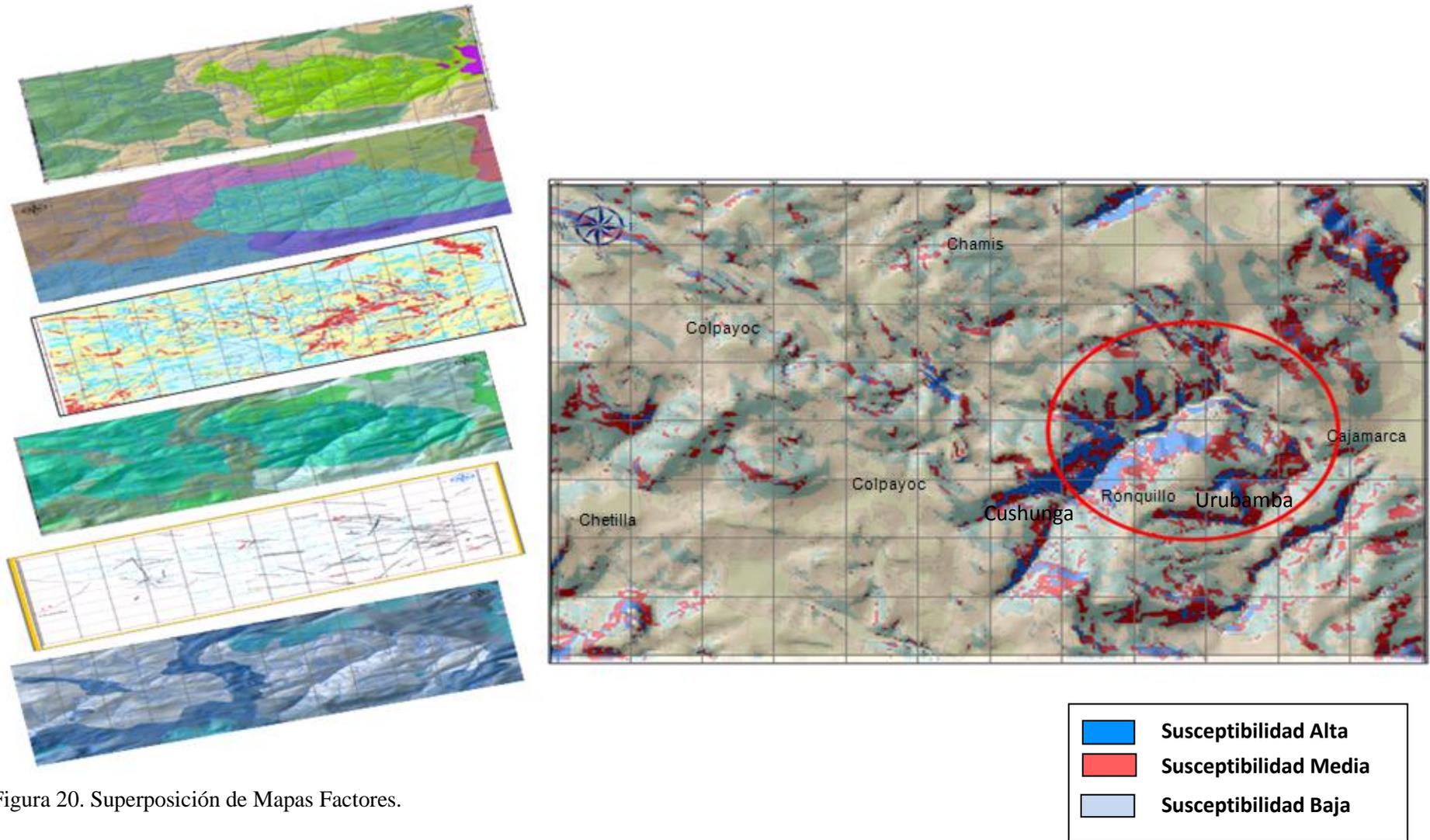


Figura 20. Superposición de Mapas Factores.

4.2 Discusión

- 4.2.1 Análisis de los mapas factores. La confección de los mapas de litología, pendiente, geomorfología, cobertura vegetal, tectónico, hidrogeológico ha permitido evaluar los factores condicionantes de los movimientos en masa. (MM). Realizando la superposición de estos se determina que la zona más susceptible a los fenómenos de movimiento en masa está ubicada en sector Sur-Este y que comprende a los poblados de Urubamba, Tres Ríos, Cushunga y Ronquillo.
- 4.2.2 Relación de las características litológicas con los movimientos de masa (MM). Las calizas arcillosas y margosas han sufrido mayor erosión por los agentes atmosféricos. Los productos resultantes de esta alteración son los suelos arcillosos. Estos se sobresaturan de agua generando inestabilidad.
- 4.2.3 Relación de las características tectónicas con los movimientos de masa (MM). Las calizas arcillosas, calizas margosas y las areniscas pertenecen a las unidades geológicas cretáceas (100 MA) fueron afectadas intensamente por la Tectónica Incaica de edad Paleógena (40 MA). Las rocas volcánicas de edad Neógenas fueron afectadas levemente por la Tectónica Quechua (5 MA).esto explica que las rocas cretáceas presentes en el área de estudio son las más susceptibles a los movimientos de masa.

Por otro lado la ubicación al Sur- Este, de la terminación periclinal del sinclinal Urubamba, generó mayor concentración de fallas y fracturas, generando con ello también, una mayor disminución de la resistencia de las rocas a la erosión.

4.2.4 Relación de las características hidrogeológicas con los movimientos de masa (MM). La interacción agua- arcilla es más evidente en el sector SE, se acentúa más en épocas lluviosas. Estas arcillas conforman suelos que son utilizados masivamente por los pobladores generando una mayor erosión antrópica.

4.2.6 Relación de la pendiente y geomorfología con los movimientos de masa (MM). Las pendientes altas y abruptas que poseen las rocas calcáreas, en el área de estudio, son factores condicionantes de los movimientos en masa. No sucede lo mismo con las altas pendientes (mayores a 45°) en rocas volcánicas ni rocas areniscosas. En las primeras, a pesar que han sido afectadas por el tectonismo Incaico, no presentan mayor meteorización debido a su composición química estable. En las segundas por ser rocas que se formaron posteriormente a la tectónica Incaica han sido deformadas levemente.

4.2.7 Los factores temporales y los movimientos de masa (MM). Las probables precipitaciones muy intensas, sumado a los eventuales sismos serán los factores detonantes en estos procesos de movimientos de masa (MM) analizados.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Los procesos geológicos involucrados en los movimientos de masa que se producen en las zonas de Urubamba y tres ríos se han representado mediante el modelo científico Conceptual. La inestabilidad en el área de estudio se expresa mediante la siguiente ecuación y en estricto orden de importancia:

INESTABILIDAD= Factor litológico (32%) + Factor tectónico (25%) + Factor hidrogeológico (18%)+ factor de pendiente (11%)+ factor de cobertura vegetal (11%) + Factor geomorfológico (03%).

- El tectonismo ha generado fallamientos, fracturamientos y plegamientos en las rocas cretáceas. En la terminación periclinal del Sinclinal Urubamba, formado como consecuencia de esta fase tectónica, que se ubica dentro del sector sur- este del área de estudio (ver Mapa Geológico y Mapa Factor Tectónico), se concentra mayor cantidad de fallas y fracturas, produciendo mayor fracturamiento y trituramiento en las rocas cretáceas, disminuyendo, por ende, la resistencia de las rocas a la erosión y generando inestabilidad en los terrenos donde afloran estas rocas.

- La Fase Tectónica Incaica (40 M.A) de mayor intensidad, ha generado fallas, fracturas y pliegues y ha afectado a rocas de edad cretácea. La Fase Tectónica Quechuana (4 M.A) de menor intensidad ha generado solo fracturas y ha afectado a rocas de edad cenozoica.
- El análisis de importancia de los factores condicionantes de la inestabilidad (FCI), ha determinado que la litología (32%), tectonismo (25%), e hidrogeología (18%), son los factores condicionantes más importantes de los movimientos en masa. Utilizando el Método de Pearson se ha determinado también una correlación positivas entre litología (0,94), tectonismo (0,80) e hidrogeología (0,56). El coeficiente de consistencia (RC) calculado es 0,052.

5.2 Recomendaciones

- Realizar estudios de geofísica para obtener un mayor conocimiento sobre el estado actual del basamento cretáceo.
- Realizar trabajos de investigación concernientes al control de erosión de los terrenos en el área de estudio, especialmente en los caseríos de Cushunga, Ronquillo, Urubamba.

5.3 Propuesta metodológica

SISTEMA DE MONITOREO PARA PREVENIR LOS MOVIMIENTOS DE MASA (MM) EN LAS ZONA DE URUBAMBA Y TRES RÍOS

Fundamentación

Las zonas de Urubamba y Tres Ríos posee gran inestabilidad por ende es necesario plantear una metodología que permita efectuar un mejor monitoreo ante un desastre de grandes proporciones.

Los conocimientos geológicos son sumamente importantes para analizar el contexto del problema. Así por ejemplo, las rocas de edad cretácea han sido afectadas por esfuerzos tectónicos intensos de la Fase Incaica de 40 MA de edad aproximadamente, mientras que las rocas volcánicas que se formaron posteriormente a esta tectónica fueron levemente afectadas por la Fase Tectónica Quechua (5 millones de años de edad aproximadamente.). Bajo estos conocimientos científicos básicos, este método propone que el monitoreo debería incidir mayormente en zonas donde afloran las rocas de edad cretácea.

Objetivo

Monitorear tanto las precipitaciones pluviales y los movimientos sísmicos en lapsos cortos de tiempo en las zonas de Urubamba y Tres Ríos.

Metodología

Consiste en realizar de un monitoreo sistemático de las precipitaciones pluviales y los movimientos sísmicos en lapsos de tiempo corto con equipos de última generación.

- **Monitoreo de las precipitaciones pluviales**

Se refiere a la obtención de información de las estaciones pluviométricas y realizar el tratamiento estadístico en forma trimestral y/o semestral con la finalidad de conocer un posible incremento de las lluvias.

- **Monitoreo de los movimientos sísmicos**

Consiste en recabar información de las estaciones sísmicas para identificar los posibles aumentos de las frecuencias de los movimientos sísmicos.

- **Relación de las variables independientes y dependientes con los efectos temporales: precipitaciones pluviales y sismos.**

Los factores condicionantes (variables dependientes e independientes) están directamente relacionadas con los efectos temporales (sismos y lluvias torrenciales). Este monitoreo y la aplicación de métodos estadísticos nos ayudará a tener un diagnóstico más confiable.

LISTA DE REFERENCIAS

- 1 **Barredo, J. 1996.** Sistema de Información Geográfica y evaluación multicriterio. Editorial RA- MA. Madrid, España. 101 p.
- 2 **Brabb, E. 1984.** Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping. Fourth International Symposium on landslide. Canadian
- 3 **Billings, P. 1974.** Estructural Geology. Editorial universitaria de Buenos Aires. Rivadavia. Argentina.
- 4 **Borkoski, D. 1995.** Catálogo de Minerales y rocas del Perú. Centro de la Investigación y Producción Industrial (CIPI). Universidad de Lima. Talleres A&B S.A de Lima. Perú. .198 p.
- 5 **Carrara, A. 2008.** GIS Technology in Mapping landslide Harzard. Kluwe Academic Publishers. London, pág. 135-178.
- 6 **Carrasco, D. 2006.** Metodología de la Investigación Científica. Editorial San Marcos. Perú.
- 7 **Chirif, H. 2007.** Curso compacto de preparación de tesis. Boletín N° 2. 30 p.
- 8 **Corporación Suiza para el Desarrollo COSUDE). 2008.** Gestión de Riesgo de Deslizamiento del Ronquillo, Urubamba y Corisorgona- Levantamiento Geofísico de Georadar.

- 9 **Fidel, L. 2003.** Estudio de Riesgos geológicos del Perú. Franja N°4 . Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (NGEMMET). Serie C. Geodinámica e Ingeniería Geológica. Boletín N° 29. 230 p.
- 10 **Fidel, L. 2007.** Deslizamiento Traslacional- Flujo de detritos de Mayunmarca, Perú. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (NGEMMET). Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. Publicación Geológica Multinacional N° 4. Impreso en Canada. 213- 218.
- 11 **Gonzales M. y Funque L. (2007).** Deslizamiento traslacional (pandeo), Quebrada de la Troya, La Rioja, Argentina. Servicio Geológico Minero Argentino. SEGMAR, Buenos Aires .Proyecto Multinacional Andino. Geociencias para las comunidades Andinas. Publicación Geológica Multinacional. 235- 238.
- 12 **Hayman, B. 1998.** Fundamentals of engineering Design.Upper Sadle River, PrenticeHall, New Jersey.
- 13 **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. 169- 180.
- 14 **Horna, H. 2011.** Efecto de la precipitación pluvial sobre los sólidos suspendidos: Aluminio, Hierro y Manganeso totales de las aguas superficiales de dos cuencas con actividad minera a Tajo Abierto en Cajamarca. Tesis de doctorado.

Cajamarca, Perú. Escuela de post grado de la Universidad Nacional de Cajamarca. 75-76.

- 15 Ibañez, J. 2008.** Conceptos y Tipos de Modelos Científicos. Un universo invisible bajo nuestros pies. Los suelos y la vida. Extraído el 27 de febrero del 2015 de www.madridmasd.org/blogs/universo/2008/05/10/91441.
- 16 Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). 2011.** Análisis de susceptibilidad ante peligros por Movimientos de Masa en Laderas. Manual de Estimación de Riesgos ante Movimientos en Masa en Laderas. Cuaderno Técnico N° 3. 37- 48.
- 17 Instituto de Geología de Minas (INGEOMINAS). 2000.** Guía Metodológica. Evaluación de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa. 1° edición, Colombia.
- 18 Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 2005.** Geomorfología aplicada al Levantamiento Edafológico y Zonificación Física de Tierras. Bogotá- Colombia.
- 19 Lagos, A. y Quispe, Z. 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.

- 20 Lagos, A., Quispe, Z., Rodríguez, R. 2011.** Análisis Estructural y su relación con los intrusivo Miocénicos. Zona de Urubamba y Tres Ríos. Cajamarca- Perú. XXIX Convención Minera de Arequipa. Arequipa- Perú.
- 21 Lagos, A. 2012.** Caracterización Litológica y Estructural de la serie cretácea en la zona de Urubamba. Cajamarca- Perú. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 152 p.
- 22 Lara, E. 2007.** Flujo de detritos de Antofagasta 1991, Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, SERNAGEONIN, Santiago. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. Publicación Geologica Multinacional N° 4. Impreso en Canada. 296- 298.
- 23 Lara E. 2007.** Flujo de lodo del Valle del Aconcagua, en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, SERNAGEONIN, Santiago. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. Publicación Geológica Multinacional N° 4. Impreso en Canada. 308- 309.
- 24 Luzi, L. 1995.** GIS For Slope Stability Zonation in the Fabriano Area, Central Italy. Unpublished MSc. Thesis, ITC Enschede the Netherlands.
- 25 Mc Laughlin, D. 1925.** Geology and Phystography of the Peruvian Cordillera, Departament of Junin and Lima. Geol. Soc. Of Am. Bull. Vol. 35. 591- 632. Boulder Colorado USA.
- 26 Moreno, J. 2007.** Deslizamiento de El Mirador, Km 105 Carretera Bogotá-Villavicencio, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

- Proyecto Multinacional Andino. Publicación Geológica Multinacional N° 4. 241-243.
- 27 Morgenstem, N. 1997.** Toward landslide risk assessment in practice. Proceeding of the international Workshop on landslide risk assessment. Honolulu, Hawaii. USA, 15- 23..
- 28 Martínez, A. 1972.** Análisis de Estabilidad de Taludes. Laboratorio de Geología y Geomorfología Aplicada. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- 29 Mora, S. y Vahrson, G. 1991.** Disaster Prevention and sustainable development in Central America: Socioeconomic and political factors. Balkena, Rotterdam. 411- 448.
- 30 Ochoa, M. 2010.** Peligros Geológicos en la Cuenca Alta del Rio Rímac, entre Ticlio y Matucana. Lima- Perú. XIII Congreso Latinoamericano y XII Congreso Peruano de Geología.
- 31 Organización de Naciones Unidas para la Educación y el Desarrollo (UNESCO). 2000.** Disaster Reduction. Environmental and Development BRIEFS.
- 32 Palacios, O. 1993.** Geología de la Cordillera Occidental y el Altiplano al Sur del Perú. Boletín N° 42. Serie A: Carta Geológica Nacional. Perú. Editada por el INGEMMET.

- 33 Reyes, L. 1980.** Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos Y Cajabamba (hojas 15-f, 15-g, 16-g). Editada por el INGEMMET.
- 34 Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). 2012.** Registro del clima en Cajamarca. Extraído el 11 de diciembre del 2014 de *Fuente:* <<<http://www.condesan.org>>>.
- 35 Suarez, J. 1998.** Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Colombia Publicaciones UIS. Bucaramanga. 365- 386.
- 36 Tafur, I., 1950.** Nota Preliminar sobre la Geología de Cajamarca. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de San Marcos, Lima- Perú.
- 37 Vargas, A. 1986.** Geología Ingenieril en la Cuenca del rio Rímac Sector 9. Lima- Perú. X Congreso Peruano de Geología.
- 38 Vera, J. 1994.** Estratigrafía. Principio y Métodos. Tercera Edición, Editorial Rueda. España.
- 39 Zezere, J. 2002.** Landslide susceptibility assessment considering landslide typology. A case study in the area north of Lisbon. Natural Hazards and Earth System Sciences.

ANEXOS

APÉNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ponderación de unidades litológicas

Unidad	N°. ocurrencia	Ponderación	Categorización
Depósitos coluviales fluvioglaciares , fluvioaluviales	18	3	Alta
Tobas, areniscas tobaceas.	8	1	Muy Baja
Calizas, margas, lutitas	26	5	Muy Alta
Areniscas , limolitas y lutitas	16	1	Baja

Tabla 2. Ponderación de unidades de pendiente

Unidad	N° de ocurrencias	Ponderación	Categorización
< 6°	1	1	Muy Baja
6-15°	7	2	Baja
16-30°	15	3	Media
31-45°	20	4	Alta
> 45°	25	5	Muy alta

Tabla 3. Ponderación de unidades Geomorfológicas.

Unidad	Nº de ocurrencias	Ponderación	Categorización
Montañas	7	2	Baja
Colinas	18	4	Alta
Sinclinal	28	5	Muy alta
Anticlinal	5	1	Muy Baja
Valles y quebradas	10	3	Media

Tabla 4. Ponderación de unidades Hidrogeológicas.

Unidad	Nº de. ocurrencias	Ponderación	Categorización
Acuífero poroso inconsolidado	16	3	Media
Acuitardo sedimentario	35	5	Muy Alta
Acuífero sedimentario fisurado	12	1	Baja
Acuitardo volcánico	5	1	Muy Baja

Tabla 5. Ponderación de unidades de Cobertura vegetal.

Unidad	Nº de ocurrencia	Ponderación	Categorización
Cultivos y bosques reforestados	41	5	Muy Alta
Pastos naturales altoandinos	10	4	Baja
Pobre cobertura estacional	12	3	Media
Zona Urbana con infraestructura	5	1	Muy Baja

Unidad	Nº. ocurrencias	Ponderación	Categorización
Tectonismo Bajo	4	3	Medio
Tectonismo Medio	9	2	Bajo
Tectonismo Alto	26	4	Alto
Tectonismo intenso	29	5	Muy alto

Tabla 6. Ponderación de unidades Tectónicas.

APÉNDICE DE FOTOS



Foto 1. Caída de rocas observada en la carretera Cajamarca– Chamis. Nótese que el buzamiento de los estratos favorece la caída.



Foto 2. Movimiento complejo de suelos, generado en el contacto de las rocas de la formación Inca y la formación Chulec. Foto tomada al pie de la carretera a Chamis.



Foto 3. Flujo de detritos en el km 1 carretera Cajamarca – Cumbe Mayo, se observan a las calizas acillosas muy erosionadas.

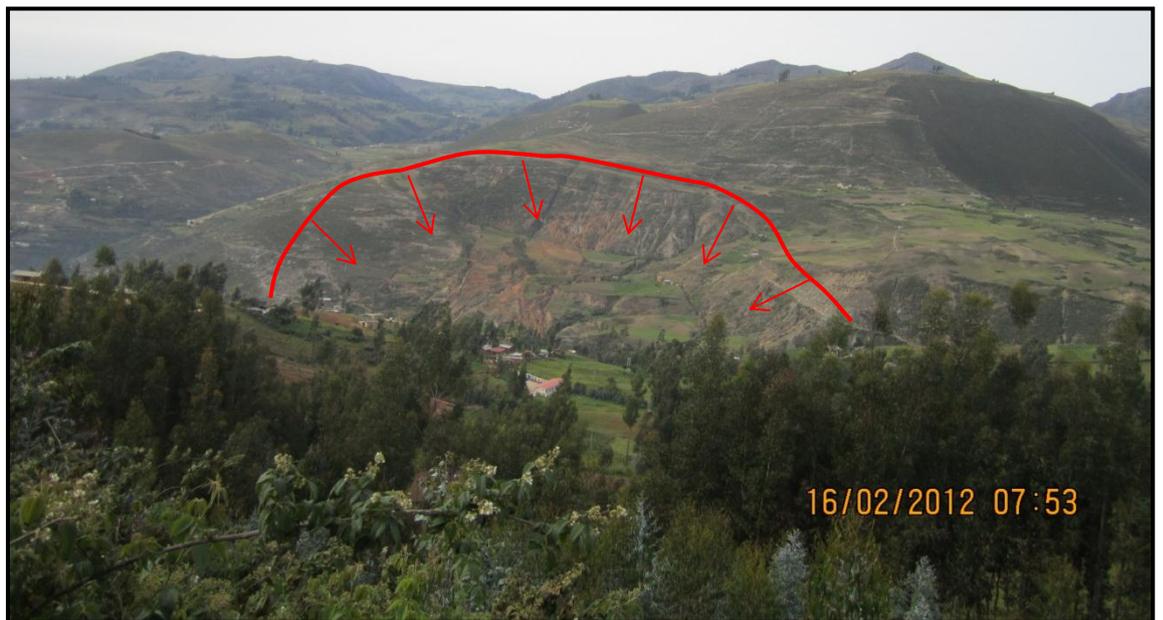


Foto 4. Deslizamiento de gran magnitud que se observa en la zona de Ronquillo. Este deslizamiento podría represar la confluencia de los ríos Urubamba y Tres Ríos.



Foto 5. Deslizamiento producido en calizas arcillosas de la formación Chulec.



Foto 6. Flujo de lodo producto de las precipitaciones pluviales. Nótese la vivienda que se encuentra dentro de la zona de deslizamiento.

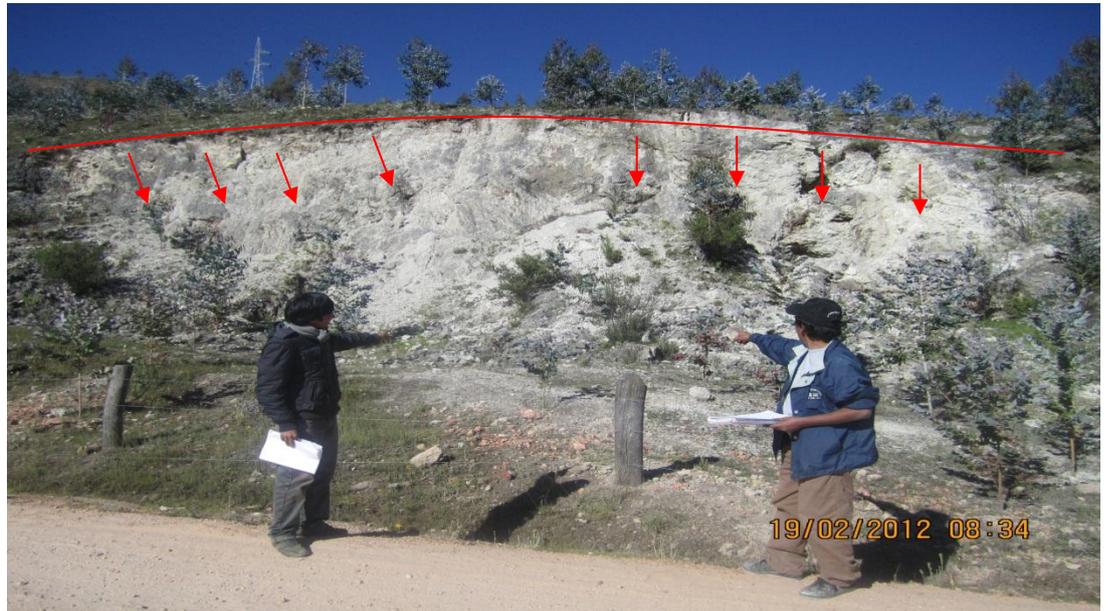


Foto7. Deslizamiento en rocas volcánicas, poco común en la zona de estudio. Carretera que va a Cumbemayo



Foto 8. Deslizamientos observados en la zona de Cumbemayo. Aquí los suelos son más estables .



Foto9. Caída de rocas que se produce en calizas de la formación Chulec.