

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**“ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS PELIGROS
GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA - POBLADOS DE
PAMPAMARCA Y ACOBAMBA, REGIÓN HUÁNUCO”**

TESIS

PRESENTADA POR:

NORMA LUZ SOSA SENTICALA

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

PROMOCIÓN 2011

PUNO – PERÚ

2016



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS

**“ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS PELIGROS
GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA - POBLADOS DE
PAMPAMARCA Y ACOBAMBA, REGIÓN HUÁNUCO”**

PRESENTADA POR:

NORMA LUZ SOSA SENTICALA

A la coordinación de investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica y
Metalúrgica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, como requisito para optar el
Título profesional de: **INGENIERO GEÓLOGO.**

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE :
Msc. Newton Víctor Machaca Cusilayme

PRIMER MIEMBRO :
Ing. Luis Vicente Ortiz Gallegos

SEGUNDO MIEMBRO :
Ing. Roger Gonzales Aliaga

DIRECTOR DE TESIS :
Ing. Valentín Fernández Valdivia

ASESOR DE TESIS :
Dra. Sofía Lourdes Benavente Fernández

Área: Geodinámica.

Tema: Análisis de Susceptibilidad a los Peligros Geológicos por Movimientos en Masa
- Poblados de Pampamarca y Acobamba, Región Huánuco.

DEDICATORIA

A mis queridos padres: **Simón** y **Eusebia**; por haberme dado la vida; por su trabajo y esfuerzo para brindarme siempre su apoyo incondicional; por el amor incomparable, por la confianza percibida en mí y que supieron guiarme por el camino de la superación.

A mí querido hermano **Angel** que desde cielo guía mis pasos, también a mis hermanos **Alfredo**, **Edwin** y **Javier** por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Mi especial agradecimiento a mi asesor de tesis: Dra. Sofía Benavente Fernández por las sugerencias y recomendaciones durante la elaboración de la presente tesis; a ella mi profundo respeto y admiración.

Así mismo a los Mg. Ing. Manuel Salomón Vílchez Mata y Kelvin Manuel Góngora Coaguila, así como también a los Ing. Dulio Gómez Velásquez y Segundo Núñez Juárez, por su apoyo incondicional y consejos en la elaboración de la presente tesis.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	IV
LISTA DE CUADROS.....	VIII
LISTA DE TABLAS	X
LISTA DE GRÁFICOS	X
LISTA DE FIGURAS.....	XII
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT.....	XV

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.4. HIPÓTESIS	5
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.5.1. OBJETIVO GENERAL	5
1.5.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS	5
1.6. METODOLOGÍA.....	5
1.6.1. ETAPA DE PREPARACIÓN Y/O RECOLECCIÓN DE DATOS (GABINETE I)	6
1.6.2. ETAPA DE CAMPO.....	6
1.6.3. ETAPA DE GABINETE Y PROCESAMIENTO DE DATOS (GABINETE II)	7
1.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	7

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES	9
2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	10
2.2.1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	10
2.2.2. MOVIMIENTOS DE LADERA	11

2.2.3. SUSCEPTIBILIDAD	11
2.2.4. EVALUACIÓN DEL RIESGOS/ANÁLISIS	11
2.2.5. GESTIÓN DE RIESGO DE DESASTRES	12
2.2.6. DESLIZAMIENTO	12
2.2.7. DERRUMBE	12
2.2.8. FLUJO	13
2.2.9. COMPLEJOS	13
2.2.10. EROSIÓN DE LADERAS	13
2.2.11. EROSIÓN FLUVIAL	14
2.2.12. AMENAZA/PELIGRO	14
2.2.13. VULNERABILIDAD	14
2.2.14. RIESGO	14
2.3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	15
2.3.1. ESTRATIGRAFÍA	15
2.4. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL	28
2.4.1. SUPERFICIE PUNA	28
2.4.2. ESTADIO VALLE	29
2.4.3. ESTADIO CAÑÓN	29
2.4.4. GLACIACIÓN	29
2.4.5. DESLIZAMIENTO	29
2.4.6. MASAS DE ESCOMBRO	30
2.4.7. ALUVIONES	30
2.5. PROCESOS GEODINÁMICOS	30
2.5.1. PROCESOS GEODINÁMICOS EXTERNOS	31
2.4.1.1. METEORIZACIÓN	31
2.4.1.2. MOVIMIENTOS EN MASA	33
2.4.1.3. PELIGROS GEOLÓGICOS	43

CAPITULO III

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1. UBICACIÓN	46
3.2. ACCESIBILIDAD	47
3.3. CLIMA	47
3.3.1. ESTACIONES METEOROLÓGICAS	49

3.3.2.	CLIMA DEL ÁREA DE ESTUDIO	52
3.4.	POBLACIÓN	53
3.5.	UNIDADES LITOLÓGICAS	55
3.5.1.	DEPÓSITOS INCONSOLIDADOS (I)	56
3.6.	ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	63
3.6.1.	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	63
3.7.	HIDROGEOLOGÍA	67
3.7.1.	UNIDADES LITOHIDROGEOLÓGICAS	67
3.8.	COBERTURA VEGETAL.....	69
3.9.	PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA	70
3.9.1.	PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL ÁREA DE ESTUDIO	71
3.9.1.1.	DESLIZAMIENTOS.....	71
3.9.1.2.	DERRUMBES.....	80
3.9.1.3.	FLUJOS	84
3.9.1.4.	GRIETAS	88
3.9.1.5.	EROSIÓN EN CÁRCAVAS.....	89
3.10.	PENDIENTE	92
3.10.1.	PENDIENTE Y SUSCEPTIBILIDAD	93

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y EXPOSICIÓN DE RESULTADOS

4.1.	ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA UTILIZANDO EL MÉTODO BIVARIANTE.....	96
4.1.1.	MOVIMIENTOS EN MASA.....	96
4.1.2.	HIPÓTESIS DE ROTURA	97
4.1.3.	SUSCEPTIBILIDAD	99
4.1.4.	METODOLOGÍA.....	110
4.1.5.	RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA	136
4.2.	MEDIDAS DE CONTROL Y MITIGACIÓN.....	138

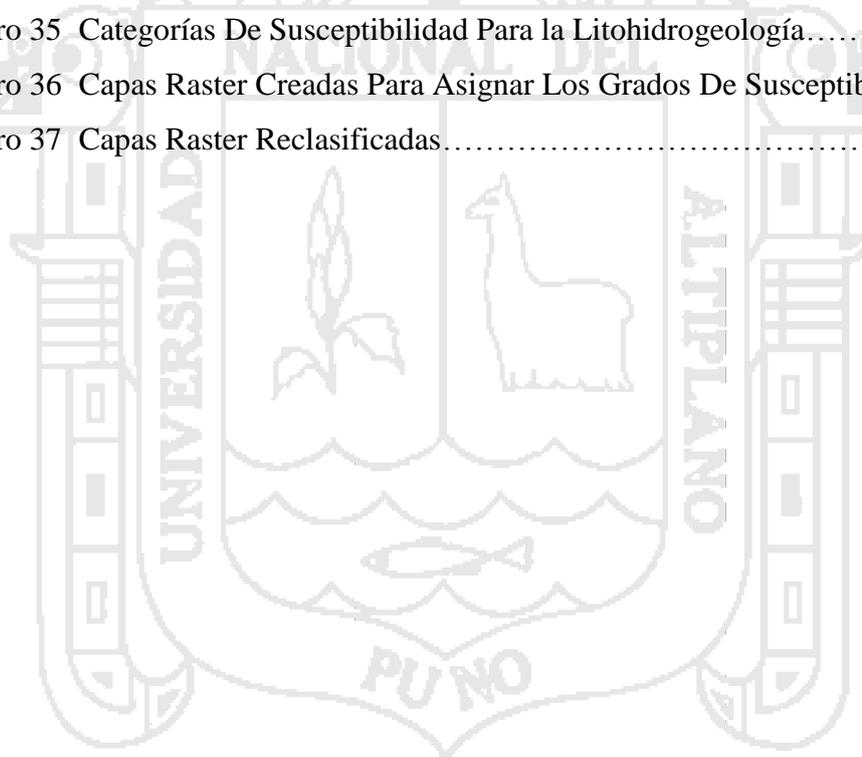
CONCLUSIONES 142
RECOMENDACIONES..... 144
BIBLIOGRAFÍA 145
FUENTES DE INFORMACIÓN (WEBGRAFÍA)..... 150
ANEXOS



LISTA DE CUADROS

Cuadro 1	Ubicación Política del Área de Estudio.....	46
Cuadro 2	Vértices del Área de Estudio.....	46
Cuadro 3	Accesibilidad al Área de Estudio.....	47
Cuadro 4	Estaciones Identificadas.....	49
Cuadro 5	Habitantes de las Provincias de la Región de Huánuco.....	54
Cuadro 6	Habitantes y Vivienda en los Poblados de Pampamarca y Acobamba.....	55
Cuadro 7	Distribución de las Unidades Litológicas en el Área de Estudio.....	62
Cuadro 8	Distribución de las Unidades Geomorfológicas en el Área de Estudio....	67
Cuadro 9	Unidades Litohidrogeológicas del área de estudio.....	68
Cuadro 10	Distribución de las Unidades Litohidrogeológicas en el Área de Estudio	69
Cuadro 11	Distribución de las Unidades de Cobertura Vegetal en el Área de Estudio.....	70
Cuadro 12	Peligros Geológicos Identificados en el Área Estudio	90
Cuadro 13	Estadística de los Peligros Geológicos Identificados en el Área de Estudio.....	91
Cuadro 14	Estadística de los Peligros Geológicos Identificados en el Área de Estudio.....	92
Cuadro 15	Clasificación de Pendientes y Susceptibilidad.....	95
Cuadro 16	Distribución de los Peligros Geológicos del Área de Estudio.....	95
Cuadro 17	Variables Litológicas del Área de Estudio.....	104
Cuadro 18	Variables Litohidrogeológicas del Área de Estudio.....	105
Cuadro 19	Clasificación de los rangos de Pendientes.....	110
Cuadro 20	Tipos de Movimientos en Masa Evaluados.....	117
Cuadro 21	Distribución Calculo Estadístico del Peso o Susceptibilidad de Las Unidades Litológicas a los Movimientos en Masa.....	122
Cuadro 22	Cálculo Estadístico del Peso o Susceptibilidad de los Valores de Pendientes a los Movimientos en Masa.....	123
Cuadro 23	Cálculos Estadísticos del Peso o Susceptibilidad de las Unidades de Cobertura Vegetal a los Movimientos en Masa.....	124
Cuadro 24	Cálculo Estadístico del Peso o Susceptibilidad de las Unidades Geomorfológicas a los Movimientos en Masa.....	125

Cuadro 25	Cálculo Estadístico del Peso o Susceptibilidad de las Unidades Litohidrogeológicas a los Movimientos en Masa.....	126
Cuadro 26	Intervalos de Susceptibilidad para la Litología.....	128
Cuadro 27	Intervalos de Susceptibilidad Para la Pendiente.....	129
Cuadro 28	Intervalos de Susceptibilidad Para la Geomorfología.....	129
Cuadro 29	Intervalo de Susceptibilidad Para la Cobertura Vegetal.....	129
Cuadro 30	Intervalo de Susceptibilidad para la Litohidrogeología.....	129
Cuadro 31	Categorías de Susceptibilidad Para la Litología.....	130
Cuadro 32	Categorías de Susceptibilidad Para la Pendiente.....	130
Cuadro 33	Categorías de Susceptibilidad Para la Geomorfología.....	130
Cuadro 34	Categorías De Susceptibilidad Para la Cobertura Vegetal.....	131
Cuadro 35	Categorías De Susceptibilidad Para la Litohidrogeología.....	131
Cuadro 36	Capas Raster Creadas Para Asignar Los Grados De Susceptibilidad.....	131
Cuadro 37	Capas Raster Reclasificadas.....	132



LISTA DE TABLAS

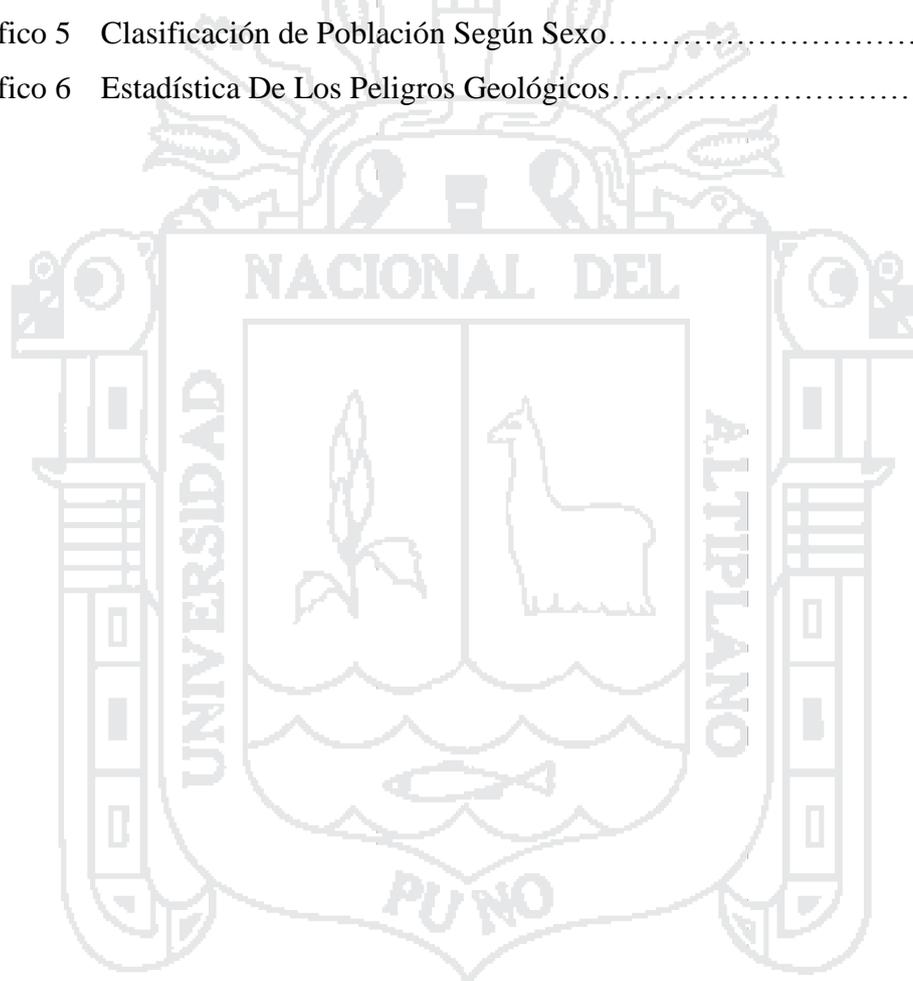
Tabla 1 Clasificación de Movimientos en Masa (Varnes, 1978).....35

Tabla 2 Influencia de la Vegetación en la Estabilidad de Taludes (Yin et. al., 1988)..... 108



LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Promedios Multianuales de Temperaturas.....	50
Gráfico 2	Temperatura promedio anual para el Periodo 1963-2002, Ciudad de Huánuco.....	51
Gráfico 3	Precipitación Promedio Acumulada Región Huánuco.....	52
Gráfico 4	Número de Habitantes de la Región Huánuco.....	54
Gráfico 5	Clasificación de Población Según Sexo.....	55
Gráfico 6	Estadística De Los Peligros Geológicos.....	92



LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Columna Litoestratigráfica Regional.....	28
Figura 2	Modelado por Circulación Acuosa.....	32
Figura 3	Esquema de Caída.....	36
Figura 4	Esquema de Caída de Rocas.....	37
Figura 5	Esquema de Derrumbe.....	37
Figura 6	Esquema de Vuelco.....	38
Figura 7	Esquema de Deslizamiento Rotacional.....	38
Figura 8	Esquema de Deslizamiento Traslacional.....	39
Figura 9	Esquema de Flujos Canalizados.....	40
Figura 10	Avalancha de detritos.....	40
Figura 11	Esquema de Flujos de lodos.....	41
Figura 12	Esquema de Reptación de Suelos.....	41
Figura 13	Columna Estratigráfica Local.....	69
Figura 14	Interacción Ladera-Vegetación, e Influencia en la Estabilidad (Yin et al., 1988).....	107
Figura 15	Diagrama de la Metodología Utilizada para Obtener el Mapa de Suceptibilidad a Los movimientos en Masa Utilizando en el Metodo Bivariante.....	107
Figura 16	Distribucion de l suceptibilidad a los Movimientos en Masa en el Area..	107
Figura 17	Dren en Tipo Espina de Pez.....	107
Figura 18	Obras de Forestacion de Zonas de Carcavamiento.....	107
Figura 19	Obras Hidraulicas Transversales para Carcavas.....	107
Figura 20	Esquema Ilustrado para Constructivo de Muros Disipadores de Energia	10749

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

DGAR	Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico.
EIRD	Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres.
GPS	Global Positioning System.
IAEG	International Association of Engineering and Environment.
IGN	Instituto Geográfico Nacional
INDECI	Instituto Nacional de Defensa Civil.
OSI	Oficina de Sistema de Información.
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.
SISBDGEO	Base de Datos Geocientífica de Peligros Geológicos de Geodinámica Externa.
SIG	Sistema de Información Geográfica.
UN/ISDR	Organization Overseeing the Denvelopment of Disaster Reduction Policy.
UTM	Universal Transverse Mercator.
WGS	World Geodetic System.

RESUMEN

A consecuencia del fenómeno de inmigración poblacional, se ha generado asentamientos humanos en zonas vulnerables a la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa; condición que se observa en los poblados de Pampamarca y Acobamba, región Huánuco. El área de estudio abarca una extensión de 48,75 Km², las unidades litológicas identificadas comprenden los depósitos inconsolidados y unidades del substrato rocoso, las unidades geomorfológicas comprenden la vertiente o pie de monte aluvio torrencial (proluvial), colinas y montañas en rocas metamórficas, terrazas fluviales, vertientes o pie de monte coluvio deluvial y vertiente coluvial de detritos, hidrogeológicamente las unidades presentes son los acuíferos y acuitardos y finalmente las unidades de cobertura vegetal. En el área de estudio se identificó 67 peligros, el mapa de susceptibilidad está basado por el método del Análisis Estadístico Bivariante; para el cual previamente se preparó mapas temáticos para cada factor considerado como condicionante en la generación de movimientos en masa, los cuales se ponderaron por separado; las capas de cobertura consideradas como condicionantes en este estudio son los mapas litológico, geomorfológico, hidrogeológico, pendientes y cobertura vegetal; de esta manera se establece el grado de susceptibilidad de los terrenos a los movimientos en masa, en fusión a los valores asignados para cada una de las unidades cartografiadas y diferenciadas en cada mapa de factor condicionante; los mapas son superpuestos con la ayuda del (SIG) el cual permite realizar un análisis automatizada de los datos y establecimiento de bases de datos asociados. Terminado el análisis de susceptibilidad por medio de la aplicación del Método Bivariante con la ayuda del SIG ARCGIS 10.1, se obtiene como resultado el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa de las áreas de Pampamarca y Acobamba, a partir de este mapa se puede establecer que el 33.11% del territorio comprendido en la zona estudiada presenta muy baja susceptibilidad, el 25.8 % baja susceptibilidad, el 4.22 % moderada susceptibilidad, el 21.73 % alta susceptibilidad y 15.06 % presenta muy alta susceptibilidad.

Palabras Claves: Análisis Bivariante, Mapas Temáticos, Movimientos en Masa, Peligros Geológicos, Susceptibilidad.

ABSTRACT

As a result of the phenomenon of immigration population, there has been human settlements in areas vulnerable to the occurrence of genetic hazards mass movements areas; Condition seen in the towns of Pampamarca and Acobamba, Huánuco region. The study area covers an area of 48.75 km², the lithological units identified comprise the unconsolidated deposits and bedrock units, geomorphological units comprise the slope of Mount torrential alluvium (proluvial), hills and mountains in metamorphic rocks, Terrazas rivers, springs or foot of Mount deluvial colluvium and colluvial slope of detritus, hydrogeological units are aquifers and aquitard and finally mulched units. In the study area identified 67 hazards, the susceptibility map is based on the method of Statistical Analysis Bivariate; For which previously thematic maps for each factor considered as a condition in generating mass movements was prepared, which were weighted separately; The cover layers conditions considered in this study are the lithological, geomorphological, hydrogeological, slopes and vegetation cover maps; Thus the degree of susceptibility of the land mass movements and merging the values assigned to each of the units mapped and differentiated in each map of conditioning factor is established; The maps are overlaid with the help of (GIS) which allow an automated data analysis and the establishment of associated databases. Ended susceptibility analysis through application of Bivariate method with the help of GIS ARCGIS 10.1, is obtained as a result the map of susceptibility to movements in the mass of areas Pampamarca and Acobamba, from this map you can set the 33.11% of the territory included in the study area has very low susceptibility, low susceptibility 25.8%, 4.22% moderate susceptibility, the 21.73% and 15.06% high susceptibility has very high susceptibility.

Keywords: Bivariate analysis, Thematics maps, Mass movements, geological hazards, Susceptibility.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

Desde la década de los 70 a consecuencia del fenómeno de inmigración poblacional, en el Perú las capitales de provincia y distritos han experimentado procesos de ocupación irregular en áreas periféricas, generando asentamientos humanos en zonas vulnerables a la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa; condición que se observa en los poblados de Pampamarca y Acobamba, que pertenecen políticamente a los distritos de Pampamarca y Aparicio Pomares respectivamente, de la provincia Yarowilca en la región Huánuco. Sin embargo en los últimos años la población ha cambiado su actitud en la forma de hacer frente a los desastres provocados por peligros naturales, el énfasis puesto en la respuesta y ayuda humanitaria después de ocurrido un desastre ha sido cambiado por una mayor atención a las estrategias de reducción de los desastres (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres - EIRD, 2004).

Los peligros geológicos por movimientos en masa pueden ocasionar desastres, con grandes pérdidas económicas, materiales y vidas humanas. El Perú que presenta una conformación de montañas con elevaciones que sobrepasan los 5 000 msnm, se hace muy importante tener en cuenta estos procesos para poder realizar trabajos de planificación y ocupación del territorio. Los peligros geológicos pueden ser de origen natural o antrópico (inducidos por modificaciones del terreno realizadas por el hombre) (Vílchez, M., 2008).

En el presente trabajo de investigación se ha aplicado una metodología de evaluación de la estabilidad de laderas enmarcada dentro del ámbito de la geodinámica externa; el problema principal trata del estudio y caracterización de los peligros geológicos por movimientos en masa, enfocado a elaborar propuesta de solución más viables a los problemas identificados. Una forma de evitar situaciones de peligros por movimientos en masa, es estudiando las condiciones de seguridad física de las laderas antes de su ocupación, es necesario un estudio de suelos y rocas que nos identifique las zonas que pueden ser habitables; sin embargo hasta el momento este procedimiento no se cumple, generado por un crecimiento acelerado y desordenado de la población en nuestro país, que cada vez más crece la demanda de la construcción de viviendas, las cuales muchas veces ocupan zonas inseguras. Es en este marco, que el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), realiza estudios de peligros geológicos, donde se evalúa las características de estos peligros (movimientos en masa), para entender las condiciones en las que se producen.

La mejor estrategia para reducir los desastres es la prevención, es así que la prevención de los riesgos derivados de los movimientos en masa, pasa necesariamente por su cartografía (Ayala-Carcedo, 2002). Los mapas resultantes (mapas de susceptibilidad y mapa de Peligros geológicos), son una herramienta básica para la planificación del territorio (Irigaray et al., 2003) en (Ayala-Carcedo, 2002), el cual contempla, entre otros, el aprovechamiento sostenible de los recursos minerales. En un principio los análisis de susceptibilidad eran obtenidos a partir del cruce de manera manual de mapas con información geomorfológica, topográfica, litológica, estructural, cobertura vegetal, etc., y de análisis estadísticos, procedimientos que eran muy tediosos y demandaban mucho tiempo. Con la difusión de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en los años 1990, se ha facilitado el análisis de la susceptibilidad, se ha ampliado las posibilidades metodológicas, la reducción de tiempos y costos (Ayala- Carcedo, 2002). Las limitaciones que tiene los estudio de estabilidad de taludes con fines de diseño de obras de estabilización y prevención, son sus costos y el tiempo que demanda realizarlos, que hacen difícil su aplicación a escalas menores, 1:25 000, 1:50 000, etc.

En estudios de grandes áreas se requieren una aproximación diferente que los estudios de detalle, además del uso de herramientas metodológicas, que permitan establecer la mayor o menor posibilidad de que en una ladera se produzca ò sea afectada

por un movimiento en masa; el resultado de estos estudios son los mapas de susceptibilidad que en esencia presenta la distribución espacial de las zonas más propensas a que produzca un movimiento en masa. Los mapas de susceptibilidad responden a la necesidad de evaluar la propensión de las zonas no movidas o afectadas a presentar problemas (Ayala-Carcedo, 2002). En la actualidad los SIG permiten el análisis de susceptibilidad a la rotura por deslizamientos así como la elaboración de mapas de susceptibilidad y peligros de una manera sistemática y eficiente; el cual permite ampliar el manejo de grandes bases de datos y realizar cálculos de estimación de susceptibilidad que eran inviables en grandes áreas (Santacana, 2001). Por la necesidad de contar con estos mapas de susceptibilidad como herramienta importante para realizar trabajos de planificación del territorio en los poblados de Pampamarca y Acobamba, se vio por conveniente realizar el análisis de susceptibilidad de las laderas a la ocurrencia de movimientos en masa, que involucran parte del territorio de dos distritos en la que se encuentra la área de estudio.

La realización del presente trabajo de investigación también servirá para obtener el Título de Ingeniero Geólogo.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Durante el periodo lluvioso del año 2014 los poblados de Pampamarca y Acobamba fueron fuertemente afectados por movimientos de laderas de diferente tipología, los cuales necesitan ser estudiados y evaluados, para determinar los factores que condicionan su ocurrencia, así como también conocer los factores que detonaron estos procesos.

Es así que se plantea realizar un estudio semidetallado a escala 1:25 000 de la zona afectada por estos problemas, con el objetivo de determinar las dimensiones reales de los eventos y también la extensión de las zonas comprometidas, teniendo como fin brindar alternativas de solución, mitigación o reducción de sus efectos.

Los periodos lluviosos en los poblados de Pampamarca y Acobamba vienen acompañados de un incremento en la ocurrencia de fenómenos de inestabilidad de laderas, como son los deslizamientos, flujos y proceso de erosión de ladera (cárcavas)

de tipo superficial que afectan a todo tipo de suelo; es posible observar en la zona estudiada las reactivaciones de antiguos deslizamientos.

Los fenómenos recientes responden a situaciones complejas donde entran a tallar aspectos relacionados a la infiltración de las aguas producto de las precipitaciones de la zona. Existiendo una relación entre precipitación – desencadenamiento.

Frente a esta problemática se plantea las siguientes interrogantes:

¿Cuáles son los factores intrínsecos y extrínsecos que condicionaron la ocurrencia de los eventos identificados en los poblados de Pampamarca y Acobamba?

¿Cuáles son los factores condicionantes que favorecen la ocurrencia de los eventos por movimientos en masa?

¿Cuál es la finalidad que tiene el análisis de susceptibilidad en los poblados estudiados?

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La problemática de la zona estudiada, es la presencia de diferentes tipos de peligros por movimientos en masa que afectan las laderas; debido a esto, es necesario realizar estudios que conlleven a mejorar la seguridad física de este lugar; el problema se acrecentó por el crecimiento urbano indiscriminado de la zona, que ha generado que los pobladores se ubiquen en zonas inadecuadas, como son las laderas de los cerros los cuales son inestables, poniendo así en peligro su seguridad física, la de sus viviendas y de obras de infraestructura, exponiéndose a la ocurrencia de un fenómeno de movimientos en masa, sin que las autoridades del gobierno local o central adopten las medidas pertinentes que ayuden a corregir o mitigara sus efectos.

Este trabajo beneficiará a los habitantes del área de estudio, ya que se podrá tomar acción en la seguridad de los poblados, que conllevara a la construcción de obras de prevención y mitigación, así como será una herramienta esencial en el ordenamiento territorial del lugar.

1.4. HIPÓTESIS

“Los problemas de estabilidad de laderas en los poblados de Pampamarca y Acobamba están influenciados por las condiciones geológicas y geomorfológicas que se presentan en la zona, siendo el principal detonante las lluvias de carácter excepcional que caen en el área”.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

- El objetivo principal de la presente investigación es analizar y determinar las áreas susceptibles a movimientos en masa en los poblados de Pampamarca y Acobamba; así como, proponer medidas de control y mitigación de los efectos causados por los movimientos en masa identificados.

1.5.2. Objetivo específicos

- Identificar los factores condicionantes que favorecen la ocurrencia de los eventos de tipo movimientos en masa y determinar los factores detonantes de los eventos identificados en el área de estudio.
- Aplicar las herramientas SIG para sistematizar la información y realizar la evaluación de la susceptibilidad a los movimientos en masa.

1.6. METODOLOGÍA

La metodología desarrollada en el presente estudio, se ha dividido en tres etapas, las cuales se describen a continuación.

- Etapa de Preparación y/o Recolección de datos (Gabinete I).
- Etapa de Campo.
- Etapa de Procesamiento de datos (Gabinete II).

1.6.1. Etapa de preparación y/o recolección de datos (Gabinete I)

Esta etapa consiste en la recopilación, evaluación y sistematización de la bibliografía existente (revisión de trabajos o informes de la zona de estudio), se contempló las siguientes actividades:

- Revisión de información geológica del INGEMMET, cuadrángulo de Huánuco, a escala 1:100 000.
- Recopilación y evaluación de información bibliográfica, topográfica, hidrometeorológica, geológica, uso de suelo, información sobre obras de infraestructura y registro histórico de desastres.
- Generación de la cartografía básica: digitalización de mapas topográficos obtenidos por el área de la Oficina de Sistema de Información (OSI) del INGEMMET, a escala 1:25 000.
- Interpretación y cartografiado de los movimientos en masa, utilizando fotos aéreas e imágenes satelitales Landsat.
- Preparación preliminar de la base de datos del inventario de movimientos en masa de los poblados en estudio, los cuales serán comprobados en los trabajos de campo.
- Elaboración de mapas preliminares: cartografiado de movimientos en masa, para su respectiva comprobación de campo.

1.6.2. Etapa de Campo

Los trabajos de campo se efectuaron durante una campaña de diez días, cubriendo un área de **48.75 km²** en los cuales se realizaron los siguientes trabajos:

- Cartografiado de movimientos en masa en los planos topográficos a escala 1:25 000, ajuste de los límites de eventos identificados.
- Reconocimiento de la geología de los poblados estudiados.
- Georeferenciación de puntos de control mediante el uso del GPS.
- Muestreo de rocas.

1.6.3. Etapa de gabinete y procesamiento de datos (Gabinete II)

Esta etapa consistió en:

- Procesamiento y depuración de información de la base de datos, mediante la confrontación de la información obtenida en la etapa de Gabinete (I) y la etapa de Campo.
- Descarga y corrección de puntos de control obtenidos con el GPS.
- Elaboración y preparación de una base de datos de movimientos de masa, que permita trabajar la información georeferenciada en SIG.
- Descripción de los principales movimientos en masa inventariados en el área de estudio.
- Elaboración, digitalización y composición de mapas temáticos (litológico, geomorfológico, hidrogeológico, cobertura vegetal y pendientes) a utilizar en la evaluación de la susceptibilidad a los movimientos de masa, los cuales fueron elaborados mediante el uso del Software ArcGis 10.1.
- Descarga y corrección de fotografías tomadas en el área de estudio.
- Elaboración de cuadros y figuras.
- Análisis y elaboración del mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa mediante la utilización de la herramienta SIG.
- Determinación de zonas críticas en las zonas estudiadas.
- Preparación y redacción de la tesis.

1.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

La técnica consiste en realizar un reconocimiento del área de estudio y consecuentemente realizar un mapeo geológico local a escala semidetallada 1:25 000, utilizando como principales recursos lo siguiente:

Recursos humanos

- Ejecutora.
- Asesor de tesis.
- Director de tesis.

- Orientación y apoyo de los profesionales relacionado con el tema.
- Pobladores de la zona de estudio, entre otros.

Recursos Físicos (Instrumentos)

- GPS.
- Brújula.
- Distanciómetro laser.
- Cámara fotográfica.
- Libreta de campo.
- Estereoscopio de bolsillo.
- Estereoscopio de mesa.
- Binoculares.
- Huincha métrica.
- Lupa.
- Protactor.
- Tablero.
- Martillo de geólogo.
- Computadora portátil.

Materiales

- Mapa topográfico a una escala 1:25 000
- Imágenes satelitales Pleiades, Quickbird y Lansat.
- Software ArcGis versión 10.1.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Diversos estudios de investigación relacionados a geología, geodinámica y peligros geológicos en el Perú y específicamente en la región Huánuco, fueron realizados por el INGEMMET, entre los cuales destacan los siguientes:

- Geología de los Cuadrángulos de Huaraz (20-h), Recuay (20-i) La Unión (20-j), Chiquian (21-i) y Yanahuanca (21-j) – 1996, realizados por Cobbing J., Sánchez, A., Martínez, W. y Zarate, H., donde señalan las unidades geológicas regionales del área a nivel regional. Boletín N° 076.
<http://www.ingemmet.gob.pe/Aplicaciones Web/Productos/productos/index.html>
- Informe Técnico, Geología Ambiental: Zonas Críticas Región Huánuco. “Reporte preliminar” Realizado por Zavala, B. y Vílchez, M. realizado el 2005. Cód. A6120.
www.ingemmet.gob.pe/AplicacionesWeb/Productos/productos/index.html
- Informe “Geología y Geodinámica Mejoramiento de la Capacidad Operativa de la Posta de Salud de Pampamarca Micro Red de Yarowilca-Huánuco”, realizado por Mendoza, J. en 2014.
<http://www.ingemmet.gob.pe/AplicacionesWeb/Productos/productos/index.html>
- En el “Estudio de Riesgos Geológicos en la Región Huánuco” realizado por Zavala, B. y Vílchez, M. en el 2006.
<http://www.ingemmet.gob.pe/AplicacionesWeb/Productos/productos/index.html>

- “Informe de Evaluación del I.E. N° 32234 PAMPAMARCA”, realizado por Calderón, Rene en marzo 2014.
- “Informe Verificación Geológica y Geodinámica – Mejoramiento de la Capacidad Operativa de la Posta de Salud de Pampamarca Micro Red de Yarowilca-Huánuco”, realizado por Mendoza, J. en 2014. Base de datos Inspecciones de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgos Geológicos. DGAR– INGEMMET.
- Base de datos Geocientífica de peligros geológicos de geodinámica eterna denominada SISBDGEO-DGAR-INGEMMET.

2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.2.1. Sistemas de información geográfica (SIG)

Para la elaboración de más de susceptibilidad es importante tener en claro los conceptos básicos, las bondades y las tareas que se realizan con un SIG.

Un SIG, es el “Sistema informatizado geográfico para la captura, almacenamiento, obtención, Análisis y visualización de información espacial” (Clarke, 1990) que tiene cuatro componentes principales, que son el hardware, el software, la información espacial y el equipo técnico especializado. El hardware es el conjunto de componentes informáticos físicos y tangibles empleados. Por ejemplo el monitor, la impresora, el ratón, los discos duros y en general los circuitos, las placas y los chips, entre otros. El software es el soporte informático lógico e intangible, que hace que funcione el hardware, es decir el conjunto de algoritmos que permite manejar los datos y realizar tareas específicas con ellos. Por ejemplo: ArcGis, Word, Excel, Windows. La información espacial está constituida por cualquier dato con referencia a su posición en algún sistema de coordenadas y que lleva asociado un identificador único que le diferencia de otros elementos y una serie de atributos que sirven para describir algunas de sus propiedades, es decir, las observaciones que caracterizan a los datos espaciales. Esta información espacial se puede almacenar en dos clases de formatos, los vectoriales o los matriciales. (Villacorta, S., 2007).

- Formatos Vectoriales, se usan para representar la realidad como puntos, líneas y polígonos.
Ejemplo: formatos shapefile, formatos coverage.
- Formatos Matriciales, sirve para representar aspectos de la realidad con una distribución heterogénea en el espacio e incluso en imágenes satelitales.
Ejemplo: formato Tiff, Jpg, etc.

2.2.2. Movimientos de ladera

El objeto de este estudio son los movimientos de ladera, es decir, procesos por los que materiales rocosos o de suelos que conforman una ladera, se movilizan con ayuda de la gravedad y otros agentes (Varnes, 1978; Cruden y Varnes, 1996).

2.2.3. Susceptibilidad

Se refiere al grado de propensión que tiene una zona a que en ella se genera o a que resulte afectada por un fenómeno de remoción en masa debido a sus condiciones intrínsecas, como pueden ser la geometría del terreno, la resistencia de los materiales, los estados de esfuerzo, las condiciones de drenaje superficial y sub-superficial, la cobertura del terreno y la trayectoria de la masa en movimiento. (UN/ISDR, 2004).

2.2.4. Evaluación del riesgos/análisis

Metodología utilizada para determinar la naturaleza y el grado de riesgo a través del análisis de peligros (amenazas) potenciales y evaluación de condiciones existentes de vulnerabilidad que pudieran representar una amenaza potencial o daño a la población, propiedades, medios de subsistencia y al ambiente del cual dependen.

El proceso de evaluación de riesgos de basa en una revisión tanto de las características técnicas de amenazas a saber: su ubicación, magnitud o intensidad, frecuencia y probabilidad; así como en el análisis de las dimensiones físicas, sociales, económicas y ambientales de la vulnerabilidad y exposición; con especial consideración a la capacidad de enfrentar los diferentes escenarios del riesgo (UN/ISDR, 2004).

2.2.5. Gestión de riesgo de desastres

Conjunto de decisiones administrativas de organización y conocimiento operacionales desarrollados por sociedades y comunidades para implementar políticas estratégicas y fortalecer sus capacidades a fin de reducir el impacto de amenazas naturales y de desastres ambientales y tecnológicos consecuentes. Esto involucra todo tipo de actividades incluyendo medidas estructurales y no estructurales para evitar o limitar los efectos adversos de los desastres. (UN/ISDR, 2004).

2.2.6. Deslizamiento

Es un movimiento ladera debajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante (Varnes, 1987).

- **Deslizamiento Traslacional:** Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden y Varnes, 1996).
- **Deslizamiento Rotacional:** Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los deslizamientos rotacionales muestran una morfología distinta caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contra pendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal. La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca, debido a que el mecanismo rotacional es con frecuencia baja excepto en presencia de materiales altamente frágil como las arcillas sensitivas.

2.2.7. Derrumbe

Disgregación generalmente de roca, que forma en la base un depósito caótico de material grueso, es producido por el socavamiento de la base de riveras fluviales, áreas

costeras, acantilados rocosos, en laderas de moderada a fuerte pendiente, por acción de lluvias, movimientos sísmicos y antrópica “cortes de carreteras o áreas agrícolas” (Varnes, 1987).

2.2.8. Flujo

Son movimientos de material litológico de textura fina y gruesa que se desplazan a lo largo de una superficie, exhibe un comportamiento semejante a un fluido, puede ser rápido o lento, saturado o seco, entre estos se tiene:

- **Flujos de detritos:** Conocidos también como huaicos, son corrientes que se caracterizan por flujos muy rápidos o avenidas intempestivas de agua turbia, que arrastra a su paso materiales de diferentes características provenientes de la meteorización de las rocas, estos van desde suelos finos hasta enormes bloques de roca, maleza y árboles, que pierden su estabilidad estructural por efecto del agua (Varnes, 1987).

2.2.9. Complejos

Los movimientos complejos son aquellos fenómenos con más de un tipo de movimiento o proceso característico. Consisten en movimientos sucesivos o simultáneos de una misma masa ligados causalmente. Cuando se trata de movimientos que desencadenan otros que se incorporan a la masa inicial se llaman movimientos complejos concatenados.

2.2.10. Erosión de laderas

Se define como la destrucción de los materiales de la corteza terrestre por acción de los procesos geológicos. La erosión implica los siguientes procesos: alteración física y/o química, fracturamiento, fisuramiento, hasta el momento de arranque de los materiales sin considerar el transporte. Los agentes erosivos son el agua, el viento, el hielo, la acción del sol dilatando las rocas durante el día y contrayéndolas durante la noche la humedad, etc.

2.2.11. Erosión fluvial

Es el trabajo continuo que realizan las aguas corrientes sobre la superficie terrestre. La erosión fluvial se realiza en varias formas tales como: arranque del material, abrasión fluvial, corrosión y atracción fluvial, la erosión fluvial socava su valle formando un perfil transversal en forma de V (cuando el río se encuentra en un estado juvenil de desarrollo), produce la profundización del cauce, el ensanchamiento y el alargamiento. Cada uno de estos procesos se realiza de acuerdo al estadio de desarrollo, haciéndose más intenso o menos intenso el proceso según estadio. La erosión fluvial se desarrolla siguiendo patrones específicos de drenaje los cuales son controlados por la estructura geológica, por la dureza de la roca, por la carga fluvial y otros factores.

2.2.12. Amenaza/peligro

Evento físico, potencialmente perjudicial, fenómeno y/o actividad humana que puede causar la muerte o lesiones daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental. Estos incluyen condiciones latentes que pueden derivar en futuras amenazas/peligros, los cuales pueden tener diferentes orígenes: natural (geológico, hidrogeológico y biológico) o antrópico (degradación ambiental y amenazas tecnológicas). Las amenazas pueden ser individuales, combinadas o secuenciales en su origen y efectos. Cada uno de ellas se caracteriza por su localización, magnitud o intensidad, frecuencia y probabilidad. (UN/ISDR, 2004).

2.2.13. Vulnerabilidad

La teoría de vulnerabilidad propuesta se articula alrededor de conceptos relativamente nuevos como el elemento expuesto e interacción fenómeno-elemento, entre otros. Estos intentan facilitar la estimación de las consecuencias potenciales en caso de la materialización del fenómeno amenazante. (UN/ISDR, 2004).

2.2.14. Riesgo

Probabilidad de consecuencia perjudicial o pérdidas esperadas (muertes, lesiones, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica o

deterioro ambiente) resultado de interacción entre amenaza natural o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad (UN/ISDR, 2004).

2.3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Según el cuadrángulo de La Unión (20J) realizado por (Cobbing J., Sánchez., Martínez, W. y Zarate, H., 1996), en el área de estudio el substrato rocoso está conformado por rocas sedimentarias y metamórficas, también se presenta depósitos recientes.

2.3.1. Estratigrafía

Regionalmente la geología en los alrededores del área de estudio, está conformada por rocas sedimentarias, rocas metamórficas y volcánicas, las cuales pertenecen a diferentes edades geológicas, las mismas se describen a continuación, desde las más antiguas a las más reciente (Cobbing J. et al., 1996). **(Ver Anexo B - Mapa M-01).**

A) Complejo Marañón (PE-cm)

Afloramientos de rocas asignadas con una edad Neoproterozoico, afloran en la parte Este de los cuadrángulos de la Unión y Yanahuanca. Las rocas que afloran son de tipo pizarras, esquistos y filitas de colores marrones a grises con miembros arenáceos más macizos de 30 cm. de espesor, desarrolladas esporádicamente. Están presentes muchas venillas pequeñas de cuarzo, las cuales son probablemente el resultado de segregación de un metamorfismo regional de bajo grado.

Edad y Correlación

Los esquistos y cuarcitas yacen debajo de estratos del Hordoviciano en Huacar a 32 Km. al sur de Huánuco (Dalmayrac, 1970) por tanto la edad es por lo menos pre-ordovícica, es probable que ellos sean tan antiguos como el Proterozoico descrito por (Dalmayrac, 1977) en una sección de Huánuco a Tingo María, donde la epizona y mesozona de esquistos pelíticos tienen por debajo núcleos de gneis granulito, los cuales

ocurren en los núcleos de los anticlinales. Mientras que el paquete de esquistos de la Cordillera Oriental es más probable de edad Neoproterozoico tardío. La descripción litológica del Complejo Marañón (Wilson, et. Al., 1967) son similares a aquellas rocas observadas dentro del área descrita.

B) Grupo Ambo (Ci-a)

El grupo Ambo sobreyace a las rocas del Complejo Marañón en discordancia angular al Este del pueblo de Chavinillos en el cuadrángulo de la Unión, formando parte del sinclinal que pasa por San Cristóbal de Jacas Chico y Margos.

En el Grupo Ambo se encuentra un conglomerado polimictico compuesto por rodados de formas redondeadas y subangulosas que pueden alcanzar hasta 40 cm. de diámetro corresponden a areniscas, cuarcitas, esquistos, la matriz es areniscosa, feldespática con micas. Tal conglomerado suprayace a las rocas metamórficas del Complejo del Marañón.

Edad y Correlación

Debido a la ausencia de la evidencia de fósiles dignos de confianza, solamente podemos indicar que son estratos posteriores al Neoproterozoico y anteriores al Pérmico. Los estratos no han sido meteorizados y ellos parece más probablemente que pertenezcan al Paleozoico superior, solamente que las formaciones del Paleozoico superior de tipo deltaico de las áreas vecinas conocidas corresponden al Cámbrico inferior identificado como el Grupo Ambo y ello parece ser más aceptable.

C) Grupo Mitu (Ps-m)

Los estratos que comprenden a esta unidad se localizan a lo largo de la margen oriental de las formaciones mesozoicas que descansan sobre los esquistos del complejo del Marañón. Estos descansan con clara discordancia sobre los esquistos y también sobre las areniscas y lutitas del grupo Ambo y ellos están cubiertos con ligera discordancia por los sedimentos de Triásico y Cretáceo.

El Grupo Mitú en el cuadrángulo de la Unión se encuentra formando parte de los sinclinales de Llata y San Cristóbal de Jacas Chico, donde sobreyace al complejo del Marañón y al Grupo Ambo, asimismo se le encuentra como una franja alargada y continua de rumbo NO-SE, desde la parte occidental del Sillapaca hasta el cerro Cacomachay en el extremo SE; en la hoja de Yanahuanca su ocurrencia es más restringida, se le observa con una franja estrecha de dirección NO-SE, a 7 km. al SO de Margos. El grupo Mitú es de grosor variable y cambia prácticamente desde algunas decenas de metros a grosores mayores de 2 000 m, gran parte de estos afloramientos en promedio varían de 100 a 500 m.

Edad y Correlación

Según las relaciones estratigráficas regionales del Grupo Mitu representa una sedimentación de molasas acompañada de vulcanismo ocurrido con posterioridad al Pérmico inferior. De otra parte a la secuencia del Mitu le suprayacen calizas del Noriano y posiblemente Anisiano superior (Levin, 1974) lo cual indicara como edad mínima este tiempo, por consiguiente, de acuerdo a la posición estratigráfica el grupo Mitú se acumula entre el Pérmico superior al Triásico medio.

D) Grupo Pucara (Jtr-p)

Los estratos de edad triásica-jurásica afloran en la parte oriental del área a lo largo del contacto entre los esquistos del Complejo del Marañón y las formaciones cretáceas suprayacentes comúnmente cubren al Grupo Mitu, pero también pueden descansar directamente sobre los esquistos infrayacentes. En los cuadrángulos de La Unión y Yanahuanca, las calizas del triásico forman una larga faja discontinua de afloramiento situado al Este de los poblados homónimos. La cuenca de sedimentación estuvo estructuralmente controlada y activa durante la acumulación de la secuencia triásica y jurásica inferior.

E) Formación Oyón (Ki-oy)

Ha sido descrita como una secuencia de 100 m de capas delgadas y oscuras de grano fino de areniscas subgrawacas y lutitas intercaladas con mantos de carbón en

alrededores de Oyon (Wilson. 1963). Posteriormente se describe como una formación que ocurre en las zonas axiales de pliegues anticlinales, sin observarse su base, estimando un grosor mayor a 400 m. (Cobbing, E. J., 1973). La formación Oyon que se ha registrado en los cuadrángulos descritos consiste de limolitas, lutitas gris oscuras en estratos delgados de 5 a 30 cm, intercaladas con areniscas pardas amarillentas, grises y grises claras en estratos más gruesos con las cuales se intercalan niveles de carbón que han sido explotados irregularmente. Esta formación se encuentra mayormente al Este de la Cordillera Blanca y en ambos flancos de la Cordillera de Huayhuash, su límite oriental lo constituye la falla de Chonta; forma los núcleos de anticlinales y presenta una deformación más intensa que las unidades suprayacentes.

Edad y Correlación

La formación Oyon ha sido considerada del Valanginiano por (Wilson, 1963) sin descartar que pueda ser Titoniana. Ya que infrayace a la formación Chicama se considera del cretáceo inferior, correspondiendo a los niveles superiores de la formación Chicama que se ha cartografiado hacia el Norte de la Cordillera Blanca hasta el río Chicama.

F) Grupo Gollarisquizga (Ki-g)

- **Formación Chimú (Ki-chi)**

Se encuentra conformada por areniscas cuarzosas que afloran en casi toda la zona. Los afloramientos más occidentales se encuentran al NNO de Pariacoto (Huaraz). Donde han sido cortados por intrusiones de Batolito de la Costa. Los afloramientos constituyen núcleos de anticlinales con rumbo NO-SE, tal como se observa al Este del Huacllan-Succha. Hacia el sector oriental sus afloramientos se observan hasta la falla Chonta, en el pueblo de Queropalca (Yanahuanca) y en Huacota a 4 km. al Este de Huallanca. Su contacto en el sector oriental es concordante sobre la formación Oyon (Chicama), infrayace a la Formación Santa en contacto similar al anterior.

La formación Chimú destaca por su morfología conspicua y coloración blanquecina a blanca rojiza que en conjunto, se observa algo rojiza clara, destacando las

capas de areniscas resistentes a la erosión. Está constituido principalmente de estratos comunes de areniscas blancas y macizas en capas de 1 a 3 m. de espesor y en total la secuencia completa de la unidad puede variar entre 600 m. en la parte Sur a 100 m en la parte Norte.

Edad y Correlación

La formación Chimú no contiene fósiles marinos confiables, pero sobreyace a la formación Oyon del neocomiano; infrayace a las calizas Santa de edad Valanginiano inferior a medio. La formación Chimú es característica y se encuentra ampliamente difundida en la zona de la cuenca Chavín (Miogeosinclinal) del Norte y Centro del Perú. Aunque hasta ahora no ha sido reconocido con certeza más hacia al Sur de la latitud de Yauyos, en el río Cañete, parte del grupo Yura del sur del Perú es equivalente a la Formación Chimú. También se correlaciona con parte de la formación Morro Solar en el área de Lima.

- **Formación Santa (Ki-s)**

Yace sobre la formación Chimú y se encuentra casi en todos los lugares donde se ha cartografiado esta última. En el sector occidental (Huaraz y Chiquian) se le ha registrado conjuntamente con la formación Carhuaz debido a que tiene un grosor discreto. Consiste de calizas de color azul grisáceo con meteorización característico de corteza azulina. Sus estratos tienen grosores de 10 cm. a 1 m., puede presentar concreciones de chert de color gris oscuro a blanco. No es una unidad fosilífera pero contiene fragmentos de conchas. En el área cartografiada su grosor es regularmente constante de 100 a 150 m., constituye un horizonte marcador útil que se encuentra entre las areniscas Chimú y las lutitas Carhuaz. La formación Santa mayormente se le encuentra en la cuenca Chavín, sin embargo se le ha reportado al Oeste del Yaucan, área considerada como parte del eugeosinclinal (Cuadrángulo de Casma) no obstante dentro de la Cordillera Negra y áreas adyacentes las lutitas gris oscuras se incrementan en proporción, siendo indiferenciables de la formación Carhuaz, más al Oeste las calizas llegan a ser prominentes a lo largo de un cinturón pobremente definido que se extiende hacia el norte del río Casma, hacia Moro. Los afloramientos en el río Casma están recristalizados plegados y fracturados por un clivaje penetrativo horizontal asociado a

un plegamiento y metamorfismo del área, la estratigrafía no es fácilmente descifrable. No obstante en base a las comparaciones se considera que los afloramientos probablemente pertenecen a las calizas Santa. En partículas dichas ocurrencias son de importancia económica tanto como afloramientos de calizas que se encuentran próximos a Chimbote donde son usadas como fundente para el procesamiento del acero.

Edad y Correlación

Los fósiles de las calizas Santa no son estratificadamente característicos, de acuerdo a (Wilson, 1967) no obstante, no hay duda que ellos sean de edad Valanginiano superior, debido a que los fósiles similares han sido encontrados en la parte inferior de las lutitas de Carhuaz que sobreyacen inmediatamente a las calizas. La formación Santa se correlaciona con la parte superior de grupo Morro Solar del área de Lima y tal vez con la parte inferior de las calizas de la formación Pamplona del área de La Mima; sin embargo las litologías muy diferentes de estas áreas ampliamente separadas, indican que la acumulación de los sedimentos tuvo lugar en cuencas separadas.

- **Formación Carhuaz (Ki-ca)**

Sus afloramientos más notorios se encuentran al Este de la Cordillera Blanca donde ocurren formando el núcleo de sinclinales kilométricos, la morfología que caracteriza a la formación Carhuaz es más suave en relación con las unidades adyacentes. La formación yace concordantemente sobre la formación Santa y es seguida en igual relación por la Formación Farrat hacia las áreas vecinas ubicadas al Norte y Noreste del cuadrángulo de Huaraz. Consiste principalmente de limoarcillitas, aunque pueden estar presentes capas de arenisca cuarcíferas en la parte central de la unidad. Las limoarcillitas son principalmente de color gris a gris verdosa y pueden encontrarse además delgadas capas de yeso en la parte superior de las formaciones.

La formación Carhuaz al igual que la formación Chimú y Santa, afloran dentro del miogeosinclinal, pero no sobre el bloque del Marañón. Del mismo modo estas tres unidades afloran en un área más amplia que la formación Chicama.

Edad y Correlación

La formación Carhuaz es considerado de edad Hauteriviana-Barremiano, las formaciones Pamplona que aflora desde Lima hasta el río Cañete se ha considerado en parte equivalente a la Formación Carhuaz, (Wilson, 1967) consideró que las formaciones Farrat, Carhuaz, Santa y Chimú que constituye el grupo Goyllarisquiza representaron en el miogeosinclinal los equivalentes del grupo Goyllarisquiza indiviso que solamente aflora en el bloque del Marañón, en el sector oriental en los cuadrángulos de La Unión y Yanahuanca.

G) **Formación Pariahuanca (Ki-ph)**

Las calizas Pariahuanca descansan concordante sobre la Formación Farrat o sobre la Formación Carhuaz en los lugares donde aquella está ausente. La formación aflora enteramente dentro del miogeosinclinal y no está presente en el bloque del Marañón. La formación Pariahuanca y Santa son las unidades calcáreas del cretáceo que tienen este modo de distribución, ya que las otras unidades se encuentran tanto en el sector central como en el bloque del Marañón. La formación Pariahuanca infrayace en relación concordante a formación Chuléc.

Consiste típicamente de calizas macizas de cierto color gris azulado en estratos de 1 a 2 m. de grosor. Algunas veces presenta una ligera apariencia lajosa y cuando esto sucede superficialmente puede asemejarse a las calizas Santa. En la mayor parte de los Andes Centrales el grosor de las formaciones es de 100 m. (Dunin Borkowki, 1975)

Edad y Correlación

La formación fue considerada por (Benavides, 1956) de edad Aptiano a Albiano inferior. Tal unidad ocupa la misma posición estratigráfica que la formación Inca descrita en la cuenca Cajamarca, de la que es equivalente lateral del grupo Casma en la zona occidental.

H) Formación Pariatambo (Ki-ch/pt)

La formación Pariatambo descansa concordantemente sobre la Formación Chulec, aflora como las anteriores unidades dentro de la cuenca Chavín y sobre el bloque del Marañón, se encuentra sobreyacido concordantemente por la formación Jumasha. Tiene un grosor de 100 m. que se mantiene regularmente constante pero hacia el eje de la cuenca en general, es ligeramente más gruesa; en la cordillera del Huayhuash alcanza 500 m. de grosor esta área debe presentar la región del mayor grosor y por lo tanto la zona de gran subsidencia para las formaciones Pariahuanca y Pariatambo.

La formación Pariatambo consiste principalmente en margas marrón oscuras que tiene un color fétido en superficie de fractura fresca. Caliza marrón oscuro en lajas delgadas que sobresalen como miembros resientes. Usualmente una banda de calizas es separar por 10 m. de margas. Son frecuentemente las intercalaciones de calizas en estratos delgados con limoarcillitas calcáreas gris oscuras, que contienen restos de amonites.

Edad y Correlación

La formación contiene una fauna abundante, lo que ha sido descrita como del Albiano medio y es correlacionada con parte de la Formación Crisnejas del norte del Perú y también es probablemente equivalente a gran parte del cuerpo Casma que ocurre en la zona Huarmey (eugeosinclinal).

La formación Pariatambo fue depositada bajo condiciones de reducción de tipo euxínico. Con fauna mayormente pelágica que sugieren un ambiente de sedimentación anaeróbico.

I) Formación Jumasha (Ks-j)

La formación aflora dentro de la cuenca Chavín (miogeosinclinal y sobre el bloque del Marañón, sobreyace concordantemente a la formación Pariatambo y subyace concordantemente a la formación Celendín) el grosor completo solo se puede observar

en el sector del Marañón donde alcanza 700 m., un grosor mayor podría corresponder a la cuenca entre el Marañón y la Cordillera Blanca, pero la parte superior siempre se encuentra erosionado. En esta zona probablemente el grosor excede los 1 000 m.

La formación Jumasha presenta una litología de estratificación regularmente maciza de calizas grises en estratos, en algunos lugares puede ser una secuencia lajosa de calizas oscuras hacia la base comparable con las Formación Pariatambo, de la cual está siempre separado, al menos por 100 m. de calizas. Las calizas de la formación Jumasha constituyen una de las unidades más importantes y características en los Andes Centrales y en la zona de la cuenca occidental peruana. Se conserva en los núcleos de los sinclinales y forman cadena de elevaciones muy conspicuas, tal como la cordillera de Hayhuash. Sobre el bloque del Marañón se muestra o expone en pliegues anticlinales y sinclinales.

Las calizas de esta unidad se describen como micríticas y biomicríticas con una buena proporción de material limoarcilloso.

Edad y Correlación

La formación Jumasha es probablemente fosilífera, pero de acuerdo a (Benavides, 1956) y (Wilson, 1963) su rango de edad es Albiano superior a Turoniano. Se le correlaciona con los grupos Pullucana y Quilquiñan y con la formación Cajamarca de la región homogénea en el Norte del Perú.

J) Formación Celendín (Ks-ce)

Esta unidad sobreyace concordantemente a la formación Jumasha e infrayace a la formación Casapalca estableciéndose un pase rápido de una secuencia netamente marina a las capas rojas continentales. Dentro del área cartografiada mantiene un espesor regularmente constante de 500 m. y solamente aflora al Este de la falla Chonta sobre el bloque del Marañón, aunque es probable que haya sido depositada más hacia el Oeste a lo largo del eje de mayor acumulación de la cuenca Chavín, donde ha sido subsecuentemente removida por una combinación de factores estructurales y erosionales. La formación Celendín consiste de calizas margosas nodulares, pobremente

estratificadas, algo homogéneas las cuales contienen abundantes fósiles, los que se alteran a un color amarillo- grisáceo semejante a la Formación Chulec. Se intercalan con las calizas, estratos de limoarcillitas grises y margas, las que en general dan lugar a una morfología moderada a suave con abundante cobertura de suelos.

Edad y Correlación

La fauna contenida es indicativa del Coniaciano al Santoniano de acuerdo a (Wilson, 1967) y puede ser correlacionado con la formación Vivian de la parte oriental del Perú.

K) Formación Casapalca (KsP-c)

Aflora sobre el Bloque del Marañón a lo largo de una franja discontinua de dirección NO-SE desde Cajatambo hasta Yanahuanca, contiene un grosor de varios cientos de metros. Sobreyace concordantemente a la formación Celendín y está cubierta con gran discordancia por los depositos volcánicos del Grupo Calipuy, su grosor original es desconocido, aunque la Formación Casapalca descansa concordantemente sobre la formaciones más antiguas, por lo tanto se le asocia como indicador de discordancia. Sus afloramientos se encuentran al Este de la falla Chonta, de estructuras sinclinales y frecuentemente en contacto fallado con las areniscas del Cretáceo inferior. La litología de la formación Casapalca sorprendentemente es diferente de la secuencia Cretácica Infrayacente y consiste de areniscas rojas friables, suaves, margas, lodolitas y conglomerados que tienen un color rojo característico. Su grosor máximo puede llegar a 6 000 m en secuencia similar se observa en Raurancancha, en estos lugares predominan las areniscas y lodolitas rojas.

Edad y Correlación

La unidad de capas rojas es continua en afloramientos con la Formación Casapalca descrita por (Mc. Laughlin, 1924) del Perú central y la Formación Chota descrita por Benavides (1956) del norte del Perú. Ahora es claro que estas descripciones hechas para áreas amplias y separadas en realidad corresponden a la misma formación,

la cual (Cobbing, E. J., 1972) unificó bajo el nombre Chota–Casapalca. Acumulado desde el Campaniano.

L) **Formación la Unión (Qp-lu)**

Se denomina formación La Unión a una secuencia de conglomerados y areniscas semiconsolidadas que se encuentran rellenando las depresiones topográficas entre Puente Charan y La Unión, formado parte de las pampas de Huánuco viejo y que se exponen mejor en el flanco derecho del valle del río Vizcarra. Esta unidad yace en posición subhorizontal sobre las rocas Cretáceas y más antiguas que se presentan fuertemente deformadas, en una relación de discordancia angular. También se han cartografiado otras ocurrencias de esta unidad en la margen derecha del río Nupe (Yanahuanca) al Este y Sureste de la localidad de Baños, cubriendo en relación discordante a las unidades más antiguas.

Las terrazas que se encuentran al Oeste del poblado de Jesús son similares en litología asumiéndose que se acumularon con los otros afloramientos. Por ello se les ha considerado como Formación La Unión.

La formación La Unión consiste de conglomerados polimictos gruesos en matriz arenosa. Ocasionalmente se observa estratos de areniscas gris a clara de grano grueso, líticas. Su clasificación es regular y su clastometría variable. El grosor es variable según las irregularidades del paleorelieve que cubren, sin embargo se ha estimado un grosor máximo de 250 m al Sur de La Unión.

Edad y Correlación

Los conglomerados areniscosos de la Formación La Unión representan una secuencia clástica que no muestra evidencias de deformaciones por lo que considerando su estructura y grado de litificación se considera que se ha acumulado durante el Pleistoceno, posiblemente su formación está relacionado a procesos de desglaciación.

M) Depósitos Morrenicos (Q-Mo)

Se han separado depósitos morrénicos antiguos y recientes, los primeros se encuentran distribuidos mayormente entre el río Santa y el flanco occidental de la Cordillera Blanca. Estos depósitos muestran una morfología de lomadas y colinas de cumbres redondeadas con cierta resistencia, que ocupan una franja de 65 km de largo por 10 km de ancho, entre Huaraz y la quebrada Tishao, han sido disectadas por cursos de agua actuales originados en las lagunas o deshielos de la cordillera, mostrando evidencias de erosión. Además muestran rasgos de deformación Neotectónica ya que han sido afectadas por la falla de la Cordillera Blanca. En algunos casos estos depósitos presentan una estratificación burda con inclinaciones hasta de 10 grados generalmente al ENE. En partes se observa estratificación de arenas, gravas y limos con buzamiento hasta de 20 al NE, como en el caso de la quebrada Ututo Pampa, en la quebrada Urpay, al Oeste de la laguna Queroccocha, etc. Tales secuencias corresponden más a sedimentos del tipo lacustre que estuvo relacionado a la acumulación del material glaciofluvial.

Los depósitos morrenicos antiguos son el resultado de la glaciación pleistocénica y se diferencian de los depósitos morrenicos reciente los cuales si presentan formas de crestas o depósitos alargados e incosolidados, de extensión más reducida y localizada en la proximidad de los glaciares actuales.

N) Depósitos Glaciofluviales (Q-glf)

Conformada por materiales morrénicos que han sufrido removilización por acción fluvial, generalmente compuestas por materiales heterométricos, de gravas subredondeadas, en matriz arena limosa de profundidad y permeabilidad variable, mediante compactos.

O) Depósitos Aluviales (Q-al)

La complejidad en los límites de estos depósitos no permite su individualización a escala de los mapas presentados, no obstante se han incluido los depósitos aluviales constituidos mayormente por clastos redondeados de origen fluvial, que actualmente

conforman terrazas; dentro de este grupo también se consideró a los depósitos coluviales correspondientes a agregados de fragmentos angulosos que se acumulan regularmente en los taludes adyacentes a los macizos rocosos, con tamaños y formas variable dependientes de la roca madre. También se incluyen los depósitos acumulados por los cursos de agua a lo largo de los lechos por donde discurren.

P) Intrusivo Dacita (N-da)

La dacita es una roca volcánica que puede ser muy similar a la riolita en muestra de mano. El término dacita se emplea de hecho a veces para indicar una roca cuya composición a-priori podría ser la de cualquiera de las dos. La dacita está compuesta por fenocristales principalmente de cuarzo y plagioclasasódica, englobados en una matriz vítrea o microcristalina. Es frecuente la presencia de fenocristales de minerales máficos como la biotita, el anfíbol o, menos frecuentemente, el piroxeno. Sus equivalentes plutónicos son la granodiorita y la tonalita.

Q) Pórfido Cuarcífero (N-pc)

Es una roca formada a partir de la solidificación del magma, es decir una masa fluida de origen tectónico a temperaturas muy elevadas en el interior de la corteza terrestre. Su enfriamiento comienza muy lentamente a profundidad, iniciando la solidificación del magma y la formación de cristales de los minerales componentes.

Para este trabajo, se ha utilizado la carta geológica de La Unión (20J) elaborada por le INGEMMET, de donde se extrae la descripción de cada una de las formaciones geológicas. **(Ver Figura 1).**

FIGURA 1
COLUMNA LITOESTRATIGRÁFICA REGIONAL

Columna Estratigráfica Regional							
Eratema	Sistema	Serie	Unidades Litoestratigráfica	Símbolo	Rocas Ígneas	Símbolo	
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depósitos Aluviales	Q-al			
		Holoceno	Depósitos Glaciofluviales	Q-gfl			
		Pleistoceno	Depósitos Morrenicos	Q-mo			
			Formación La Unión	Qp-lu			
	Neógeno				Dacitas	N-da	
Mesozoico	Cretáceo	Superior	Formación Casapalca	Ks-P-c			
			Formación Celendín	Ks-ce			
			Formación Jumasha	Ks-ju			
		Inferior	Formación Chulec/Pariatambo	Ki-ch/pt			
			Formación Parihuanca	Ki-ph			
			Grupo Goyllarisquizga	Formación Carhuaz	Ki-ca		
				Formación Santa	Ki-s		
				Formación Chimú	Ki-chi		
		Formación Oyón	Ki-oy				
		Jurásico	Superior				
Triásico	Inferior	Grupo Pucara	JTr-p				
Paleozoico	Permico	Superior	Grupo Mitu	Ps-m			
	Carbonífero	Inferior	Grupo Ambo	Ci - a			
Neoproterozoico			Complejo de Marañón	PE-cm			

Fuente: INGEMMET.

2.4. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

La geomorfología regional de acuerdo al boletín de Huaraz, fueron establecidos por (Mc. Laughlin, 1924) quien reconoció que extensas áreas de las alturas andinas fueron los remanentes de una superficie de erosión, ahora representada por las más altas cumbres concordantes. Considera que esta es una superficie de peneplanización, denominada superficie Puma.

Mc. Laughlin, también reconoció dos periodos de erosión sobre la superficie Puna, del denominado el estadio Chacra con un levantamiento de 500 m y un estadio Cañón, con una elevación de aproximadamente 1 500 m.; el autor ha clasificado la las siguientes unidades geomorfología de la siguiente manera:

2.4.1. Superficie Puna

Consiste en una superficie pobremente desarrollada, la cual no ha logrado una peneplanización completa y que fue reconocida principalmente por la concordancia de

las cumbres. Esta superficie se estableció truncando los pliegues de la tectónica incaica que afectó a los estratos paleozoicos y mesozoicos. Mc. Laughlin no ha especificado si la superficie fue cortada dentro de los volcánicos del Grupo Calipuy, sin embargo, esto es implícito desde que los estadios de la superficie Puna en la Cordillera Occidental, fueron combados e inclinados hacia el pacífico.

2.4.2. Estadio Valle

Este estadio de erosión está bien desarrollado en el área y forma muchos de los taludes entre 3 000 y 4 000 m, estos declives moderados en combinación con el incremento de lluvias y climas poco variables que prevalecen a estas altitudes, habiendo proveído localidades para los asentamientos humanos y de cultivos en el Perú.

2.4.3. Estadio Cañón

Este estadio de erosión fue producido por un rápido levantamiento que dio como resultado la incisión de profundos cañones que truncan los bordes del estadio valle y que en excepcionales circunstancias cortan por dentro superficies más viejas.

2.4.4. Glaciación

Las partes más altas de la cordillera han sido profundamente afectadas por la glaciación pleistocénica, con significativas acumulaciones de hielo que cubren aun los picos de la Cordillera Blanca, La Cordillera Huayhuash y la Cordillera Raura. Sin embargo donde las acumulaciones de hielo han desaparecido, se pueden ver en la topografía intacta que descende hasta las alturas de 3 500 m. que ésta ha sido afectada por la fricción del hielo, así como por la acumulación de morrenas.

2.4.5. Deslizamiento

Los deslizamientos son particularmente propensos a desarrollarse donde hay una combinación de taludes empinada e inestable con afloramiento de rocas incompetentes, como por ejemplo, los miembros lutáceos de la formación Chicama en el valle del río Pativilca. Hay otros asentamientos que presentan deslizamientos que proveen de tierras

de moderada pendiente, que están más preparadas para cultivos y atraen núcleos de poblaciones. Las rocas volcánicas están también sujetas a deslizamientos, particularmente donde las capas tobáceas son propensas por su permeabilidad al agua, como el grupo Calipuy. Particularmente abundantes en el lado Este de la Cordillera Negra, sobre el río Santa.

2.4.6. Masas de Escombros

Este proceso se da en áreas con taludes escarpados. Consiste esencialmente de un continuo movimiento descendente de suelo superficial y rocas meteorizadas bajo la fuerza de la gravedad. El proceso resulta en una acumulación de materiales al pie de las laderas que tienen inclinaciones fuertes a moderadas, donde los taludes son escarpados los materiales de esta clase pueden llegar a ser desprendidos formando deslizamiento, flujos de barro, huaycos, etc., aportando material para formar conos aluviales.

2.4.7. Aluviones

Son depósitos que por la acción del agua, son encontrados a lo largo de todos los cursos de agua y también alrededor de ciertos lagos. Hay un parentesco muy complejo entre los depósitos glaciares y los depósitos aluviales en las áreas de glaciares, donde muchos depósitos aluviales consisten principalmente de material glaciar retrabajado, especialmente en el valle de río Santa. En el pueblo de La Unión en el cuadrángulo del mismo nombre, hay un inmenso depósito de grava gruesa que tiene 300 m. de grosor y cuya acumulación es una cuenca formada detrás de la barrera punteada de calizas macizas del Grupo Pucara. Los depósitos aluviales detenidos detrás de las barreras han sido cortados en forma continua y están preservadas como terrazas masivas que se han cartografiado a gran altitud como la Formación La Unión debido a su extensión.

2.5. PROCESOS GEODINÁMICOS

Es una disciplina de las ciencias geológicas, su metodología nos permite comprender como ocurre los fenómenos, cuales son las causas y factores que lo generan, las condiciones en las que se desarrollan y los efectos que finalmente tendrían en el planeta. Se refiere a todos los movimientos que experimenta la tierra desde sus

inicios tanto aquellos que se originan en su interior (geodinámica interna), como los que se generan por la interacción de la hidrosfera y/o atmósfera, fuerzas externas sobre la corteza terrestre (geodinámica externa).

2.5.1. Procesos geodinámicos externos

Son conocidos también como procesos exógenos, están representados por los fenómenos que actúan en la superficie terrestre, son esencialmente destructores del relieve primigenio de la tierra.

En los poblados de Pampamarca y Acobamba, entre los meses de diciembre a abril, la actividad geodinámica se intensifica debido a las fuertes precipitaciones pluviales, la meteorización debido a la circulación hídrica, la actividad biogena son las que determinan las modificaciones sustanciales en la morfología, ocasionando deslizamientos, derrumbes, flujos de detritos y caída de rocas, las cuales causan daños a estos poblados.

2.4.1.1. Meteorización.

El área de estudio presenta meteorización de carácter físico debido a los cambios de temperatura, humedad y actividad biológica, el ambiente donde se presentan las rocas, se observa el volumen del material inconsolidado y el riego de los cultivos presentes en la zona.

A continuación presentamos la clasificación de la meteorización:

a) Meteorización mecánica

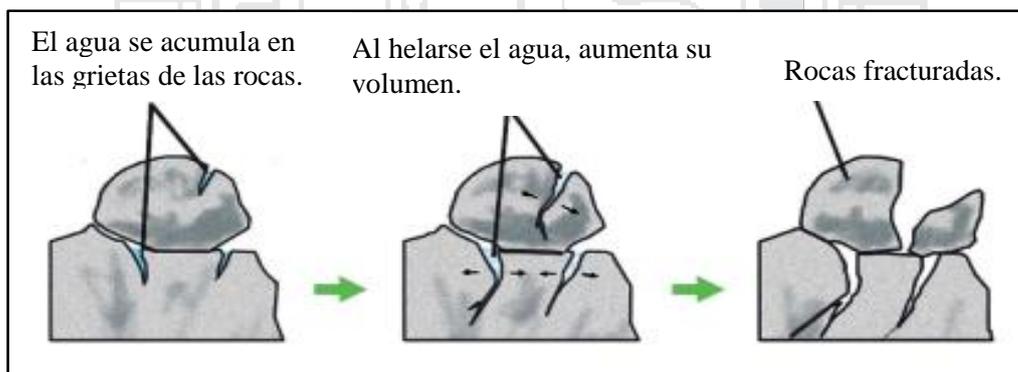
Se caracteriza por la disgregación física de las rocas en fragmentos a causa de los cambios de temperatura, humedad y actividad biológica. Dentro de la caracterización mecánica existen varios factores:

- **Temperatura:** Producto del calentamiento de las rocas y minerales se genera diferencias de tensión en su estructura. Debido a las altas variaciones de

temperatura entre el día y la noche, las rocas sufren contracciones y dilataciones que provocan fisuras y con el tiempo, su fragmentación o quiebre.

- **Agua:** Producto de los procesos pluviales, también en muchos casos son originados por el mal uso del agua en el riego por inundación de cultivos, el cual influye en la activación de los deslizamientos, aumentando el peso de los suelos y también del esfuerzo cortante, así como reduciendo el ángulo de fricción interna de los suelos y rocas, Así mismo las heladas afectan a las rocas generando grietas por el cambio brusco de temperatura.
- **Modelado por circulación acuosa:** Este modelo es producto de la acción de la meteorización sobre los materiales preexistentes. El modelado por tanto viene condicionado por los mismos factores que controlan la meteorización. Los factores más importantes son el tipo de litología de la zona y el clima que engloba la humedad, temperatura, vientos y radiación solar.

FIGURA 2
MODELADO POR CIRCULACIÓN ACUOSA



Fuente: <http://cuestarrubia.blogspot.pe/2012/05/bellos-rincones.html>.

b) Meteorización biológica (Vegetación)

Proceso generado por la vegetación, debido a la acción que producen las raíces que penetran en el terreno y entre las fracturas de las rocas, ejerciendo un efecto de cuña que va quebrando rocas y disgregando el suelo.

Es recomendable tomar en cuenta la variedad de vegetación que se encuentran en la zona de trabajo, esta información servirá para recomendar la siembra de determinadas especies que proporcionen estabilidad a las laderas.

2.4.1.2. Movimientos en masa.

El término movimiento en masa abarca un conjunto de procesos denudativos relacionados con la deformación del terreno y el desplazamiento o transposición más o menos rápida y localizada de diferentes volúmenes de suelo, de mantos completos de meteorización, incluyendo material de suelos, detritos, bloques y masas de rocas, cuesta abajo, por incidencia de las fuerzas de desplazamiento (gravedad, movimientos sísmicos), a veces con participación mayor y menor del agua, del hielo y otros agentes (Villota, 2005). Por otro lado algunos autores utilizan el término deslizamiento para referirse a los movimientos en masa, (Crozier, 1986) define los deslizamientos como el movimiento gravitacional hacia el exterior de la ladera y descendente de tierras o rocas sin la ayuda del agua. Como vemos las definiciones adoptadas para movimientos en masa son variados, como fenómenos de remoción en masa; para nosotros se entenderá como peligros geológicos por movimientos en masa, a los procesos de movimiento lento o rápido que involucran roca, suelo o ambos por efectos de la gravedad.

A) **Factores influyentes a la ocurrencia de movimientos en masa**

Los movimientos de ladera están constituidos por la acción simultánea de una serie de factores, existiendo diversas clasificaciones que los definen. De forma general se diferencian entre factores condicionantes que propician la ocurrencia del fenómeno y factores que desencadenan e inician con el movimiento de masas.

a) **Factores condicionantes**

- **Estructura:** Los parámetros estructurales de los materiales que constituyen una ladera como: fallas, fracturas, pliegues, planos de estratificación y foliación se deben de considerar porque están pueden favorecer o no los procesos de inestabilidad de laderas (Ayala-Carcedo y Olcinas, 2002).
- **Litología:** estos son los aspectos más importantes a tener en cuenta para la ocurrencia de movimientos de ladera es de tipo de material que constituya las laderas, sus propiedades químicas y físicas, la resistencia al esfuerzo, grado de meteorización de los mismos y su forma de evaluación en cada ambiente natural (Mora y Vahrson, 1993).

- **Morfometría:** las características morfométricas como la pendiente, altura, Amplitud de la ladera, nos dan una idea del grado de equilibrio de los materiales que la componen (Aguilar y Mendoza, 2002). Por ejemplo, se espera que ocurran movimientos de ladera en pendiente moderadas a muy fuertes (Medina, 1991).
- **Clima:** Los procesos climáticos pueden afectar el contenido de humedad de los materiales constituyentes de una ladera (Mora y Vahrson, 1993). Además de contribuir a acelerar la meteorización y disminuir la resistencia mecánica de dichos materiales.
- **Hidrogeología:** Los parámetros hidrogeológicos como la porosidad, capacidad de drenaje de los materiales, entre otros también influyen en la inestabilidad de laderas.

b) Factores desencadenantes

Estas variables que hacen que un movimiento de ladera se active o desencadene aun en laderas en equilibrio. Entre los principales factores desencadenantes se tiene a la precipitación, sismicidad, sobrecarga, excavación. (Villacorta, 2007).

- **Precipitación:** la frecuencia y tipo de precipitación son factores que desencadenan o reactivan los movimientos de ladera porque al infiltrarse el agua de lluvia y saturarse el terreno pierde capacidad de absorción y puesto que esto implica mayor densidad, mayor presión de poros por contenido de agua y pérdida de cohesión el material falla.
- **Sismicidad:** La actividad sísmica es un factor significativo en el desencadenamiento o reactivación de movimientos de ladera. Las vibraciones provocadas por sismos puede ser lo suficientemente fuertes como para originar deslizamientos de diversa magnitud, afectando extensas áreas.
- **Actividad volcánica:** Los movimientos de ladera pueden estar relacionados con la erupción o con sismos previos a ésta en un volcán. En las primeras etapas de la erupción se depositan flujos piroclásticos, los cuales forman nuevos depósitos o amplían algunos existentes, pudiendo así provocar movimientos de material en las faldas del volcán. En los volcanes nevados, las altas temperaturas producidas

por una Erupción funden los depósitos de hielo y nieve, éstos se mezclan con los materiales piroclásticos previamente expulsados de tal manera que generan avalanchas y flujos de lodo que pueden recorrer grandes distancias.

- **Actividad antrópica:** Las actividades humanas en muchos casos han desencadenado la ocurrencia de movimientos de ladera. Un claro ejemplo es el caso ocurrido el 12 de enero del 2007 en Sao Paulo (Brasil), que por la ejecución de obras subterráneas de ampliación del Metro, las paredes de la obra se hundieron dejando un socavón de cuarenta metros de profundidad. Asimismo, la extracción de materiales para la construcción o la sobrecarga en una ladera debida a la urbanización o la mala disposición de depósitos de acumulación de residuos sólidos, son cambios bruscos en la topografía de un área que pueden desencadenar un movimiento de ladera.

B) Tipos de movimientos en masa

De acuerdo con (Varnes, 1978), la clasificación oficial de la International Association of Engineering and Environment (IAEG) los movimientos en masa se clasifican con base en el tipo de movimiento y al material involucrado, lo cual genera todo un sistema de eventos. Para la clasificación de los movimientos en masa se presenta el sistema propuesto originalmente por (Varnes, 1978), el cual tipifica los principales tipos de movimientos que a continuación se detallan:

TABLA 1
CLASIFICACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA (VARNES, 1978)

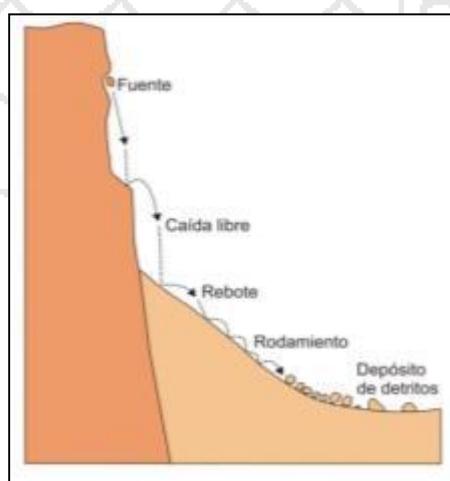
Tipo de Movimientos	Tipo de Material		
	Roca	Suelos Ingenieriles	
		DETRITO Predominantemente granular (<80% arena y más fina)	TIERRA Predominante mente fino (>80% arena y más fino)
CAÍDAS	caída de rocas	caída de detritos	caída de tierra
VUELCOS	vuelcos de roca	vuelco en suelo granular	vuelco en suelo cohesivo
DESLIZAMIENTO	deslizamiento de roca	deslizamiento de detritos	derrumbe de tierra deslizamiento de tierra
DESLIZAMIENTO LATERAL	desplazamiento de roca	desplazamiento de detritos	desplazamiento de tierra
FLUJOS	flujos de roca reptación de roca	flujos de detritos	flujo húmedo de arena y limo flujo rápido de tierra
		avalancha reptación de suelos solifluxión	flujo loess flujo seco de arena flujo de tierra
COMPLEJO	Combinación de dos o más de los principales tipos de movimientos		

Fuente: Varnes 1978.

Esta adaptación se basa en el tipo de movimiento y material involucrado, es así que se pueden encontrar en los tipos de movimientos diferenciados cuatro mecanismos principales, los cuales son las caídas, deslizamientos, flujos y movimientos complejos, también se consideran en este trabajo los procesos de erosión de laderas. Los tres primeros son básicos, el cuarto se refiere a la combinación de dos o más de los movimientos anteriores, la erosión de laderas ha sido considerada por ser predecesoras en muchos casos a la ocurrencia de un movimiento en masa de gran magnitud, a continuación se describen los tipos de movimientos en masa.

- **Caídas:** son movimientos abruptos de una masa rocosa, de cualquier tamaño, se desprende de un talud empinado o un acantilado, y desciende por lo común a través del aire por caída libre, saltos, rodando, etc. La separación ocurre a lo largo de discontinuidades como fracturas, juntas, y planos de estratificación. Los movimientos son muy rápidos a extremadamente rápidos. Las caídas son fuertemente influenciadas por la gravedad, intemperismo mecánico, y la presencia de agua intersticial dentro de las caídas se pueden diferenciar dos tipos de movimientos:

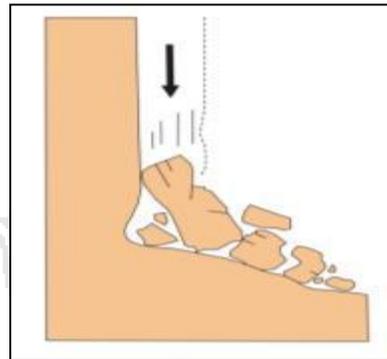
FIGURA 3
ESQUEMA DE CAÍDA



Fuente: Varnes 1978.

- **Caída de rocas:** desprendimientos o caídas de rocas que ocurren en materiales no compactos y semi-compactos, como también en roca o suelo cementados con pendientes mayores a 40°.

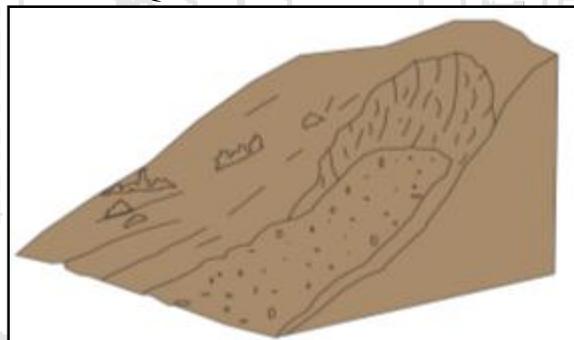
FIGURA 4
ESQUEMA DE CAÍDA DE ROCAS



Fuente: Varnes 1978.

- **Derrumbes:** Disgregación generalmente de roca, que forma en la base un depósito caótico de material grueso, es producido por el socavamiento de la base de riveras fluviales, áreas costeras, acantilados rocosos, en laderas de moderada a fuerte pendiente, por acción de lluvias, movimientos sísmicos y antrópica (cortes de carreteras o áreas agrícolas).

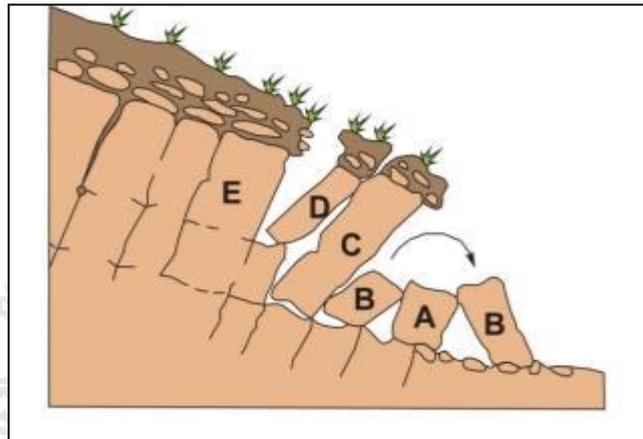
FIGURA 5
ESQUEMA DE DERRUMBE



Fuente: Varnes 1978.

- **Vuelcos:** Son movimientos debido a fuerzas que causan un movimiento de rotación alrededor de un punto de giro localizado en un punto inferior, bajo la acción de la gravedad y fuerzas ejercidas por unidades adyacentes, se consideran que se producen exclusivamente en rocas, condicionados por la disposición estructural de los estratos contra el talud y/o un sistema de discontinuidades bien desarrollado.

FIGURA 6
ESQUEMA DE VUELCO

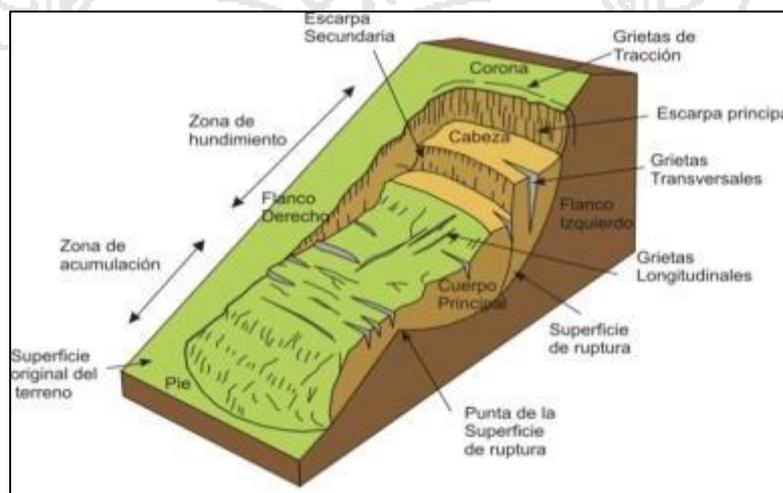


Fuente: Varnes 1978.

- Deslizamiento:** Su movimiento consiste de una deformación por corte y desplazamiento a lo largo de una o varias superficies visibles o que pueden inferirse, dentro de una zona más o menos estrecha. Se diferencian los siguientes tipos de deslizamiento:

Deslizamiento rotacional: Se produce a lo largo de una superficie de ruptura de forma circular o semicircular y cóncava hacia arriba, su velocidad varía de lenta a moderada, teniendo gran influencia la inclinación de la superficie de ruptura en el pie del deslizamiento, se puede producir en rocas muy fracturadas, detritos y suelo.

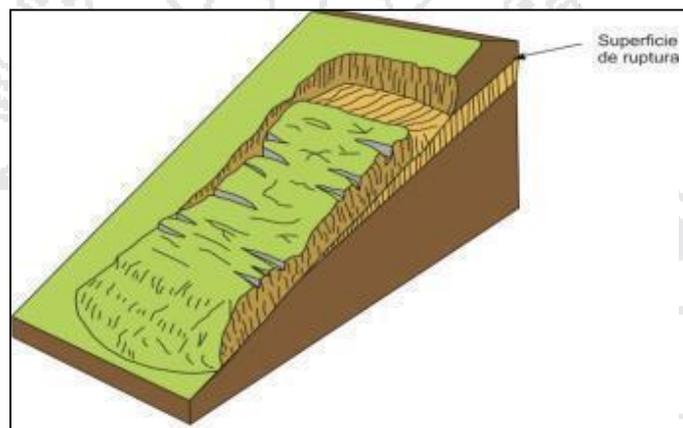
FIGURA 7
ESQUEMA DE DESLIZAMIENTO ROTACIONAL



Fuente: Varnes 1978.

Deslizamiento traslacional: Se produce a lo largo de una superficie de ruptura plana o suavemente ondulada; frecuentemente controlada o relacionada estructuralmente con superficies de debilidad como son las fallas, diaclasas, planos de estratificación, o por contacto entre substrato rocoso firme y depósitos subyacentes superficiales, se pueden producir en roca, suelos y detritos.

FIGURA 8
ESQUEMA DE DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL



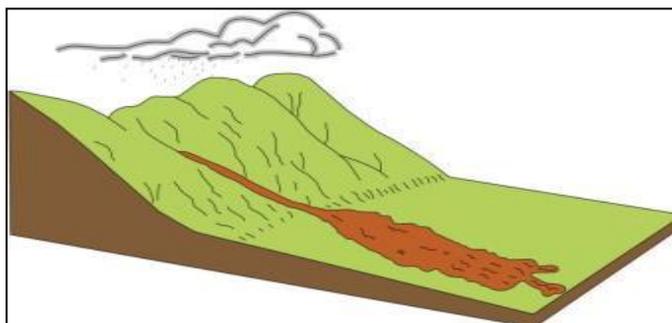
Fuente: Varnes 1978.

- **Flujos:** Son movimientos de material litológico de textura fina y gruesa que se desplazan a lo largo de una superficie, exhibe un comportamiento semejante a un fluido, puede ser rápido o lento, saturado o seco, estos pueden ser:

Flujos de detritos: conocidos también como huaycos, son corrientes que se caracterizan por flujos muy rápidos o avenidas intempestivas de agua turbia, que arrastra a su paso materiales de diferentes características provenientes de la meteorización de las rocas, estos van desde suelos finos hasta enormes bloques de roca, maleza y árboles, que pierden su estabilidad estructural por efecto del agua.

Se desplazan a lo largo de un cauce definido con desbordes laterales, en su parte terminal está conformado por un abanico proluvial.

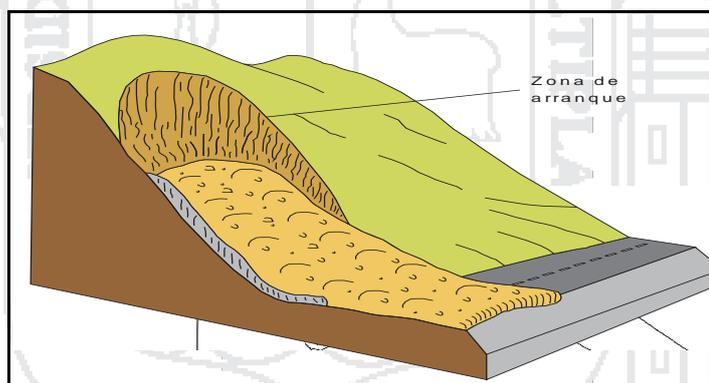
FIGURA 9
ESQUEMA DE FLUJOS CANALIZADOS



Fuente: Varnes 1978.

- **Avalancha de detritos:** Es una variedad de flujo de detritos no canalizado muy rápida a extremadamente rápida, puede desplazarse sobre aéreas abiertas en laderas de alta pendiente.

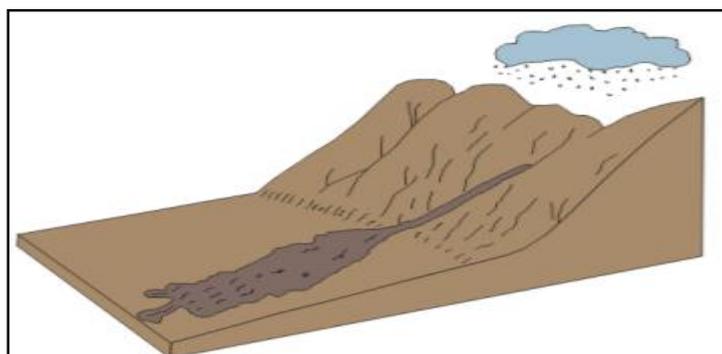
FIGURA 10
AVALANCHA DE DETRITOS



Fuente: Varnes 1978.

- **Flujo de lodo:** Es un flujo de tierra en donde el material está bastante húmedo para que pueda fluir rápidamente, contiene menos del 50% de partículas de tamaño de arenas, limos y arcillas. El movimiento del flujo del lodo se debe a la gravedad, duración de las lluvias y su velocidad depende en mayor grado por la pendiente del terreno por donde se desplazan y de la viscosidad del lodo, con influencia de las dimensiones del canal y la rugosidad de su superficie.

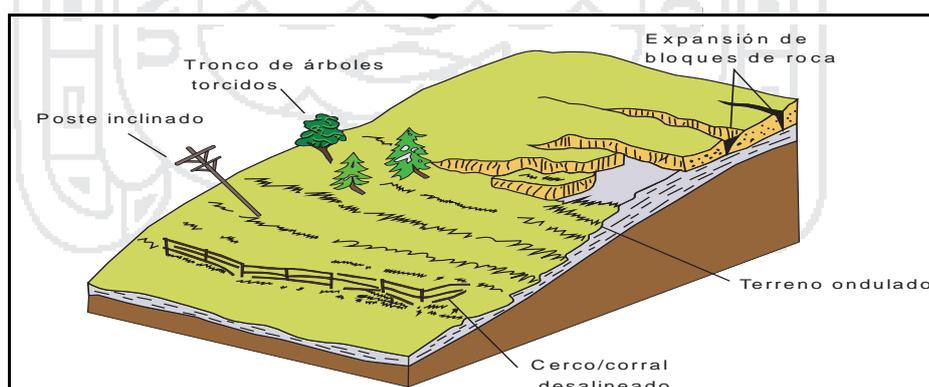
FIGURA 11
ESQUEMA DE FLUJOS DE LODOS



Fuente: Varnes 1978.

- **Reptación de suelos:** Son movimientos extremadamente lentos casi imperceptibles según la pendiente de una parte de la ladera natural, que comprometen a una masa de suelo detrítico coluvial con abundante matriz arcillosa y/o rocas blandas, susceptibles de experimentar deformación elastoplástica. El movimiento no es homogéneo y dentro de la masa se distingue varios movimientos parciales, con desplazamientos verticales del orden de centímetros y el horizontal casi nulo.

FIGURA 12
ESQUEMA DE REPTACIÓN DE SUELOS



Fuente: Varnes 1978.

- **Movimientos complejos:** Se produce por la combinación de uno o más de los cinco tipos de movimientos descritos anteriormente, muchos deslizamientos son complejos aunque un tipo de movimiento generalmente domina sobre los otros en ciertas áreas del deslizamiento en un instante particular (por ejemplo se tienen deslizamientos-flujos de tierra, avalancha de rocas, etc.).

- **Erosión de laderas:** La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o viento. El proceso se presenta gracias a la presencia de agua en forma de precipitación pluvial (lluvias) y escorrentías (escurrimiento) en contacto con el suelo. La construcción de muchas obras de ingeniería, así como el asentamiento de centros poblados y la habilitación de muchas zonas como terrenos de cultivo, exigen la remoción de la cobertura vegetal y excavaciones del suelo. Estas acciones, conlleva a la generación de problemas en laderas y cursos de agua por la generación e incorporación de suelo removido a las corrientes, los cuales pueden alterar ecosistemas naturales y generan problemas de sedimentación.

FIGURA 13
ESQUEMA DE EROSIÓN DE LADERAS



Fuente: Varnes 1978.

- **Cárcavas:** Tipo de erosión concentrada en surcos que se forma por el escurrimiento de las aguas sobre la superficie de las laderas. La presencia de cárcavas en el terreno, indica un grado avanzado de degradación, ya que si las pequeñas incisiones por las que circula el agua en la ladera no se eliminan, estas irán progresando en el sentido aguas arriba captando desprendimientos y derrumbes de materiales de mayor tamaño debido a la falta de cohesión por exceso de humedad.

2.4.1.3. Peligros geológicos.

Peligro natural es la probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino dentro de un periodo de tiempo especificado en un área dada. También ha sido definido el peligro como "la capacidad de daño (personal y material) de un fenómeno con respecto al tiempo. Si el tiempo es muy grande (por ejemplo miles de años), el riesgo es despreciable si se compara con la duración de una civilización" (Anguita & Serrano, 1993; Sanhueza & Vidal, 1996). Por tanto, se puede decir que riesgo geológico es todo fenómeno geológico adverso a construcciones pasadas, presentes o futuras o el uso de tierras, significando un riesgo para la salud, seguridad pública o de sus bienes.

Los peligros geológicos de índole natural, es decir, aquellos que no se producen en origen por la mano del hombre, aunque los pueda potenciar, pueden originarse de dos tipos; los de tipo endógeno que tienen lugar en el interior de la Tierra y originan fenómenos naturales como los sismos, los tsunamis y los volcanes; y los de tipo exógeno que se presentan en la superficie terrestre como intemperismo, erosión y acumulación debido a las acciones de la gravedad, del agua, del aire, el sol y otros factores que, en conjunto, dan composición, forma y estructura a la superficie terrestre. Los peligros geológicos comprenden los temas de: fallas y fracturas, erosión, sismos, volcanes, tsunamis, hundimientos, deslizamientos, derrumbes y flujos de lodo.

A) Factores Naturales

- a) **Condiciones de roca y suelo:** Suelo saturado de agua, escombros poco consolidados y rocas fracturadas pueden generar deslizamiento.
- b) **Topografía:** La inclinación de las laderas es un factor determinante en la Formación de movimientos en masa. En general, mientras más grande es la Pendiente, mayor es la amenaza.
- c) **Lluvia:** La cantidad y duración de la lluvia controlan la desestabilización de una ladera.
- d) **Actividad sísmica:** Cuando se produce un temblor se generan vibraciones que pueden afectar el equilibrio de las laderas y originar movimientos en masa. Cuanto mayor sea la intensidad, duración y frecuencia de la actividad sísmica, mayor es la amenaza.

e) **Actividad Humana:**

- Excavaciones para la construcción de viviendas, escuelas, canales, carreteras, etc.
- Sobrecargas como resultado del aumento de peso. Se produce a varios tipos de construcciones sobre el suelo: rellenos, terraplenes, acumulación de, materiales y de agua.

B) **Factores de Inestabilidad de los Peligros Geológicos**

Los factores que intervienen en la ocurrencia de los diferentes tipos de los peligros geológicos son los siguientes:

- a) **La naturaleza de los materiales:** La litología, en muchos casos de mala calidad, tanto por su grado de meteorización y/o fracturamiento, los depósitos coluviales, esto condiciona mayor erosión en el suelo coluvial y mayor disponibilidad en las rocas fracturadas
- b) **La topografía que presenta la zona de estudio:** Las pendientes que presenta la zona de estudio en su mayoría son fuertes, en estos lugares se observa gran concentración de peligros geológicos. El grado de pendiente determina, en gran medida, la velocidad del movimiento, en terrenos con pendientes entre 50° y 30° se producen todo tipo de movimientos en masa más o menos lento, por encima de 30° ocurren con mayor frecuencia movimientos rápidos.
- c) **Factores climáticos:** Viene a ser uno de los principales factores para que se den los diferentes tipos de peligros geológicos, las precipitaciones pluviales en esta zona son constantes entre los meses de noviembre a abril, generando la saturación de los depósitos coluviales, la infiltración de las aguas por las fracturas y diaclasas del granito y el incremento del caudal de los ríos, como lo sucedido el año 2010.
- d) **La vegetación:** Tiene una influencia en la ocurrencia de los diversos tipos de peligros, algunos árboles tienen raíces superficiales que no amarran y no detienen ningún fenómeno que fuera a ocurrir debido a que existe escaso material de cobertura por la pendiente que presentan las laderas, por otro lado, existen otros árboles que introducen sus raíces por las fracturas de las rocas, separándolas aún más, debilitando el macizo, generando así derrumbes y/o caída de rocas.

C) **Peligros Geológicos por Movimientos en Masa de la Región Huánuco**

El “Informe de Zonas Críticas Región Huánuco”. Realizado por (Zavala, B. y Vélchez, M., 2004), en el cual señala 60 procesos, comprendidos entre deslizamientos, flujos de detritos, erosiones de ladera, inundaciones y erosiones fluviales, abarcando de esta forma a la zona de trabajo.



CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1. UBICACIÓN

El área de estudio se localiza en la sierra central del Perú, pertenece políticamente a los distritos de Pampamarca y Aparicio Pomares, Provincia de Yarowilca, Región Huánuco (**ver Cuadro 1**).

CUADRO 1
UBICACIÓN POLÍTICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Región	Provincia	Distritos	Poblados
Huánuco	Yarowilca	Aparicio Pomares	Acobamba
		Pampamarca	Pampamarca

Elaboración: Propia.

Geográficamente el área de estudio se localiza a altitudes entre los 3 000 y 4 200 msnm., enmarcada dentro de las siguientes coordenadas (**ver Cuadro 2**).

CUADRO 2
VÉRTICES DEL ÁREA DE ESTUDIO

Coordenadas UTM Datum WGS84 - Zona 18S		Altitud (msnm)	Área de Estudio (Km ²)
Este (m)	Norte (m)		
311 000	8 923 000	3 297	48,75
318 500	8 923 000	3 717	
311 000	8 929 500	3 122	
318 500	8 929 500	3 942	

Elaboración: Propia.

El poblado de Pampamarca se encuentra asentando en el extremo Noreste del cerro San Cristóbal a media ladera, en la margen izquierda del río Marañón; y el

poblado de Acobamba se encuentra asentada sobre una terraza fluvial, en la margen derecha del río Marañón, (**Ver Anexo B - Mapa M-02**).

3.2. ACCESIBILIDAD

Para acceder al área de estudio desde la ciudad de Lima se toma la Carretera Central hasta llegar a la localidad de la Oroya (185 Km) de carretera asfaltada, desde este punto se prosigue por la carretera central hasta llegar a la ciudad de Pasco (128 Km) de carretera asfaltada, desde Cerro de Pasco hasta la Ciudad de Huánuco se tiene (101 Km) de carretera asfaltada desde la ciudad de Huánuco se prosigue por la vía asfaltada hasta llegar a La Unión justo a la altura del Km. 329+120, llegando así al poblado de Acobamba; posteriormente se continua por la misma ruta hasta el Km 350+500 cruzando el puente Tingo, para luego continuar por una trocha carrozable por un tramo de 5 Km hasta llegar al poblado de Pampamarca.

CUADRO 3
ACCESIBILIDAD AL ÁREA DE ESTUDIO

Tramo	Km.	Vía	Tiempo
Lima – La Oroya - Huánuco	414	Asfaltada	7 horas y 25 min.
Huánuco - Pampamarca	313 + 500	Asfaltada, trocha carrozable (5km.)	3 horas y 30 min
Pampamarca – Puente Tingo	350 + 500	Asfaltada	3 horas
Puente Tingo – Acobamba	5	Trocha Carrozable	10 min
Total	466 aprox.		15:00 horas aprox.

Elaboración: Propia.

3.3. CLIMA

El Perú está localizado dentro de la zona de los trópicos pero las condiciones climáticas están altamente influenciadas por la Cordillera de los Andes y la corriente oceánica fría de Humboldt, dando como resultado características climáticas inusuales en el sentido que no reflejan el tradicional concepto de clima tropical (abundantes lluvias y vegetación exuberante). Por el contrario, la zona de la costa presenta un clima desértico, existen zonas de los Andes con temperaturas extremadamente bajas y existe la presencia de nevados en varios picos de la Cordillera.

En la costa la precipitación es escasa (50 mm en promedio total anual; con excepciones en la zona norte del país que sobrepasa los 500 mm en los años en donde se presentan el fenómeno del “El Niño”), en la Sierra el clima es variado, de características locales que dependen del relieve, las temperaturas dependen de la altura del lugar y las precipitaciones varían entre límites extremos que van de los 100 mm hasta los 1 000 mm al año, a pesar de su cercanía al ecuador, en la sierra es posible encontrar una región con clima de tundra seca de alta montaña sin vegetación y de nieve perpetua de alta montaña.

En la Cordillera de los Andes, se da un clima frío con lluvias de verano, este tipo de clima depende exclusivamente de la altura y de las ramificaciones orográficas a las cuales se adapta. Los valles interandinos presentan un clima templado, con precipitaciones durante el verano, pero menores a las de las vertientes orientales.

La Selva es la región más húmeda, con precipitaciones que fluctúan entre 1 500 y 4 000 mm/año, y una escorrentía media anual entre 300 y 500 mm/año. En algunos años las lluvias llegan alrededor de los 5 000 mm. La región de la Selva Alta tiene un clima templado con lluvias en verano, mientras que en las llanuras del Amazonas y sus tributarios son dominados por el clima de selva tropical permanentemente húmedo y cálido, este clima comprende a la parte Noroeste de Huánuco y la zona del Huallaga Central.

La región Huánuco tiene una altitud que varía de los 330 msnm a 6 634 msnm, tiene un clima cálido, templado y seco, la temperatura promedio es de 19,8 °C, donde en verano llega a los 24° C y en tiempo de lluvia (de Diciembre a Abril) a los 18 °C.

Entre los factores que influyen en el clima del Perú y el continente tenemos:

- La presencia de la cordillera de los Andes
- El anticiclón del Pacífico Sur
- La Cordillera Oceánica Peruana (corriente de Humboldt)
- La corriente del Niño.

3.3.1. Estaciones meteorológicas

Uno de los factores más influyentes en el estudio de las condiciones físicas de un determinado lugar es el clima, pues interviene en las modificaciones que se producen en un ambiente natural. La vegetación, los suelos y el régimen hidrológico están condicionados de manera significativa por los factores climáticos.

Para la región Huánuco se tiene conocimiento de la existencia de una red de estaciones meteorológicas, que en total son 23, operadas por SENAMHI, muchas de las cuales desactivadas y otras operadas por CORPAC S.A., sin embargo solo se contó con información restringida de 5 estaciones, que permitieron evaluar la precipitación y la temperatura en zonas puntuales. En el Cuadro 3.4 se presentan las estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la región Huánuco.

CUADRO 4
ESTACIONES IDENTIFICADAS

Estación	Categoría	Provincia	Distrito
La Morada	Climatológica ordinaria	Marañón	Huacaybamba
Aucayacu	Climatológica ordinaria	L. Prado	J. Crespo y C.
Jacas Chico	Pluviométrica	Dos de Mayo	Jacas Chico
Carpish	Pluviométrica	Huánuco	Chinchao
Tournavista	Climatológica ordinaria	Pachitea	Honoría
Cachilate	Climatológica ordinaria	Huamalies	Monzón
Tulumayo	Climatológica ordinaria	L. Prado	D. Alomías
Tulumayo	Pluviométrica	L. Prado	D. Alomías
Tingo María	Climatológica sinóptica	L. Prado	Rupa Rupa
Tingo María	Climatológica ordinaria	L. Prado	Rupa Rupa
Llata	Climatológica ordinaria	Huamalies	Llata
Huallanca	Climatológica ordinaria	Dos de Mayo	Huallanca
Panao	Climatológica ordinaria	Pachitea	Molino
Hco. Agropecuaria	Climatológica ordinaria	Huánuco	Huánuco
Hco. Corpac	Climatológica sinóptica	Huánuco	Huánuco
Ambo	Climatológica ordinaria	Ambo	Ambo
San Rafael	Climatológica ordinaria	Ambo	San Rafael
Pozuzo	Climatológica ordinaria	Pachitea	Pozuzo
Aguas Calientes	Climatológica	Pachitea	Honoría
Azul	Climatológica	L. Prado	H. Valdizan
Margarita	Pluviométrica	L. Prado	H. Valdizan
Porvenir	TP	L. Prado	H. Valdizan
La Unión	Climatológica ordinaria	Dos de Mayo	La Unión

Fuente: SENAMHI.

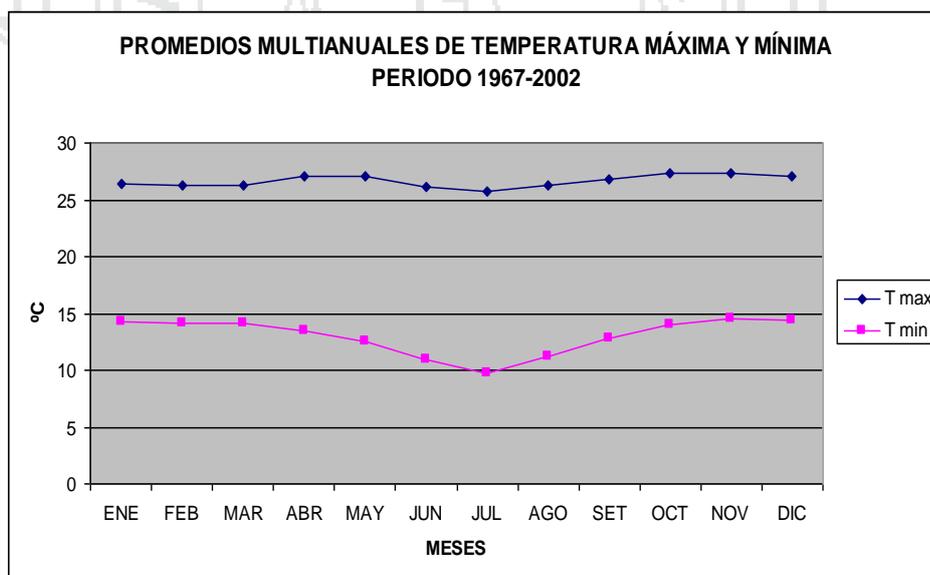
A) Régimen de Temperaturas

Los regímenes de temperaturas promedio para la región Huánuco es el siguiente:

- Octubre a diciembre 20.88 °C
- Enero a marzo de 21,60 °C
- Abril a junio 20,72 °C
- Julio a septiembre de 19,48 °C.

Para ciudades importantes como Huánuco la media anual de temperatura máxima para el periodo 1963-2002 es de 26,63 °C y media anual de temperatura mínima para el mismo periodo es de 12,83 °C, en Tingo María la media anual de temperatura máxima para el periodo 1954-1991 es de 30.5 °C y la mínima de 18,7 °C. En el Grafico 3-1 se presenta los promedios multianuales de temperaturas para el periodo 1967 - 2002 en la Ciudad de Huánuco.

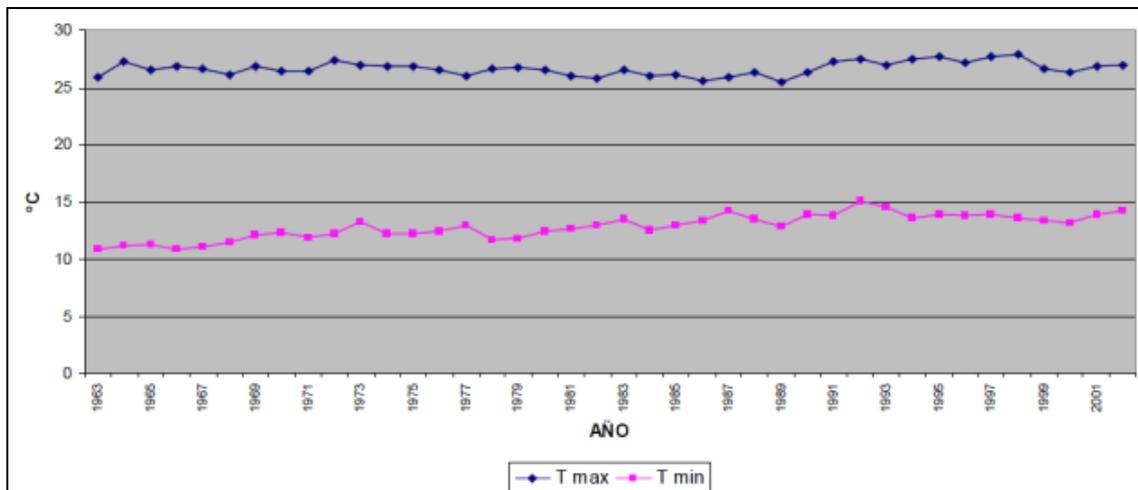
GRÁFICO 1
 PROMEDIOS MULTIANUALES DE TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS, CIUDAD DE HUÁNUCO



Fuente: SENAMHI Y CORPAC.

GRÁFICO 2

TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL PARA EL PERIODO 1963-2002, CIUDAD
DE HUÁNUCO



Fuente: SENAMHI Y CORPAC.

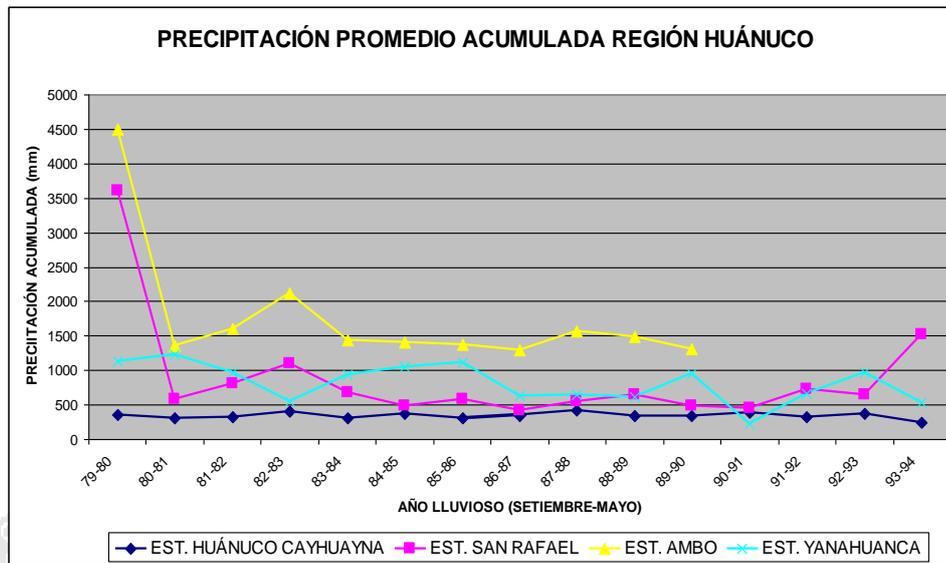
Así mismo del análisis realizado a la data de temperaturas para la ciudad de Huánuco, se puede decir que de los promedios multianuales para el periodo 1967-2002, la temperatura mínima promedio se da en el mes Julio con 9,76 °C y la temperatura máxima en Noviembre con 27,27 °C. La temperatura promedio máxima en el periodo 1963-2002, fue registrado en el año 1998 con 27,9 °C y la temperatura promedio mínima en el año 1966 con 10,8 °C.

B) Régimen de Precipitaciones

Realizar un análisis pluviométrico en la región Huánuco en detalle no ha sido posible, ya que solo se contó con datos pluviométricos de cuatro estaciones operadas por SENAMHI, con registros de periodos de 1979 a 1994, y de una estación operada por CORPAC S.A. ubicada en la ciudad de Huánuco. Para ciudades importantes como Huánuco la precipitación media acumulada anual para el periodo 1962-1991 fue de 369,2 mm y en Tingo María para el periodo 1951-1991 es 3472,8 mm.

GRÁFICO 3

PRECIPITACIÓN PROMEDIO ACUMULADA REGIÓN HUÁNUCO



Fuente: SENAMHI Y CORPAC.

C) **Humedad Relativa**

La humedad relativa media para la región de Huánuco presenta los siguientes valores:

- Octubre a diciembre: 73,00 %
- Enero a marzo: 66,33 %
- Abril a junio: 65,00 %
- Julio a setiembre 67,66 %.

3.3.2. **Clima del área de estudio**

La temperatura en el área de estudio, es influenciado por su compleja topografía ya que presenta diferentes altitudes, la temperatura máxima fluctúa entre 11,4 °C y la mínima entre los 6,7 °C a 7,2 °C, siendo la temperatura media anual variante entre los 12,65 °C, con presencia de lluvias intensas entre los meses de setiembre a mayo, alcanzando precipitaciones entre 200 mm. a 500 mm.; en presencia del fenómeno del Niño en los años 1997/1998 las precipitaciones alcanzaron de 800 mm. a 1000 mm., esto de acuerdo a los datos del (SENAMHI, 2004), por ello según el método de

Thornthwaite los poblados de Pampamarca y Acobamba tiene un clima Templado, Seco y Frío.

A continuación presentamos la Codificación y Descripción de los Climas del área de estudio según la Clasificación de Thornthwaite. (**Ver Anexo B - Mapa M-03**).

A continuación presentamos la clasificación climática por el método de Thornthwaite para el área de estudio:

- B(r)A'H4:** Zona de clima cálido, lluvioso, con lluvia abundante en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como muy húmeda.
- C(i)C'H3:** Zona de clima semi seco, frío, deficiencia de lluvia en invierno, con humedad relativa calificada como húmeda.
- C(o,i,p)C'H2:** Zona de clima semi seco, frío, con deficiencia de lluvia en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como seca.

3.4. POBLACIÓN

Según el censo nacional poblacional la región de Huánuco tiene 847 714 habitantes, las provincias con mayor población son: Huánuco, con 304 mil 487 habitantes; Leoncio Prado con 131 mil 170 y Huamalés con 74 mil 269, seguido da por Pachitea con 70, 086. En tanto Ambo tiene 57 737, Dos de Mayo 52 473, Lauricocha 38 406, Yarowilca 33 565, Puerto Inca 31 860, Marañón 31 104 y Huacaybamba 22 557 habitantes. De acuerdo al informe del INEI, la mayoría habita en la zona rural de la región (63,1%), y solo el 36,9% en el área urbana. La esperanza de vida al nacer para el periodo 2010-2015 es de 71,5 años. La densidad poblacional de 22,6 habitantes por kilómetro cuadrado.

GRÁFICO 4

NÚMERO DE HABITANTES DE LA REGIÓN HUÁNUCO



Fuente: INEI 2007.

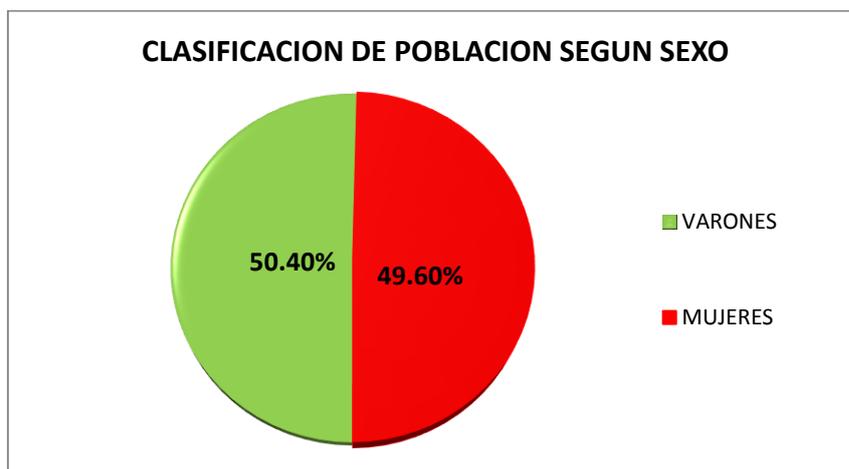
CUADRO 5

HABITANTES DE LAS PROVINCIAS DE LA REGIÓN DE HUÁNUCO

N°	Provincias	Distritos	N° Habitantes
1	Huánuco	Huánuco, Amarilis(Paucarbamba), Chinchao (Acomayo), Churubamba, Margos ,Quisqui(Huancapallac), San francisco de Cayran(Cayran),San pedro de Chaulan(chaulan), Santa maria del valle,Yarumayo Pillco Marca	304 487
2	Leoncio Prado	Daniel Alomia Robles, Hermilio valdizan, Jose Crespo y Castillo(aucaayacu), Luyando, Mariano Damaso Beraun(las palmas)	131 170
3	Huamalíes	Llata, Arancay, Chavin de pariarca, Jacas grande jircan, Miraflores, Monzon, punchao, Puños, Singa Tantamayo	74 269
4	Pachitea	Panao, Chaglla, Molino, Umari	70 086
5	Ambo	Cayna, Colpas, Conchamarca, Huacar San Francisco(mosca), San Rafael,Tomay Kichwa	57 737
6	Dos de Mayo	La Union, Chuquis, Marias, Pachas Quivilla, Ripan, Shunqui, Sillapata, Yanas	52 473
7	Lauricocha	Jesus, baños, Jivia, Queropalca, Rondos, san francisco de asis(Huarin), San Miguel de Cauri(Cauri)	38 406
8	Yarowilca	Chavinillo, Cahuac, Chacabamba, Chupan, Jacas Chico(San Cristóbal de Jacas Chico), Obas, Pampamarca, Chavinillo Cahuac, Chacabamba, Chupan, Jacas Chico(San Cristóbal de Jacas Chico), Obas, Pampamarca, Chavinillo, Cahuac Chacabamba, Chupan, Jacas Chico(San Cristóbal de Jacas Chico), Obas, Pampamarca, Chavinillo, Cahuac, Chacabamba, Chupan, Jacas Chico(San Cristóbal de Jacas Chico), Obas, Pampamarca	33 565
9	Puerto Inca	Puerto Inca, Codo del Pozuzo, Honoria, Tournavista Yuyapichis	31 860
10	Marañón	Huacrachuco, Cholon(San Pedro de Chonta), San Buenaventura	31 104
11	Huacaybamba	Huacaybamba, Canchabamba, Cochabamba, Pinra	22 557

Fuente: INEI 2007.

GRÁFICO 5
CLASIFICACIÓN DE POBLACIÓN SEGÚN SEXO



Fuente: Censo INEI 2007.

De acuerdo al censo poblacional (INEI, 2007), el poblado de Pampamarca cuenta con una población de 2 241 habitantes con 150 viviendas y el poblado de Acobamba cuenta con una población de 380 habitantes con 65 viviendas; los pobladores de ambos poblados se dedican a la ganadería y agricultura.

CUADRO 6
HABITANTES Y VIVIENDA EN LOS POBLADOS DE PAMPAMARCA Y ACOBAMBA

Región	Provincia	Distrito	Poblado	N° Habitantes	N° Viviendas
Huánuco	Yarowilca	Pampamarca	Pampamarca	2 241	150
		Aparicio Pomares	Acobamba	380	65

Fuente: Censo INEI 2007.

3.5. UNIDADES LITOLÓGICAS

Las unidades litológicas presentes en el área de estudio se desarrollan sobre la base de la información geológica publicada por el INGEMMET, en sus cuadrángulos geológicos a escala 1:100 000.

Para delimitación de las diferentes unidades litológicas del área de estudio se ha tomado como patrón o referencia la composición litología, el grado de homogeneidad de las propiedades de las rocas y del suelo; el grado de fracturamiento, grado de meteorización y resistencia a la erosión. De acuerdo a lo antes mencionado, los

principales grupos de suelo y rocas se han agrupado en dos grandes unidades de clasificación:

- Depósitos inconsolidados (I)
- Unidades del substrato rocoso (II)

3.5.1. Depósitos inconsolidados (I)

Esta unidad agrupa a los depósitos poco o nada coherentes, de extensión y grosor variable, conformado por materiales de litología heterogénea y heterométrica, depositados desde el Pleistoceno hasta la actualidad, agrupados en función a su origen.

Para la Región Huánuco se han diferenciado siete tipos de materiales no consolidados, que son producto de la meteorización, erosión y posterior acumulación, presentan morfologías que van desde planas a plano-onduladas hasta acumulaciones de piedemonte con cierto declive.

En el área de estudio se ha identificado cuatro tipos de materiales no consolidados que son producto de la meteorización, erosión y posterior acumulación, presentan morfologías que van desde planas a plano-onduladas hasta acumulaciones de piedemonte con cierto declive, a esta unidad se le ha denominado como unidad “I”, la cual está acompañada de un número “II” que indica la clase de depósito, los cuales se describen a continuación:

A) Depósitos Proluviales (Q-pr) – (II)

Estos depósitos se forman a partir de la existencia de material detrítico suelto y acumulado, que al producirse precipitaciones pluviales intensas saturan los materiales, estos pierden su estabilidad y se movilizan, formando torrentes que bajan por las quebradas formando conos de deyección o abanicos, llegándose a confundir muchas veces con las terrazas aluviales; el material que las constituye es heterométrico y mal clasificado, por lo general son subangulosos a subredondeados, englobados en una matriz fina, permeables, medianamente consolidados; son susceptibles a la erosión fluvial, derrumbes y deslizamientos. En el área de estudio estos depósitos se encuentran ubicados en ambos márgenes del río Marañón, principalmente en la desembocadura de

las quebradas, se caracterizan por tener formas de abanico, el material que lo conforman son clastos subangulosos. Estos depósitos en ocasiones han llegado a obturar momentáneamente al río Marañón (**Ver Fotografía 1**).

FOTOGRAFÍA 1

SE MUESTRAN DEPÓSITOS PROLUVIALES, EN DONDE SE DIFERENCIAN HASTA DOS SECUENCIAS.

LA MÁS RECIENTE RESALTADA CON LÍNEA DE COLOR ROJO Y LA AMARILLA LA MÁS ANTIGUA



B) Depósito Fluvio-Aluvial (Q-fl/al) – (I2)

Lo constituyen los materiales ubicados en el cauce o lecho de los ríos y/o quebradas, terrazas bajas inundables y llanura de inundación, son depósitos heterométricos, están constituidos por bolos, cantos y gravas subredondeadas en matriz arenosa o limosa, mezcla de lentes arenosos y areno-limosos; son depósitos inconsolidados a poco consolidados hasta sueltos, fácilmente removibles y su permeabilidad es alta.

En el área de estudio estos depósitos se encuentran principalmente ubicados en los cauces y lechos del río Marañón, formando planicies aluviales o terrazas altas. Estos depósitos forman parte del cauce del río Marañón.

Geomorfológicamente están asociados principalmente a las Llanuras de inundación, y son susceptibles a erosión fluvial e inundación periódicas.

C) Depósito Coluvio-Deluviales (Q-cd) – (I3)

Esta unidad agrupa depósitos de piedemonte de diferente origen (gravitacional y fluvio-gravitacional), que se acumulan en vertientes o márgenes de los valles como también en laderas superiores; en muchos casos son resultado de una mezcla de ambos.

Los depósitos coluviales o de caída se les reconoce por su geometría y son producto de deslizamientos, derrumbes y movimientos complejos, etc., su fuente de origen es cercana al lugar donde se emplaza. Están conformados por material generalmente grueso de naturaleza homogénea, heterométricos, mezclados con materiales finos como arena, limo y arcilla como matriz en menor proporción; generalmente se presentan sueltos a muy sueltos, pero pueden presentar algo de consolidación cuando son relativamente más antiguos, dependiendo de la matriz que los engloba. Su distribución mayormente caótica al pie de los taludes, constituyen talud de escombros, detritos de ladera, pie de monte; se les encuentra en las laderas de valles y al pie de barrancos escarpados.

Los depósitos deluviales están referidos a acumulaciones pequeñas a moderadas de depósitos de vertiente, su origen está asociado generalmente a flujos no canalizados y también a movimientos complejos (derrumbe-flujos o deslizamiento-flujos), que originan pequeños abanicos en su pie. Se les encuentra al pie de laderas y formando pequeños abanicos en su confluencia con valles principales.

En conjunto, por su naturaleza son susceptibles a la erosión pluvial, remoción y generación de flujos de detritos (chorreras y huaycos), y cuando son el resultado de antiguos movimientos en masa son susceptibles a reactivaciones cuando se hacen modificaciones a los declives naturales.

Estos depósitos que se presentan en el área de estudio son generados por los antiguos movimientos en masa como deslizamientos (foto 3-2). Como ejemplo tenemos

el sector Pampamarca. Estos depósitos se caracterizan por estar conformados por gravas, escasos bloques, englobados en matriz limo-arenosa. (Ver Fotografía 2).

FOTOGRAFÍA 2
DEPÓSITO GENERADO POR DESLIZAMIENTO (ENMARCADO CON LÍNEA
AMARILLA)



Geomorfológicamente están asociados a las Unidades de Depósitos de Vertiente, Depósitos de deslizamientos, Abanicos deluvio/coluviales.

D) Depósito Coluvial (Q-co) - (I4)

Son acumulaciones constituidas por materiales de diverso tamaño pero de litología homogénea, englobados en una matriz arenosa que se distribuye irregularmente en las vertientes del territorio montañoso, habiéndose formado por alteración y desintegración in situ de las rocas ubicadas en las laderas superiores adyacentes y la acción de la gravedad.

Se caracterizan por contener gravas angulosas a subangulosas distribuidas en forma caótica, sin selección ni estratificación aparente, con regular a pobre consolidación; ocasionalmente contienen algunos horizontes lenticulares limo arenoso. En el área de estudio estos depósitos se encuentran ubicados principalmente en las laderas medias y ocasionalmente en laderas altas laderas de los cerros.

E) Unidades del Sustrato (VI)

Estas unidades han sido divididas de tal forma que se agrupa a las diferentes litologías según su naturaleza las cuales puede ser rocas de origen intrusivo, volcánico, volcánico sedimentario, sedimentario y metamórfico, en el área se han logrado identificar solamente rocas de origen metamórfico (VI) perteneciente al complejo del Marañón.

F) Rocas Metamórficas - Complejo del Marañón (Pe-cm) – (VII)

Expuestas en el sector central-occidental de la región Huánuco, conformado por extensos afloramientos del Complejo Marañón con una orientación NO-SE, desde la localidad de San Rafael hasta Huacrachuco, en algunos sectores se pueden observar algunos alineamientos formados por la esquistosidad de las rocas.

Los esquistos conforman un relieve accidentado irregular con abundante material de escombros en los flancos y laderas, conformado por micaesquistos y esquistos de coloraciones verdes y grises, con vetas de cuarzo. Su susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa el alta, produciéndose derrumbes, deslizamientos, flujos y reptación. Los esquistos gris azulados plateados, con abundantes vetas de cuarzo, destacan por su coloración y menor resistencia a la erosión, los que tentativamente se consideran formados a partir de una secuencia pelítica (**Ver Fotografías 3, 4 y 5**). En la margen derecha del río Marañón, se observa montañas conformadas por esquistos resistentes a la erosión, con esquistosidad paralela y que a la distancia asemejan estratos intercalados (**Ver Fotografía 6**).

Las filitas y pizarras se presentan como una franja de coloración grises a marrón rojizas por efectos de la meteorización con algunos niveles de cuarzo. La susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa en esta unidad es alta, produciéndose derrumbes, deslizamientos, reptación y flujos. Los afloramientos de gneis morfológicamente se encuentran conformando montañas. La susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa en esta unidad es baja.

FOTOGRAFÍA 3 Y 4

AFLORAMIENTO DE ESQUISTO, EN AMBAS VISTAS SE APRECIA LA
ESQUISTOSIDAD PARALELA



FOTOGRAFÍA 5

AFLORAMIENTO DE ROCAS METAMÓRFICAS EN CORTE DE CARRETERA



FOTOGRAFÍA 6
MONTAÑA EN ROCA METAMÓRFICA, CON PROCESO DE EROSIÓN DE LADERA (LÍNEA DE COLOR ROJO)



En la siguiente Cuadro presentamos la distribución de las unidades litológicas identificadas en el área de estudio (Ver Anexo B - Mapa M-04).

CUADRO 7
DISTRIBUCIÓN DE LAS UNIDADES LITOLÓGICAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Unidades Litológicas	Área (Km ²)	Porcentaje (%)
Deposito Proluvial	0,22	0,45
Deposito Fluvio-Aluvial	0,001	0,003
Deposito Coluvial-Deluvial	16,56	33,96
Deposito Coluvial	2,77	5,69
Complejo del Marañón	29,20	59,90
Total	48,75	100,00

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 14
COLUMNA ESTRATIGRÁFICA LOCAL

Columna Estratigráfica Local				
Eratema	Sistema	Serie	Unidades Litoestratigráfica	Símbolo
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Deposito Proluvial	Q-pr
			Deposito Fluvio-Aluvial	Q-fa
			Deposito Coluvio-Deluvial	Q-cd
			Deposito Coluvial	Q-co
Neoproterozoico			Complejo de Marañón	PE-cm

Fuente: Elaboración Propia.

3.6. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

El conocimiento geomorfológico de una determinada área de la superficie terrestre es de suma importancia, porque constituye junto con la geología, la columna vertebral donde se desarrollan los componentes biológicos y socioeconómicos. La descripción de los caracteres morfológicos, morfogenéticos y morfométricos del terreno, constituyen un aspecto básico a considerar en las evaluaciones ambientales por sus implicancias en aspectos como la vulnerabilidad física, estabilidad física, hidrología, meteorología y el riesgo geodinámico externo del área.

Como resultado de la evaluación geomorfológica en el área de estudio, se ha identificado seis unidades geomorfológicas, las cuales se muestran en el Mapa Geomorfológico a escala 1:25 000.

3.6.1. Unidades geomorfológicas

A continuación presentamos la descripción de las seis unidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio.

A) **Vertiente o Piedemonte Aluvio Torrencial (Proluvial) (P-at)**

Unidad genética correspondiente a una planicie inclinada con topografía de glacis, que se extiende al pie de sistemas montañosos, serranías y escarpes de altiplanicies, y que ha sido formada por la sedimentación de las corrientes de agua que emergen de los terrenos más elevados hacia las zonas más bajas y abiertas. Está constituida por una sucesión o coalescencia de abanicos aluviales y aluvio-diluviales, incluidos algunos conos de deyección, de igual o diferente composición litológica-granulométrica, de diversos tamaños y con pendientes regulares. Como puede deducirse de lo anterior, los paisajes integrantes de estas llanuras son: el abanico aluvial y/o el cono de deyección.

Geomorfológicamente están asociados directamente a las Unidades de Abanicos proluvio/aluviales, abanicos aluvionales.

Esta unidad geomorfológica se puede apreciar hacia el lado Sureste del área de estudio una de ellas en la desembocadura de la quebrada Aguyaco, también se puede ver hacia el Sur del poblado de Acobamba en la margen derecha del río Marañón y en la quebradas Matacac, hacia la margen izquierda del río Marañón en la desembocadura de la quebrada Tingo Chico ubicado hacia lado Noroeste del área de estudio.

B) Colinas en Rocas Metamórficas (Rc-rm)

Un cerro o colina es una eminencia del terreno que, en general, no supera los 300 m. desde la base hasta la cima, los cerros o colinas pueden formarse por varios fenómenos; entre los más comunes están los geomorfológicos: por la surgencia de fallas; por erosión de otros accidentes mayores del terreno, tales como las mismas montañas u otros cerros; por movimiento y deposición de sedimentos de un glaciar (por ejemplo, morrenas y drumlins); etc. La forma redondeada de algunos cerros obedece a movimientos de difusión del suelo y a regolitos que cubren el cerro, en un proceso denominado reptación.

Esta unidad geomorfológica ocupa aproximadamente el 5 % de toda el área de estudio conformada principalmente por rocas del Complejo Marañón (esquistos gris azulados plateados y con abundantes vetas de cuarzo).

C) Montañas en Rocas Metamórficas (Rm-rm)

Una montaña es una eminencia topográfica (elevación natural de terreno) superior a 300 m respecto a su base. Las montañas se agrupan en cordilleras o sierras. El origen de las montañas está en fuerzas endógenas (orogénesis), posteriormente modificadas por factores exógenos, como la erosión. Las orogénesis que han dejado más huellas en el relieve y en la configuración actual de los continentes derivan del plegamiento herciniano, en el Paleozoico, y del plegamiento alpino, en el Cenozoico. En el Cuaternario las glaciaciones han erosionado las cadenas montañosas, dando lugar a muchos de los paisajes montañosos característicos (ejemplo Cordillera de los Andes).

Esta unidad geomorfológica ocupa aproximadamente más del 50 % de toda el área de estudio conformada principalmente por rocas del Complejo Marañón

presentando pendientes variables de moderada a fuerte, muy susceptible a la formación de movimientos en masa, como deslizamientos.

D) Terraza Fluvial (T-fl)

Las terrazas fluviales o terraza de río constituyen pequeñas plataformas sedimentarias o mesas construidas en un valle fluvial por los propios sedimentos del río que se depositan a los lados del cauce en los lugares en los que la pendiente del mismo se hace menor, con lo que su capacidad de arrastre también se hace menor. Corre a lo largo de un valle con un banco a manera de escalón que las separa, ya sea de la planicie de inundación o de una terraza inferior. Es un remanente del cauce antiguo de una corriente que se ha abierto camino hacia un nivel subyacente, mediante la erosión de sus propios depósitos.

Un río, al entallar el terreno, discurre por un lecho cada vez más bajo. Abandona así capas de aluviones en forma de terrazas escalonadas que ya no son cubiertas por las aguas de las mayores avenidas. En este caso, el río entalla la roca subyacente y esta aflora entre los escalones. Si, por el contrario, el lecho del río ahonda un terreno que ya consta de aluviones anteriores, no se ve la roca del sustrato y se trata de terrazas encajonadas. Por su parte, una terraza poligénica no presenta escalones, sino un declive continuo. Su formación se explica, ya por la destrucción de los escalones por la erosión, ya por el carácter progresivo y continuo del hundimiento del lecho del río.

Esta unidad geomorfológica ocupa aproximadamente más el 1 % de toda el área de estudio conformada principalmente materiales arenosos emplazados en ambas márgenes de cause del río Marañón.

E) Vertiente o Piedemonte Coluvio-Deluvial (V-cd)

Unidad genética correspondiente a una planicie inclinada con topografía de glacis, que se extiende al pie de sistemas montañosos, serranías y escarpes de altiplanicies, y que ha sido formada por la sedimentación de las corrientes de agua que emergen de los terrenos más elevados hacia las zonas más bajas y abiertas.

Está constituida por una sucesión o coalescencia de abanicos coluviales y coluvio-diluviales, incluidos algunos conos de deyección, de igual o diferente composición litológica-granulométrica, de diversos tamaños y con pendientes regulares. Como puede deducirse de lo anterior, los paisajes integrantes de estas llanuras son los piedemontes.

Un abanico aluvial o cono de deyección, es en geomorfología una forma del terreno o accidente geográfico formado cuando una corriente de agua que fluye rápidamente entra en una zona más tendida y su velocidad disminuye, extendiéndose su cauce en abanico, en general a la salida de un cañón en una llanura plana. Esta unidad geomorfológica ocupa aproximadamente más el 1 % de toda el área de estudio conformada principalmente materiales arenosos emplazados en ambas márgenes de cause del río Marañón.

F) Vertiente Coluvial de Detritos (V-d)

Son depósitos inconsolidados acumulados en las laderas de montañas o colinas, en forma de taludes de detritos de origen coluvial de edad reciente, que descienden hacia los valles principales o quebradas tributarias, la cual no presenta una geoforma característica y su consistencia es consolidada. Por encontrarse cerca de su fuente de origen, presenta una naturaleza litológica su granulometría es variable y su grado de compacidad es bajo, no consolidado. Está relacionado a procesos de flujos de detritos y erosión de laderas, derrumbes y deslizamientos superficiales. (Zavala, 2006).

Los poblados de Pampamarca y Acobamba se encuentran dentro de las dos primeras unidades las cuales se pudo identificar mediante las imágenes satelitales y posteriormente en campo. Estas unidades son definidas como “terrenos formados por un proceso natural que tienen composición definida y un conjunto de características físicas y visuales que aparecen donde quiera que se encuentren la unidad geomorfológica territorial” (MOPT, 2004).

En el siguiente Cuadro presentamos la distribución de las unidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio. (**Ver Anexo B - Mapa M-05**).

CUADRO 8

DISTRIBUCIÓN DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS EN EL ÁREA DE
ESTUDIO

Unidades Geomorfológicas	Área (Km ²)	Porcentaje (%)
Vertiente o piedemonte aluvio torrencial (proluvial)	0,18	0,36
Colinas en Rocas Metamórficas	2,52	5,18
Montañas en Rocas Metamórficas	26,11	53,56
Terraza Aluvial	0,72	1,47
Vertiente o piedemonte coluvio deluvial	16,51	33,86
Vertiente coluvial de detritos	2,71	5,57
Total	48,75	100,00

Fuente: Elaboración propia.

3.7. HIDROGEOLOGÍA

Anteriormente se ha descrito el contexto geológico de la zona de estudio identificando y describiendo las diferentes formaciones y unidades litológicas, así como la geomorfología. En el contexto del presente estudio es necesario dotar dicha información geológica de carácter litohidrogeológico, es decir discretizar y agrupar estas formaciones según su comportamiento respecto al flujo de agua, con esta información y basados en el mapa hidrogeológico preliminar del Perú elaborado por el INGEMMET a una escala de 1/1 000 000, se ha generado un mapa hidrogeológico para el área de estudio en donde el dominio litohidrogeológico se puede separar dos grupos de unidades hidrogeológicas, los depósitos sedimentarios asociados (depósitos aluviales) y las unidades de roca (pizarras, esquistos y filitas).

3.7.1. Unidades litohidrogeológicas

Una unidad litohidrogeológica es una formación geológica, un grupo de formaciones o parte de una formación que puede distinguirse en base a su capacidad de producir y transmitir agua. Los acuíferos (formaciones capaces de transmitir una cantidad importante de agua) y acuitardos (unidades confinantes).

A) Acuífero

Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que permite que circule a través de ella con facilidad. Ejemplos: Arenas, gravas. También granito u otra roca compacta con una fracturación importante dentro del área de estudio esta unidad está conformada por lo depósitos aluviales.

B) Acuitardo

Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable pero que el agua circula a través de ella con dificultad. Evidentemente se trata de un concepto intermedio entre un acuitardo y un acuícludo. Ejemplo: Arenas arcillosas, areniscas, rocas compactas con alteración y/o fracturación moderada, etc., en el área de estudio esta unidad está conformada por pizarras, Esquistos y Filitas, las cuales se encuentran alteradas, con fisuras y/o fracturamiento moderado.

A continuación presentamos las unidades hidrogeológicas identificadas en el área de estudio:

CUADRO 9
UNIDADES LITOHIDROGEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Unidades Litohidrogeológicas	Clasificación Litohidrogeológica	Litología	Descripción Litohidrogeológica
<i>Depósitos Cuaternarios (suelos)</i>			
Acuífero	Poros no consolidados	Depósitos Aluviales (gravas, arenas mal seleccionadas en matriz areno limoso).	Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que permite que circule a través de ella con facilidad.
<i>Rocas</i>			
Acuífero	Consolidado	Pizarras, esquistos y filitas (Complejo del Marañón) Rocas compactas	Formación geológica con capacidad de almacenamiento de aguas subterráneas pero de baja transmisibilidad.
Acuitardo	Fisuras y/o Fracturas moderadas	Pizarras, esquistos y filitas (Complejo del Marañón) Rocas compactas con alteración y/o fracturación moderada.	Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable pero que el agua circula a través de ella con dificultad.

Fuente: Elaboración propia.(la caracterización fue realizada en función a la litología del área de estudio).

A continuación presentamos la distribución de las unidades Litohidrogeológicas presentes en el área de estudio (**Ver Anexo B - Mapa M-06**).

CUADRO 10
DISTRIBUCIÓN DE LAS UNIDADES LITOHIDROGEOLÓGICAS EN EL ÁREA
DE ESTUDIO

Unidades Litohidrogeológicas	Área (Km ²)	Porcentaje (%)
Acuífero (consolidado)	28,98	59,44
Acuífero (poros no consolidados)	0,22	0,46
Acuitardo (Fisuras y/o fracturas moderadas)	19,55	40,10
Total	48,75	100,00

Fuente: Elaboración propia.

3.8. COBERTURA VEGETAL

Las características topográficas y la ubicación geográfica de la región Huánuco (poblados de Pampamarca y Acobamba) promueven condiciones ecológicas definidas por la interacción oceánica-continental. Condicionada por factores geomorfológicos y climáticos que determinan los diversos tipos de clima y zonas de vida del área.

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida del Dr. L.R. Holdridge (1967) que se fundamenta en criterios bioclimáticos, como parámetros que definen el hábitat de la vegetación: en el área de estudio se han determinado 03 tipos de cobertura vegetal, los cuales se describen a continuación:

- **Agricultura:** Esta unidad de cobertura se encuentra ubicada en la región Huánuco y comprende las áreas que fueron desboscadas y hoy convertidas en áreas agropecuarias, es decir, actualmente con cultivos agrícolas y pastos cultivados; asimismo, comprenden todas las áreas cubiertas actualmente con vegetación secundaria (purma) y que están en descanso por un determinado número de años hasta que retorne la fertilidad natural del suelo, para ser nuevamente integradas a la actividad agropecuaria. Dentro del área de estudio esta unidad de cobertura vegetal cubre un 64,80 % (31,59 Km²) de área, la cual se emplaza principalmente en las laderas de los cerros y en ambos márgenes del valle del río Marañón.

- **Matorral Arbustivo:** Esta unidad de cobertura vegetal se caracteriza por una vegetación dominada por arbustos, y que a menudo incluye céspedes, plantas de porte herbáceo, y plantas geófitas. El matorral también puede surgir como consecuencia de la actividad humana. El matorral puede ser inadecuado para la habitación humana debido al peligro de catástrofes como los incendios. Este tipo de cobertura ocupa una superficie de 4,77 Km², que representa el 9,78 % del total del área de estudio
- **Pajonal Altoandino:** Este tipo de cobertura vegetal está conformado mayormente por herbazales ubicado en la porción superior de la cordillera de los andes, aproximadamente entre 3 800 y 4 800 m. s. n. m. Se desarrolla sobre terrenos que van desde casi planos como en las altiplanicies hasta empinados o escarpado, en las depresiones y fondo de valles glaciares. Estudio esta unidad de cobertura vegetal cubre un 25,42 % (12,39 Km²) de área, la cual se emplaza principalmente en partes más altas del área de estudio.

A continuación presentamos la distribución de las unidades de cobertura vegetal presentes en el área de estudio (**Ver Anexo B - Mapa M-07**).

CUADRO 11
DISTRIBUCIÓN DE LAS UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL EN EL ÁREA
DE ESTUDIO

Unidades de Cobertura Vegetal	Área (Km ²)	Porcentaje (%)
Agricultura	31,59	64,80
Matorral Arbustivo	4,77	9,78
Pajonal Altoandino	12,39	25,42
Total	48,75	100,00

Fuente: Elaboración propia.

3.9. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA

Estudios de peligros geológicos realizados a una escala regional muestran una Muy Alta susceptibilidad a los movimientos en masa para la zona de Pampamarca (Zavala et. Al., 2006) a comparación del poblado de Acobamba que se encuentra con una susceptibilidad Alta a Media; ambas condicionadas principalmente por el tipo de roca (considerada de mala calidad geotécnica), las pendiente moderadas de la ladera y la presencia de agua subterránea que satura los suelos.

3.9.1. Peligros geológicos por movimientos en masa en el área de estudio

Entre los peligros geológicos por movimientos en masa identificados en el área de estudio tenemos; deslizamientos (antiguos y recientes), derrumbes, flujos, grietas y erosión de cárcavas, los cuales se describen a continuación:

3.9.1.1. Deslizamientos.

Existen un total de 50 deslizamientos, de los cuales podríamos mencionar que dos (02) son los más importantes por tener influencia al poblado de Pampamarca (deslizamiento Pampamarca y Tingo Chico). El primero presenta una orientación de desplazamiento que va de Suroeste a Noreste en donde se ubica el poblado de Pampamarca y el segundo presenta una orientación desplazamiento que va de Sureste a Noreste muy cerca a la quebrá Tingo Chico en su margen derecha.

A) Deslizamiento de Pampamarca

Según versiones de los antiguos lugareños, hace años atrás (?), se generó un deslizamiento que enterró al antiguo pueblo de Pampamarca juntamente con una laguna. La población nuevamente se ubicó en una parte plana del antiguo deslizamiento.

- **Características del deslizamiento:** El deslizamiento antiguo (**Fotografía 7**), parte de la escarpa antigua con una longitud de 600 m, el escarpe se encuentra erosionado, se estima que debe tener un salto de entre 10 a 20 m.

FOTOGRAFÍA 7

SE MUESTRA EL CUERPO DEL DESLIZAMIENTO ANTIGUO



La superficie del terreno, de los alrededores de Pampamarca se muestra lomeríos (**Fotografía 8**), formadas por las escarpas sucesivas.

FOTOGRAFÍA 8
SE APRECIA PARTE DE LA ESCARPA PRINCIPAL Y LOMERÍOS (INDICADOS
CON FLECHAS DE COLOR ROJO)



- **Reactivaciones del deslizamiento de Pampamarca:** Las reactivaciones del deslizamiento se están dando desde el año 2008, en forma de agrietamientos y pequeños deslizamientos, actualmente se está enmarcando un deslizamiento rotacional que involucra al poblado de Pampamarca.

En una escarpa secundaria del deslizamiento, se identificó un derrumbe que afectó 01 vivienda.

Estas reactivaciones vienen dando desde el año 2008, intensificándose con el periodo lluvioso del año 2014.

- **Causas de las reactivaciones:** Filtraciones de agua proveniente del subsuelo, se presentan puquiales los cuales no están canalizados adecuadamente (**Fotografía 9**).

Pendiente del terreno, entre 20 a 30°, permite la desestabilización del terreno (**Fotografía 10**).

Material de fácil remoción, el suelo de Pampamarca está conformado por material suelto producto del deslizamiento antiguo (**Fotografía 11**).

Presencia de letrinas, que permite la saturación del terreno (**Fotografía 12**).
Área urbana sin buen drenaje pluvial, permite la filtración de agua al terreno.

FOTOGRAFÍA 9

TUBERÍA QUE HA CAPTADO EL AGUA PROVENIENTE DE UN PUQUIAL, EL
CUAL LA VIERTE AL TERRENO EN FORMA INADECUADA



FOTOGRAFÍA 10

SE MUESTRA LA PENDIENTE DEL TERRENO



FOTOGRAFÍA 11

MATERIAL SUELTO, LIMO-ARENOSO, PROVENIENTE DEL ANTIGUO
DESLIZAMIENTO

A lo largo del deslizamiento antiguo se apreció escarpes recientes, con longitudes entre 100 a 200 m, con saltos desde milimétricos hasta de 50 cm, con aperturas entre 40 a 50 cm. (**Fotografía 12, 13 y 14**), como también agrietamientos del terreno.

FOTOGRAFÍA 12 Y 13

EN VISTA DE LA IZQUIERDA SE MUESTRA EL DESPLAZAMIENTO
HORIZONTAL Y VERTICAL QUE TIENE EL TERRENO, EN LA DERECHA, LOS
AGRIETAMIENTOS DEL TERRENO



FOTOGRAFÍA 14

AGRIETAMIENTO DEL TERRENO, UBICADO SOBRE EL POBLADO DE
PAMPAMARCA

Los agrietamientos del terreno se muestran a lo largo de la parte superior del deslizamiento, tienen aperturas milimétricas con longitudes hasta de 100 m.

Sectores afectados:

- Centro Educativo N° 32234-Illathupa, este local fue abandonado en el año 2008, por presentar asentamientos y agrietamientos en el piso, las paredes están rajadas, las losas deportivas y tribunas se encuentran agrietadas (**Fotografías 15 y 16**).
- Nuevo Centro Educativo, este local en la actualidad está siendo afectado, se observan paredes del cerco perimétrico que están colapsando (foto 18). Las paredes están inclinadas, sostenidas por los árboles (**Fotografía 17**).
- El antiguo local de la posta médica fue abandonado en el año 2010, por presentarse agrietamientos en las paredes y pisos. El actual local está pasando lo mismo (**Fotografía 18 y 19**).

- Reservorio de agua potable, ha afectado al cerco perimétrico (**Fotografía 20**).
- Viviendas en diferentes sectores del sector de Pampamarca, que han colapsado (**Fotografías 21 y 22**).

FOTOGRAFÍA 15

SE APRECIA LA ESCARPA EN LA PARTE POSTERIOR DEL CENTRO EDUCATIVO



FOTOGRAFÍA 16

AGRIETAMIENTOS EN LOZA DEPORTIVA Y TRIBUNA COLAPSADA



FOTOGRAFÍA 17 Y 18

PARED INCLINADA DEL NUEVO CENTRO EDUCATIVO Y SOSTENIDA POR
LOS ARBOLES DE EUCALIPTO



FOTOGRAFÍAS 19 Y 20

EN LA VISTA DE LA IZQUIERDA, PISO CON AGRIETAMIENTO. VISTA DE LA
DERECHA, LA LOZA ESTÁ DEFORMÁNDOSE



FOTOGRAFÍA 21

PERÍMETRO DEL RESERVORIO DE AGUA POTABLE COLAPSADO



FOTOGRAFÍA 22

AGRIETAMIENTO DEL TERRENO, Y ÁREA AFECTADA POR EL
MOVIMIENTO DEL DESLIZAMIENTO

FOTOGRAFÍA 23

VIVIENDAS AFECTADAS POR EL DESLIZAMIENTO



Entre el sector de las calles San Cristobal-Huánuco-2 de Mayo-28 de Julio (sector norte del poblado), no se observan movimientos del terreno en la actualidad, pero de darse el deslizamiento, por la acción mecánica del mismo movimiento va a tender a inestabilizar el sector.

De originarse un deslizamiento, la masa deslizada podría formar un flujo de detritos que llegaría represar al río Marañón.

B) Deslizamiento Tingo Chico

El deslizamiento de Tingo Chico es de tipo rotacional antiguo, presenta una escarpa de forma semicircular e irregular, con una longitud de 250 m, reactivándose en el 2013.

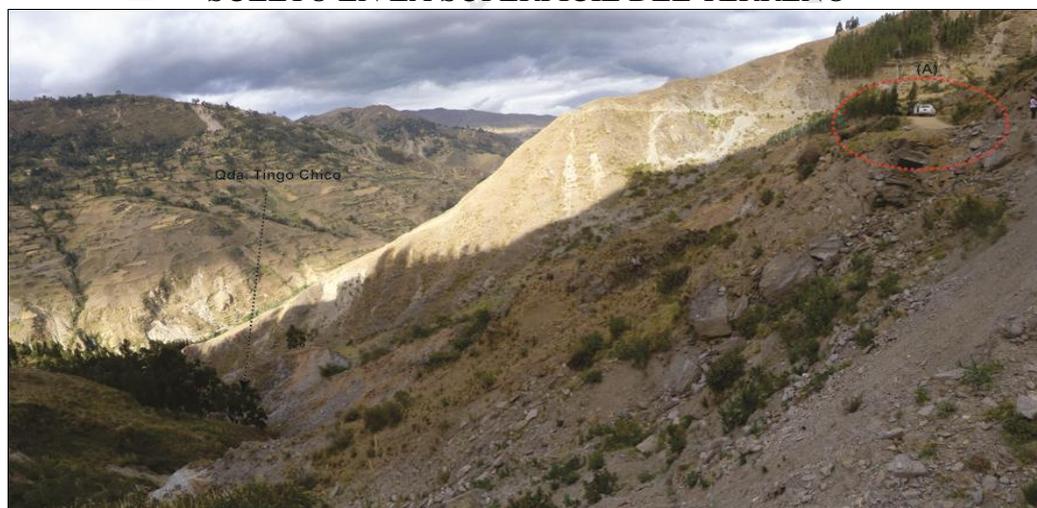
- **Características del deslizamiento:** Como evidencia del deslizamiento antiguo tenemos la formación de lomeríos en el cuerpo del deslizamiento (**Fotografía 24**) y escarpa antigua erosionada. Presenta escarpas secundarias con alturas entre 1 a 2 m y agrietamientos del terreno, en el cuerpo del deslizamiento se presentan bloques hasta de 1 m.

FOTOGRAFÍA 24
FORMACIÓN DE LOMERÍOS (B), ESCARPAS SECUNDARIAS (C) Y
AGRIETAMIENTOS (A)



Este deslizamiento ha afectado a la trocha de acceso a Pampamarca en un tramo de 250, en sectores se observan desniveles (**Fotografía 25**).

FOTOGRAFÍA 25
DESNIVEL EN LA VÍA DE ACCESO A PAMPAMARCA (A) POR EFECTO DEL
MOVIMIENTO DEL DESLIZAMIENTO, SE APRECIA TAMBIÉN EL MATERIAL
SUELTO EN LA SUPERFICIE DEL TERRENO



En el periodo lluvioso del año 2014, el material suelto fue acarreado al cauce de la quebrada, alimentándola con material suelto. Por lo que se formó un flujo de detritos (se detalla posteriormente el flujo de la quebrada Tingo Chico).

C) Deslizamiento Acobamba

En el poblado de Acobamba se puede apreciar un deslizamiento que afectó a algunas viviendas las cuales tuvieron que dejar de ser habitadas por sus pobladores (Fotografía 26).

FOTOGRAFÍA 26

POR ENCIMA DE LAS VIVIENDAS ABANDONAS SE PUEDE APRECIAR LA ESCARPA PRODUCTO DEL DESLIZAMIENTO (POBLADO DE ACOBAMBA)



3.9.1.2. Derrumbes.

Del Mapa M-08, podemos describir que existen un total de 10 derrumbes, de los cuales uno de ellos es el más importante y quizás el más peligroso que se ubica hacia la parte alta de Pampamarca, el mismo que podría poner en riesgo al poblado. Este derrumbe se encuentra dentro de un deslizamiento antiguo que presenta una orientación de Sureste a Noroeste en la margen izquierda del río Marañón. El resto de los derrumbes identificados se encuentran emplazados de manera dispersa, la mayoría de ellos en la margen izquierda del río Marañón y un solo derrumbe hacia la margen derecha.

En el poblado de Pampamarca se apreció un evento tipo colapso o derrumbe, este evento se identificó en la parte superior del poblado de Pampamarca. Se caracteriza por presenta en una escarpa con una longitud de 20 m de forma irregular, con una altura de 10 m (**Fotografía 27**).

Según versiones de los lugareños, en este sector se han presentado hasta tres eventos en los años 1975, 1986, y 2013, a raíz del evento 1986 se realizó forestación con eucaliptos con la finalidad de proteger al poblado (**Fotografía 28**).

En el último evento, los materiales provenientes del derrumbe, los fragmentos de roca tienen tamaños predominantes entre 20 a 50 cm, llegando a tener hasta 3 m (**Fotografía 29**).

Por versiones de los moradores, un bloque de roca proveniente del derrumbe, al momento de desplazarse, sobrepaso el área forestada y llegó hasta la zona urbana, afectando una vivienda, el bloque al impactar en la pared de la vivienda le ocasionó un agujero, este bloque de roca fue destruido después por los moradores (**Fotografía 30**). El mayor material proveniente del derrumbe fue retenido por los árboles (**Fotografía 31**).

En la actualidad, en la pared de la escarpa aún se muestra inestabilidad, se aprecia roca con poco fracturamiento, juntas abiertas, terreno con pendiente fuerte entre 50 a 60° (foto 32) que pueden ceder ante movimientos sísmicos o lluvias intensas.

FOTOGRAFÍA 27

ESCARPA DEL DERRUMBE, HACIA ABAJO SE APRECIA EL POBLADO DE PAMPAMARCA



FOTOGRAFÍA 28

ÁREA FORESTADA, SIRVE COMO PROTECCIÓN AL POBLADO



FOTOGRAFÍA 29

TAMAÑOS DE BLOQUES DE ROCA ARRASTRADOS POR EL DERRUMBE



FOTOGRAFÍA 30

ÁREA DE IMPACTO DEL BLOQUE DE ROCA, PROVENIENTE DEL DERRUMBE, SOBRE LA PARED DE UNA VIVIENDA



FOTOGRAFÍA 31

MATERIAL PROVENIENTE DEL DERRUMBE, RETENIDO POR LOS ÁRBOLES
DE EUCALIPTO



FOTOGRAFÍA 32

EN LA PARTE DE LA ESCARPA DEL DERRUMBE, SE OBSERVAN BLOQUES
DE ROCA SUELTOS



3.9.1.3. Flujos.

Del Mapa M-08, podemos describir que existen un total de 07 flujos, de los cuales uno de ellos es el más importante y quizás el más peligroso que se ubica hacia la parte alta de Pampamarca, el mismo que podría poner en riesgo al poblado. Este flujo se encuentra dentro de un deslizamiento antiguo que presenta una orientación de Sureste a Noroeste en la margen izquierda del río Marañón. El resto de los derrumbes identificados se encuentran emplazados de manera dispersa, la mayoría de ellos en la margen izquierda del río Marañón y un solo derrumbe hacia la margen derecha.

En el área circundante al río Marañón, se han presentado flujos de detritos en ambas márgenes, se caracterizan por presentarse en forma de abanicos, los materiales que lo conforman son fragmentos de naturaleza metamórfica de formas subredondeadas a subangulosas (**Fotografía 38**).

FOTOGRAFÍA 38

DEPÓSITO DE FLUJO DE DETRITOS EN FORMA DE ABANICO, MARGEN DERECHA DEL RÍO MARAÑÓN



Los flujos circundantes al deslizamiento de Pampamarca son de menores dimensiones, que los provenientes de las quebradas Matacac (margen izquierda del río Marañón), y Tingo Chico (margen derecha). Los últimos han llegado a desviar al cauce del río de una margen a la otra, han estrechado el cauce del río (**Fotografía 39**), como también han llegado en una ocasión a represar al río en forma momentánea.

FOTOGRAFÍA 39

ABANICO DEL FLUJO DE DETRITOS PROVENIENTE DE LA QUEBRADA TINGO CHICO, QUE HIZO MIGRAR AL CAUCE DEL RÍO MARAÑÓN DE LA MARGEN IZQUIERDA A LA DERECHA, EN SECTOR MARCADO LÍNEAS AZULES (A) HAY UN ESTRECHAMIENTO DE SU CAUCE



En la quebrada Tingo Chico, en la parte media-inferior se identificó un deslizamiento que aporta material suelto al cauce de la quebrada. Al generarse el flujo, en la desembocadura de la quebrada, formó un abanico de longitud de 200 m, que hizo desviar el cauce del río Marañón de derecha a izquierda. Ello ocasionó que las aguas del río erosionen la terraza de la margen derecha (**Fotografía 40**). Esto afectó la carpeta asfáltica de la carretera La Unión-Huánuco en un tramo de 40 m.

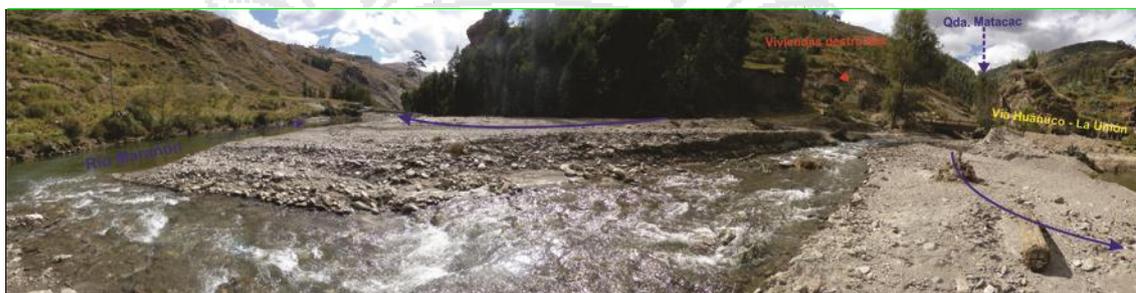
FOTOGRAFÍA 40

DESEMBOCADURA DE LA QUEBRADA TINGO CHICO, SE APRECIA EL DEPÓSITO EN FORMA DE ABANICO, EL ESTRECHAMIENTO DEL CAUCE DEL RÍO, EROSIÓN FLUVIAL EN LA MARGEN DERECHA Y PARTE DEL TRAMO DE CARRETERA AFECTADO (A)



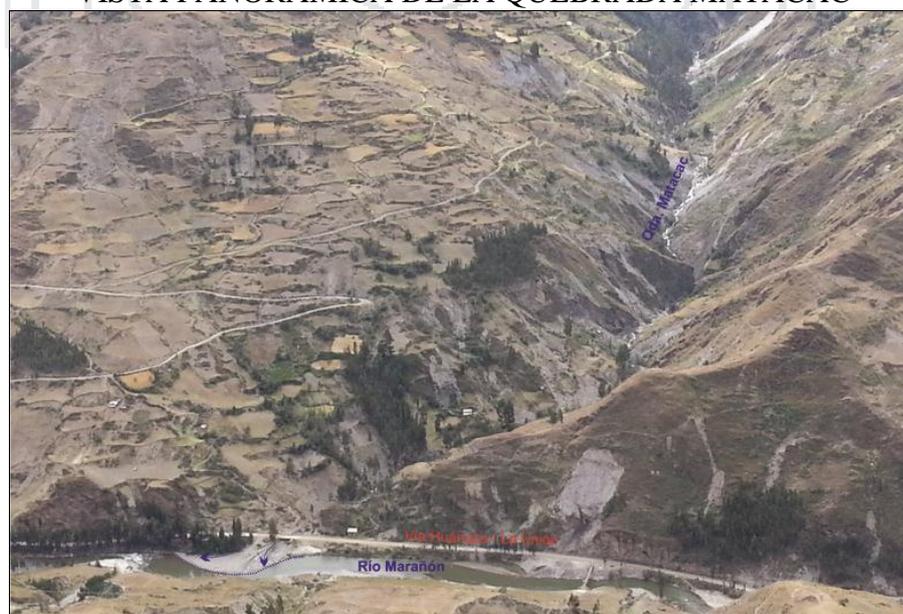
La quebrada Matacac, se ubica en la margen derecha del río Marañón, en ella se generó un flujo de detritos en marzo 2014, llegó a represar al río por un lapso de 4 días (según versiones de los lugareños), se formó una laguna, interrumpió el paso vehicular de la vía Huánuco-La Unión, por un lapso de 4 días y destruyó 02 viviendas (foto 36). El material al llegar a la desembocadura de la quebrada, llega a cubrir el puente hasta en una altura de 50 cm. **(Fotografía 41).**

FOTOGRAFÍA 41
SE OBSERVA LA DESEMBOCADURA DE LA QUEBRADA MATACAC, Y EL
ABANICO FORMADO



El material del flujo, está conformado mayormente por gravas, con es casos bloques de hasta de 1 m, en matriz arcillo-limosa, se muestra también restos de troncos de árboles. El material en la desembocadura tiene la forma de un abanico. En los lados laterales de la quebrada se observan varios derrumbes que alimentan con material suelto al cauce de la quebrada **(Fotografía 42).**

FOTOGRAFÍA 42
VISTA PANORÁMICA DE LA QUEBRADA MATACAC



El poblado de Acobamba se encuentra emplazado sobre materiales de flujo que está conformado mayormente por gravas, con escasos bloques de rocas envueltas en una matriz arcilloo-limosa. El material en la desembocadura de la quebrada tiene la forma de un abanico. **(Fotografía 43 y 44).**

FOTOGRAFÍA 43

SE OBSERVA LA DESEMBOCADURA DE LA QUEBRADA DEL POBLADO DE
ACOBAMABA



FOTOGRAFÍA 44

PARTE DEL POBLADO DE ACOBAMBA



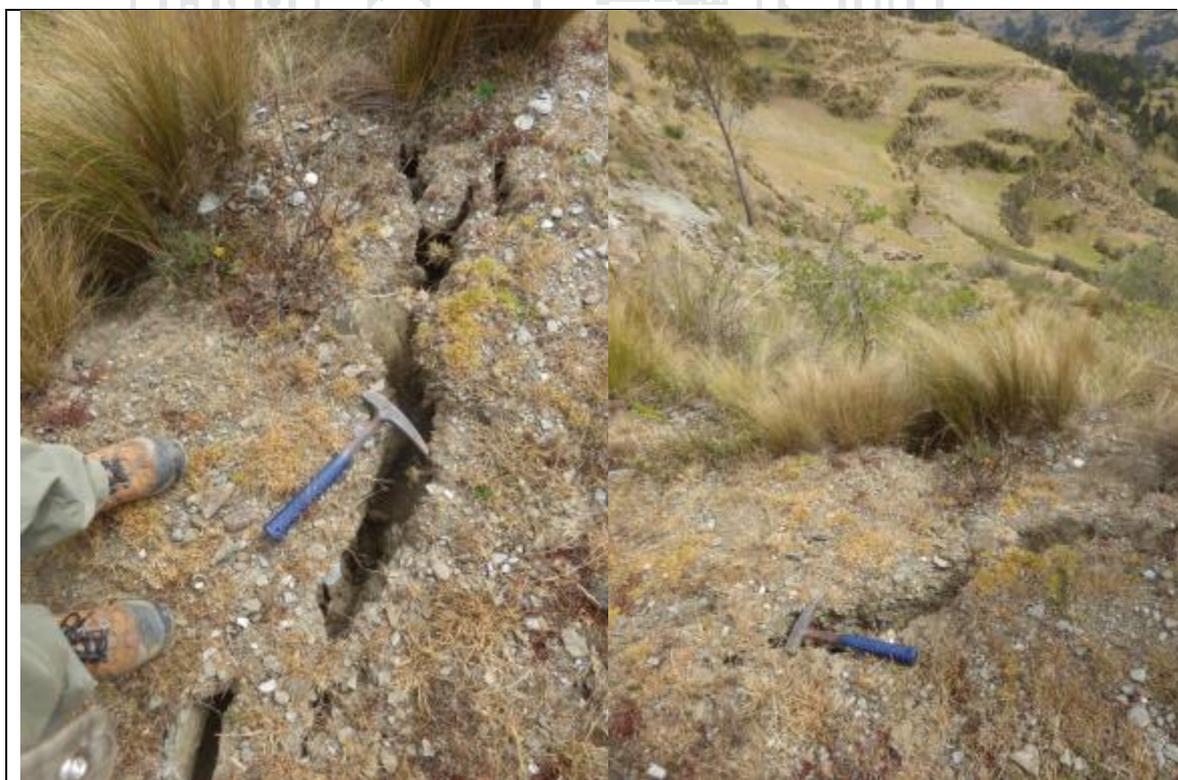
3.9.1.4. Grietas.

Una grieta es una abertura larga y estrecha producto de la separación de dos materiales. En Geología se pueden distinguir dos tipos comunes de grietas: las grietas de contracción y las grietas en cuña.

En el área de estudio se han identificado principalmente grietas de contracción que son fisuras relativamente anchas respecto a su longitud, que se abren al contraerse el suelo o una roca. Su formación constituye un fenómeno característico de los suelos arcillosos que, al desecarse, forman una red poligonal de esas grietas de retracción. Ciertas capas del subsuelo conservan la huella de grietas que una vez abiertas se llenaron de arena, lo cual impidió que la humedad posterior volviera a obturarlas. En el área de estudio se ha contabilizado un total de 58 grietas, los cuales se encuentran dispersos en toda el área de estudio y en ambas márgenes del río Marañón. **(Fotografías 45, 46, 47 y 48).**

FOTOGRAFÍA 45 Y 46

SE OBSERVA GRIETAS EN LA PARTE ALTA DE ACOBAMBA



FOTOGRAFÍA 47 Y 48

SE OBSERVA GRIETAS CERCA AL POBLADO DE ACOBAMBA

**3.9.1.5. Erosión en cárcavas.**

En el área de estudio se ha contabilizado un total de 10 cárcavas importantes, todos ellos se encuentran ubicados en el cuerpo de deslizamiento denominado Pampamarca en la margen izquierda del río Marañón, estas son las más importantes por tener influencia al poblado de Pampamarca.

El cuerpo del deslizamiento en la parte inferior, se encuentra disectado por erosiones de ladera (cárcavas). Este proceso genera un ensanche lateral de las quebradas formando derrumbes y deslizamientos, lo cual contribuye con material suelto al cauce de la quebrada. En tiempos de lluvias, este material es removido generando flujos de detritos (se tratará este punto más adelante) (**Fotografía 49**).

FOTOGRAFÍA 49

SE MUESTRAN VARIOS PROCESOS COMO FLUJOS DE DETRITOS, DERRUMBES, DESLIZAMIENTOS Y EROSIONES DE LADERA



En Cuadro siguiente presentamos la lista de los peligros geológicos identificados en el área de estudio.

CUADRO 12

PELIGROS GEOLÓGICOS IDENTIFICADOS EN EL ÁREA ESTUDIO

Nº	peligros	cod	Coordenadas UTM WGS84		Área (Km ²)
			Norte (m)	Este (m)	
1	Derrumbe	De	8 925 006	316 929	0,002292
2	Derrumbe	De	8 925 187	316 813	0,011944
3	Derrumbe	De	8 926 347	312 971	0,003775
4	Derrumbe	De	8 926 404	313 156	0,020858
5	Derrumbe	De	8 926 682	315 384	0,000794
6	Derrumbe	De	8 926 835	314 580	0,003091
7	Derrumbe	De	8 927 111	314 167	0,004632
8	Derrumbe	De	8 927 113	313 985	0,007851
9	Derrumbe	De	8 927 137	315 078	0,009844
10	Derrumbe	De	8 927 472	313 689	0,002367
11	Deslizamiento	Dz	8 924 871	317 399	0,001514
12	Deslizamiento	Dz	8 925 749	316 271	0,021133
13	Deslizamiento	Dz	8 925 697	313 596	0,048796
14	Deslizamiento	Dz	8 925 972	317 461	0,113233
15	Deslizamiento	Dz	8 926 163	316 191	0,001609
16	Deslizamiento	Dz	8 926 038	316 195	0,013802
17	Deslizamiento	Dz	8 925 925	316 357	0,099942
18	Deslizamiento	Dz	8 926 283	315 945	0,003591
19	Deslizamiento	Dz	8 925 612	315 498	0,163714
20	Deslizamiento	Dz	8 926 406	316 196	0,004282
21	Deslizamiento	Dz	8 926 426	315 082	0,003735
22	Deslizamiento	Dz	8 926 588	315 079	0,000584
23	Deslizamiento	Dz	8 926 183	312 903	0,096916
24	Deslizamiento	Dz	8 926 611	315 059	0,003074

N°	peligros	cod	Coordenadas UTM WGS84		Área (Km ²)
			Norte (m)	Este (m)	
25	Deslizamiento	Dz	8 926 651	315 099	0,001125
26	Deslizamiento	Dz	8 926 690	315 916	0,036883
27	Deslizamiento	Dz	8 926 751	315 109	0,002351
28	Deslizamiento	Dz	8 926 548	315 193	0,086633
29	Deslizamiento	Dz	8 926 658	314 596	0,109202
30	Deslizamiento	Dz	8 926 870	315 751	0,100809
31	Deslizamiento	Dz	8 926 868	314 502	0,045235
32	Deslizamiento	Dz	8 926 926	314 349	0,040698
33	Deslizamiento	Dz	8 927 388	313 939	0,001317
34	Deslizamiento	Dz	8 927 351	313 916	0,004557
35	Deslizamiento	Dz	8 927 458	313 884	0,002651
36	Deslizamiento	Dz	8 927 329	313 877	0,009462
37	Deslizamiento	Dz	8 927 192	313 841	0,035525
38	Deslizamiento	Dz	8 926 768	313 591	0,428964
39	Deslizamiento	Dz	8 927 476	313 748	0,002356
40	Deslizamiento	Dz	8 927 502	313 462	0,01136
41	Deslizamiento	Dz	8 927 391	313 722	0,019669
42	Deslizamiento	Dz	8 927 211	313 527	0,280165
43	Deslizamiento	Dz	8 927 545	313 439	0,014791
44	Deslizamiento	Dz	8 927 218	313 201	0,061512
45	Deslizamiento	Dz	8 927 444	313 594	0,371683
46	Deslizamiento	Dz	8 927 509	315 937	0,769615
47	Deslizamiento	Dz	8 927 642	313 577	0,002824
48	Deslizamiento	Dz	8 927 697	313 398	0,002743
49	Deslizamiento	Dz	8 927 756	313 399	0,003686
50	Deslizamiento	Dz	8 927 649	313 403	0,011179
51	Deslizamiento	Dz	8 927 706	314 048	0,021871
52	Deslizamiento	Dz	8 927 998	312 977	0,01892
53	Deslizamiento	Dz	8 928 002	312 613	0,027825
54	Deslizamiento	Dz	8 928 036	312 556	0,008351
55	Deslizamiento	Dz	8 928 060	314 101	0,466529
56	Deslizamiento	Dz	8 927 484	312 556	0,123662
57	Deslizamiento	Dz	8 928 159	312 577	0,020377
58	Deslizamiento	Dz	8 928 259	315 496	0,015535
59	Deslizamiento	Dz	8 928 238	313 191	0,026338
60	Deslizamiento	Dz	8 928 357	315 547	0,012931
61	Flujo	F	8 926 409	316 093	0,175351
62	Flujo	F	8 927 260	314 114	0,006674
63	Flujo	F	8 927 822	313 305	0,00294
64	Flujo	F	8 927 932	313 461	0,019215
65	Flujo	F	8 927 178	314 553	0,046972
66	Flujo	F	8 928 357	312 981	0,012494
67	Flujo	F	8 924 253	318 198	0,052565

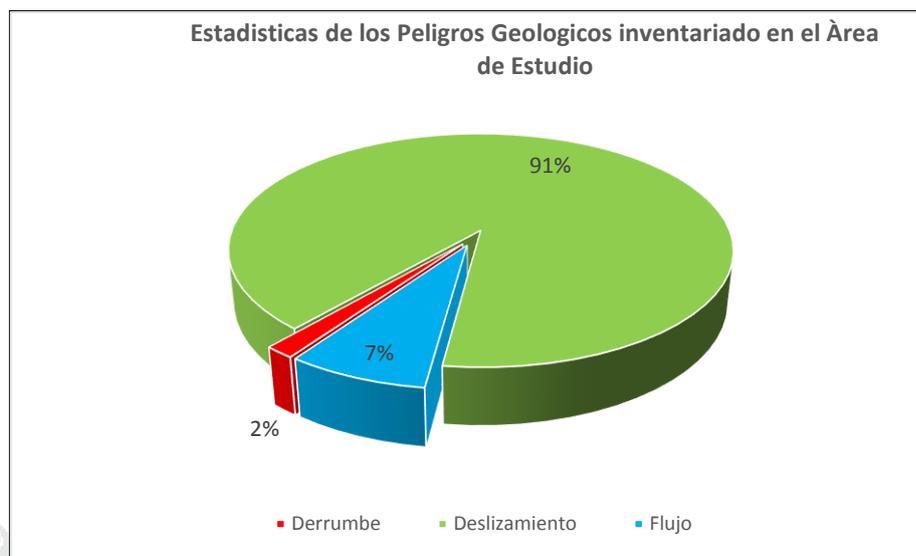
Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 13
ESTADÍSTICA DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS IDENTIFICADOS EN EL
ÁREA DE ESTUDIO

Tipo de peligro	Cantidad Total de Peligros Geológicos	Área Km ²	Porcentaje%
Derrumbe	10	0.067448	1.62
Deslizamiento	50	3.775259	90.78
Flujo	7	0.316211	7.60
total	67	4.158918	100

Fuente: Elaboración Propia.

GRÁFICO 6
ESTADÍSTICA DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS



Fuente: Elaboración Propia.

A continuación presentamos la distribución de los peligros identificados en el área de estudio (**Ver Anexo B - Mapa M-08**).

CUADRO 14
ESTADÍSTICA DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS IDENTIFICADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Tipo de peligro	Cantidad Total de Peligros Geológicos	Área (Km ²)	Área %
Derrumbe	10	0,07	0,138
Deslizamiento	50	3,78	7,744
Flujo	7	0,32	0,649
Áreas sin peligros		44,59	91,469
Total		48,75	100,00

Fuente: Elaboración propia.

3.10. PENDIENTE

La pendiente constituye un factor de evaluación principal para el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa. El Mapa de Pendientes (MP), fue preparado en base a los planos topográficos del IGN, a escala 1:25 000, con equidistancias de curvas de nivel cada 50 m, utilizándose para su generación el software de pendientes con ayuda del GIS, obteniendo para ello un modelo de elevación digital y a la vez polígonos que presentan igual pendiente o inclinación en diferentes sectores del área de estudio.

Se consideró seis rangos o grados de pendiente: terrenos llanos ($<1^\circ$), inclinados con pendiente suave ($1^\circ - 5^\circ$), pendiente moderada ($5-15^\circ$), pendiente fuerte ($15^\circ-25^\circ$), pendiente escarpada ($25- 45^\circ$) y terrenos muy escarpados ($>45^\circ$), como se muestra en el Mapa.

En los terrenos llanos se encuentran terrazas, planicies y/o conos de deyección y numerosas laderas de lomadas y colinas bajas, morrenas, depósitos glacio-fluviales y valles glaciales con lagunas, asimismo se ubican los principales poblados del área de estudio. En los terrenos ligeramente inclinados con muy suave pendiente (planicies y terrazas altas, planicies antiguas) se ubican otras localidades. En estas dos zonas se desarrollan ampliamente las zonas agrícolas.

Los terrenos con pendiente moderada a fuerte ocupan una extensión mayor en el área de estudio y están distribuidos indistintamente en las laderas, así como los alineamientos en valles tributarios a los ríos y quebradas.

Los terrenos con pendiente escarpada y muy escarpada, ocupan una superficie reducida, y se encuentran localizados indistintamente en los tramos del río Marañón (montañas estructurales y de fuerte pendiente), siendo los sectores principales los alineamientos rocosos con dirección andina, de naturaleza metamórfica.

3.10.1. Pendiente y Susceptibilidad

La pendiente como factor condicionante es un parámetro importante en la evaluación de todo tipo de proceso de movimiento en masa, por ello, diversos autores consideran a esta variable como fundamental en el análisis de susceptibilidad (AGUILAR & MENDOZA, 2002. En RESTREPO & VELÁSQUEZ, 1997; MORA Y VAHRSON, 1994; VAN WESTEN & TERLIEN, 1995).

Respecto a la relación pendiente versus movimientos en masa, existen algunas divergencias en su análisis. En general, la relación entre movimientos de masa y pendiente, no es apropiado generalizarla para todos los ambientes climáticos. Diversos autores coinciden en que pendientes bajas y altas o muy altas son menos susceptibles a los movimientos en masa.

En el presente trabajo se adoptó la siguiente clasificación (**Ver Cuadro 15**):

- Las áreas de menor pendiente son poco susceptibles a movimientos en masa, pero son afectadas por eventos originados en las porciones adyacentes o superiores de mayor pendiente. Las inclinaciones entre 0° y 1° se calificaron con el valor cero (susceptibilidad muy baja a nula), mientras que las pendientes $>45^\circ$ con valor 2 (susceptibilidad media).
- Laderas entre 1° y 5° , de inclinación suave, conforman relieves con baja susceptibilidad (algunas veces afectadas por eventos que se originan en pendientes más inclinadas), generalmente flujos de detritos (huaycos). Se asignó a este rango el valor 1 (susceptibilidad baja).
- Laderas con inclinaciones entre 5° y 15° se consideran con susceptibilidad media a los movimientos en masa y se calificó con el valor de 2.
- Los terrenos o laderas con pendientes entre 15° y 25° son las más susceptibles en la cuenca (susceptibilidad muy alta) y se les asignó el valor de 4.
- Se consideró susceptibilidad alta a los terrenos con laderas entre 25° a 45° de pendiente, asignándoles el valor de 3.

De acuerdo a esto, es fácil que ocurran movimientos en masa en laderas y cauces cuya inclinación principal varía entre media a fuerte ($5^\circ - 45^\circ$), bajo el criterio de que a mayor pendiente se facilita el escurrimiento superficial y por ende la erosión hídrica o pluvial será mayor.

Los deslizamientos y movimientos complejos son frecuentes en pendientes entre $20^\circ - 35^\circ$; estos últimos ocurren también a mayores pendientes y en el caso de deslizamientos, algunos ocurrieron en terrenos de poca pendiente (5° a 20°).

Las caídas de rocas y derrumbes ocurren en pendientes entre 20° y 50° , principalmente entre $35^\circ - 50^\circ$; se inventariaron pocas ocurrencias de este tipo en terrenos o frentes de ladera escarpados mayores a 50° y menores de 20° .

Los flujos de detritos son muy frecuentes en terrenos con pendientes entre 20° a 35°, también ocurren a mayores pendientes (35° a 50°); menos frecuentes entre 5° y 20°. La erosión de laderas ocurre mayormente en pendientes entre 20° y 50°.

CUADRO 15
CLASIFICACIÓN DE PENDIENTES Y SUSCEPTIBILIDAD

Pendiente	Clase	Comentarios	Valor	Susceptibilidad
0° a 1°	Muy llanos	Es muy difícil que se generen movimientos en masa, pero son afectadas por eventos originados en las porciones adyacente o superiores de mayor pendiente. Sin embargo, se debe considerar que debido a las precipitaciones pluviales intensas que caen en el área de estudio, estos terrenos planos elevados se encuentran muy disectados por surcos. Cárcavas y torrenteras por donde discurren flujo excepcionalmente. Son afectados por inundaciones, por ser terrenos con escaso drenaje.	1	Muy baja a nula
1° a 5°	Suave	Áreas poco susceptibles a movimientos en masa, de inclinación suave, afectadas o cortadas por eventos que se generan en zonas más altas o de pendiente más inclinada, generalmente flujos.	1	Baja
5° a 15°	Moderada	Conforman relieves inclinados, sus laderas presentan una susceptibilidad media a los movimientos en masa.	3	Media
15° a 25°	Fuerte	Conforman relieves inclinados muy susceptibles a movimiento en masa.	5	Muy Alta
25° a 45°	Muy Fuerte	Caracterizado por presentar alta susceptibilidad a los movimientos en masa.	4	Alta
>45°	Muy Escarpado	Son zonas abruptas, donde la ocurrencia de peligros dependerá de las condiciones intrínsecas de la roca (grado de fracturamiento y orientación, estratificación, etc.), así como, de los detonantes (lluvia, sismos). Se consideran poco susceptibles a los movimientos en masa.	2	Baja

Fuente: INGEMMET.

A continuación presentamos la distribución de la pendiente en el área de estudio (Ver Anexo B - Mapa M-09).

CUADRO 16
DISTRIBUCIÓN DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Tipo de peligro	Área (Km ²)	Porcentaje %
0° a 1°	0,04	0,08
1° a 5°	0,52	1,07
5° a 15°	7,53	15,45
15° a 25°	24,48	50,22
25° a 45°	16,18	33,19
>45°	0,00	0,00
total	48,75	100,00

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y EXPOSICIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA UTILIZANDO EL MÉTODO BIVARIANTE

En este capítulo se ha desarrollado el procedimiento utilizado para hacer el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa de los poblados de Pampamarca y Acobamba. En el que se hizo uso del método análisis estadístico bivalente.

Para este paso es necesario definir lo que se entiende por movimientos en masa, hipótesis de rotura, susceptibilidad y los factores determinantes en la ocurrencia de los movimientos en masa, y el paso previo a la descripción de la metodología seguida y sus resultados.

4.1.1. Movimientos en masa

Son procesos geológicos que involucran desplazamiento o remoción de masa rocosa producto de la fracturación y/o meteorización de los depósitos no cimentados por efectos de gravedad.

En campo se identificaron estos movimientos en masa utilizando la clasificación de Varnes (1978 y 1984), en donde se pudieron identificar los procesos activos y antiguos (varias reactivaciones), sin embargo al momento de hacer el análisis de distribución de movimientos en masa en las diferentes unidades de los mapas de factores usados para obtener la susceptibilidad, no se ha tenido en cuenta este punto, ya

que el criterio adoptado sugiere que un deslizamientos antiguo puede ser reactivado en cualquier momento por efectos de cambios climáticos o por alteración de su condición de estabilidad, como podría ser el realizar cortes en laderas para construir una carretera por ejemplo. (Vílchez, 2007).

La cartografía geomorfológica-geodinámica efectuada tuvo especial atención a las geoformas relacionados con procesos de movimientos en masa para el cual se interpretaron imágenes satelitales Landsat a escala 1:100 000.

Movimiento en masa no ha sido utilizado de manera genérica, debido a que se han reconocido movimientos en masa de tipo deslizamiento, derrumbes, flujos y procesos de erosión de laderas (cárcavas), las evidencias seguidas para la identificación de inestabilidad en laderas, así como las formas de depósitos relacionados a movimientos en masa son:

- La identificación de los depósitos de movimientos en masa de gran dimensión (deslizamiento, derrumbes y flujos) cartografiados a una escala de 1:25 000.
- Los deslizamientos antiguos y derrumbes recientes ocurridos en las áreas de estudio.
- Las erosiones de laderas (cárcavas) en las cabeceras y alrededores de los poblados de Pampamarca y Acobamba.
- Presencia de grietas de dimensiones menores a 1m. ubicadas en la parte superior derecha e izquierda y dentro del poblado de Pampamarca.

4.1.2. Hipótesis de rotura

El trabajo de campo nos permitió observar que los diferentes movimientos en masa identificados, no se producen de manera aleatoria; sino más bien estos presentan características geológicas (litología y fracturamiento), la pendiente y la vegetación de la zona a lo largo del río Marañón.

Los movimientos en masa son principalmente de tipo deslizamientos, derrumbes, flujos y erosión de laderas (cárcavas), los deslizamientos que se

identificaron al pie del poblado de Pampamarca son eventos producidos por el incremento del caudal del río Marañón los cuales se presentan en algunas partes de la ladera. Así mismo se observa un flujo que afectó algunas viviendas del poblado de Acobamba en donde los pobladores tuvieron que desalojar sus viviendas (03 viviendas) por motivos de seguridad el cual se ha detallado en el mapa de peligros geológicos (**Ver Anexo B - Mapa M-08**). Por otro lado la ocurrencia de movimientos en masa en zonas con presencia de suelos se debe a condiciones de presencia de agua (humedad en los suelos que al saturarse el agua aumenta su presión en poros y pierden estabilidad al ubicarse en terrenos con pendiente).

Así mismo la vegetación cumple la función de estabilizador del suelo, las raíces profundas proveen un sostenimiento de suelos que al introducirse al suelo y servir de anclaje contra el sustrato rocoso, por otro lado en zonas donde la cobertura vegetal es densa, sus principales hojas cumplen un papel amortiguador del golpe directo de las gotas de lluvia contra la superficie desnuda del suelo, reduciendo los efectos de erosión e infiltración de aguas. En el área de estudio se ha podido observar que en las zonas donde más se presentan movimientos en masa, la cobertura vegetal era de tipo pasturas en donde se realizaron labores agrícolas de trabajos de voleo del terreno para realizar los cultivos, en estas áreas se favorece la infiltración de agua y desestabiliza los terrenos.

La morfología que presenta el área de estudio también ejerce influencia directa en la aparición de movimientos en masa, la pendiente al aumentar también aumenta la tensión de corte en la superficie del suelo, favoreciendo la aparición de roturas en zonas inestables.

Con todo lo observado en el campo se propuso una hipótesis de trabajo de partida para los análisis de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa de las laderas. La hipótesis de trabajo plantea los siguientes enunciados:

- Las laderas están cubiertas por suelos de diferente naturaleza y permeabilidad, muy susceptible a la ocurrencia de movimientos en masa, los suelos de tipo arcillosos al saturarse de agua, se tornan plásticos pueden moverse y producir roturas, estos mismos suelos arcillosos al secarse se agrietan en superficie, estas grietas favorecen la infiltración y saturación de los suelos con agua.

- Las laderas con suelos areno-limosos presentan permeabilidad alta, estos suelos se sobresaturan rápido y son susceptibles a la generación de movimientos en masa. Son suelos o formaciones poco consolidadas o inconsolidados se alteran de forma más rápida que las rocas consolidadas.
- Las laderas que presentan afloramientos de rocas, los movimientos en masa que se producen están controladas por la presencia de familia de fracturas y la alternancia de rocas de diferente competencia.
- Se consideran como factores detonantes de los movimientos en masa en primer lugar, al agua de precipitaciones pluviales que forman escorrentía superficial, se infiltran y sobresaturan el suelo y el sustrato alterado, incrementan la presión de poros y favoreciendo las roturas; en segundo lugar la actividad sísmica, las aceleraciones sísmicas pueden desestabilizar masa de rocas ubicadas en sustratos rocosos fracturados y alterados; y por último se tiene a las modificaciones antrópicas que desestabilizan las laderas.

Así, teniendo en cuenta esta hipótesis en el análisis, las laderas que no presentan las condiciones antes descritas no deben presentarse susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa, así como tampoco se deberían de presentar ocurrencias de eventos.

4.1.3. Susceptibilidad

La susceptibilidad se define como el grado de propensión o posibilidad de que en una zona se genere o sea afectada por un proceso geológico, expresada en diversos grados cualitativos y relativos, esta susceptibilidad depende de los factores que controlan o condicionan los procesos, pudiendo ser de carácter intrínseco y externo. Los mapas constituyen el método más efectivo de representar información referente a la susceptibilidad, el peligro y riesgo de una zona o región, y son usados por planificadores, ingenieros, científicos y técnicos encargados de las labores de emergencia. Tiene por finalidad dividir el territorio en zonas o unidades con diferente grado de susceptibilidad, peligro o riesgo potencial (Ayala-Carcedo, 1992).

Una de las funciones claves de los mapas de susceptibilidad es indicar la zona donde se hace necesaria o conveniente la realización de estudios geotécnicos complementarios (Ayala-Carcedo, 1992).

A una escala regional la susceptibilidad a los movimientos en masa de la zona de Pampamarca y Acobamba es de muy alta (Zavala et. Al., 2006), condicionado principalmente por el tipo de roca, considerada de mala calidad geotécnica, la pendiente moderada de la ladera y la presencia de agua subterránea que satura los suelos y rocas. Los mapas de susceptibilidad pueden realizarse sobre la base de:

- Mapas de inventario: Reconociendo las áreas donde se producen los eventos, o han ocurrido, o pueden volver a ocurrir movimientos en masa.
- Mapas de factores: Se realiza identificando las áreas donde confluyen determinados factores que condicionan la ocurrencia de movimientos en masa de una determinada área o región, aunque estos no se hayan producido todavía, pueden ocurrir en el futuro. La metodología está basada en la presentación de mapas temáticos de factores condicionante, la superposición de los mismos, y de esta manera establecer el grado de susceptibilidad en función de los pesos asignados para cada uno de los factores, los mapas son superpuestos con la ayuda del Sistema de Información geográfica (SIG), que permite el análisis automático de los datos y el establecimiento de bases asociadas.

Los objetivos que persigue la elaboración del mapa de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa son:

- Ser una herramienta útil para los planificadores que facilite la toma de decisiones en una etapa preliminar, en cuanto a la factibilidad de realizar un proyecto o a la necesidad de profundizar el análisis geológico de un lugar.
- Estos mapas deben considerarse como una herramienta de planificación distinta a mostrar un grado específico de susceptibilidad para un área determinada.
- Definir y jerarquizar posibles zonas críticas que posteriormente deban ser analizadas con mayor detalle por medio de estudios más específicos.

Así mismo las limitaciones que tiene el mapa de susceptibilidad son las siguientes:

- Indican la posibilidad de ocurrencia, que deviene de la combinación de factores intrínsecos y condicionantes.
- Identifica áreas potenciales donde se pueden generar deslizamientos pero no la totalidad de zonas que se verían afectadas. Tampoco asegura que el evento vaya a ocurrir.
- No predice el periodo de tiempo durante el cual podría presentarse un evento.
- Es una herramienta de planificación y de toma de decisiones, pero no de diseño de obras. Para esto se requiere estudios y mapas a mayor detalle (1:10 000 a 1:5 000).
- La metodología utilizada está diseñada para un reconocimiento previo de las reas con posibles problemas por eventos. No puede sustituir en ningún caso al análisis geotécnico de campo.
- Revisiones posteriores del mapa utilizando información actualizada, posiblemente cambien los límites de las zonas identificadas. Por lo tanto, dichos límites debes considerados como referenciales y no como valores absolutos.

A) Susceptibilidad a los Movimientos en Masa

Susceptibilidad, es la propensión o tendencia de una zona a ser afectada por movimientos en masa por desestabilización o alcance, determinadas a través de una análisis comparativo de factores condicionantes y/o desencadenantes, cualitativo o cuantitativo, con las áreas movidas o alcanzadas. Análisis que se materializa normalmente en forma de mapa de susceptibilidad y suele superponer que el comportamiento futuro de la ladera seguirá las mismas pautas que hasta el presente (Ayala-Cacerda, 2002).

Los estudios relacionados a la evaluación de los peligros geológicos por movimientos en masa, están encaminados, principalmente a la planificación del desarrollo regional del territorio, por consiguiente las zonificaciones geotécnicas y de

peligros geológicos se constituyen en herramientas valiosas y necesarias para la prevención y mitigación de los desastres y la planificación territorial.

El objetivo final, de una zonificación por movimientos en masa, es poder representar las zonas donde ocurren o pueden ocurrir estos eventos, con consecuencias desastrosas que produzcan pérdidas de vidas, materiales y económicas que entorpezcan las actividades socio-económicas de las áreas involucradas.

Para evaluar la susceptibilidad de los terrenos a los movimientos en masa en las zonas de Pampamarca y Acobamba, se ha tomado en cuenta como base inicial la Base de Datos Georreferenciada incluida en el “Mapa de Riesgos Fisiográficos y Climáticos” (INGEMMET, 1998), y reportes de emergencia del INDECI, la cual se depuro y se precedió a su verificación y actualización durante los trabajos de campo. También se utilizó la información bibliográfica disponible (boletines), de esta manera se obtuvieron 67 ocurrencias puntuales de peligros geológicos (movimientos en masa). Cada ocurrencia con una ficha de registro llamada **“Fichas de Inventario de Peligros Geológicos” (Ver Anexo A)**, elaborado por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgos Geológicos del INGEMMET, de esta manera se obtuvo una idea clara del comportamiento del terreno, se pudo observar los tipos de roca, grado de fracturamiento, tipo de cobertura vegetal, tipos de suelos, pendiente, geomorfología, etc., que nos ayudaron en la evaluación de la susceptibilidad.

B) Variables o Factores Utilizados en el Análisis y Método Empleado

Existen diferentes técnicas para evaluar la susceptibilidad de un territorio a los movimientos en masa, con la finalidad de generar mapas que reflejen la distribución espacial tanto de los movimientos existentes como de las áreas con peligro potencial. Estas metodologías van desde los mapas con base geomorfológica (inventario de eventos), basados en la susceptibilidad relativa (combinación de factores que estiman la susceptibilidad relativa según una ponderación o peso definido por la experiencia del autor, para cada factor considerado); mediante técnicas de tratamiento de datos (métodos estadísticos y probabilísticos) y mapas obtenidos de datos instrumentales (Corominas, 1987).

Los diferentes métodos están agrupados dentro de cuatro grandes grupos principales: determinísticos, heurísticos, probabilísticos y geomorfológicos.

Para la elaboración del presente trabajo, a escala 1:25 000, se utilizó el método estadístico bivalente, que es una aproximación a cuantitativa para estimar la posibilidad de ocurrencia de movimientos en masa en diferentes zonas de una región dada.

El procedimiento de análisis parte de una serie de información inicial básica de distinto tipo, la cual se obtiene de diferentes fuentes, cuya confiabilidad debe verificarse (Vargas, 1994 y 1995). Esta información se analiza y transforma a mapas temáticos en formatos digitales que pueden ser utilizados en un SIG. El análisis espacial de la susceptibilidad tiene siempre un soporte cartográfico, de modo que la elaboración de los mapas y modelos necesarios y la gestión de estos desde un Sistema de Información Geográfica (SIG) con la parte metodológica fundamental y previa al análisis espacial propiamente dicho (Van Westen et al., 1997).

Estos mapas índices que constituyen los factores o parámetros de análisis, se ponderan, por comparación estadística, con la densidad de movimientos en masa para obtener el mapa de susceptibilidad a los fenómenos por movimientos en masa. Por medio de este análisis estadístico de densidad de movimientos en masa, presentes en cada unidad diferenciada dentro de cada uno de los mapas de factores, se reduce el factor subjetivo que se tiene cuando el experto adjudica los puntajes o pesos a los mapas de factores que intervienen en el análisis de susceptibilidad.

La ocurrencia de movimientos en masa está regida por la interacción de diversos factores propios de la ladera y de su entorno, como son las condiciones geomorfológicas, geológico estructurales, climatológicos y biológicos.

Según el alcance y la escala de trabajo utilizada, los parámetros más importantes considerados en la evaluación y zonificación de la susceptibilidad a los movimientos en masa (deslizamientos, derrumbes y flujos) en las zonas de Pampamarca y Acobamaba fueron:

a) Litología

Considerado una variable importante y de influencia directa en la generación de movimientos en masa, la información geológica evaluada se obtuvo a partir del mapa litológico a escala 1:25 000 elaborados en los trabajos de campo en donde se realizó la fotointerpretación y revisiones para definir contactos litológicos.

Al mapa litológico se le han sobrepuesto los diferentes tipos de depósitos superficiales y luego se separan o agrupan, las clases de rocas, en base a su composición litológica, características de meteorización, discontinuidades, humedad, etc.

Se ha realizado un análisis de las propiedades de las formaciones geológicas y depósitos superficiales, como el tipo de composición de la roca, origen y tipo de material superficial, fracturamiento, grado de meteorización y presencia de agua. Este análisis busca describir sus características a los procesos erosivos y movimientos en masa.

De esta agrupación de roca, resulta el mapa litológico, considerado como mapa índice (**Ver Anexo B - Mapa M-04**), el cual será usado en el SIG para el análisis de la susceptibilidad.

Los principales grupos de suelos y rocas se han agrupado en dos grandes unidades depósitos inconsolidados (I) y unidades del substrato rocoso (VI).

CUADRO 17

VARIABLES LITOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Grupo		Unidades Litológicas	Breve descripción
Depósitos Inconsolidados (I)	(I1)	Deposito Proluvial	Depósitos no consolidados producto de la meteorización, erosión y posterior acumulación.
	(I2)	Deposito Fluvio-Aluvial	
	(I3)	Deposito Coluvial-Deluvial	
	(I4)	Deposito Coluvial	
Unidades del substrato rocoso (VI)	(VI1)	Complejo del Marañón	Rocas metamórficas de bajo grado (pizarras, esquistos y filitas)

Fuente: Elaboración propia.

b) Geomorfología

Para el área de estudio de los poblados de Pampamarca y Acobamba, la forma del terreno tiene incidencia directa en la estabilidad de las laderas. Se han identificado las formas del terreno de acuerdo con su origen, tipo de roca asociado y las estructuras, para predecir la estabilidad y comportamiento frente a procesos erosivos (Van Zuidman, 1985).

Las unidades geomorfológicas diferenciadas se describen en el capítulo 3, este se elaboró utilizando imágenes satelitales Landsat y mapas topográficos a escala 1:25 000 con su respectiva comprobación en campo. **(Ver Anexo B - Mapa M-05).**

c) Litohidrogeología

Para el área de estudio de los poblados de Pampamarca y Acobamba, se han identificado tres unidades hidrogeológicas que se describen en el capítulo 3 **(Ver Anexo B - Mapa M-06).**

CUADRO 18

VARIABLES LITOHIDROGEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Unidades Litohidrogeológica	Clasificación Litohidrogeológica	Litología	Descripción Litohidrogeológica
<i>Depósitos Cuaternarios (suelos)</i>			
Acuífero	Poros no consolidados	Depósitos Aluviales (gravas, arenas mal seleccionadas en matriz areno limoso).	Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que permite que circule a través de ella con facilidad.
<i>Rocas</i>			
Acuífero	Consolidado	Pizarras, esquistos y filitas (Complejo del Marañón) Rocas compactas	Formación geológica con capacidad de almacenamiento de aguas subterráneas pero de baja transmisibilidad.
Acuitardo	Fisuras y/o Fracturas moderadas	Pizarras, esquistos y filitas (Complejo del Marañón) Rocas compactas con alteración y/o fracturación moderada.	Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable pero que el agua circula a través de ella con dificultad.

Fuente: Elaboración propia.

d) Cobertura Vegetal

El tipo, la densidad, la capacidad de interceptación, el área de protección de cobertura vegetal constituye un factor de resistencia o favorecimiento de procesos morfodinámicos como la erosión y los movimientos en masa, en áreas de alta pendiente y de coberturas vegetales de ciclos biológicos muy lentos y frágiles, toda intervención de estas hace que aumente la susceptibilidad (Sánchez et al., 2002).

La cobertura vegetal es un factor de protección contra la erosión porque protege el suelo de la erosión pluvial, aumentando la evapotranspiración y la infiltración, disminuye la escorrentía. Debajo de cualquier tipo de vegetación una parte del agua de lluvia (que depende esencialmente de la intensidad de las mismas) no llega al suelo por ser interceptada por el follaje y evaporada directamente. Parte importante del agua que llega hasta el suelo se infiltra (acción positiva de la cobertura y de la estructura del suelo bajo vegetación), de tal manera que la cantidad de aguas de lluvias que se escurre es menor en terreno de cobertura vegetal que en terrenos desprotegidos (Lecarpentier et al., 1977).

Se puede decir entonces que la vegetación cumple una función de estabilización del suelo, las plantas con raíces profundas proveen en sostenimiento de suelos, al introducirse en el suelo y servir de anclaje contra el substrato rocoso.

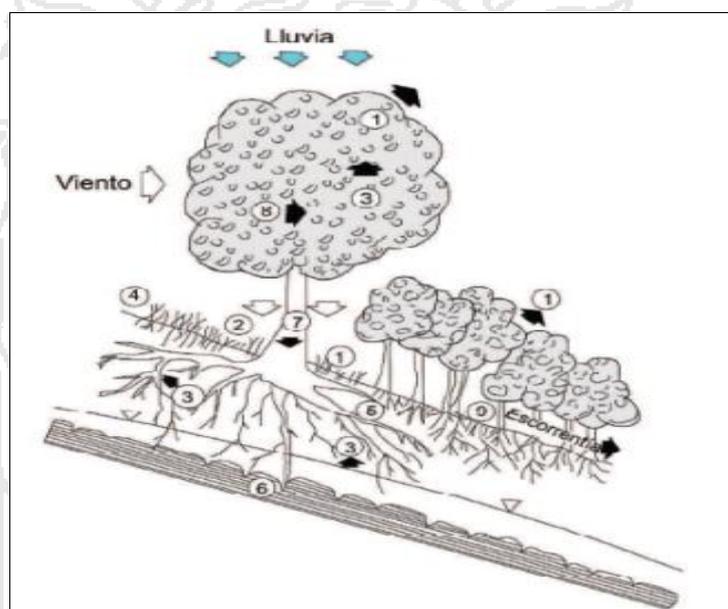
Pero todos los tipo de vegetación no ofrecen la misma protección, la cual disminuye en relación con la densidad de cubrimiento vegetal. En climas muy húmedos, la vegetación, aunque densa, no puede contrarrestar la erosión, especialmente los movimientos en masa, al contrario, parece que hasta favorece este fenómeno porque aumenta la infiltración, la cual origina derrumbes y deslizamientos que actúan al mismo tiempo que la erosión por escurrimiento difuso. Los ríos que salen de cuencas totalmente bajo bosque primario a menudo acarrear gran cantidad de sedimentos finos que enturbian las aguas, por estas causas (Lecarpentier et al., 1977).

Trabajos publicados por varios autores tratan el tema del papel que desempeña la cobertura vegetal en la estabilización de las laderas (Yin et al., 1 988) concluyó en base a trabajos realizados en Hong Kong, que las raíces de los arboles proporcionaron una

resistencia efectiva contra fallas superficiales sin embargo en otros casos las raíces de las plantas jugaron un papel adverso en la estabilidad de laderas, ya que ellas se desarrollan a través de planos de foliación de rocas o fracturas y rompen la roca, facilitando el ingreso de agua en las grietas, por otro lado si el árbol mueve raíces de pudren y dejan huecos por donde también se facilita la filtración de agua (Ver figura siguiente).

FIGURA 14

INTERACCIÓN LADERA-VEGETACIÓN, E INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD
(YIN ET AL., 1988)



Es así que Sancio (1996) dice que las raíces no tienen acción estabilizante en un deslizamiento activo, ya que al estar por encima del plano de falla, estas no tienen efecto alguno y cruzan el plano de falla estas son cortadas, con lo que muere el árbol y todos sus efectos beneficiosos.

TABLA 2
INFLUENCIA DE LA VEGETACIÓN EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES (YIN
ET. AL., 1988)

Mecanismos Hidrológicos	Influencia
1) Follaje intercepta lluvia, causando perdida por absorción y evaporación que reduce la infiltración de las aguas	Beneficioso
2) Las raíces y troncos aumentan la rugosidad de la superficie y la permeabilidad del suelo, aumentando la capacidad de infiltración.	Adversa
3) Las raíces extraen la humedad del suelo, la cual se pierde en la atmosfera por transpiración, conduciendo a menores presiones de poro.	Beneficiosa
4) Disminución de la humedad del suelo puede acentuar la desecación y agrietamiento del suelo, resultando en una mayor capacidad de infiltración.	Adversa
5) Las raíces refuerzan el suelo, aumentando su resistencia al corte.	Beneficiosa
6) Las raíces pueden anclar el suelo dentro de un estrato firme, suministrando soporte al manto del suelo a través de un efecto de berma y de arco.	Beneficiosa
7) El peso de los arboles sobrecarga el talud, aumentando los componentes normales y la fuerza en el sentido de la ladera.	Adversa/Beneficiosa
8) La vegetación expuesta al viento, transmite fuerza dinámica de la ladera.	Adversa
9) Las raíces unen las partículas de suelo a la superficie del terreno, reduciendo su susceptibilidad a la erosión.	

Las unidades de cobertura vegetal, teniendo muy presente su influencia beneficiosa ha sido a partir del mapa topográfico a escala 1:25 000, el cual se ha contemplado y realizado algunas modificaciones, por medio de la interpretación de fotos aéreas, imágenes satelitales y trabajos de campo, estas unidades se describen en el Capítulo 3 (**Ver Anexo B - Mapa M-07**).

e) PENDIENTES

La pendiente de los terrenos se constituye en uno de los principales factores dinámicos y particularmente de los movimientos en masa, ya que determina la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable (Sánchez et al., 2002).

La pendiente como factor condicionante es un parámetro importante en la evaluación de todo tipo de movimiento en masa, por ello, diversos autores consideran a

esta variable como fundamental en el análisis de susceptibilidad (Aguilar & Mendoza, 2002; Mora y Vahrson, 1993; Terlien & Van Westen, 1995).

La erosión aumenta con la pendiente porque en relación directa con ellas aumenta también el papel de la gravedad y consecuentemente el número de movimientos en masa (Lencarpentier et al., 1978).

Respecto a la relación pendiente versus movimiento en masa, existen algunas divergencias en su análisis. En general, la relación entre pendiente y movimiento en masa no es apropiada generalizarla para todos los ambientes climáticos. Diversos autores coinciden en que pendientes bajas y altas o muy altas son menos susceptibles a los movimientos en masa.

Ocurre que cuanto mayor sea la pendiente, mayor debería ser la susceptibilidad a la rotura de la formación superficial. Sin embargo, se observa que a partir de los 45° ocurre lo contrario y la pendiente de la ladera es demasiado empinada para retener la formación superficial. Por esta razón a pendiente elevadas solo aflora el substrato rocoso y la posibilidad de aparición de roturas se reduce drásticamente (Ayala-Carcedo, 2002).

Desmore y Hovius (2000), revelan una alta frecuencia de pendientes naturales superiores a 40° , sin movimientos en masa, en áreas en las cuales ocurrieron movimientos en masa disparados por lluvias y sismos, lo cual significa que sobre estas pendientes son menos frecuentes los movimientos en masa. (Thomas, 1994), reseña de diversos estudios en Estados Unidos y Japón, que aportan la relación entre movimientos en masa y pendientes, reporta que en taludes menores o iguales a 20° , son aparentemente estables pero no pueden ser considerados 100% seguros durante eventos extremos; taludes entre 26° y 28° se caracterizan por su gran inestabilidad; entre 38° y 50° , son propios (en Puerto Rico), para eventos de reflujos de escombros. En Japón son comunes en el rango de 35° - 50° .

En el presente trabajo se adoptó la siguiente clasificación de los rangos de pendientes (**Ver Anexo - Mapa M-09**).

CUADRO 19

CLASIFICACIÓN DE LOS RANGOS DE PENDIENTES

Pendiente	Clase	Valor	Susceptibilidad
0° a 1°	Muy llanos	1	Muy baja a nula
1° a 5°	Suave	1	Baja
5° a 15°	Moderada	3	Media
15° a 25°	Fuerte	5	Muy Alta
25° a 45°	Muy Fuerte	4	Alta
>45°	Muy Escarpado	2	Baja

Fuente: INGEMMET.

4.1.4. Metodología

La evaluación de los peligros por movimientos en masa se realiza a través de dos pasos. El primero corresponde para a la evaluación de la susceptibilidad del terreno a que fallen los taludes o laderas y por condiciones o parámetros bajo los cuales el fenómeno ocurre. El segundo paso consiste en la determinación de la probabilidad de que un evento ocurra y el cálculo del periodo de retorno para tal evento, por ejemplo las lluvias intensas o sismos. De acuerdo con Van Westen, Aleotti y Chowdhury (Concha et al., 2007).

Para el caso de los movimientos en masa, esto es más complicado que para otros desastres naturales debido a la carencia de base de datos temporales de deslizamientos o registros históricos, así como también debido al limitado acceso y alto costo que significa la obtención de datos pluviométrico de la región, aunado a la escasez de una buena red de estaciones meteorológicas que brindan una buena cobertura.

Por tanto nuestro estudio se limitó en el análisis de la susceptibilidad a los movimientos en masa y esta se basa en las siguientes asunciones:

- El principio del actualismo (Hutton, 1776) que nos dice “los fenómenos de inestabilidad en un futuro más o menos próximo están relacionados con las situaciones geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas de las inestabilidades presentes o pasadas” (Irigaray y Chacón, 2002), en otras palabras un movimientos en masa siempre ocurrirá en las mismas condiciones geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas y de condiciones climáticas como en el pasado.

- Las condiciones primarias que causan los movimientos en masa son controladas por factores físicos identificables.
- Las condiciones y procesos subyacentes que causan los movimientos en masa son comprendidos.
- La importancia relativa de las condiciones y procesos que contribuyen a la ocurrencia de los movimientos en masa puede ser determinantes y se puede asignar a cada cual alguna medida que refleja su contribución (Varnes, 1985).

Considerando todas estas asunciones es que se optó por un análisis cuantitativo, objetivo y reproducible por medio del método estadístico bivariante en cual permite la identificación objetiva de zonas con condiciones potenciales que se produzcan movimientos en masa.

El método estadístico bivariante es un método estadístico que relaciona mapas de parámetros y densidad de deslizamientos. Para nuestro análisis estadístico bivariante, se tiene como variable independiente el mapa de inventario de movimientos en masa, con este método se determina el peso o fragilidad de cada unidad de terreno (diferenciada en cada uno de los mapas de factores que intervienen en el análisis) tienen una tendencia hacia la generación de fenómenos de movimientos en masa.

En donde los datos de entrada son determinantes en el análisis de susceptibilidad, sin buenos datos es muy complicado hacer un análisis de buena calidad (Hermanns et al., 2007) así como se mencionó en la parte de arriba, las características principales de los procesos consideradas para el modelamiento en el SIG son básicamente la litología, la geomorfología, las pendientes, cobertura vegetal y la hidrogeología, las que han tenido que elaborar.

En este caso se utilizó el sistema de información geográfica ARCGIS 10.1 para realizar las funciones de captura, conversión de datos y cruce de coberturas (capas de información temática) en método consistió en cuatro etapas:

- 1) Digitalización de las diferentes coberturas o mapas que se utilizó durante el análisis (mapa litológico, pendientes, geomorfológico, cobertura vegetal, mapa litohidrogeológico e inventario de movimientos en masa) se realizara la

estructuración de información temática base, este proceso de edición de coberturas consistió en la digitalización de los mapas base y temáticos, mediante el uso del módulo *Editor* de ARCGIS 10.1, las coberturas se digitalizaron a escala 1:25 000. Estos mapas están representados por listas de atributos donde se describe cada campo, donde se le asignó una abreviación y se le da una descripción.

- 2) Generación del mapa de pendientes, este puede desarrollarse de varias maneras, en nuestro caso contamos con un mapa topográfico a escala 1:25 000 con equidistancias de curvas de cada 50m. el mapa de pendientes se generó a partir de este mapa topográfico utilizando la herramienta Spatial Analysis de ARCGIS 10.1.
- 3) Análisis digital estadístico que permite determinar cuantitativamente el “peso” o relación de cada unidad o clase diferenciada en los mapas, en relación con cada tipo de movimientos en masa.
- 4) Obtención de mapas digitales de susceptibilidad para cada tipo de movimientos en masa a partir de los cuales se obtiene finalmente, por sumatoria, la susceptibilidad total del área de estudio.

En cuanto al análisis estadístico el método de zonificación de la susceptibilidad se basa principalmente en identificar y determinar cuantitativamente el grado de influencia de cada variable o factor intrínseco que tiene en la generación de los fenómenos de movimientos en masa cartografiados (Ojeda et al., 2001).

El peso o el grado de influencia que tiene cada factor intrínseco del terreno en la generación de movimientos en masa debe de ser determinado, de las investigaciones y revisiones de trabajos en los cuales se ha hecho uso del método bivalente para la obtención de mapas de susceptibilidad, nos ha permitido identificar varias metodologías para obtener estos pesos, así se tiene:

Concha et al., (2007) usa el método del índice de deslizamiento, se basan en el cálculo de valores de pesos en el nivel de pixel, en la relación entre la densidad de movimientos en masa por clase de parámetros comparando con la densidad de movimientos en masa sobre toda el área. (Concha et al., 2007, Van Westen, 1994, Cevik

and Topal, 2003, Süzen and Doyuran, 2003) utilizan para el cálculo de valores de peso la formula siguiente:

$$W_i = \frac{Densclass}{Densmap} = \ln \frac{\frac{Npix(S_i)}{Npix(N_i)}}{\frac{\sum Npix(S_i)}{\sum Npix(N_i)}} \quad (1)$$

Dónde:

W_i = La ponderación dada a una cierta clase de parámetros (p.e. un tipo de roca, o un tipo de pendiente).

$Densclass$ = Es la densidad de deslizamiento dentro de la clase de parámetro.

$Densmap$ = Es la densidad de deslizamiento para todo el área de estudio.

$Npix(S_i)$ = Es el número de pixeles, de los cuales contienen los deslizamientos dentro de una cierta clase de parámetros.

$Npix(N_i)$ = Es el número total de pixeles dentro de una cierta clase de parámetro.

El logaritmo natural es usado para dar un peso negativo cuando el grado de deslizamiento es más bajo de lo normal, y positivo cuando sea más alto de lo normal.

De los valores de pesos calculados, se genera el mapa final, donde el valor del pixel resultante (W_t), es la sumatoria de los valores de esos para cada parámetro.

$$W_t = \sum W_i \quad (2)$$

Donde W_i es el valor ponderado del parámetro de clase por i . El mapa final que se obtiene es dividido en categoría de susceptibilidad. El método bivariante está basado así en la frecuencia de deslizamientos dentro de una parámetro de clase, por lo tanto, las frecuencias más grandes, se definirá el valor de peso final (W_t) más grande también y la clase de susceptibilidad más alta debería mostrar una correlación buena para un numero grande deslizamientos.

Por otro lado Ojeda y Castro (2001) nos dicen que el peso o grado de influencia que cada factor interno del terreno tiene sobre la generación de los deslizamientos se determina calculando la sumatoria de las áreas de cada tipo de movimiento en masa que encuentre dentro

de las áreas que abarca cada una de las Unidades Cartográficas de Parámetro (UCP), unidades diferenciadas en cada uno de los mapas utilizados en el análisis.

La fórmula que utilizan estos autores es la siguiente:

$$W\% = DZX * 100/S \quad (3)$$

Dónde:

W = Peso o susceptibilidad de la unidad cartográfica de parámetros respecto al movimiento en masa analizado.

DZX = Es la superficie acumulada de movimiento en masa de tipo X (puede ser una deslizamiento, derrumbe, flujo, etc.) en Km^2 o ha, que sobre la unidad cartografía de parámetros.

S = Es la superficie total acumulada de la unidad cartográfica de parámetro en Km^2 o ha.

Para utilizar este método de análisis, se tiene que comparar cada uno de los mapas de factores con cada uno de los tipos de movimientos en masa definidos en el mapa de densidad de procesos o de tipo de fenómenos de movimientos en masa (mapa de cartografiado de movimientos en masa).

Este cruce de mapas tiene su fundamento en que el tipo de rotura en una UCP en diferente para cada tipo de fenómeno, esta forma se determina el peso o susceptibilidad “ w ” de cada UCP por cada tipo de movimiento.

Una vez establecida esta relación de pesos para los diferentes mapas, se reclasifican los valores iniciales de las UCP en rangos de susceptibilidad. Los mapas de susceptibilidad del terreno según tipo de movimiento en masa de los mapas de susceptibilidad para cada tipo movimiento, obtenidos para cada uno de los cuatro factores condicionantes analizados, estos nuevamente reclasifican en categorías de susceptibilidad.

El mapa final de susceptibilidad, donde se involucra a todos los movimientos en masa, se obtiene también por medio de la suma de los mapas de susceptibilidad,

obtenidos para cada tipo de proceso, este mapa final indica el grado de susceptibilidad a la ocurrencia de todos los tipo de movimientos en masa considerandos en el análisis.

Este análisis, a diferencia del método anterior no se realiza con los mapas en forma de raster (pixel), sino con los mapas en formatos de vector (polígonos), donde los valores de susceptibilidad para cada parámetro según el tipo de movimiento es ingresado en la Cuadro de atributos, para luego ser coloreado según cada uno de estos campos. Los mapas de susceptibilidad para cada de fenómeno, así como el mapa de susceptibilidad total es obtenido mediante la suma de todos los mapas por medio del cruce de coberturas temáticas en una cobertura total, por medio de la herramienta *UNIÓN* de *ARCGIS*.

Por último la metodología usada por Hermanns et al., (2007), donde plantea que el peso (W_i) para cada una de las unidades de atributo diferenciadas en los mapas de factores o parámetros que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa, se obtiene dividiendo el porcentaje del área total que ocupa un determinado tipo de movimiento (p.e deslizamiento) en una unidad de atributo de parámetro evaluado (p.e. un tipo de roca en el mapa litológico) entre el porcentaje del área total de la misma unidad de atributo del parámetro evaluado, así se tiene la formula N° 4 siguiente:

$$W_i = \frac{\% \text{ del area total ocupada por un determinado tipo de movimiento en una unidad de atributo del parametro evaluado.}}{\% \text{ del area total de la unidad de atributo del parametro donde se encuentra el movimiento evaluado.}}$$

(4)

Dónde:

W_i : es el peso de cada unidad de atributo.

Esta fórmula nos proporcionara la razón o proporción que utilizara para comprobar si hay o no hay control de cada uno en los parámetros evaluados. Estos valores o razones son utilizados para reclasificar los mapas de factores que interviene en el análisis en grados de susceptibilidad.

A diferencia del método usado por Ojeda y Castro (2001), que reclasifica los valores de pesos obtenidos para cada unidad de atributos mediante un análisis estadístico de dispersión, donde todos los datos se ajustan a una curva de distribución normal obteniéndose así las categorías de susceptibilidad y los mapas de susceptibilidad se obtiene por simple adición de los mapas de susceptibilidad obtenidos para cada tipo de proceso, Hermans et al., (2007), propone la asignación de pesos en % en las capas de acuerdo a la importancia que es estimada por un especialista (experto en movimientos en masa), introduciéndose de nuevo el factor subjetivo en la calificación, esta asignación de pesos dependerá de la experiencia y conocimiento de la zona por parte de experto. El mapa de susceptibilidad final será obtenido sumando los productos del peso en % asignado a cada mapa (Litológico, Pendiente, etc.) que intervienen el análisis por el valor de susceptibilidad otorgado a cada unidad cartográfica de terreno dentro de cada mapa.

Las metodologías utilizadas son variadas, es por eso que para nuestro análisis de susceptibilidad por medio del Método Bivariante, utilizamos una combinación de las metodologías seguidas por Hermans et al., (2007) donde utilizamos la relación propuesta para obtener los pesos de las unidades cartográficas de terreno y la de Ojeda y Castro (2001) donde aplicamos la metodología propuesta para reclasificar los pesos en términos de susceptibilidad y los pasos seguidos para obtener el mapa de susceptibilidad total a los movimientos en masa, la **figura 15** (diagrama de flujo de la metodología seguida).

Así en nuestro análisis estadístico para poder determinar cuantitativamente el grado de influencia de cada variable o factor intrínseco en la generación de movimientos en masa, utilizamos la fórmula N^a 4, siendo necesario obtener las áreas ocupadas por cada tipo de movimiento en masa en cada unidad cartográfica de terreno. En otras palabras para poder aplicar este método de análisis, se contrasta cada uno de los mapas factores con cada uno de los tipos de movimientos de masa definidas en el mapa de cartografiado de movimientos en masa.

Para zonificar la susceptibilidad del terreno a los movimientos en masa dentro de SIG, se realizaron los siguientes pasos:

PASO N° 01: Cruce de coberturas temáticas con cobertura de fenómenos de movimientos en masa para calcular áreas.

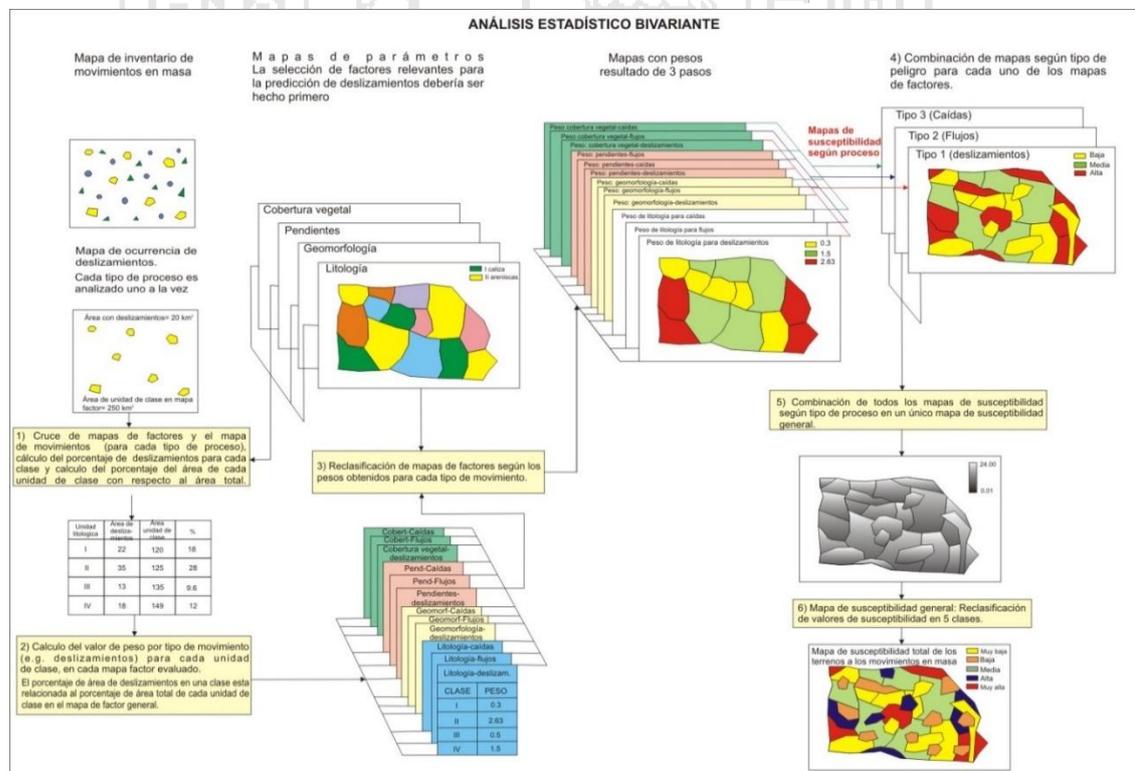
Cada uno de las capas de vectores que contienen los diferentes tipos de movimientos en masa evaluados, se cruzó con cada una de las coberturas de parámetros intrínsecos, como LITOLOGÍA, PENDIENTES, GEOMORFOLOGÍA, COBERTURA VEGETAL E LITOHIDROGEOLOGÍA. Los movimientos en masa evaluados se presentan en el siguiente Cuadro:

CUADRO 20
TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA EVALUADOS

TIPO	MOVIMIENTOS EN MASA
Tipo 1	Deslizamiento
Tipo 2	Flujo
Tipo 3	Derrumbe

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 15
DIAGRAMA DE LA METODOLOGÍA UTILIZADA PARA OBTENER EL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA UTILIZANDO EL MÉTODO BIVARIANTE



Fuente: Mapas de Susceptibilidad a los Movimiento de ladera con Técnica SIG – Ayala Corcedo.

A) Litología Vs Movimientos en Masa

Se realizó una operación de intersección (INTERSECT) entre cada uno de los tipos de movimientos en masa con la capa de litología. El cual nos permite obtener la litología particular de cada tipo de movimientos en masa. Una vez obtenida estas áreas de litología, se calcula el porcentaje (con respecto al área total del Intersect) de los diferentes tipos de litología de los movimientos en masa. A la misma vez que se ha repetido este procedimiento calculando los porcentajes de área de las diferentes litologías comparadas con el área total de la litología.

De esta manera se ha llevado a cabo un Análisis Estadístico Bivariante comparando y dividiendo los porcentajes de las diferentes unidades de la litología particular de las áreas de movimientos en masa (Intersect de deslizamientos con litología) dividido por los porcentajes de los diferentes tipos de litología.

Esta comparación nos da proporciones que indican si hay o no control litológico para los diferentes movimientos en masa. Para realizar este análisis se utilizó los siguientes pasos:

Se ha hecho operaciones de INTERSECT entre capas en ARCGIS, utilizando ARCTOOLBOX, ANÁLISIS TOOLS, OVERLAY, se selecciona INTERSECT, en el submenú que aparece se seleccionan las capas de entrada INPUT FEACTURES, en este caso las capas que se van a Intersectar, se escoge primero la capa que define el área de Intersectar y segundo la capa que contiene la información a intersectar.

Se elige el nombre y la ubicación del archivo de salida a OUTPUT FEATURE CLASS, de esta manera obtenemos las capas que contienen las áreas de los diferentes tipos de movimientos en masa según la litología la cual nos servirá para nuestros cálculos de pesos.

Las capas intersectadas y resultantes fueron las siguientes:

INTERSECCIÓN deslizamiento y litológico=Lito_Pam_Inter

INTERSECCIÓN flujo y litología=Lito_pam_Inter

INTERSECCIÓN derrumbe y litología=Lito_pam_Inter

B) Pendientes Vs Movimientos en Masa

De igual manera que en el anterior procedimiento, se realiza el cruce de la cobertura de pendientes (PEND) y cada uno de los movimientos en masa, mediante el comando INTERSECT de ARCGIS.

Las capas intersectadas y resultantes fueron las siguientes:

INTERSECCIÓN deslizamiento y Pend=Pend_pam_Inter

INTERSECCIÓN flujo y Pend=Pend_pam_Inter

INTERSECCIÓN derrumbe y Pend=Pend_pam_inter

C) Geomorfología Vs Movimientos en Masa

Se realiza el cruce éntrelas unidades geomorfológicas (GEOM) y cada uno de los movimientos en masa, mediante el comando INTERSECT DE ARCGIS.

Las capas intersectadas y resultantes fueron las siguientes:

INTERSECCIÓN deslizamiento y geom=Geom_pam_inter

INTERSECCIÓN flujo y geom=Geom_pam_inter

INTERSECCIÓN derrumbe y geom=Geom_pam_inter

D) Cobertura Vegetal Vs Movimientos de Masa

Se realizó el cruce entre la capa de cobertura vegetal (VEGE) y cada uno de los movimientos en masa, mediante el comando INTERSEC de ARCGIS.

Las capas intersectadas y resultantes fueron las siguientes:

INTERSECCIÓN deslizamiento y vege=Vege_pam_inter

INTERSECCIÓN flujo y vege=Vege_pam_inter

INTERSECCIÓN derrumbe y vege=Vege_pam_inter

E) Litohidrogeología Vs Movimientos en Masa

Por último se realizó el cruce entre capas de la hidrogeología (HIDRO) y cada uno de los movimientos en masa, mediante el comando INTERSECT de ARCGIS.

INTERSECCIÓN deslizamiento y litohidro=Litohidro_pam_inter

INTERSECCIÓN flujo y litohidro=Litohidro_pam_inter

INTERSECCIÓN derrumbe y litohidro=Litohidro_pam_inter

Con este comando para todas las capas intersectadas obtenemos como resultado capas que contienen información de los movimientos en masa y las capas utilizadas en el análisis (Litología, Pendientes, Geomorfología, Cobertura vegetal y Litohidrogeología)

PASO N° 02: Procesamiento Estadístico de los Resultados del Cruce

Se evaluó cada uno de las coberturas producto del cruce del paso anterior, que contiene información de las unidades cartográficas del terreno como de los movimientos en masa superpuestas con estas. Este proceso se realiza una vez obtenidas las capas del INTERSECT, se calcula las áreas para cada tipo de movimientos en masa y las áreas de cada una de las unidades cartográficas de terreno de cada mapa de factores, en la Cuadro de atributos se crea un nuevo campo con nombre "Área", donde se calculan las áreas de cada uno de los polígonos resultantes de la intersección por medio de FIELD CALCULATOR, utilizando la fórmula de ARCGIS para obtención de áreas.

Una vez obtenidos por separado las áreas de cada tipo de movimiento en cada una de las unidades cartográficas de cada mapa de factor intrínseco, necesitamos calcular el área acumulada de cada tipo de movimientos en una determinada unidad cartográfica de terreno, para cada uno de los cinco mapas de entrada (el área acumulada de deslizamientos que se encuentran dentro de la litología con cada una de sus unidades litológicas dentro del mapa litológico y para todos los demás tipos de movimientos evaluados).

Este procesos se hace utilizando la herramienta ARCTOOLBOX, ANALISYS TOOLS, ESTADISTICS, FRECUENCY, que nos permite calcular las áreas totales de cada unidad temática y de la superficie acumulada de movimientos por unidad temática, esta información se compila en una base de datos, para nuestro caso se usó el software EXCEL (**Cuadros 21, 22, 23, 24 y 25**).



CUADRO 21
DISTRIBUCIÓN CALCULO ESTADÍSTICO DEL PESO O SUSCEPTIBILIDAD DE LAS UNIDADES LITOLÓGICAS A LOS MOVIMIENTOS EN MASA

1	2	3	4	Superficie acumulada de procesos (Km ²) en cada unidad			% de procesos en cada unidad			susceptibilidad o peso de las unidades litológicas a los movimientos en masa		
				5	6	7	8	9	10	11=(8/4)	12=(9/4)	13=(10/4)
Código	Unidad	Área total por unidad (Km ²)	% de Área por unidad	Tipo 1 (deslizamiento)	Tipo 2 (flujo)	Tipo 3 (derrumbe)	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
I1	Q-pr	0.170651	0.35005459	0.005039	0.10148100	0	0.13347429	32.0930144	0	0.38129563	91.6800275	0
I2	Q-fa	0.22188	0.4551401	0.038554	0.02823700	0	1.02122795	8.92985336	0	2.24376617	19.6200103	0
I3	Q-cd	16.536708	33.9215741	1.708924	0.09028600	0.035768	45.2664042	28.5526345	53.0304827	1.33444292	0.84172493	1.56332612
I4	Q-cd	2.844773	5.83545274	0.458971	0.02298500	0.000489	12.1573381	7.26892656	0.72500297	2.08335816	1.24564912	0.12424108
VII	PE-cm	28.975813	59.4377785	1.563771	0.07322	0.031191	41.4215554	23.1555712	46.2445143	0.69688936	0.38957666	0.77803235
		48.749825	100	3.775259	0.31620900	0.067448	100	100	100			

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 22

CÁLCULO ESTADÍSTICO DEL PESO O SUSCEPTIBILIDAD DE LOS VALORES DE PENDIENTES A LOS MOVIMIENTOS EN MASA

1	2	3	4	Superficie acumulada de procesos (km ²) en cada unidad			% de procesos en cada unidad			Susceptibilidad o peso de las pendientes a los movimientos en masa		
				5	6	7	8	9	10	11=(8/4)	12=(9/4)	13=(10/4)
Código	Unidad	Área total por unidad (Km ²)	% de área por unidad	Tipo 1 (desliza)	Tipo 2 (flujo)	Tipo 3 (derrumbe)	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
1	0 - 1°	0.036098	0.07404718	0.001574	0.00399100	0	0.041692515	1.26213193	0	0.56305338	17.0449697	0
2	1 - 5°	0.51768	1.06190769	0.015581	0.03932100	0	0.412713515	12.4350513	0	0.38865291	11.7101057	0
3	5 - 15°	7.533154	15.4526236	0.27754	0.14526700	0.004035	7.351550543	45.9398946	5.98238643	0.47574773	2.97295112	0.38714374
4	15 - 25°	24.480965	50.2173641	1.922732	0.11566900	0.012275	50.92981725	36.5796889	18.1992053	1.01418739	0.7284271	0.36240861
5	25 - 45°	16.181557	33.1929374	1.557831	0.011963	0.051138	41.26422618	3.78323335	75.8184083	1.24316283	0.11397706	2.2841729
6	> 45°	0.000546	0.00112	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		48.75	100	3.775258	0.31621100	0.067448	100	100	100			

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 23
CÁLCULOS ESTADÍSTICOS DEL PESO O SUSCEPTIBILIDAD DE LAS UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL A LOS MOVIMIENTOS EN MASA

1	2	3	4	Superficie acumulada de procesos (km ²) en cada unidad			% de procesos en cada unidad			Susceptibilidad o peso de las unidades de cobertura vegetal a los movimientos en masa		
				5	6	7	8	9	10	11=(8/4)	12=(9/4)	13=(10/4)
Código	Unidad	Área total por unidad (Km ²)	% de área por unidad	tipo 1 (desliza)	tipo 2 (flujo)	tipo 3 (derrumbe)	tipo 1	tipo 2	tipo 3	tipo 1	tipo 2	tipo 3
III1	Agri	31.587555	64.8122147	2.958493	0.09677100	0.045865	78.3652782	30.6033965	68.0005337	1.2091128	0.47218563	1.04919318
III2	Pj	4.732321	9.70990647	0.771938	0.00000000	0	20.4472805	0	0	2.10581642	0	0
III3	Ma	12.417164	25.4778788	0.044829	0.21943900	0.021583	1.18744139	69.3966035	31.9994663	0.04660676	2.72379832	1.25597058
		48.73704	100	3.77526	0.31621000	0.067448	100	100	100			

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 24

CÁLCULO ESTADÍSTICO DEL PESO O SUSCEPTIBILIDAD DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS A LOS MOVIMIENTOS EN MASA

1	2	3	4	Superficie acumulada de procesos (Km ²) en cada unidad			% de procesos en cada unidad			Susceptibilidad o peso de las unidades geomorfológicas a los movimientos en masa		
				5	6	7	8	9	10	11=(8/4)	12=(9/4)	13=(10/4)
Código	Unidad	Área total por unidad (Km ²)	% de área por unidad	Tipo 1 (desliza)	Tipo 2 (flujo)	Tipo 3 (derrumbe)	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
VI1	P-at	0.177545	0.36419491	0.003812	0.08233000	0	0.10097318	26.0364947	0	0.27725038	71.490551	0
VI2	RC-rm	2.522898	5.17517592	0.001957	0.00039600	0	0.05183749	0.12523323	0	0.01001657	0.02419884	0
VI3	RM-rm	26.109634	53.5582291	1.544525	0.06152900	0.031265	40.9117518	19.4582714	46.3535412	0.76387424	0.36331058	0.86547935
VI4	T-fl	0.718585	1.47402066	0.047222	0.06815700	0	1.25082776	21.5543468	0	0.84858224	14.6228254	0
VI5	V-cd	16.507507	33.8615563	1.709155	0.094632	0.035768	45.272511	29.9269473	53.0296965	1.33698849	0.88380307	1.56607381
VI6	V-d	2.713826	5.56682314	0.468589	0.009166	0.000416	12.4120988	2.89870656	0.61676229	2.22965567	0.52071109	0.11079251
		48.749995	100	3.77526	0.31621000	0.067449	100	100	100			

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 25
CÁLCULO ESTADÍSTICO DEL PESO O SUSCEPTIBILIDAD DE LAS UNIDADES LITOHIDROGEOLÓGICAS A LOS MOVIMIENTOS EN MASA

1	2	3	4	Superficie acumulada de procesos (km ²) en cada unidad			% de procesos en cada unidad			Susceptibilidad o peso de las unidades hidrogeológicas a los movimientos en masa		
				5	6	7	8	9	10	11=(8/4)	12=(9/4)	13=(10/4)
Código	Unidad	Área total por unidad (Km ²)	% de área por unidad	Tipo 1 (desliza)	Tipo 2 (flujo)	Tipo 3 (derrumbe)	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
V1	ACM	28.975813	59.4377785	1.563771	0.07322000	0.031191	41.4215554	23.1554979	46.2445143	0.69688936	0.38957543	0.77803235
V2	APNC	0.22188	0.4551401	0.038554	0.02823700	0	1.02122795	8.92982512	0	2.24376617	19.6199482	0
V3	ATS	19.552132	40.1070814	2.172934	0.21475300	0.036257	57.5572166	67.914677	53.7554857	1.43508863	1.69333381	1.34029911
		48.749825	100	3.775259	0.31621000	0.067448	100	100	100			

Fuente: Elaboración Propia.

Obtenidas las áreas de cada tipo de movimientos y unidad cartográfica de terreno, se establece el peso (W) para cada unidad cartográfica de terreno por tipo de movimiento en masa (de los pasos realizados en las **Cuadros 26, 27, 28, 29 y 30**, de acuerdo con la fórmula N° 4).

Una vez establecida esta relación se recodifican los valores iniciales de las unidades cartográficas del terreno en términos de susceptibilidad, pero como paso previo a esta reclasificación de valores de pesos (W) obtenidos del análisis, es esencial transformar cada una de las capas de vector (Litológico, Pendientes, Geomorfología, Cobertura Vegetal e Hidrogeológico) a Raster. Puesto que este análisis de susceptibilidad se basa en la reclasificación de valores de grilla en una capa, el tamaño de capa asignada es de 25 m. para todas las capas.

Para convertir a raster las capas se utilizó los siguientes comandos de ARCGIS 10.1, ir a ARCTOOLBOX, seleccionar CONVERSIÓN TOOLS, TO RASTER, FEATURE O RASTER, seleccionar el archivo vector (polígono) a convertir en raster en INPUT FEATURES, en FIELD seleccionar el campo a convertir, para nuestro caso se seleccionó el campo "Peso" el cual se creó con anterioridad en las Cuadros de atributos de los mapas de Litología, Pendientes, Geomorfología, Cobertura Vegetal e Hidrogeología en las cuales se ingresó los pesos obtenidos en las Cuadros. En OUTPUT CELL SIZE se coloca el tamaño de celda, para nuestro caso es de 25 m. y por último en OUTPUT RASTER se coloca el nombre y la ubicación de nuestro nuevo archivo, estos pasos son seguidos para cada uno de los cinco mapas antes mencionados.

Una vez transformadas todas nuestras capas de vector (polígono) a raster y antes de realizar la reclasificación de los valores de pesos (W) de estas capas de raster, es necesario definir los rangos o intervalos de susceptibilidad, estos intervalos pueden ser hallados directamente en el ARCGIS, mediante la herramienta RECLASSIFY que permite realizar esta tarea por medio del uso de varios métodos (de forma manual, aplicando la desviación estándar, intervalos iguales, etc.), sin embargo nosotros hemos realizado esta tarea ajustando los datos para cada mapa según los tipos de movimiento utilizando la metodología presentada (Vílchez, M. 2008) es así que los rangos de valores de pesos se divide en cinco grupos para representar la susceptibilidad relativa a los movimientos en masa del área de estudio. Para asegurar que los puntos usados para

definir los cinco grupos han sido determinados objetivamente, se hace uno del análisis de grupo no jerárquico.

Se logra una división inicial en cinco grupos separados en partes iguales el rango presente de valores proporcionales. Los límites superior e inferior de cada grupo se retienen o se ajustan para asegurar que la división final represente la suma mínima de las desviaciones estándar al cuadrado, alrededor de los cinco promedios de grupo. Esto está basado en la función W (Anderberg, 1973).

Función W para definir los cinco niveles de susceptibilidad a movimientos en masa.

$$W = \sum_{i=1}^{i=5} \sum_{j=1}^{j=n} (X_{ij} + X_i)^2 = W1 + W2 + W3 + W4 + W5$$

Dónde:

X_{ij} = *j*ava Observación *i*avo grupo

n_i = número de observaciones en el *i*avo grupo

i = número de grupos

Aplicando este análisis de grupos no jerárquicos para nuestros datos obtenemos nuestras categorías de susceptibilidad para cada mapa, el cual representara el grado de susceptibilidad que tiene cada unidad cartográfica del terreno en un mapa, para cada uno de los movimientos en masa evaluados. Los rangos obtenidos con la función W para hacer la reclasificación de los valores de pesos en los mapas de factores se presentan en los **Cuadros 26, 27, 28, 29 y 30.**

CUADRO 26
INTERVALOS DE SUSCEPTIBILIDAD PARA LA LITOLOGÍA

VALOR	INTERVALO	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
1	$0 \leq X < 0.389576659$	Muy baja
2	$0.389576659 \leq X < 0.841724928$	Baja
3	$0.841724928 \leq X < 1.334442916$	Media
4	$1.334442916 \leq X < 1.563326119$	Alta
5	$1.563326119 \leq X < 91.68002749$	Muy alta

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 27

INTERVALOS DE SUSCEPTIBILIDAD PARA LA PENDIENTE

VALOR	INTERVALO	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
1	$0 \leq X < 0.38865291$	Muy baja
2	$0.38865291 \leq X < 0.7284271$	Baja
3	$0.7284271 \leq X < 1.243162834$	Media
4	$1.243162834 \leq X < 2.284172903$	Alta
5	$2.284172903 \leq X < 17.0449697$	Muy alta

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 28

INTERVALOS DE SUSCEPTIBILIDAD PARA LA GEOMORFOLOGÍA

VALOR	INTERVALO	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
1	$0 \leq X < 0.363310582$	Muy baja
2	$0.363310582 \leq X < 0.883803066$	Baja
3	$0.883803066 \leq X < 1.33698849$	Media
4	$1.33698849 \leq X < 1.566073811$	Alta
5	$1.566073811 \leq X < 2.22965567$	Muy alta

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 29

INTERVALO DE SUSCEPTIBILIDAD PARA LA COBERTURA VEGETAL

VALOR	INTERVALO	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
1	$0 \leq X < 0.472185631$	Muy baja
2	$0.472185631 \leq X < 1.049193182$	Baja
3	$1.049193182 \leq X < 1.25597058$	Media
4	$1.25597058 \leq X < 2.105816417$	Alta
5	$2.105816417 \leq X < 2.723798318$	Muy alta

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 30

INTERVALO DE SUSCEPTIBILIDAD PARA LA LITOHIDROGEOLOGÍA

VALOR	INTERVALO	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
1	$0 > X$	Muy baja
2	$0 \leq X < 0.778032347$	Baja
3	$0.778032347 \leq X < 1.340299115$	Media
4	$1.340299115 \leq X < 1.69333381$	Alta
5	$1.69333381 \leq X < 2.243766168$	Muy alta

Fuente: Elaboración Propia.

PASO N° 03: Obtención de los Mapas de Susceptibilidad de Cada uno de Mapas de Factores Analizados con Relación a Cada uno de los Movimientos en Masa.

Una vez obtenidas estas categorías de susceptibilidad son introducidas en las Cuadros 31, 32, 33, 34 y 35, las cuales ya pueden ser utilizadas para reclasificar nuestras capas raster.

CUADRO 31

CATEGORÍAS DE SUSCEPTIBILIDAD PARA LA LITOLOGÍA

CÓDIGO	UNIDAD	RECLASIFICACIÓN DE GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD		
		TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3
I1	Q-pr	1	5	1
I2	Q-fa	5	5	1
I3	Q-cd	4	3	5
I4	Q-co	5	3	3
VI1	PE-cm	2	2	2

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 32

CATEGORÍAS DE SUSCEPTIBILIDAD PARA LA PENDIENTE

CÓDIGO	UNIDAD	RECLASIFICACIÓN DE GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD		
		TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3
1	0 - 1°	2	5	1
2	1 - 5°	2	5	1
3	5 - 15°	2	5	1
4	15 - 25°	3	3	1
5	25 - 45°	4	1	5
6	> 45°	1	1	1

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 33

CATEGORÍAS DE SUSCEPTIBILIDAD PARA LA GEOMORFOLOGÍA

CÓDIGO	UNIDAD	RECLASIFICACIÓN DE GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD		
		TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3
VI1	P-at	1	5	1
VI2	RC-rm	1	1	1
VI3	RM-rm	2	2	2
VI4	T-fl	2	5	1
VI5	V-cd	4	3	5
VI6	V-d	5	2	1

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 34

CATEGORÍAS DE SUSCEPTIBILIDAD PARA LA COBERTURA VEGETAL

CÓDIGO	UNIDAD	RECLASIFICACIÓN DE GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD		
		TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3
III1	Agri	3	2	3
III2	Pj	5	1	1
III3	Ma	1	5	4

Fuente: Elaboración Propia.

CUADRO 35

CATEGORÍAS DE SUSCEPTIBILIDAD PARA LA LITOHIDROGEOLOGÍA

CÓDIGO	UNIDAD	RECLASIFICACIÓN DE GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD		
		TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3
V1	ACM	2	2	3
V2	APNC	5	5	2
V3	ATS	4	5	4

Fuente: Elaboración Propia.

Obtenidas las categorías de susceptibilidad según el tipo de peligro y el tipo de cobertura analizada, es necesario crear tres capas raster de cada uno de los mapas de factores intrínsecos (Litología, Pendiente, Geomorfología, Cobertura Vegetal e Litolohidrogeología) y a rasterizadas a los cuales se le ingresa su peso de susceptibilidad. Por ejemplo se obtendrá una capa raster de litología con su valor de susceptibilidad a los deslizamientos, otro sería la capa raster de litología con su valores de susceptibilidad a los flujos y derrumbes. Como nuestras capas de entrada en el análisis son 5 y el número de movimientos en masa utilizadas son 3, obtenemos un total de 15 capas raster con los respectivos valores de susceptibilidad según el tipo de factor intrínseco evaluado y según tipo de movimiento. Así se han creado las siguientes capas raster en el ARCGIS las cuales nos servirán para elaborar nuestra mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa (**Cuadro 35**).

CUADRO 36

CAPAS RASTER CREADAS PARA ASIGNAR LOS GRADOS DE SUSCEPTIBILIDAD

COBERTURA	LITOLOGÍA	PENDIENTE	GEOMORFOLOGÍA	COBERTURA VEGETAL	LITOHIDROGEOLOGÍA
TIPO DE MOVIMIENTO					
Deslizamientos	lito_desl_inter	pen_desl_inter	geom_desl_inter	cov_desl_inter	litolitohidro_desl_inter
Flujos	lito_fluj_inter	pen_fluj_inter	geom_fluj_inter	cov_fluj_inter	litolitohidro_fluj_inter
Derrumbes	lito_der_inter	pen_der_inter	geom_der_inter	cov_der_inter	litolitohidro_der_inter

Fuente: Elaboración Propia.

Cada uno de estas 15 capas reclasificada en el ARCGIS introduciéndole sus valores de susceptibilidad utilizando la herramienta SPATIAL ANALYST TOOL, se elige reclasificar (RECLASSIFY) en INPUT RASTER, se elige la capa de entrada, se elige el campo FIELD a reclasificar en OUTPUT RASTER se elige el archivo y nombre donde se guarda la nueva capa reclasificada. El ingreso de rangos se realiza de forma manual, digitándolos directamente en “classify” de esta manera se obtiene los mapas de susceptibilidad de cada uno de las capas analizadas con relación a cada uno de los movimientos en masa. Así se obtiene las siguientes capas reclasificadas (**Cuadro 37**).

CUADRO 37
CAPAS RASTER RECLASIFICADAS

Cobertura	Litología	Pendiente	Geomorfología	Cobertura vegetal	Litohidrogeología
Tipo de movimiento					
DESLIZAMIENTO	lito_t1	pend_t1	geom_t1	veg_t1	litohidro_t1
FLUJO	lito_t2	pend_t2	geom_t2	veg_t2	litohidro_t2
DERRUMBE	lito_t3	pend_t3	geom_t3	veg_t3	litohidro_t3

Fuente: Elaboración Propia.

PASO 4: Obtención de los Mapas de Susceptibilidad Total del Terreno

Una vez concluido el análisis estadístico bivalente, la rasterización y la reclasificación de capas, se elaboran los mapas de susceptibilidad del terreno a cada uno de los movimientos en masa y de susceptibilidad total del terreno a todos los movimientos en masa, esto se realiza mediante la suma de capas raster a través de las funciones del SPATIAL ANALYST TOOLS, MAP ALGEBRA, utilizando la calculadora raster RASTER CALCULATOR.

La operación de suma de capas raster por medio de RASTER CALCULATOR, para obtener los mapas de susceptibilidad de cada tipo de movimientos en masa, se realizó sumando las capas raster que contienen los rangos de susceptibilidad según un tipo de movimientos en masa (p.e deslizamientos) de los cinco mapas de factores intrínsecos analizados, así se tiene:

- $Lito_t1+pend_t1+geom_t1+veg_t1+litohidro_t1=suscep_t1$
- $Lito_t2+pend_t2+geom_t2+veg_t2+litohidro_t2=suscep_t2$
- $Lito_t3+pend_t3+geom_t3+veg_t3+litohidro_t3=suscep_t3$

De esta forma se han obtenido 3 nuevas capas de raster que representan la susceptibilidad del terreno a cada uno de los movimientos en masa (**Ver Anexo C - Mapa S-01, S-02 y S-03**). Estas capas también tienen que ser reclasificadas en rangos de susceptibilidad, estos rangos van de 1 a 5, siendo el 1 la categoría muy baja y el 5 muy alta, el 3 es medio y el 2 es bajo y el 4 es alta susceptibilidad.

Por último el mapa de susceptibilidad total a los movimientos en masa (**suscep_total**), se obtiene sumando en el calculador raster los tres mapas de susceptibilidad obtenidos para cada tipo de peligro, este mapa final (**Ver Anexo C - MAPA S-04**) nos indica las zonas donde sus características intrínsecas las hacen propensas a la ocurrencia de los tres tipos de movimientos en masa, teniendo en cuenta los cinco factores intrínsecos del terreno evaluado, de igual manera este mapa tiene que ser reclasificado nuevamente en cinco categorías de susceptibilidad y así como también serán coloreados para diferenciar los grados de susceptibilidad.

La operación de adición de capas raster se realizó de la siguiente manera:

- $Suscep_t1 + suscep_t2 + suscep_t3 = suscep_total$

Las zonas homogéneas de susceptibilidad están representadas en grados o categorías que van desde muy baja hasta muy alta.

A) Muy Baja Susceptibilidad

Estas áreas presentan por lo general una topografía plana hasta inclinada con una pendiente que pueden alcanzar los 20°, se tienen depósitos de material consolidado y no consolidado, el substrato rocoso constituido por rocas metamórficas (esquistos, pizarras, filitas y gneis), poco fracturadas, duras y resistentes a la erosión, los movimientos en masa son inexistentes o muy raros ya que las características intrínsecas de los terrenos hacen difícil su ocurrencia, no significando esto que no se pueda producir.

Se incluye dentro de esta zona laderas de montañas en rocas metamórficas y montañas en masas estructurales con inclinaciones de estratos subhorizontales, estos terrenos se pueden considerar relativamente estables.

B) Baja Susceptibilidad

Estas áreas presentan también una topografía plana a inclinada, con pendientes que pueden alcanzar los 25° se tienen depósitos de materiales superficiales consolidados y no consolidados, el substrato está constituido por rocas metamórficas (esquistos, pizarras, filitas y gneis), es importante considerar que no se toma en cuenta la presencia de cobertura de suelo sobre estas rocas, lo que influye en la disminución de susceptibilidad. Se incluyen zonas de montañas, montañas estructurales, fracturamientos y colinas.

Dentro de esta zona también se considera pendientes superiores a los 45°, donde por ser muy inclinado, la cobertura de suelos es escasa, pudiéndose producir derrumbes, controlados por el fracturamiento de la roca y que podrían ser detonados por sismos y precipitaciones pluviales.

Algunas zonas son relativamente inestables, cuando se modifican el estado natural de las laderas para la construcción de carreteras, infraestructuras de diversa índole (viviendas, centro de salud, centros educativos, etc.), pudiéndose generar derrumbes desde taludes de corte, muchas de estas zonas consideradas como de baja susceptibilidad, específicamente a lo largo del valle del río Marañón, puede resultar afectadas por flujos de detritos que se generan en las partes altas de las quebradas y se depositan en zonas bajas o las desembocaduras de estos afluentes en el valle principal.

C) Moderada Susceptibilidad

Estas áreas presentan pendientes bajas a medias (hasta 25°), el substrato está conformado por materiales inconsolidados (Depósitos coluvio deluvial y coluvial), que se presentan materiales sueltos o poco consolidados, dentro de esta zona se pueden generar flujos de detritos, deslizamientos y derrumbes, donde el principal factor que influye en la inestabilidad de los terrenos es el tipo de litología, en este caso depósitos cuaternarios que ofrecen poca resistencia a la erosión.

Se incluye dentro de esta zona a las unidades geomorfológicas de montañas en rocas metamórficas, vertiente o pie de monte coluvio deluvial y vertiente coluvio de

detritos, los cuales se encuentran cubiertos por vegetación de tipo pastizales en algunos casos con matorrales dispersos, y se desarrollan cultivos agrícolas, en donde junto con la deforestación se convierten en el punto de partida de los procesos de erosión de laderas (cárcavas) y flujos, los derrumbes ocurren localmente hacia la cara libre de las quebradas y cursos de quebradas, por la socavación lateral producida por los caudales de agua discurridos por sus cauces.

D) Alta Susceptibilidad

Estas áreas comprenden topografías con pendientes de medias a altas (20° a 35°), se encuentran ocupando las laderas de montañas, se tienen depósitos de material superficial inconsolidado, que forman suelos limos-arcillosos y arenos-limoso con contenido de grava, constituyen vertientes de coluvial de detritos y vertiente o pie de monte coluvio aluvial. El análisis de susceptibilidad de los terrenos nos ha mostrado que para la zona estudiada, el principal factor intrínseco que influye en la susceptibilidad de los terrenos es el tipo de litología, y dentro de estos considerados como materiales superficiales poco o nada consolidados y blandos.

Estas áreas son poco estables y susceptibles a los movimientos en masa (deslizamientos, derrumbes y flujos), la susceptibilidad de esta zona aumenta por la pérdida de la cobertura vegetal cuando se realiza la tala o desbosque para aprovechamiento de suelo como terrenos de cultivo, además se encuentra una gran cantidad de deslizamiento y derrumbes a lo largo de las laderas.

E) Muy Alta Susceptibilidad

Estas áreas se presentan en un rango de pendiente que va de bajas a muy fuertes (5° hasta 45°), se tiene materiales inconsolidados, dispuestos a manera de depósitos de vertientes, constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas, que cubren el substrato rocoso, los suelos son tipo arcillo limoso y gravo arcillosos de alta plasticidad.

La cobertura vegetal es de tipo pastizales, dentro de esta zona se producen los movimientos en masa (deslizamientos, derrumbes y flujos) y procesos de erosión de laderas (que pueden generar flujos).

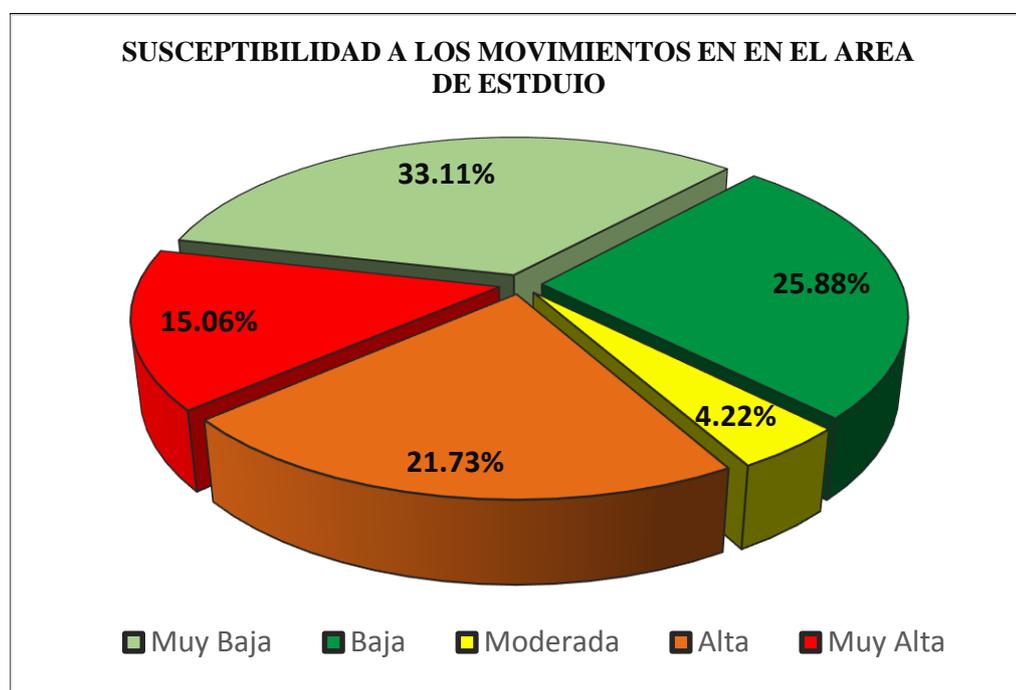
Los taludes de corte de carretera presentan problemas de derrumbes y caídas de rocas por el alto grado de fracturamientos de la roca y su poca resistencia, a las cuales se les puede considera inestables.

Los alrededores de los poblados de Pampamarca ha sido calificado como zonas de alta y muy alta susceptibilidad a los movimientos en masa, esto obedece a la presencia de materiales poco cementados, conformados por gravas, arenas, limos y arcillas, así como también a la presencia de agua subterránea que satura estos materiales y los hace menos resistentes, dentro de esta zona se ubican una gran cantidad de movimientos en masa activos, que afectan viviendas, tramos de la carretera de acceso al poblado de Pampamarca y terrenos de cultivo, es necesario que las autoridades locales tengan en cuenta que la realización de todo tipo de proyectos dentro de la zona, necesita de estudios geotécnicos complementarios, que ayuden a determinar los tipos de obras más adecuadas para la zona, así como para la construcción de obras que ayuden a controlar los fenómenos.

4.1.5. Resultados Obtenidos del Análisis de Susceptibilidad a los Movimientos en Masa

Terminado el análisis de susceptibilidad por medio de la aplicación del Método Bivariante con la ayuda del Sistema de Información Geográfica ARCGIS 10.1, se obtuvo como resultado el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa de las áreas de Pampamarca y Acobamba, a partir de este mapa se puede establecer que el 33.11% del territorio comprendido en la zona estudiada presenta muy baja susceptibilidad, el 25.8 % baja susceptibilidad, el 4.22 % moderada susceptibilidad, el 21.73 % alta susceptibilidad y 15.06 % presenta muy alta susceptibilidad (**Figura 16**).

FIGURA 16
DISTRIBUCIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA
EN EL ÁREA



Fuente: Elaboración propia.

Como medio de verificar el análisis de susceptibilidad se puede hacer una comparación espacial eligiendo un área de parámetros similares (Litología, Pendientes, Geomorfología Cobertura vegetal e Hidrogeología) y hacer el mismo análisis de susceptibilidad en esta nueva área pero utilizando los valores de peso designados en el análisis bivariado del área original. De mayor susceptibilidad deberían de coincidir con las áreas donde existe el mayor número de movimientos en masa para nuestro caso estos se ubican en zonas de alta y muy alta susceptibilidad.

Un buen mapa de susceptibilidad también debe recalcar áreas donde hay indicadores potenciales, áreas que posiblemente no han sido afectadas pero que presentan características que las hacen potencialmente inestables (Hermans et al, 2007). En consecuencia la identificación de áreas de movimientos en masa no es una ciencia exacta y nos lleva por lo general a describir las áreas propensas a su ocurrencia en base a estimaciones, donde estas estimaciones van a ser mucho más precisas a medida que se utilice en el análisis los mapas de factores lo más detallados y exactos.

4.2. MEDIDAS DE CONTROL Y MITIGACIÓN

Para fines preventivos de la población ubicada dentro del cuerpo del deslizamiento reactivado, tiene que ser reubicar en las áreas seleccionadas.

Con la finalidad de controlar los movimientos del deslizamiento y no llegue a represar al río Marañón se tiene que realizar lo siguiente:

- Monitorear permanentemente el deslizamiento con método topográfico, de ser necesario se haría el instrumental, con el propósito de saber la tasa de movimiento de la masa.
- Reforestar con plantas nativas toda el área.
- Hacer estudios de geofísica, con la finalidad de determinar el verdadero espesor de la masa inestable o masa móvil y la posible agua subterránea. Con ello se podrán realizar los drenajes subterráneos.
- Hacer un canal de coronación, para evitar la infiltración de agua proveniente de la parte alta. Para ello se debe realizar un estudio según corresponda.
- En el cuerpo del deslizamiento hacer un drenaje en tipo espina de pescado con la finalidad de evitar la infiltración de agua hacia el cuerpo del deslizamiento (**Ver Figura 17**).
- Realizar un sellado de grietas, en forma técnica, con la finalidad de evitar la infiltración de agua pluvial hacia el subsuelo.

Para los flujos de detritos y erosiones de ladera:

- Se debe reforestar con la finalidad de detener la erosión retrogresiva del proceso de erosión en cárcavas que conllevan a la generación de deslizamientos y derrumbes de pequeña escala, como también a generación de flujos (**Ver Figura 18**).
- En el cauce de las quebradas se deben construir muros disipadores, con el objetivo de reducir el volumen y atenuar la velocidad del flujo que se pueda dar (**Ver Figura 19 y 20**).
- No permitir el crecimiento urbano en las terrazas formadas por las quebradas.

- Construcción de barrera, rellenos y cortacorrientes. Construir obras complementarias hidráulicas y control, mediante diques transversales como trinchos de madera, de enrocado o gaviones. El objetivo de estas medidas, es disminuir la energía del agua, retener sedimentos para estabilizar la cárcava y proceder a sembrar vegetación.

FIGURA 17

DREN EN TIPO ESPINA DE PEZ (MEDIDA APLICADA SOLO PARA DESLIZAMIENTO)

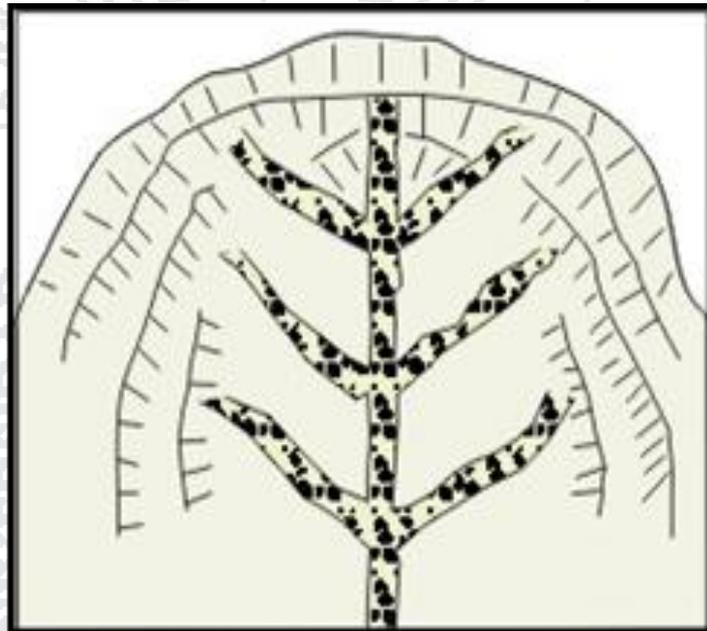


FIGURA 18

OBRAS DE FORESTACIÓN DE ZONAS DE CARCAVAMIENTO

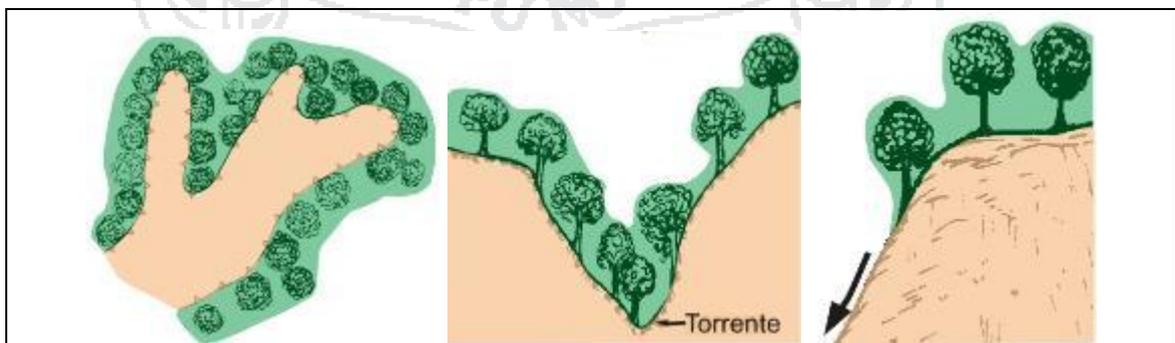


FIGURA 19

OBRAS HIDRÁULICAS TRANSVERSALES PARA CÁRCAVAS, FIJACIÓN DE SEDIMENTOS Y PROTECCIÓN DE DESAGUADEROS NATURALES (TOMADO DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS-COLOMBIA-1998)

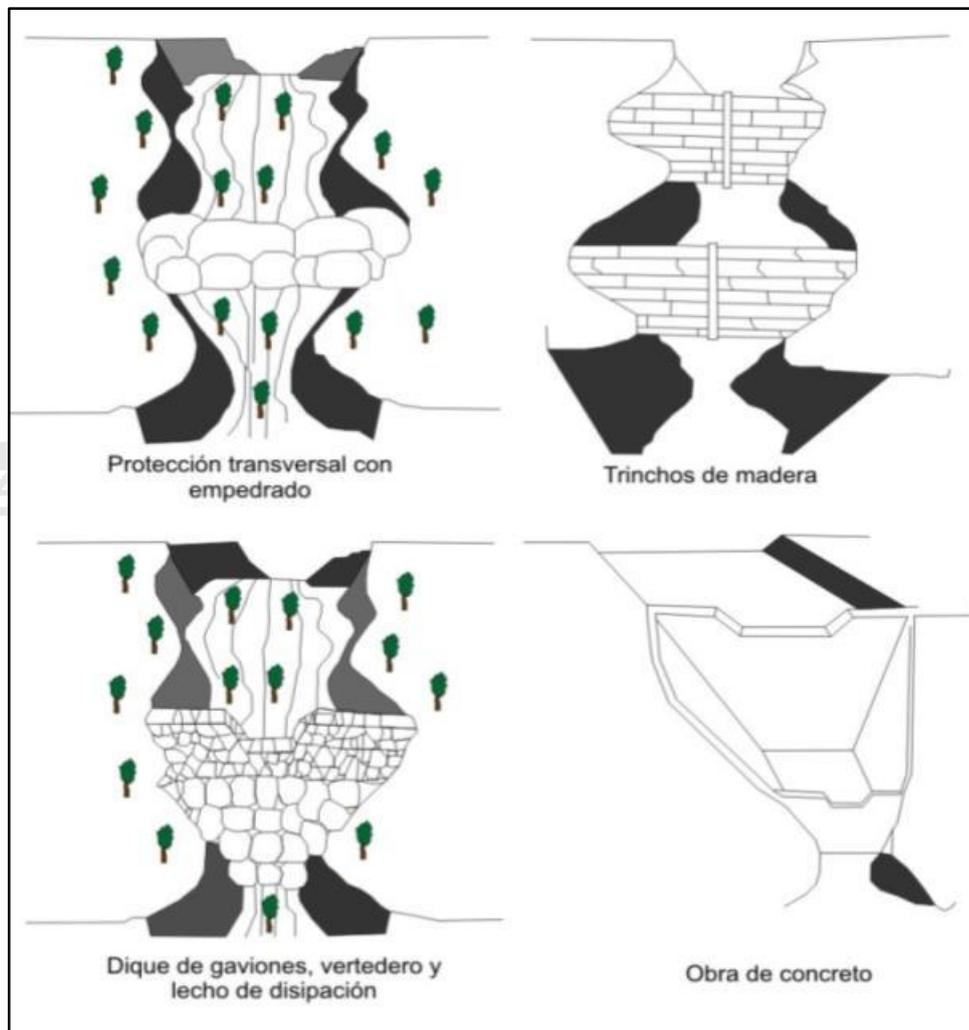
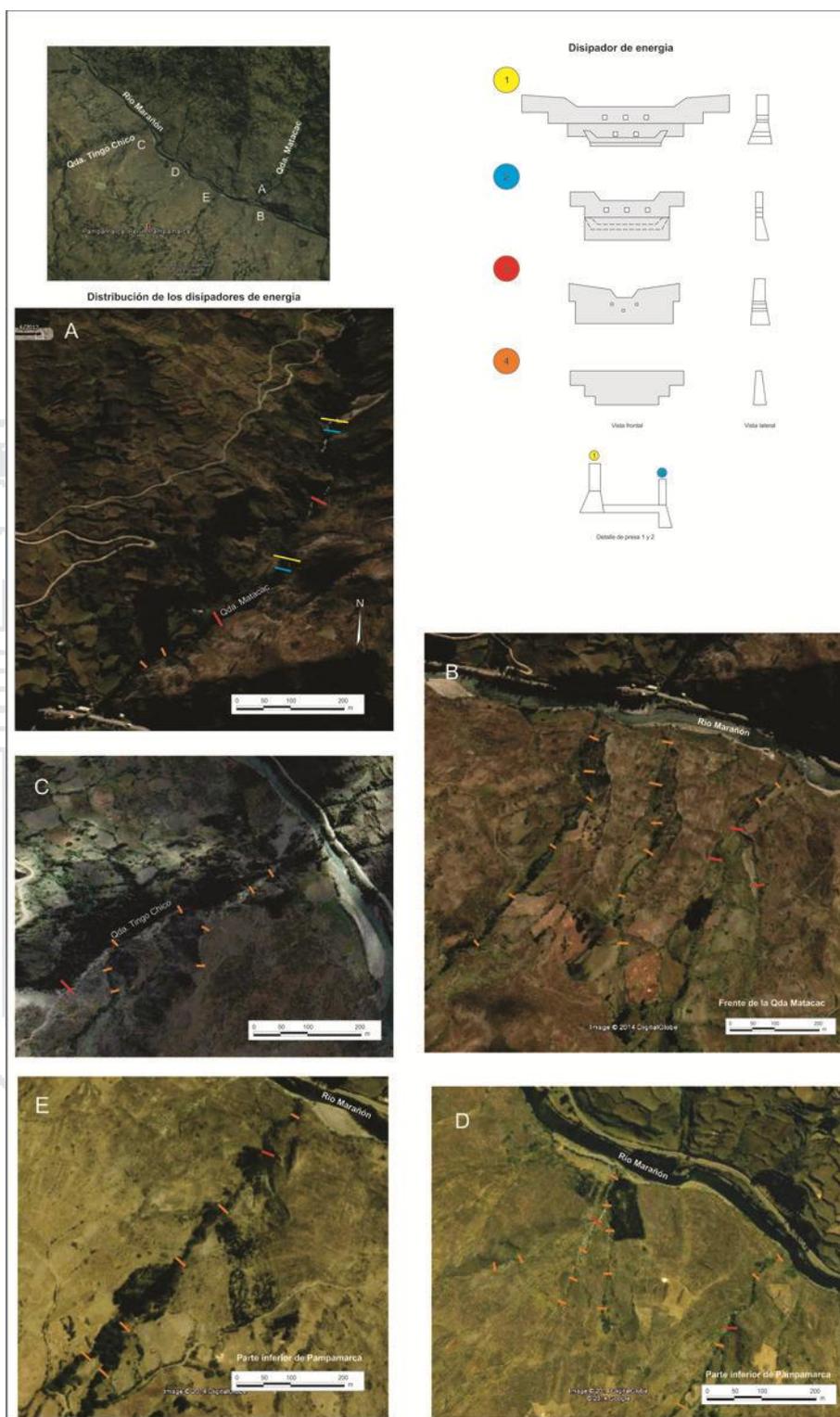


FIGURA 20
 ESQUEMA ILUSTRATIVO PARA CONSTRUCCIÓN DE MUROS DISIPADORES DE ENERGÍA



CONCLUSIONES

PRIMERA: El análisis de susceptibilidad por medio de la aplicación del Método Bivariante con la ayuda del SIG, obtuvo como resultado el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa de los poblados de Pampamarca y Acobamba. donde se obtuvo que el 15.06% del área de la zona estudiada presenta muy alta susceptibilidad a los movimientos en masa, 21.73% alta susceptibilidad, 4.22% moderada susceptibilidad, 25.88% baja susceptibilidad y el 33.11% muy baja susceptibilidad.

SEGUNDA: Las medidas de control y mitigación propuestas para los deslizamientos, podrían ser la reforestación con plantas nativas en toda el área, así como realizar estudios geofísicos para determinar el espesor de la masa inestable y la posible presencia de agua subterránea, con esto se realizarían los drenajes subterráneos; también se podría realizar canales de coronación para evitar la infiltración de agua proveniente de la parte alta.

TERCERA: Las medidas de control y mitigación propuestas para los flujos de detritos y erosión de ladera, podrían ser la reforestación con la finalidad de detener la erosión del terreno y evitar la generación de flujos, en el cauce de las quebradas se deberán construir muros disipadores, con el objetivo de reducir el volumen y atenuar la velocidad del flujo que se pueda dar, no permitir el crecimiento urbano en las terrazas formadas por las quebradas y finalmente construir barreras, complementadas con obras hidráulicas y de control.

CUARTA: Los factores condicionantes (intrínsecos) identificados en el área estudio son la litología, geomorfología, hidrogeología, cobertura vegetal y la pendiente del terreno, los factores detonantes (extrínsecos) identificados en el área de estudio son el clima y meteorología (lluvias), escorrentía y la mala vegetación.

QUINTA: La aplicación del SIG permite una fácil y muy versátil manipulación de las capas temáticas y/o factores condicionantes, permitiendo realizar tareas diversas que van desde la digitalización de datos analógicos (mapas en papel), hasta el geoprocésamiento de varias capas temáticas, así mismo permite la elaboración de un

modelo de elevación digital (MDE), del cual se pueden obtener otros factores o parámetros, también el SIG permite el análisis y cálculos, necesarios para la obtención del mapa de susceptibilidad final y de sus reclasificaciones en rangos de susceptibilidad.



RECOMENDACIONES

PRIMERA: En el sector de Pampamarca, se han generado reactivaciones de un deslizamiento antiguo, que están afectando a viviendas, infraestructura educativa, salud y vial. Por fines de prevención es necesario que la población sea reubicada.

SEGUNDA: Para la reubicación de las futuras áreas se deberá considerar lo siguiente:

TERCERA: Reforestar los linderos del área a ocupar. Realizar estudios geotécnicos suelo para determinar el tipo de cimentaciones que van a tener las futuras viviendas, ejecutar un sistema de drenaje pluvial, para evitar las infiltraciones de agua al subsuelo, hacer un sistema de alcantarillado adecuado, para no permitir la infiltración de agua al subsuelo. No debe arrojarse el agua servida al terreno.

CUARTA: Para evitar la infiltración al subsuelo es necesario: Construcción de un canal de coronación, sellado de grietas y canalizar los puquiales. Reforestar con plantas nativas o de raíces profundas.

QUINTA: Hacer un estudio geofísico con la finalidad de determinar el espesor de la masa inestable, como también la posible presencia de agua subterránea. De acuerdo a esto se podrá programar un drenaje subterráneo.

SEXTA: En las quebradas se tienen que construir muros disipadores de energía, con la finalidad de aminorar la carga y energía del flujo. Esto debe ser diseñado por un especialista.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, V. & MENDOZA, D. (2002). Aproximación a un modelo de susceptibilidad a movimientos en masa en el eje cafetero, Colombia Tesis Ing. Civil Univ. Del Valle, Fac. Ingeniería, Cali, 214 p.
- ANGUITA, V. F. & MORENO S. (1993). Procesos geológicos externos y geología ambiental: Editorial Rueda, Madrid.
- AYALA, C. F. (2002) Una reflexión sobre los mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera, s naturaleza, funciones, problemáticas y límites. En F. J. Ayala-Carcedo y J Corominas, (eds). Mapas de Susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y Aplicaciones en España. Instituto Geológico Minero de España 7-20.
- BENAVENTE, C. (2007). Evaluación de Peligro Geológico en el sector de Challa. Provincia Tarata-Tacna. INGEMMET. Informe Técnico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. 12 Págs.
- CALDERÓN, R. (2014). Informe de Evaluación del I.E. N° 32234 PAMPAMARCA. Informe N°059-201-PR/OCD Y SC_SADAM-D_BAPV/ER. Gobierno Regional de Huánuco. 22 Págs.
- CAMPOS, M., CONCHA, A., LOPEZ, C. (2007). Comparing heuristic and bivariate GIS-based methods for refining landslide susceptibility maps in Northern Mexico City: Environmental & Engineering Geoscience, Number 4, Volumen XIII, pp. 277-287.
- CHOWDHURY , R. (1978). Anlysis of the Vajont slide – new approach. Rock Mech 11:29-38.
- CLARK, M & SMALL J. (1982). Slopes and Weathering, Cambridge University Press, Cambridge Inglaterra.
- COBBING, J., SÁNCHEZ, A., MARTÍNEZ, S., ZARATE, H. (1996). Geología de los Cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquían y Yanahuanca. INGEMMET. Serie A: Carta Geológica Nacional. Boletín N° 76. Págs. 292.
- COROMINAS,,D. J., & GARCÍA, Y. A., (1997). Terminología de los movimientos de laderas, en Memorias, IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Granada, España, p. 1051–1072.

- CROZIER, M. J. (1986), *Landslides: Causes, Consequences and Environment*, Croom Helm, London.
- CRUDEN, D.M., & VARNES, D.J. (1996). *Landslide Types and Processes*. En: "Landslides. Investigation and Mitigation", Eds Turner, A.K. and Schuster, R.L. Special Report 247, Transport Research Board, National Research Council, Washington D.C. pp. 36-75.
- DALMAYRAC B., LAUBACHER G., MAROCCO R., (1988). *Caracteres de la Evolución Geológica de los Andes Peruanos*. Bol. N° 12. Serie D INGEMMET Lima-Perú.
- DÁVILA B. J., (1999). *Diccionario Geológico Tercera Edición*.
- DESMORE, L & HOVIOS, N. (2000). *Topographic fingerprints of bedrock landslides*. *Geology*, 28(4): 371-374.
- DIRECCIÓN TÉCNICA DE GEOAMENAZAS, GUÍA METODOLÓGICA, (2001). *Evaluación de Riesgo por Fenómenos de Remoción de Masa*, Colombia.
- GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS, (2007). *Proyecto Multinacional Andino: Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas*. Pág. 1 al 30.
- HERMANNNS, R.; CERRITOS, O.; VALENCIA, J.; COURTNEY, J. (2007). *Guía metodológica y practica para la generación de mapas de susceptibilidad a deslizamientos con ARCGIS*. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas PMA:GCA.
- HOLDRIDGE L. R. (1967). *Life zone ecology*. Tropical Science Center. San Jose, Costa Rica. 206 pp.
- HUNGR, O. & EVANS, S.G., (2004). *Entrainment of debris in rock avalanches: an analysis of a long run-out mechanism*: *Geological Society of America Bulletin*, V.
- HUNGR, O., EVANS, S. G., BOVIS, M., HUTCHINSON, J. N., (2001), *Review of the Classification of landslides of the flow type*: *Environmental and Engineering Geoscience*, v. 7, p. 221–238.
- HUTTON, J. (1776). *Teoría de la Tierra*. Traducido por García Cruz, C.M. (2004), en *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12 (2), 160-169.
- IRIGARAY, C. & CHACON, J (2003). *Métodos d análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante SIG*. En F. J. Ayala-Carcedo y J Corominas (eds). *Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG*.

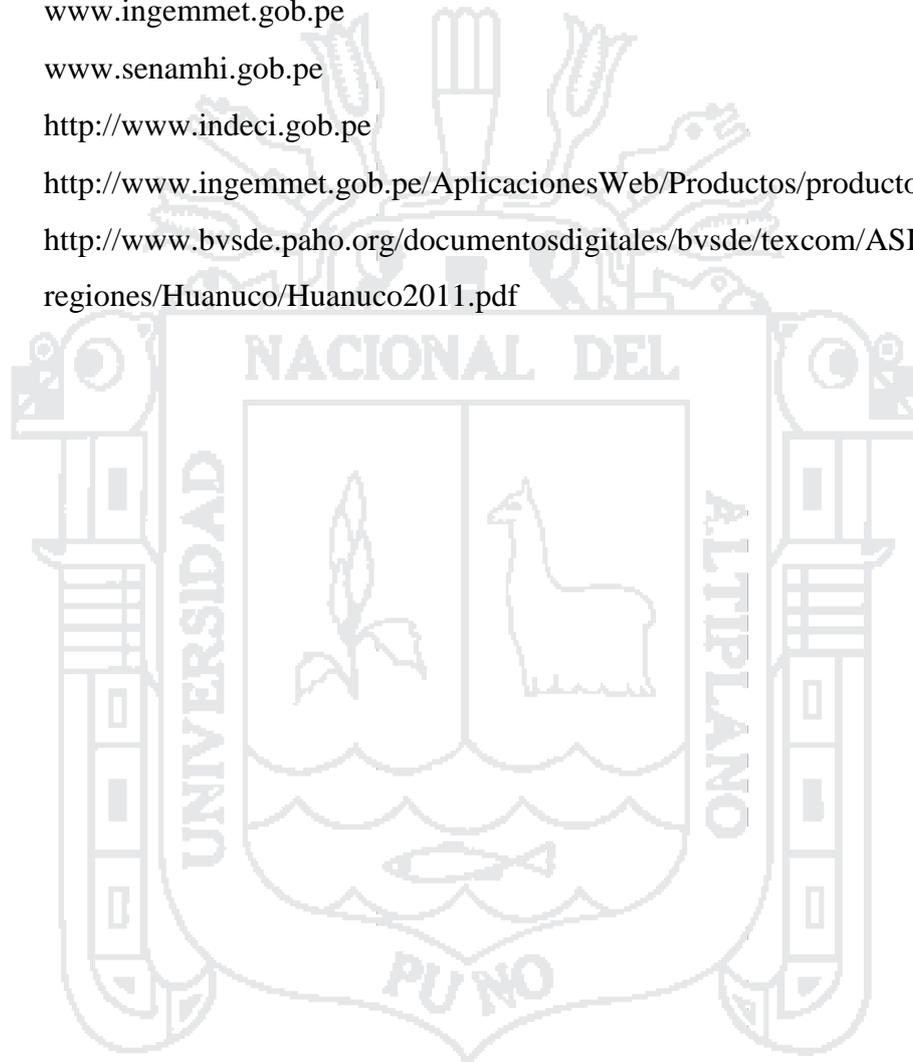
- Fundamentos y aplicaciones en España. Instituto Geológico y Minero de España, 21-36.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (1998). Manual de estabilidad de taludes – Geotécnia Vial. Ministerio de Transportes – Instituto Nacional de Vías. Colombia. 340 Págs.
- KOFI A. ANNAN (2004). Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres. Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, Naciones Unidas (EIRD/ONU). Ginebra, Suiza.
- LECARPENTIER, C.; PEREZ C.; KHOZBZI, J. & OSTER R (1997) La erosión de tierras en Colombia – con mapa de procesos dinámicos. Colombia INDEREMA.
- MCLAUGHLIN D.H. (1924). Geology and physiography of the Peruvian Cordillera Department of Junin and Lima Geol.Soc. Amer. Bull., vol. 35.
- MENDOZA, A. (2014). Verificación Geológica y Geodinámica – Mejoramiento de la Capacidad Operativa de la Posta de Salud de Pampamarca Micro Red de Yarowilca-DISA-Huánuco. Resumen Ejecutivo. Gobernación de Pampamarca. 14 Págs.
- MENDOZA, A. (2014). Evaluación Geológica y Geodinámica – Mejoramiento de la Capacidad Operativa de la Posta de Salud de Pampamarca Micro Red de Yarowilca-DISA-Huánuco. Gobernación de Pampamarca. 31 Págs.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES DE ESPAÑA. MOPT, (2004) Guías para la elaboración de estudios del medio físico. 5ta Edición Madrid. España.
- MORA, S & VARHSON, W. G (1993). Determinación a priori de amenazas de deslizamiento utilizando indicadores morfodinámicos, Rev. Tecnología ICE, 3(1): 32-42.
- OJEDA, J CASTRO, E.; VALENCIA, A. Y FONSECA, S. (2001). Evaluación de riesgos por fenómenos de remoción en masa – Guia metodología. Colombia: INGEOMINAS – Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- PICÓN, L. (2013). Informe de Emergencia sobre el Derrumbe de Infraestructura Educativa N° 32234 Illatupa de Pampamarca”. Municipalidad distrital de Pampamarca-Yarowilca-Huánuco. 14 Págs.
- PMA: GCA. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). Movimientos en masa en la región Andina: Una Guía para la

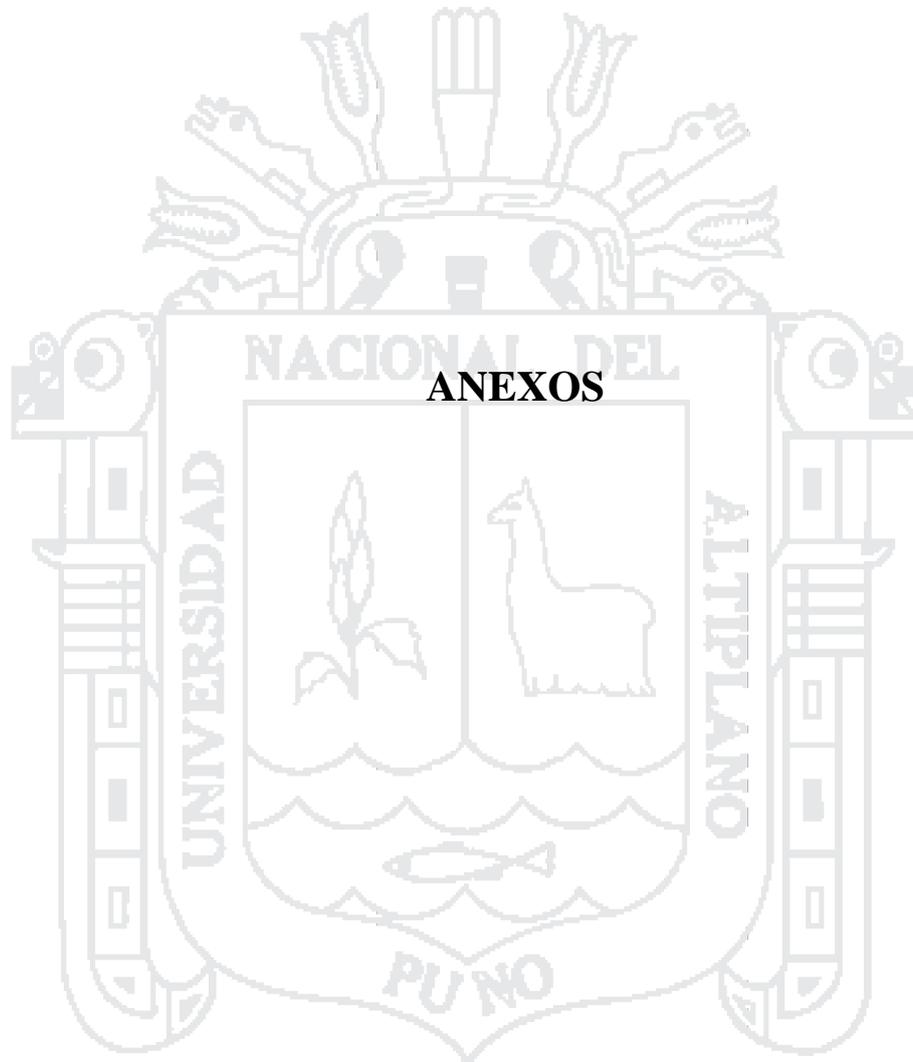
- evaluación de Amenazas. Publicación geológica multinacional N° 4, 404 p., Canadá.
- RICKENMANN, D. (2005). Debris flows and risk assessment. Report for the Swiss Federal Office for Water and Geology. University of Natural Resources and Applied Life Sciences and Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research (WSL). Birmensdorf.
- SÁNCHEZ, J.; MARTÍNEZ, A.; ZARATE, H. (1996). Geología de los Cuadrángulos de Huaraz (20-h), Recuay (20-i) La Unión (20-j), Chiquian (21-i) y Yanahuana (21-j).
- SANCHEZ, R.; MAYORGA, R.; URREGO, L.; VARGAS, G (2002). Modelo para el pronóstico de la amenaza por deslizamiento en tiempo real. Simposio Latinoamericano de Control de Erosión 2002. Bogotá – Colombia.
- SANCIO, R.; (1996). Vegetación y estabilidad de laderas. Tecnología y construcción. IDEC. UCV Vol. 12. Pp. 33-37.
- SANTACANA, N. (2001). Análisis de susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica. Aplicación a la cuenca alta del Río Llobregat. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- SANHUEZA, R. & VIDAL, C. (1996). Análisis integrado de los riesgos naturales en la ciudad de Concepción. Memoria para optar al título de Profesor de Historia y Geografía. Facultad de Educación, Humanidades y Arte. Universidad de Concepción: 128pp, 3 cartas (Inédito).
- SEPÚLVEDA, S. (1998). Metodología para Evaluar el Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos: Aplicación en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ-SENAMHI (2003). Mapa de Precipitación Anual-Periodo Normal (Septiembre-Mayo). En INDECI, Atlas de Peligros Naturales. Lima. Págs. 310-311.
- TURNBULL, W. J. & HVORSLEV M. J. (1967). "Special Problems in Slope Stability", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 93, SM4, pp. 499-528.

- VANE, C. J.; RENGERS, N.; TERLIEN, M J.; SOSTERS, R., (1997). Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation: *Geologische Rundschau*, Vol. 86, pp. 404-4014.
- VARNES, D. J. (1978). Slope movement types and processes. En: Schuster, R.L.& Krizek, R.J., eds., *Landslides, analysis, and control*. Washington, DC: National Research Council, Transportation Research Special Report 176, p. 11-33.
- VÁSQUEZ A. J. (2002). Movimientos en masa en la Quebrada Canto Grande, Lima. Tesis de ingeniero geólogo Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- VILCHEZ M. (2008). Evaluación de la Susceptibilidad a los Movimientos en Masa en las Áreas de Chachapoyas y Luya. Tesis de Maestría Universidad Politécnica de Madrid.
- VILLACORTA C. S. (2003). Estudio de Riesgos Geológicos de la Cuenca del Río Mala Tesis de Ingeniero Geólogo Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- VILLOTA. H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. Bogotá D.C. Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC (Departamento Nacional de Estadística. Responsibility[ed. Hugo Villota]. LanguageSpanish. Edition2.ed. ImprintBogotá D.C. : Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC (Departamento Nacional de Estadística), 2005. Physical descriptionxxvi, 184 p. : ill.. maps ; 28 cm.
- WIECZOREK, G. F., & JÄGER, S. (1996). Triggering mechanisms and depositional rates of postglacial slope-movement processes in the Yosemite Valley, California: *Geomorphology*, v. 15, p. 17–31, doi: 10.1016/0169-555X(95)-0112-I.
- ZAVALA, B. & VÍLCHEZ, M. (2005). Informe Técnico, Geología Ambiental: Zonas Críticas Región Huánuco. “Reporte preliminar” Realizado por INGEMMET Cód. A6120.
- ZAVALA, B., VÍLCHEZ, M., R. (2006). Estudio de Riesgos Geológicos en la Región Huánuco. INGEMMET. Dirección de Geología Ambiental. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica. Boletín N° 34. 174 Págs.

FUENTES DE INFORMACIÓN (WEBGRAFÍA)

- http://www.ingemmet.gob.pe/Documentos/Geologia/ZonasCriticas/Regiones/Zonas_Criticas_Huanuco.pdf
- www.inei.gob.pe/estadisticas/censos
- www.ingemmet.gob.pe
- www.senamhi.gob.pe
- <http://www.indeci.gob.pe>
- <http://www.ingemmet.gob.pe/AplicacionesWeb/Productos/productos/index.ht>
- <http://www.bvsde.paho.org/documentosdigitales/bvsde/texcom/ASIS-regiones/Huanuco/Huanuco2011.pdf>







FICHA DE INVENTARIO GEOHIDROGEOLÓGICOS

	FORMATO	Código : DGAR-F-148
	FICHA DE INVENTARIO DE PELIGROS GEOLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS EN EL PERÚ	Versión : 00
		Aprobado por : DGAR
		Fecha aprob. : 14 ABR. 2010
		Página : 1 de 3

I UBICACIÓN GEOGRÁFICA					
1 FICHA N°	2 NORTE	3 ESTE	4 COTA	5 FRANJA N°	6 CUADRANGULO (IGN)
7 REGION / DPTO.	8 PROVINCIA	9 DISTRITO	10 PARAJE / CASERIO / LUGAR		
11 CUENCA HIDROGRÁFICA	12 FECHA	13 EFECTUADO POR	14 FOTOGRAFIA (S)		

II TIPOLOGIA		16 NOMBRE ESPECÍFICO	17 DENOMINACION
Caída	<input type="checkbox"/> Vuelco	<input type="checkbox"/> Flujo	<input type="checkbox"/> Desplaz. lateral
<input type="checkbox"/> Deslizamiento	<input type="checkbox"/> Mov. Complejo	<input type="checkbox"/> Otro Peligro Geológico	<input type="checkbox"/> Reptación

III DESCRIPCIÓN		
18 PROCESOS O CAUSAS NATURALES	19 ACTIVIDAD ANTRÓPICA	
FACTORES DE SITIO	DEL ENTORNO GEOGRÁFICO	FACTORES ANTRÓPICOS
Substrato de mala calidad (muy meteorizado)	Precipitaciones pluviales intensas (pluviosidad alta)	Excavaciones, Voladuras (cortes en el pie de ladera o talud)
Alterancia de rocas de diferente competencia	Deshielo y/o retroceso glaciar	Sobrecargas (rellenos: en la corona de un talud)
Rocas muy fracturadas o dislocadas	Aguas subterráneas: Infiltraciones / presión de poros	Ocupación inadecuada del suelo por el hombre (Áreas vulnerables)
Orientación desfavorable de discontinuidades	Dinámica Fluvial (Socavamiento del pie de un talud)	Desembozo violento de presas o lagunas naturales
Naturaleza del suelo (incompetente)	Colmatación del cauce fluvial (sedimentación)	Agotamiento de recursos hídricos
Material de relleno antiguo, susceptible	Dinámica marina (presión de costas)	Deforestación o sobrepastoreo de laderas
Pendiente del terreno	Actividad volcánica	Sismicidad y/o fallas activas
Ausencia o escasez de vegetación	Rotura de un dique momentáneo	Otro factor:
Otro factor:	Otro Peligro Geológico	Colapso de alguna estructura inducida por sismo
		Activ. Minera
		Otro factor:

20 EVIDENCIAS VISUALES DEL PROCESO

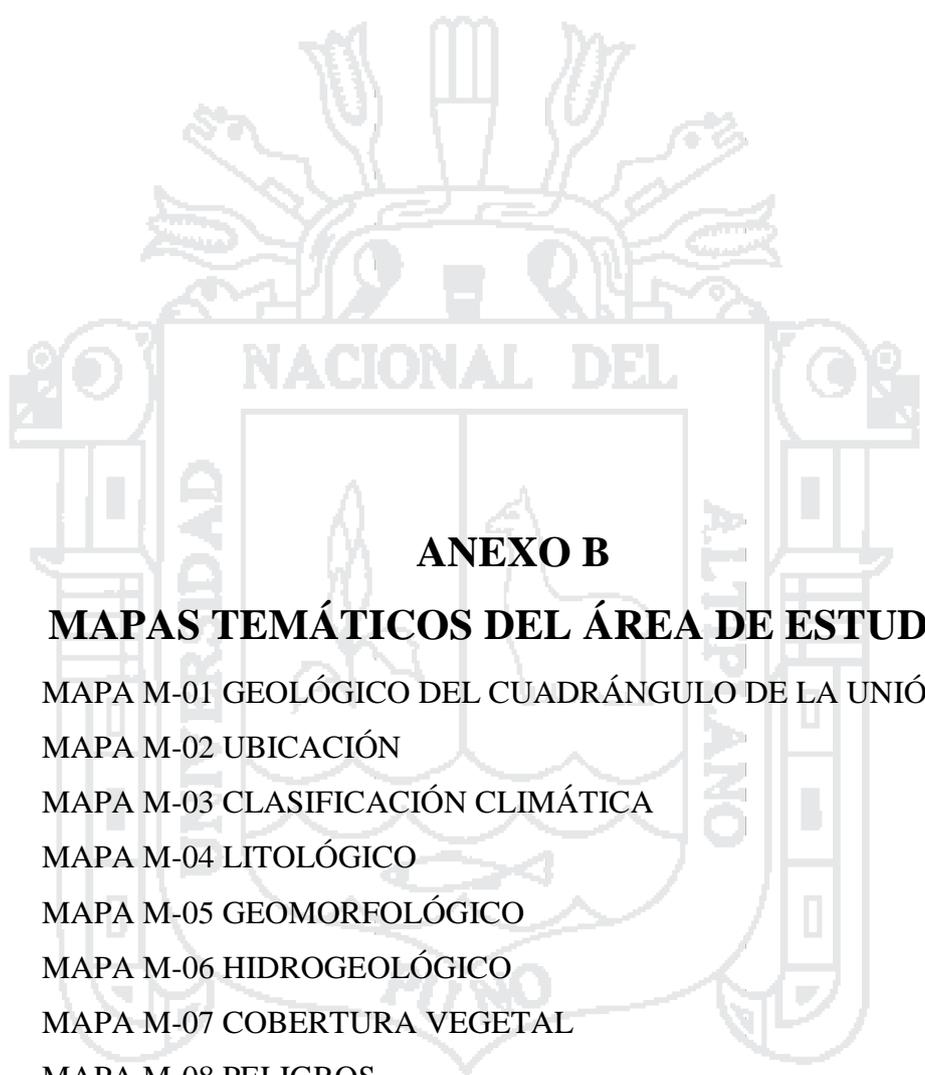
MOVIMIENTOS EN MASA		PELIGROS GEOHIDROLÓGICOS	
DESIZAMIENTO / DESIZAMIENTOS COMPLEJOS		INUNDACIONES	
ESTILO	FORMA DE LA ESCARPA	ÁREA SUSCEPTIBLE A INUNDACION	EXTENSIÓN (m ²)
Escarpa única	Roca	Ullunra inundable	Litoral
	Características	Terraza baja	Depresión topográfica
Escarpas múltiples	VELOCIDAD DEL MOVIMIENTO	CURSO PRINCIPAL	Meándrico
	DISTRIBUCIÓN O ACTIVIDAD	Rectilíneo	Anastomosado
Enjambres de escarpas	Reactivación	EROSIÓN DE LADERAS	
Asentamientos	Agrietamientos	TIPO	Cárcavas
Desviación de cauce y/o embalses	Deposito de flujo	Estado evolutivo	Inicial
		Dimensiones	Longitud (m):
		Uso del terreno	Cultivos
		Zonas involucradas	Pastizales
			Cultivos
			Bofedales
			Conte artificial
			Área urbana

DERRUMBES O COLAPSOS / CAIDA DE ROCAS / VUELCO

ARRANQUE	TIPO DE ROTURA	Taludes	Corona artificial
Talud rocoso fracturado	Cuña	Planar	Vuelco
	Regular	Irregular	Continua
			Discontinua
			Longitud de arranque (m):
			Altura (m):
			Volumen de deposito (m ³):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Distancia recorrida (m):
			Obstrucción de vía (m):
			Obstrucción de cauce (m):
			Enterramiento de viviendas (N°):
			Demurbe de tierras (m ²):

	FORMATO	Código : DGAR-F-148
	FICHA DE INVENTARIO DE PELIGROS GEOLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS EN EL PERÚ	Versión : 00 Aprobado por : DGAR Fecha aprob. : 14 ABR. 2010 Página : 2 de 3

Saturación y remoción de suelo superficial		Área afectada (m ²):	
OTRAS CARACTERÍSTICAS ENCONTRADAS:			
22 OCURRENCIA ACTUAL (dim/a)		23 OCURRENCIAS ANTERIORES	
24 RECURRENCIA DEL PELIGRO		25 EDAD ESTIMADA DEL FENÓMENO	
26 ASPECTO GEOMORFOLÓGICO PRINCIPAL		27 PENDIENTE DEL TERRENO	
28 RED DE DRENAJE		29 FORMA DEL TERRENO	
30 PRESENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS		31 CUBIERTA VEGETAL	
32 TIPO DE VEGETACIÓN		33 LITOLOGÍA DEL SUBSTRATO	
34 DEPOSITOS SUPERFICIALES O SUELOS		35 GRADO DE SATURACIÓN	
36 TIPO DE SUELO (% CLASIS)		37 SUELOS COHESIVOS (CONSISTENCIA)	
38 SUELOS GRANULARES (COMPACTIDAD)		39 ESPESOR (m)	
40 ESTRUCTURAS Y DISCONTINUIDADES EN LAS ROCAS			
41 INTENSIDAD DE FRACTURAMIENTO			
42 GRADO DE ALTERACIÓN			
43 CARRETERA (Km)			
44 CAMINO RURAL (Km)			
45 VIA FERREA (Km)			
46 VIVIENDAS AFECTADAS			
47 VIVIENDAS DESTRUÍDAS			
48 CULTIVOS O PASTIZALES (Has)			
49 MUERTOS / DESAPARECIDOS			
50 HERIDOS			
51 DAMNIFICADOS			
52 CANAL (m)			
53 PUENTE (m)			
54 REDES DE ENERGÍA (m)			
55 GASEODUCTO / OLEODUCTO (Km)			
56 PATRIMONIO NATURAL O CULTURAL			
57 OTRA INFRAESTRUCTURA MAYOR			
58 CARACTERÍSTICAS DE LOS DAÑOS			
59 GRADO DEL PELIGRO			
60 VULNERABILIDAD			
61 RIESGO ESTIMADO			
62 MEDIDAS U OBRAS DE PREVENCIÓN			
63 MEDIDAS DE PREVENCIÓN RECOMENDADAS			
64 Y/O MITIGACIÓN REALIZADAS			
CUAL(ES):			
DESCRIPCIÓN:			
IX FUENTE DE INFORMACION (64)			
TESIS UNIV. <input type="checkbox"/> BOL. TÉCNICO <input checked="" type="checkbox"/> REVISTA <input type="checkbox"/> INF. TÉCNICO <input type="checkbox"/> ART. PERIODÍSTICO <input type="checkbox"/> INFORM. CAMPO <input type="checkbox"/> FOTOINTERPRETAC. <input type="checkbox"/>			
AUTOR (ES):			
TÍTULO ESTUDIO:			
FECHA:			



ANEXO B

MAPAS TEMÁTICOS DEL ÁREA DE ESTUDIO

MAPA M-01 GEOLÓGICO DEL CUADRÁNGULO DE LA UNIÓN

MAPA M-02 UBICACIÓN

MAPA M-03 CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

MAPA M-04 LITOLÓGICO

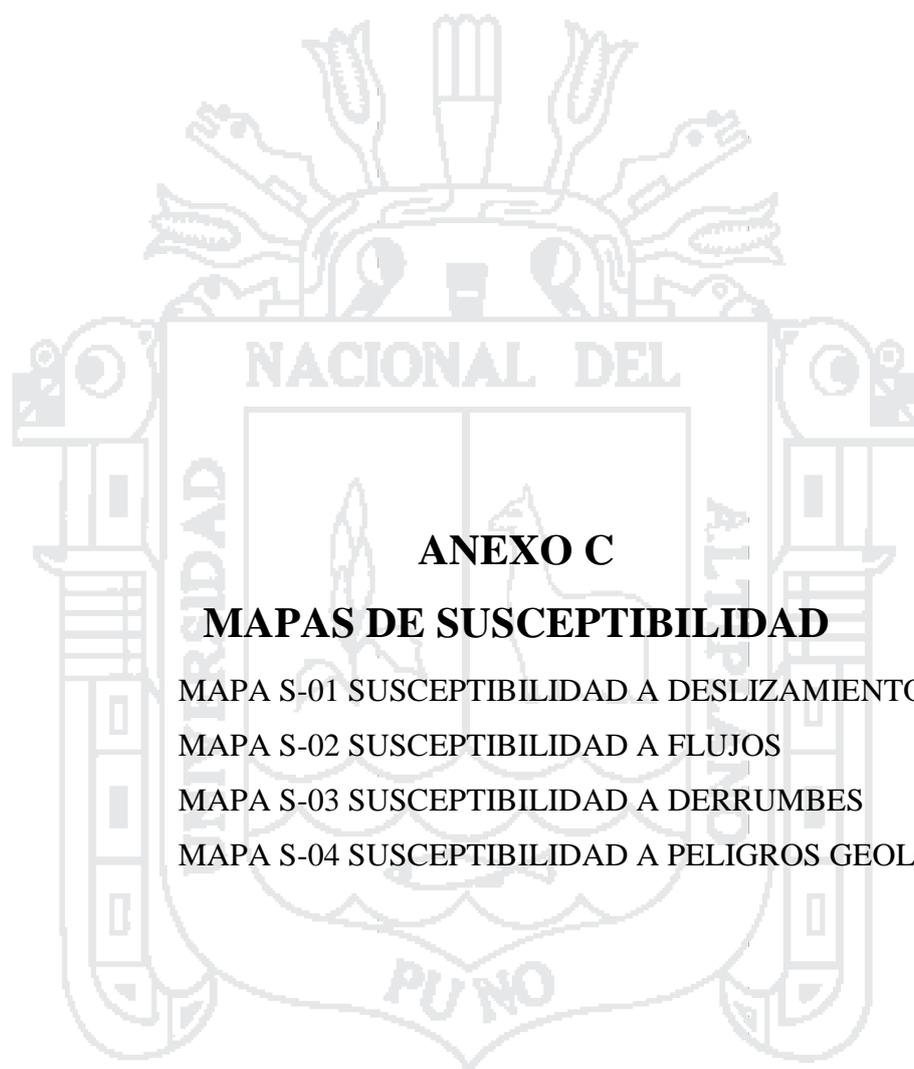
MAPA M-05 GEOMORFOLÓGICO

MAPA M-06 HIDROGEOLÓGICO

MAPA M-07 COBERTURA VEGETAL

MAPA M-08 PELIGROS

MAPA M-09 PENDIENTES



ANEXO C

MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD

MAPA S-01 SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS

MAPA S-02 SUSCEPTIBILIDAD A FLUJOS

MAPA S-03 SUSCEPTIBILIDAD A DERRUMBES

MAPA S-04 SUSCEPTIBILIDAD A PELIGROS GEOLÓGICOS