Red DESIR

MÁSTER INTERNACIONAL APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS MINERALES

TESIS DE MAESTRÍA

EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN LAS ÁREAS DE CHACHAPOYAS Y LUYA (AMAZONAS – PERÚ)

Manuel Salomón Vilchez Mata

Septiembre, 2008

Red DESIR

MÁSTER INTERNACIONAL APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS MINERALES

Línea:

Medio Ambiente y Minería

TESIS DE MAESTRÍA

EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN LAS ÁREAS DE CHACHAPOYAS Y LUYA (AMAZONAS – PERÚ)

Manuel Salomón Vilchez Mata

Septiembre, 2008

Red DESIR

Constituido el tribunal nombrado por el Coordinador Internacional del Programa de Máster Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Minerales, el día __ de _____de 2008

Presidente:_____
Vocal:_____
:_____
Secretario:_____

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis de Maestría el día el día __ de _____de 2008

EL PRESIDENTE **LOS VOCALES**

EL SECRETARIO

CURSO 2007-2008

MÁSTER INTERNACIONAL
APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS MINERALES

Como director del Trabajo,

Autorizo la presentación de la Tesis de Maestría

EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN LAS ÁREAS DE CHACHAPOYAS Y LUYA (AMAZONAS-PERÚ)

Realizado por
Manuel Salomón Vilchez Mata

Bajo mi dirección
y

Lionel Fidel Smoll

Firmado: **Prof. Rachid El Hamdouni Jenoui**
Fecha: 01 de Agosto de 2008

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO ----------IX
DEDICATRORIA ----------X
RESUMEN ----------XI
ABSTRACT ----------XI

CAPÍTUO 1: INTRODUCCION ----------1
1.1 Objetivos ----------4
1.2 Antecedentes ----------4
1.3 Recursos ----------6
1.4 Metodología ----------7

CAPITULO 2: SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) ----------10
2.1 Introducción sobre el uso de los SIG para la elaboración de mapas de susceptibilidad a los movimientos en masa ---------- 10
2.2 Programa utilizado (Software) ----------23

CAPITULO 3: MARCO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO----------26
3.1 Ubicación y accesibilidad del área de estudio ----------26
3.2 Comprensión administrativa ----------27
3.3 Ocupación antrópica ----------30
3.4 Clima ----------36
3.5 Marco hidrológico ----------40
3.6 Cobertura vegetal y uso del suelo ----------42
3.7 Marco geomorfológico ----------51
3.8 Marco geológico ----------68

CAPITULO 4: LOS MOVIMIENTOS EN MASA: clasificaciones y factores de inestabilidad de ladera ----------91
4.1 Clasificación de movimientos en masa ----------91
4.2 Factores de inestabilidad de ladera ----------107
4.3 Edad, actividad y peligro de los movimientos en masa ----------111

CAPITULO 5: ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA UTILIZANDO EL METODO BIVARIANTE ----------118

5.1 Movimientos en masa ----------118

5.2 Hipótesis de rotura ---------- 119

5.3 Susceptibilidad ----------122

5.4 Metodología ----------139

CAPITULO 6: ANÁLISIS DE ZONAS CRÍTICAS----------168

CAPITULO 7: DISCUSIONES Y CONCLUSIONES ----------188

BIBLIOGRAFÍA ----------196

ANEXOS ----------205

Anexo A: Calculo de la función W.

Anexo B: Mapas de susceptibilidad según tipos de peligros.

RELACIÓN DE MAPAS

Mapa 1: Cobertura vegetal y uso del suelo

Mapa 2: Geomorfológico

Mapa 3: Movimientos en masa

Mapa 4: Litológico-estructural

Mapa 5: Pendientes

Mapa 6: Susceptibilidad total a los movimientos en masa de las áreas de Chachapoyas y Luya

Mapa 7: Zonas críticas

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Esquema de funcionamiento del ArcGIS (Tomado de ESRI™, 2002). ----25
Figura 3-1: Mapa de ubicación de las áreas de Chachapoyas y Luya. ----------28
Figura 3-2: Distribución de la población a nivel provincial. ----------30
Figura 3-3: Distribución de la población en la zona de estudio. ----------31
Figura 3-4: Estructura poblacional de la región Amazonas. ----------33
Figura 3-5: Niveles de analfabetismo en la zona de estudio.----------34
Figura 3-6: Mapas de Isoyetas de la zona norte del Perú, en periodo lluvioso normal y con el Fenómeno de El Niño. ----------38
Figura 3-7: Mapa morfológico regional de la zona de Chachapoyas y Luya. ----------53
Figura 3-8: Columna estratigráfica de la zona de estudios. ----------74
Figura 4-1: Derrumbes y caída de rocas. ----------96
Figura 4-2: Caída de rocas tomado de Colas y Pillot, Varnes, 1958. ----------96
Figura 4-3: Caída de rocas y formación de cono de talus (Clark y Small 1982). -------97
Figura 4-4: Vuelco o topples (adaptado de Goodman y Bray, 1976). ----------97
Figura 4-5: Deslizamiento rotacional (adaptado de Varnes, 1978). ---------- 98
Figura 4-6: Deslizamientos traslacionales en suelos (Varnes, 1978 y Royster, 1989). 99
Figura 4-7: Deslizamiento traslacional (USGS, 2007). ---------- 99
Figura 4-8: Deslizamiento de bloques (USGS, 2007). ----------100
Figura 4-9: Expansión lateral (USGS, 2007). ----------101
Figura 4-10: Flujo de detritos (huaycos) (USGS, 2007). ----------102
Figura 4-11: Avalancha de detritos (USGS, 2007). ----------102
Figura 4-12: Flujos (Tomado de Varnes, 1978 y Royster, 1982). ----------103
Figura 4-13: Flujo de tierra (USGS, 2007). ----------103
Figura 4-14: Ejemplos de flujos de lodo (tomado de Royster, 1982, Colas y Pilot, 1976). ----------104
Figura 4-15: Manifestaciones en el suelo cuando existen procesos de reptación (adaptado de Selby, 1982, Denness, 1973, y Nelson & Martín, 1981). ----------105
Figura 4-16: Erosión en cárcavas que afectan talud superior e inferior de carretera.--107
Figura 5-1: Interacción ladera-vegetación, e influencia en la estabilidad (Yin et al, 1988). ----------138
Figura 5-2: Diagrama de flujo de la metodología seguida para obtener el mapa se susceptibilidada a los movimientos en masa utilizando el método bivariante. ---------148

Figura 5-3: Distribución de la susceptibilidad a los movimientos en masa en las áreas de Chachapoyas y Luya. ----------166
Figura 6-1: Numero de ocurrencias de movimientos en masa según tipo. ----------170
Figura 6-2: Estereograma donde se aprecian las principales familias de juntas. ------176
Figura 6-3: Estereograma donde se ha incluido el talud o acantilado. ----------176

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 3-1: Vista panorámica aguas arriba (vista hacia el Sur) del valle del río Utcubamba, confluencia con el río Rumiyacu. ----------41
Foto 3-2: Bosques húmedos, asociados con matorrales, laderas del valle del río Osmal, distrito de Levanto. ----------47
Foto 3-3: Bosque de eucaliptos sembrados por pobladores del poblado de Chahapoyas.----------47
Foto 3-4: Pastizales en primer plano, hacia el fondo bosques de eucalipto, sector Aeropuerto, Chachapoyas. ----------48
Foto 3-5: Terrenos de cultivo en laderas de montaña, sector de Levanto.----------50
Foto 3-6: Escarpas desprovistas de vegetación, margen izquierda del río Utcubamba. 50
Foto 3-7: Vista panorámica de la ciudad de Chachapoyas. ----------51
Foto 3-8: Montañas en la margen izquierda del río Utcubamba, sector de Tingo. ----- 56
Foto 3-9: Montañas con laderas estructurales inclinadas (Me), margen izquierda río Osmal, cerca de Levanto. ----------57
Foto 3-10: Hacia el fondo Laderas de montañas estructurales, conformada por capas horizontales, margen derecha del río Utcubamba. ----------58
Foto 3-11: Formación de una dolina en calizas rellena de agua en un paisaje de karst (Kr), por hundimiento, cerca del poblado de Lamud. ----------59
Foto 3-12: Acantilados en rocas carbonatadas, margen izquierda del río Utcubamba, cerca del sector de El Cañaveral. ----------60
Foto 3-13: Vista de un Abanico proluvial (Ap), que discurre por la quebrada Jatunsacha, margen derecha del río Utcubamba, la carretera que va hacia la localidad de Chachapoyas cruza este deposito. ----------61
Foto 3-14: Deposito de vertiente de detrito (Vd), formado por la acumulación de clastos caídos desde la parte superior de la ladera, margen izquierda del río Utcubamba. ------62
Foto 3-15: Deposito proluvi-aluvial (Dpa), de suave pendiente, delimitado por línea amarilla, confluencia de la quebrada Yunguilla en la quebrada Tincas. ----------63

Foto 3-16: Valle del río Utcubamba, cerca de la localidad de Tingo, es posible observar las terrazas usadas para labores agrícolas. ----------64
Foto 3-17: Vista de la altiplanicie disectada (Ad) en el sector de Inguilpata. ----------65
Foto 3-18: Vista panorámica de la planicie inclinada (Pi) donde se ha asentado la ciudad de Chachapoyas. ----------66
Foto 3-19: Valle rellenado (Vr) en el río Osmal, es posible observar el corte abrupto (A) sufrido en el material de relleno. ----------67
Foto 3-20: Panorámica de los cerros Cachiyacu y Convento, poblado de Maino, vista hacia el Noreste. ----------68
Foto 3-21: Panorámica donde se observa en primer plano la localidada de Chachapoyas, hacia el fondo los cerros Shucsha y Tosan, donde se asientan las localidades de Luya y Lamud, vista hacia el Noroeste. ----------68
Foto 3-22: Areniscas y lodolitas rojas, Formación Mitu, carretera a La Colpa. --------76
Foto 3-23: Afloramiento de calizas de la Formación Chambará, carretera hacia la Colpa, Chachapoyas. ----------77
Foto 3-24: Formación Aramachay, carretera Chachapoyas-Levanto. ----------78
Foto 2-25: Formación Condorsinga, carretera Chachapoyas-Levanto. ----------79
Foto 3-26: Formación Sarayaquillo, carretera La Colpa-Pipus. ----------81
Foto 3-27: Formación Goyllarisquizga, bancos de areniscas de más de 2 m intercalados con limoarcillitas gris verdosas en bancos de 1 m, carretera Caclic-Luya. ----------82
Foto 3-28: Calizas intercaladas con margas de la Formación Chulec, margen Izquierda del río Jucusbamba, Lamud. ----------83
Foto 3-29: Secuencia calcarea del Grupo Pulluicana, margen izquierda del río Utcubamba. ----------84
Foto 3-30: Formación Inguilpata, conglomerados y areniscas amarillentas, cerca de Lamud. ----------85
Foto 3-31: Material proluvial, proveniente de flujo de detritos, poblado de San Isidro, Chachapoyas. ----------86
Foto 3-32: Depósito proluvio-aluvial (Pa), forma un depósito de topografía de susve pendiente, quebrada Yunguilla, cerca del poblado de Lonya Chico. ----------87
Foto 3-33: Depósito coluvio-deluviales (Dca) en color anaranjado, depositados encima de la formación Goyllarisquizga, localidad de Chachapoyas. ----------88

Foto 3-34: Depósitos coluviales, material acumulado por derrumbes y caída de rocas producidos en acantilado formado en rocas de la Formación Goyllarisquizga, margen izquierda del río Utcubamba. ----------89
Foto 3-35: Material de terrazas y lecho del río Utcubamba, terrazas son utilizadas en labores agrícolas. ----------90
Foto 6-1: Deslizamiento que compromete carretera de acceso a Chachapoyas. -------172
Foto 6-2: Erosión de laderas intensa, formación de cárcavas, deslizamientos y derrumbes en márgenes de cárcava, norte de Chachapoyas. ----------172
Foto 6-3: Cárcava que formada entre los distritos de Lonya Chico e Inguilpata. ------173
Foto 6-4: Material de movimiento complejo disectado por cárcava por donde discurren flujos. ----------174
Foto 6-5: Vista Panorámica de la ubicación de la C.C.H.H de Caclic. ----------177
Foto 6-6: Derrumbe ubicado a la margen izquierda del río Utcubamba, muy cerca de la C.C.H.H. de Caclic. ----------177
Foto 6-7: Quebrada Villacorta, vista donde se produce la caída de un flujo de detritos el día 28 de octubre del 2007. ----------178
Foto 6-8: Vista de la quebrada Loropaccha, en el preciso momento que se produce la caída de un flujo de detritos que corto el transito por 2 horas el día 28 de octubre del 2007. ----------179
Foto 6-9: Vista del talud superior de la carretera de acceso a Chachapoyas en donde se observa el material muy fracturado, se produce derrumbes. ----------180
Foto 6-10: Vista donde se puede apreciar la quebrada Ayatacsan, por donde discurren flujos de detritos que comprometen la carretera de acceso al poblado de Colcamar. - 180
Foto 6-11Cauce de la quebrada Achamachi por donde discurren flujos de detritos. -181
Foto 6-12: Cauce de la quebrada Quipacancha, por donde discurren flujos de detritos, se puede apreciar el material acarredo por la quebrada. ----------182
Foto 6-13: Tramo de carretera que conduce a Chachapoyas desplazado por deslizamiento. ----------183
Foto 6-14: Cabeceras de la quebrada Yunguilla, afectada por procesos de erosión de ladera intensa, formación de deslizamientos y derrumbes hacia ambas márgenes de quebrada. ----------184
Foto 6-15: Vista donde es posible observar los bloques y material removido por un gran movimiento complejo, actualmente la carretera que accede al distrito de Chachapoyas cruza esta zona. ----------184

Foto 6-16: Vista panorámica de la carretera de acceso a Chachapoyas, afectada por derrumbes y deslizamientos en el talud superior. ----------185
Foto 6-17: Vista panorámica de la quebrada Jatunsaccha, por donde pueden discurrir flujos de detritos que pueden comprometer el acceso al distrito de Chachapoyas. ----186
Foto 6-18: Quebrada Salaverry, obsérvese el material acarreado por el último flujo de detritos discurrido por la quebrada y la proximidad de viviendas al cauce. ----------187

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Comprensión administrativa de la región Amazonas y distrito que se encuentran dentro de la zona de estudio. ----------29
Tabla 3-2: Evolución de la población de la región Amazonas a nivel de provincias. --31
Tabla 3-3: Estructura demográfica de la región Amazonas. ----------32
Tabla 3-4: Distribución de la población por sexos. ----------33
Tabla 3-5: Tipo de vivienda. ----------34
Tabla 3-6: Ubicación de viviendas. ----------34
Tabla 3-7: Tipo de alumbrado que utilizan los hogares. ---------- 35
Tabla 3-8: Tipo de abastecimiento de agua. ---------- 35
Tabla 3-9: Conexión de los servicios higiénicos. ---------- 35
Tabla 3-10: Precipitación total promedio anual. ----------37
Tabla 3-11: Comparación de valores de precipitación. ----------37
Tabla 3-12: Comparación de valores de temperaturas. ----------39
Tabla 4-1: Clasificación de movimientos en masa de Evans (2005). ----------93
Tabla 4-2 Clasificación de movimientos en masa de Varnes (1978). ---------- 94
Tabla 4-3: Causas que provocan movimiento en masa. ----------110
Tabla 4-4: Edad de los deslizamientos (McCalpin, 1984). ----------111
Tabla 4-5: Escala de velocidad de deslizamiento (Cruden y Varnes, 1996). ---------- 114
Tabla 5-1 Influencia de la vegetación en la estabilidad de taludes (Yin et al, 1988).- 138
Tabla 5-2: Tipos de movimientos en masa evaluados. ---------- 147
Tabla 5.3: Cálculo estadístico del peso o susceptibilidad de las unidades litológicas a los movimientos en masa.----------153
Tabla 5-4: Calculo estadístico del peso o susceptibilidad de los valores de pendientes a los movimientos en masa. ---------- 154
Tabla 5-5: Calculo estadístico del peso o susceptibilidad de las unidades de cobertura vegetal a los movimientos en masa. ----------154

Tabla 5-6: Calculo estadístico del peso o susceptibilidad de las unidades morfológicas a los movimientos en masa. ---------- 155
Tabla 5-7: Intervalos de susceptibilidad para pendientes. ----------157
Tabla 5-8: Intervalos de susceptibilidad para la litología. ----------158
Tabla 5-9: Intervalos de susceptibilidad para la geomorfología. ---------- 158
Tabla 5-10: Intervalos de susceptibilidad para la cobertura vegetal. ----------158
Tabla 5-11: Categorías de susceptibilidad para la litología. ----------159
Tabla 5-12: Categorías de susceptibilidad para la pendiente. ----------159
Tabla 5-13: Categorías de susceptibilidad para la cobertura vegetal. ----------159
Tabla 5-14: Categorías de susceptibilidad para la geomorfología. ----------160
Tabla 5-15: Capas raster creadas para asignar los grados de susceptibilidad. ---------160
Tabla 5-16: Capas raster reclasificadas. ----------161
Tabla 6-1: Principales familias de juntas detectadas en la estación geomecánica de campo. ----------175

AGRADECIMIENTO

Concluida esta memoria, siento que es necesario expresar mis más sincero agradecimientos a las siguientes personas.

En primer lugar expresar mi agradecimiento a los directivos del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), por brindarme la oportunidad de realizar la maestría.

Al Dr. Rachid El Hamdouni Jenoui, director de esta memoria, mi más sincero agradecimiento por su interés, apoyo, ideas y consejos que hicieron posible la culminación del trabajo.

Al Ing. Lionel Fidel Smoll por su ayuda, colaboración y apoyo, el cual hizo posible mi participación en la maestría.

A todos mis compañeros de la Dirección de Geología, en especial a Lucio Medina Allcca, jefe del proyecto estudio de Riesgo Geológico en la región Amazonas, por su apoyo en los trabajos de campo.

A Cesar Egocheaga, por su invaluable ayuda y consejos, que posibilitaron una mejor utilización del ARCGIS y la culminación de los planos de esta memoria.

A Juan Antonio Zegarra Loo, por su valiosa ayuda y aportes para concluir el trabajo de tesis.

A mis padres por estar siempre a mi lado y por su apoyo incondicional.

A mi esposa Ana María por su apoyo, comprensión y por estar siempre a mi lado.

A Leonora y Epifanio, mis padres

A Ana María, mi esposa

RESUMEN

Las área de Chachapoyas y Luya, se ubican en la región Amazonas al norte del Perú, entre los paralelos 6º 07’ 30’’ - 6º 22’ 30’’ de latitud sur y 77º 45’ 00’ - 78º 00’ 00’ de longitud Oeste. Esta zona históricamente ha sido afectada por movimientos en masa, los cuales han causado pérdidas económicas importantes.

En este trabajo se ha utilizado la tecnología de los Sistemas de información Geográfica (SIG) para evaluar la susceptibilidad del terreno a los movimientos en masa. El SIG utilizado fue el ARCGIS versión 9,1. Los parámetros condicionantes considerados en el análisis han sido las pendientes, la litología, la geomorfología y la cobertura vegetal. El análisis de la susceptibilidad de los terrenos a la ocurrencia de movimientos en masa, se ha realizado mediante el tratamiento estadístico bivariante, el cual utiliza la densidad de movimientos en masa presentes en cada unidad de terreno de los mapas de parámetros condicionantes, para poder otorgarles sus respectivos peso, utilizando estos valores de pesos se obtiene mapas de susceptibilidad por tipo de movimiento en masa, y con la suma de estos mapas resultantes se obtiene por último un mapa de susceptibilidad total a los movimientos en masa.

ABSTRACT

The area of Chachapoyas and Luya, are located in the Amazonas region at the north of Peru, between the parallels 6º 07 ' 30´´- 6º 22 ' 30 ' 'of South latitude and 77º 45 ' 00 ' - 78º 00 ' 00 ' of West longitude. Historically, this zone has been affected by mass movements, which have inflicted important economic casualties.

In this work the technology of the Geographical Information Systems (GIS) has been used to evaluate the susceptibility of the land to the mass movements. The used GIS was the ARCGIS version 9.1. The conditioners parameters considered in the analysis have been the slopes, the lithology, geomorphology and the vegetal cover. The analysis of the susceptibility of lands to the occurrence of mass movements has been carried out by the bivariant statistical treatment, which uses the density of the mass movements in each land unit of the maps of conditioners parameters, to be able to assign his respective weight. Using these values of weights we obtains maps of susceptibility by the type of mass movement, and with the sum of these resulting maps a map of total susceptibility to the movements in mass is finally obtained.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Transcurrido el Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales de las Naciones Unidas (DIRDN, 1990-1999), el mundo dio cuenta que se había disminuido la perdida de vidas, pero el número de desastres y perdidas económicas aumento, por una deficiente o nula aplicación de estrategias para reducción de desastres, así como a una deficiente cultura de prevención.

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 cambiada por una mayor atención a las estrategias de reducción de desastres (EIRD, 2004).

En el 2002 se produjeron más de 500 desastres en el mundo que causaron más de 10 000 muertos, afectando también unas 600 millones de personas y causaron perdidas por un valor de 55 mil millones de dólares y comprometieron seguros por 13 mil millones de dólares (EIRD, 2004).

Los movimientos en masa (peligros geológicos) pueden ocasionar desastres, con grandes pérdidas económicas, materiales y de vidas humanas, en una región como el Perú, con una conformación geográfica que presenta montañas con elevaciones que sobrepasan los 5 000 msnm, es 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 territorio realizadas por el hombre).

Algunos ejemplos de movimientos en masa considerados como eventos catastróficos son el del Mount Sant Helens en los Estados Unidos (Voigth et al., 1983), Estado de Vargas en Venezuela (Sancio, 2000) y Armero en Colombia (Montero-Olarte, 2005).

El Perú a través de su historia ha sido escenario de varias catástrofes causadas por fenómenos naturales, motivo por el cual el tema de peligros ha tenido mayor atención e interés en los últimos años, dentro de los ejemplos mas saltantes se tiene el del Huascarán (Plafker y Ericksen, 1970), Mayunmarca (Michelena, 1989) y el de Chavin de Huantar (Indacochea, 1945).

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 peligrosidad) 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 tienen los estudios de estabilidad de taludes con fines de diseño de obras de estabilización y prevención, como son sus costos y el tiempo que demanda realizarlos, hacen difícil su aplicación a escalas pequeñas (escalas a 1:50 00, 1:100 00, etc.). Los estudios de grande áreas requieren de 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 o sea afectada por un movimiento en masa, el resultado de estos estudios son los mapas de susceptibilidad, que en esencia representan la distribución espacial de las zonas más propensas a que produzca un movimiento en masa. Los mapas de susceptibilidad responde a la necesidad de evaluar la propensión de las zonas no movidas o afectadas a presentar problemas (Ayala-Carcedo, 2002).

Actualmente los SIG permiten el análisis de la susceptibilidad a la rotura por deslizamientos así como la elaboración de mapas de susceptibilidad y peligro de manera sistemática rápida y eficiente, permitiendo ampliar el manejo de grandes bases de datos y realizar cálculos de estimación de la susceptibilidad que eran inviables en grandes áreas (Santacana, 2001).

En este contexto, la necesidad de contar con una herramienta que sirva para realizar trabajos de planificación del territorio en las provincias de Chachapoyas y Luya, se ha creído por conveniente realizar el análisis de susceptibilidad de las laderas a la ocurrencias de movimientos en masa, que involucra a 12 distritos importantes de estas provincias, dentro de los cuales se encuentra ubicada la capital de la región.

La construcción de carreteras, obras de infraestructura diversa, así como el asentamiento de viviendas en zonas, que no reúnen las condiciones mínimas de seguridad física, han propiciado que se produzcan numerosas alarmas de emergencia por movimientos en masa en el área estudiada, esta problemática desde el punto de vista social y geológico-ingenieril, se puede resumir en los siguientes puntos.

- Desconocimiento de una cultura de prevención de desastres por parte de las autoridades regionales y locales, así como de la población en general.

- Peligro en inseguridad en algunas carreteras debido a la falta de estudios geotécnicos en su construcción, o en el peor de los casos a la no utilización de la información existente en materia de movimientos en masa, que en muchos de los casos no es tomada en cuenta al momento de realizar los proyectos viales.

- No haber tenido en cuenta factores geotécnicos al momento de proyectar y realiza la construcción de viviendas en zonas no apropiadas para este fin, al existir una gran presión por la demanda de vivienda.

- No contar con adecuados sistemas de riego y de desagüe de aguas servidas en la gran mayoría de distritos en donde se realiza el estudio

- Deterioro del medio ambiente, destrucción de la cobertura vegetal natural de las laderas y la falta de planes de reforestación.

Por todo ello, es necesario contar con herramientas de planificación del territorio, en este caso el mapa de susceptibilidad. El cual debería ser utilizado en la planificación de futuros proyectos de inversión y planes de expansión urbana.

En los capítulos que siguen se presenta la metodología seguida para elaborar este análisis de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa.

1.1 OBJETIVOS

El objetivo principal del presente Proyecto de tesis, es realizar una zonificación del territorio, según su susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa. Para ello, la tesis presenta los siguientes objetivos específicos.

- Elaborar un mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa para las zonas de Chachapoyas y Luya, mediante la utilización de las herramientas SIG.

- Determinar las zonas de alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa (Zonas críticas).

- Mejorar el conocimiento sobre las causas que originan los movimientos en masa, así como la vulnerabilidad de centros poblados e infraestructura de desarrollo socioeconómico presentes dentro de la zona de estudio.

1.2 ANTECEDENTES

Los trabajos realizados a nivel de la región Amazonas han tratado temáticas de geología, geodinámica, geotecnia, protección ambiental y recursos naturales. Los más notables son los realizados por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA, antiguamente ONERN) y el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

Así por ejemplo los estudios de geología regional efectuados por el INGEMMET entre los años 1995 - 2006, realizados a escala 1:100 000 caracterizan la geología de la región, donde se determina los tipos de rocas, sus edades y las potencialidades mineralógicas presentes en la región.

La base de datos sobre peligros de geodinámica externa denominada "GEOEXDAT" preparada por la antigua Dirección de Geotecnia del INGEMMET en 1997, utilizando información de estudios técnicos diversos, información del ministerio de transportes y comunicaciones, reportes periodísticos, etc., contaba con 72 ocurrencias de movimientos en masa y procesos geo-hidrológicos (inundaciones y erosión fluvial) para toda la región Amazonas.

Por otro lado los reportes elaborados por el Instituto Nacional de defensa Civil del Perú (INDECI) dan cuenta de 60 sectores afectados por movimientos en masa y por procesos geo-hidrológicos, entre los años 1997 y 2002. Para nuestra zona de estudio del total de 132 eventos identificados en la región Amazonas, se tenían reportados para las provincias de Chachapoyas y Luya solo 33 ocurrencias o zonas que fueron afectadas por movimientos en masas.

Es importante mencionar que dentro del área de estudio se han desarrollado trabajos de investigación por parte del INGEMMET, como son los informes técnicos "Estudio geológico en el tramo de la carretera Milagro-Chachapoyas" (Castro, 1960), el "Estudio geodinámico de la localidad de Chachapoyas y alrededores" (Galdos, 1975), y las tesis elaboradas para la obtención del título de ingeniero geólogo de títulos "Geologia y geotecnia de la carretera Ingenio-Chachapoyas - Departamento de Amazonas" (Quijandría, 2002) y "Estudio geotécnico para la seguridad física y ampliación urbana de la ciudad de Chachapoyas, Departamento Amazonas" (Vasquez, 1998).

Este trabajo contribuye al conocimiento de los aspectos físicos, los movimientos en masa, la susceptibilidad, la ubicación de zonas críticas e impacto socio económico a los que se encuentran expuestos los poblados y obras de infraestructura existentes en la zona, que permitan con la información obtenida proponer políticas, programas y

acciones de prevención ante los peligros naturales. Este conocimiento constituye la base para cualquier país que quiere emprender acciones que le permitan alcanzar su desarrollo sostenible.

1.3 RECURSOS

1.3.1 Equipos

Los equipos utilizados tanto en los trabajos de campo y gabinete han sido los siguientes:

- Equipo de posicionamiento global (GPS).
- Brújula Bruntum.
- Distanciómetro láser.
- Binoculares.
- Estereoscopio de bolsillo.
- Estereoscopio de mesa.
- Martillo Smithd
- Lupa, martillo de geólogo.
- Computador Pentium IV.
- Cámara fotográfica digital.

1.3.2 Materiales

Los materiales utilizados tanto en los trabajos de campo y gabinete han sido los siguientes:

- Cuatro juegos de cuatro mapas topográficos a escala 1:25 000, editados por el Organismo de Formalización de la Propiedad Informal del Perú (COFOPRI).
- Un boletín de la Carta Geológica Nacional a escala 1:100 000 y un mapa Geológico elaborados por INGEMMET.

- Imágenes satelitales LanSat y Aster a escala 1:100 000 de diferentes años.
- Fotografías aéreas del año 1963 a escala 1:56 000.
- Fotografías aéreas a escala 1:56 000 del año 1991.
- El software utilizado para el procesamiento digital de la información fue el ARCGIS, versión 9.1.

1.4 METODOLOGÍA

Los trabajos de elaboración de la tesis han sido realizados en 3 etapas:

1.4.1 Fase de Gabinete I

- Recopilación y evaluación de información bibliográfica; topográfica, hidrometeorológica, geológica, uso de suelo, información sobre obras de infraestructura y registros históricos de desastres.

- Generación de la cartografía básica: digitalización de mapas topográficos obtenidos del COFOPRI y composición del mapa topográfico base utilizado en los trabajos de fotointerpretación y reconocimiento de campo.

- Preparación de modelo digital de terreno (MDT) mediante el uso del SIG.

- Interpretación y cartografiado de movimientos en masa, de imágenes satelitales Landsat (TM y ETM), Aster y fotografías áreas.

- Preparación de Base de datos preliminar de inventario de movimientos en masa de la zona estudiada, los cuales serán comprobados en los trabajos de campo.

- Elaboración de mapas preliminares (cartografiado de movimientos en masa, geología) para su respectiva comprobación de campo.

- Preparación de ficha de inventario de movimientos en masa.

1.4.2 Fase de campo

Los trabajos de campo se efectuaron durante una campaña de 25 días, cubriendo un área de 601,1 km^2 en los cuales se realizaron las siguientes actividades:

- Cartografiado de movimientos en masa en los planos topográficos a escala 1: 25 000.
- Reconocimiento de la geología de la zona.
- Medidas de direcciones y buzamientos de estratos sedimentarios y de principales familias de fracturas.
- Almacenamiento de datos mediante GPS.
- Llenado de fichas de inventario de movimientos en masa.
- Evaluación de la seguridad física de centros poblados y carreteras.

1.4.3 Fase de gabinete II

- Procesamiento y depuración de información de la base de datos, mediante la confrontación de la información obtenida en el campo y gabinete I.
- Descarga y corrección de los datos del GPS.
- Elaboración y preparación de una base de datos de movimientos en masa, que permita trabajar la información georeferenciada en sistema GIS. Se realizo una descripción de los principales movimientos en masa inventariados en la cuenca.
- Elaboración, digitalización y composición de mapas temáticos (litología, cobertura vegetal, geomorfología y pendientes) a utilizar en la evaluación de la susceptibilidad a los movimientos en masa.

- Descarga y corrección de fotografías.
- 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.
- Preparación y redacción de la memoria descriptiva.

CAPITULO 2

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

2.1 INTRODUCCIÓN SOBRE EL USO DE LOS SIG PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD LOS MOVIMIENTOS EN MASA

Antes de introducirnos en el uso de SIG para la elaboración de mapas de susceptibilidad, es importante tener en claro los conceptos básicos, las bondades y las tareas que son capaces de realizar un SIG.

Se han realizado varias definiciones en torno a los SIG, para nosotros será un sistema conformado por la integración organizada de hardware, software, datos geográficos y personas, diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente georeferenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión del territorio (Wikipedia, 2008).

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. Es así que con solo seleccionar un objeto se conocen sus atributos e inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

El beneficio máximo obtenido de la utilización de un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar y ordenar la información en capas temáticas diferentes y las almacena independientemente, posibilitando trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, facilitando al usuario la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

Los SIG son capaces de realizar las siguientes funciones (Geotecnologías, 2007):

Entrada de datos: Los datos antes de ser utilizados en un SIG es necesario que sean convertidos a un formato digital, por medio de la digitalización de mapas que se encuentran en papel, esta captura digital de información puede ser manual o por procesos automatizados cuando se tiene gran cantidad de información.

Manipulación: Los datos utilizados en un proyecto de SIG pueden ser transformados y manipulados (cambio de escala, proyección, etc.) para hacerlos compatibles con el sistema. Estas transformaciones pueden ser temporales cuando solo se visualizan datos o permanentes cuando se utiliza para realizar análisis.

Manejo/administración: En proyectos pequeños la información geográfica puede ser guardad como un archivo de computación, pero cuando la cantidad de información es grande y el número de usuarios también, es necesario usar un sistema de manejos de bases de datos, que nos ayude a almacenar, organizar y manejar los datos.

Consulta: Los SIG una vez que se ha introducido la información geográfica permiten la realización de preguntas, cuyas respuestas proveerán a los usuarios de nueva información.

Análisis: Los SIG permiten el análisis de datos geográficos, también llamado análisis espacial o de geoprocesamiento, utiliza propiedades geográficas para buscar patrones y tendencias, y para elaborar patrones potenciales, las herramientas más importantes de un SIG para realizar el geoprocesamiento es el análisis de proximidad y el análisis de superposición.

Visualización: Los SIG permiten la visualización de las operaciones geográficas realizadas, como un mapa o gráfico.

Un SIG puede contener varios modelos de datos de los objetos gráficos (modelo vectorial, modelo raster, el jerárquico-recursivo, etc.) todos ellos válidos para los mapas planos formados por puntos, líneas y polígonos (Santacana, 2001). También se tienen modelos de datos espaciales para realizar mapas tridimensionales o de volúmenes (modelos de de triángulos irregulares).

Por estos atributos los SIG se constituyen en una herramienta importante en el análisis de la susceptibilidad a los movimientos en masa, puesto que permite la manipulación y análisis de grandes cantidades de información temática, reduciendo costos y tiempo en los procesos.

En los años 60 aparecieron los primeros mapas de susceptibilidad donde se han utilizado métodos sencillos de análisis (Valentini, 1967), uno de estos métodos se baso en el porcentaje de superficie movida en cada unidad (Brabb et al., 1972), estos proto mapas de susceptibilidad eran realizados sin la ayuda de los SIG.

Tomado de Santacan (2001) se referencia a continuación una breve reseña histórica del uso del los SIG en la elaboración de mapas de Susceptibilidad.

Los primeros mapas de zonificación de susceptibilidad utilizaron análisis cualitativos, de combinación de mapas y el estadístico multivariante, fueron realizados en los años 70, por Newman et al., Carrara et al., Huma y Radulescu (1978), Radbruch-Hall et al. (1979).

En los 80 se incremento el uso de SIG en el análisis de susceptibilidad, por el desarrollo comercial de los SIG y la mayor facilidad de acceso a los computadores, ejemplos de algunos trabajos realizados con SIG fueron los de Stakenborg (1986), Brabb et al. (1989) los cuales utilizaron análisis cualitativos, Carrara (1983,1988) y Bernknopf (1988) utilizaron el análisis mutivariante.

En la década de los 90 la utilización de las herramientas SIG permitió el proceso integrado de la información, posibilitando la incorporación de tratamientos más sofisticados de los datos y posibilitando una confección más rápida y barata de los mapas de susceptibilidad (Ayala-Carcedo, 2002), ejemplos de investigadores que desarrollaron aplicaciones utilizando estas técnicas son Kingsbury et al (1992), Alzate y Escobar (1992), Lopez y Zinck (1991), Carrara et al. (1990,1991), Chacon at al. (1992) y Van Westen (1993).

La posibilidad de establecer relaciones de vecindad entre una celda y su entorno (malla regular de un sistema raster) permitió extraer características morfométricas e hidrológicas (pendiente, orientación, convexidad, línea de valles, etc.) a partir de un modelo digital de elevaciones, estas características pueden ser utilizados como parámetros en el análisis estadístico univariante y multivariante combinando los factores con los deslizamientos, algunos de estos trabajos fueron realizados por Carrara (1991), Niemann y Howes (1991), Feiznia (2000), Thurston y Degg (2000).

Los modelos desarrollados con análisis deterministas también aumentaron con el acceso a los SIG, entre los trabajos se tienen los de, Murphy y Vita-Finzi (1991), Hammond et al. (1992), Luzi (1995), Luzi y Pergalani (1996).

En el Perú la aplicación de SIG para la evaluación de la susceptibilidad del terreno a la ocurrencia de movimientos en masa se inicio en el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Smoll et al., 2003) con el trabajo denominado "Estudio de Riesgos Geológicos del Perú Franja Nº 3", en el cual se utiliza un análisis cualitativo para realizar los mapas de susceptibilidad.

2.1.1 Métodos de estimación de la susceptibilidad de los terrenos a la ocurrencia de movimientos en masa

En el mundo no existen metodologías unificadas para realizar la evaluación de la susceptibilidad y el peligro (Amenaza), muchos autores agrupan estas metodologías según sus criterios, así por ejemplo se tiene:

En 1984 Varnes presento una revisión de los principios y practica de la zonificación de peligros por deslizamientos, haciendo énfasis en las condiciones inherentes (geología, geomorfología, hidrología, clima y vegetación) y en los factores que producen cambios desfavorables en las condiciones (cambios en condiciones de esfuerzos, cambios en resistencia de materiales).

También en 1984 Hansen divide los métodos de análisis en dos grupos teniendo como base trabajos realizados a nivel mundial hasta el año 1983 (en Gonzáles, 2005):

A) Método ingenieril el cual vincula datos de entrada geotécnicos separados, los cuales involucran ensayos de materiales, en laboratorio e in-situ, y es específico para un sitio.

B) Método geomorfológico, en el cual las evaluaciones se hacen para grandes áreas y en consecuencia los datos de entrada necesarios son más generalizados.

Van Westen (1993), divide los métodos de análisis de susceptibilidad y peligro por deslizamientos en cuatro grupos:

a) Análisis de deslizamientos: basado en su distribución, densidad y actividad.
b) Análisis heurístico: análisis geomorfológico, combinación de mapas y puntajes.
c) Análisis estadístico: análisis divariado (univariante) y análisis multivariado.
d) Análisis determinísticos: donde se utilizan factores de seguridad de taludes.

Para la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS, 1997), se tienen dos grandes grupos de metodologías (en Gonzáles, 2005):

a) Análisis cualitativo: en el cual Los componentes (peligro y vulnerabilidad), se evalúan subjetivamente por expertos y se asignan rangos de intensidad, para llegar a niveles de peligro y riesgo con calificativos. Este método debería tratarse con teoría de conjuntos difusos para llegar a valores cuantitativos.

b) Análisis cuantitativo: Todas la variables se cuantifican para hallar el peligro en términos de intensidad y probabilidad de ocurrencia, la vulnerabilidad en términos de porcentaje de daño según la intensidad de la solicitación y al riesgo en términos de perdidas o afectaciones separadas en unidades monetarias o de personas.

Ojeda (1996) clasifica las metodologías en dos grande grupos con sus respectivas subdivisiones:

a) Métodos implícitos se dividen a sus ves en dos tipos:

- Método implícito: donde la zonificación del terreno la realiza un experto por observación directa, basándose en su experiencia y conocimiento, esta metodología no sigue regla alguna, por lo que no puede ser repetido por otro evaluador, sin embargo resulta bastante preciso.

- Método semiimplicito: también de tipo observacional, con la diferencia que se utiliza una lista de chequeo y cuenta con algunos criterios predefinidos, de este modo se reduce la subjetividad, ya que se realiza una evaluación de los mismos factores con criterios semejantes.

b) Los métodos explícitos por su parte se dividen en tres tipos:

- Método explicito empírico: Se utilizan mapas de factores, los que son analizados y se combinan mediante el uso de puntajes ponderados que se asigna a cada uno, la ponderación la da un especialista, quien con base en su experiencia y conocimiento de la zona asigna valores a los componentes de un factor (tipo de material por ejemplo) para indicar algún grado de contribución a la inestabilidad del terreno. Esta técnica es también conocida como combinación de mapas cualitativos. Tiene como dificultad la correcta asignación de puntajes cuando no se cuenta con expertos idóneos.

- Método explícito semianalítico: Los factores se califican de manera similar como el método anterior, pero se combinan con formulaciones matemáticas. Entre las técnica que se pueden incluir están el análisis estadístico univariado (o bivariado) y el multivariado.

- Método explicito analítico: Se realizan análisis cuantitativos en los que se calculan el factor de seguridad de cada ladera, entre los métodos empleados se encuentran los análisis de equilibrio límite, ampliamente utilizado por la geotecnia convencional para el análisis de estabilidad de taludes.

Santacana (2001) agrupa las metodologías usadas para realizar la evaluación y confección de mapas de susceptibilidad en:

a) Métodos determinísticos: utilizados en el estudio de la estabilidad de una ladera o talud en particular. Se fundamenta en métodos basados en el equilibrio límite o en modelos numéricos, tendiendo entonces una base física. Los datos de entrada son resultado de ensayos de laboratorio y ensayos "in situ", y se utilizan para determinar factores de seguridad de las laderas. El método cuenta con un grado de fiabilidad alta pero tiene como inconveniente su baja aplicabilidad para zonas extensas por el alto coste de los ensayos.

b) Métodos heurísticos: basado en el conocimiento a priori de los factores que producen las inestabilidades en el terreno, los factores utilizados son ordenados y ponderados según su importancia asumida en la formación de deslizamientos (Carrara et al., 1995). Su inconveniente es la subjetividad e inadecuado de los factores que pueden causar las inestabilidades.

c) Aproximaciones probabilísticas. Basados en las relaciones observadas entre cada factor y la distribución de deslizamientos actual y pasada (Carrara et al., 1995), Utilizados cuando se cuenta con abundante información tanto cualitativa como cuantitativa, aplicando los modelos estadísticos univariantes o multivariantes. Estos métodos resultan bastante objetivos, siendo una dificultad el costo de la obtención de información relacionada con algún factor que intervienen en la instabilidad.

d) Metodos geomorfológicos: basados en la determinación de condiciones de inestabilidad en masa mediante técnicas geomorfológicas, de cartografía y zonificación. Tiene como ventaja la validez y detalle del mapa cuando es realizado por un experto y su desventaja es el alto grado de subjetividad utilizado en su elaboración.

Por otro lado Corominas (1992) y Terlien (1996) en Irigaray et al., (2002) nos dicen que la evaluación de la susceptibilidad en forma general se puede efectuar mediante tres grandes grupos de métodos:

a) Análisis de la ocurrencia de los movimientos en masa en amplias regiones utilizando observaciones geológicas, geomorfológicas y modelos basados en tratamiento estadístico de los parámetros de las laderas (modelos no deterministas).

b) Predicción del comportamiento en masas o taludes mediante modelos de cálculo de estabilidad (modelos deterministas), se basan en leyes físicas y mecánicas universales de conservación de masa, energía y equilibrio de fuerzas, por lo que pueden ser usados en predicción temporal y espacial. Muy utilizados en el análisis de taludes individuales o de tamaño reducido Ayala-Carcedo y Andreu, eds. (1997) y Alonzo (1989). Su aplicabilidad es reducida a escalas de trabajo regional, por ser lenta y costosa.

c) Modelos conceptuales, que son el resultado de la combinación de los dos métodos anteriores, en este método se conocen los procesos físicos que controlan la inestabilidad, pero el modelo se realiza de forma simplificada, teniendo en cuenta únicamente los principales componentes del proceso.

Como se ha podido ver, para realizar análisis de susceptibilidad de los terrenos a la ocurrencia de movimientos en masa se puede utilizar varias técnicas, las cuales han sido agrupados por los autores bajo nomenclaturas diferentes, sin embargo es posible darse cuenta que se trata de las mismas metodologías.

En general, los métodos (determinista o no) aplicados a regiones relativamente amplias, son conocidos como métodos cartográficos, puesto que se basan en la cartografía de los factores que determinan la susceptibilidad (Irigaray et al., 2002).

En los últimos años después de la aparición y posterior masificación el uso de los SIG, las técnicas antes mencionadas, pueden ser desarrolladas de manera más rápida y eficiente en el análisis y obtención de los mapas de susceptibilidad, no obstante es muy importante tener en cuanta que el grado de certeza y validez que se obtenga de estos mapas dependerá no del uso del SIG propiamente dicho, sino mas bien de la precisión y calidad de la información que se usa en el análisis, como son los factores condicionantes

en la inestabilidad de los terrenos, de esta forma se pone de manifiesto la gran importancia de los datos que se utilizan.

La escala de análisis es uno de los primeros puntos a considerar en un proyecto (Santacana, 2001), por otro lado hay que tener presente, que según el nivel del estudio emprendido es indispensable considerar las escalas al momento de hacer uso de los diferentes métodos de análisis de la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa, porque normalmente no es posible independizar la metodología de análisis del tamaño del área considerada y en consecuencia la escala de trabajo.

Las escalas de estudio propuestas por OEA, USAID, DIRDN (1993) son:

País : 1:1'000,000 – 1:250,000 (Planificación regional de desarrollo)
Región : 1:500,000 - 1:50,000 (planes de desarrollo regional y/o comunal)
Áreas urbanas : 1:50,000 – 1:2,500 (planes de desarrollo comunal)

Una división geomorfológica para escalas fue propuesta por Grand (1976) (en Gonzáles, 2005):

Provincia de terreno : 1:500,000 – 1:2'000,000
Patrón de terreno : 1:100,000 – 1:250,00
Unidad de terreno : 1:10,000 – 1:25,000
Componente de terreno : 1:500 – 1:5,000

Por su parte la IAEG (1976) tiene el siguiente ordenamiento de escalas (en Gonzáles, 2005):

Regional : < 1:100,000
Intermedia : 1:25,000 – 1:50,000
Grande : 1:5,000 – 1:10,000
Detallada : > 5,000

Como se puede observar en el tema de las escalas de trabajos también existen variaciones determinadas por los diferentes autores, por otro lado es importante recordar que las escalas de trabajo deben ser superiores a las escalas de presentación de los mapas, también, si se obtiene un mapa por combinación de otros, es importante que los mapas utilizados en el análisis cuenten con la misma escala, no es recomendable combinar mapas con diferentes escalas.

2.1.2 Técnicas más usadas para la elaboración de mapas de susceptibilidad con el uso de los SIG.

Dentro de las técnicas más usadas para la elaboración de mapas de susceptibilidad a los movimientos en masa mediante el uso de los SIG se tienen (Irigaray et al., 2002):

a) Modelos basados en el análisis de distribución de los movimientos en masa: consiste en un mapa de inventario de movimientos obtenido de la interpretación de fotografías aéreas, investigación en campo o una base de datos de registros históricos de una determinada zona. Este inventario de movimientos en masa es presentado a escala o como puntos. El mapa resultante es una forma elemental de mapa susceptibilidad, porque ubican los sectores donde se han producido estos movimientos.

   Estos mapas solo muestran los eventos producidos antes que se tomara la fotografía aérea o que se realizaran los trabajos de campo. Los SIG pueden desempeñar un papel importante en la incorporación de la fotografía aérea a la base topográfica mediante la utilización de puntos de control y otro tipo de información referente a la fotografía.

   El método es apropiado para estudios a escalas medias y grandes, a escala regional el inventario de movimientos conlleva mucho más tiempo, pero debe de hacerse cuando sea posible. Los SIG solo se utilizan para almacenar información y para dibujar los mapas.

b) Modelos basados en el análisis de actividad: En una versión mejorada de los mapas de distribución de movimientos, aquí se considera su actividad, están basados en la interpretación de fotografías aéreas de la misma zona, pero de diferente año. Si se combina el atributo de la actividad el mapa de distribución de movimientos en épocas anteriores, se consideran intervalos de 5 a 20años, se puede determinar el número de movimientos reactivados, los estabilizados y los nuevos movimientos.

La escala media y grande son apropiadas para su elaboración, tiene con limitante la gran demanda de tiempo en su elaboración y las inevitables inconsistencias de la interpretación de fotos aéreas de diferentes años.

c) Modelo de densidad de movimientos: La distribución de los movimientos en masa se puede representar mediante mapas de densidad o de isopletas, donde se representa el porcentaje que una determinada unidad del terreno es afectada por movimientos en masa. Los mapas utilizados por el método son el de distribución de movimientos en masas y el mapa de unidades de terreno.

Mediante una modificación, se puede calcular el numero de movimientos en vez de la densidad areal, en este caso no se realiza el mapa binario sino que el propio inventario se reclasifica, de modo que cada polígono que presenta un movimiento se le pone un código igual, lo que permitirá determinar el número de polígonos para cada clase cuando se realice el análisis cruzado en el SIG. La escala más apropiada para su realización son la media y grande.

d) Modelo Basado en el Análisis geomorfológico: en este método la cartografía de movimientos y su contexto geomorfológico constituyen el principal factor para la determinación de la susceptibilidad. La susceptibilidad se evalúa en cada punto sobre el terreno. Por lo tanto las reglas de decisión son difíciles de formular y varían de un sitio a otro, estas reglas son dadas por un especialista, esto le da al método un grado de subjetividad, haciéndolo difícil de reproducir por otro investigador. Los SIG son utilizados en este método como herramienta

de dibujo y manipulación de información. El método se puede aplicar a escala regional, media y grande.

e) Modelos basados en análisis cualitativo: Basados en la combinación cualitativa de mapas también de carácter cualitativo. Tiene como inconveniente que la ponderación de los parámetros generalmente se hace con poco conocimiento de campo, lo que puede conducir a generalizaciones. El método se basa en la experiencia y conocimiento que tengan los investigadores que deciden cual de los parámetros son importantes en la generación de movimientos en masa. Cada clase de los factores considerados tiene asignado un valor ponderado de forma cualitativa y, a su vez, cada parámetro cuenta con un peso diferente. Los mapas de factores utilizados en este estudio son el geomorfológico, litológico, pendiente, inventario y uso el suelo. Se utiliza para trabajos a escala pequeña, media y grande.

f) Modelos basados en el análisis estadístico bivariante: Se fundamente en el análisis cruzado de los mapas de factores utilizados y el cálculo de densidad de movimientos, la importancia de cada factor, o combinación específica de factores se puede analizar individualmente.

Si se utilizan valores normalizados (densidad de movimientos en masa en cada clase de cada factor analizado respecto a la densidad global de toda la zona estudiada), se pueden elaborar mapas de susceptibilidad absolutos mediante la asignación de valores ponderados según la experiencia del investigador, o bien en función de la relación entre el inventario y los factores utilizados. La escala mas apropiada para trabajar con este método es la media.

Existen varias variantes de este método, entre estos se tiene el método de la matriz (DeGraff y RomesburG, 1989; Irrigaría, 1995), el método de valor de Información (Yin y Yan, 1988), el método de indexación (Roger y Sitar,1994; irrigaría 1995) y el método de ponderación de evidencias (Bonham-Carter et al., 1990).

g) Modelos basados en el análisis estadístico multivariante: mediante este análisis de los principales factores que determinan la generación de movimientos en masa puede proporcionar la contribución relativa de cada uno de ello en la susceptibilidad total de una determinada unidad de terreno. Estos modelos se basan en la presencia o ausencia de fenómenos de movimientos en masa dentro de una determinada unidad de terreno.

Se han propuesto varios métodos multivariantes, como el análisis discriminante o la regresión múltiple, los cuales requieren el uso de programas estadísticos externos. Los SIG son utilizados para probar diferentes parámetros para cada unidad, este método requiere el mapa de distribución de movimientos en masas y los mapas de unidades del territorio, también utiliza gran número de mapas de factores.

h) Modelos deterministas: Este método solo puede ser utilizado en grandes áreas cuando las condiciones geomorfológicas y geológicas son bastantes homogéneas en toda la zona de estudio, y los tipos de movimientos son sencillos. La ventaja de este método esta en que cuenta con un fundamento físico, su principal inconveniente es el alto grado de simplificaciones que requieren. Este método se aplica normalmente a deslizamientos traslacionales considerando un talud infinito (Hammond et al., 1992) y un modelo de simulación de agua subterránea (Okimura y Kawatani, 1986)

Este modelo requiere contar para su aplicación con un mapa de materiales superficiales y en perfiles verticales, con sus características geotécnicas; mapa de distribución del nivel freático; mapa detallado de pendientes.

Según Van Westen (1994), para aplicar este método en un SIG se debe utilizar un modelo de talud infinito y calculo de factor de seguridad de cada celdilla, selección de número de perfiles o celdillas del modelo digital del terreno (MDT), que se exportan a programas externos de estabilización de taludes en los que se determina el factor de seguridad para el conjunto del perfil (modelos tridimensionales).

Este método puede ser usado en trabajos a gran escala y para pequeñas superficies de terreno.

Todas las metodologías descritas anteriormente nos permiten realizar el análisis y la obtención de mapas de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa, algunos de estos con la sola aplicación de los SIG, otros necesitan la ayuda de software estadísticos o de estabilidad de taludes, por ejemplo cuando de quiere hallar factores de seguridad de taludes; los valores obtenidos con estos software son posteriormente utilizados en los análisis con el SIG.

Los SIG han facilitado el trabajo al momento de realizar los cruces de mapas temáticos para obtener la susceptibilidad, por otro lado también han permitido reducir la subjetividad al momento de dar los puntajes y pesos ponderados a los mapas de factores utilizados en nuestros análisis, ya que al utilizar una técnica estadística para esta tarea, estos puntajes y pesos ponderados serán obtenidos solo por la relación existente entre nuestro mapa de inventario de movimientos en masa y las distintas unidades diferenciadas en cada mapa de factores, de igual manera pasa cuando se utilizan valores de factores de seguridad de taludes en el SIG, ya que estos son el resultado de los análisis de laboratorio realizados a las muestras tomadas en el campo.

Como hemos visto los SIG nos permiten la reducción de la subjetividad en la etapa del análisis, sin embargo se hace necesario enfocarnos en las etapas de interpretación de las fotografías aéreas, imágenes de satélite y los trabajos de campo, en donde la subjetividad puede relacionarse con la experiencia del especialista que realiza los trabajos, constituyéndose esta etapa en primordial para que nuestros mapas obtengan fiabilidad y precisión.

2.2 PROGRAMA UTILIZADO (Software)

Dentro del gran número de software SIG, existentes en el mundo que posibilitan el trabajo con información cartográfica y bases de datos, se ha utilizado para realizar los trabajos de digitalización de la información analógica elaborada en papel (mapas), así como para hacer el análisis de susceptibilidad el software ArcGIS de ESRI™, en su

versión 9.1, por considerarse un programa amigable al usuario, así como también por la facilidad de acceder a él.

El software ArcGIs usa modelos de datos inteligentes para representar la geografía y proporciona herramientas para crear y trabajar con datos geográficos, estas herramientas permiten al usuario hacer la edición y automatización de datos, mapeo y actividades basadas en mapas, administración de datos análisis geográfico, organización de datos y aplicaciones para Internet. ArcGIS se encuentra integrado por tres partes claves (Figura 2-1) (ESRI™, 2002):

a) El software ArcGIS Desktop que es un conjunto integrado de aplicaciones SIG avanzadas (ArcMap, ArcCatalog y ArcToolboox), que permiten hacer mapeo, administración de datos, análisis geográficos, edición de datos y geoprocesamiento.

b) El ArcSDE™ Gateway que es una interfaz para administrar las geodatabase (bases de datos geográficas) en un sistema de administración de bases de datos (Data Base Managment System-DBMS).

c) El software ArcIMS es un SIG orientado a Internet para distribuir datos y servicios.

El software ArcGIs puede ser organizado en un desktop individual o puede ser distribuido en una red de computadoras heterogéneas de estaciones de trabajo y servidores.

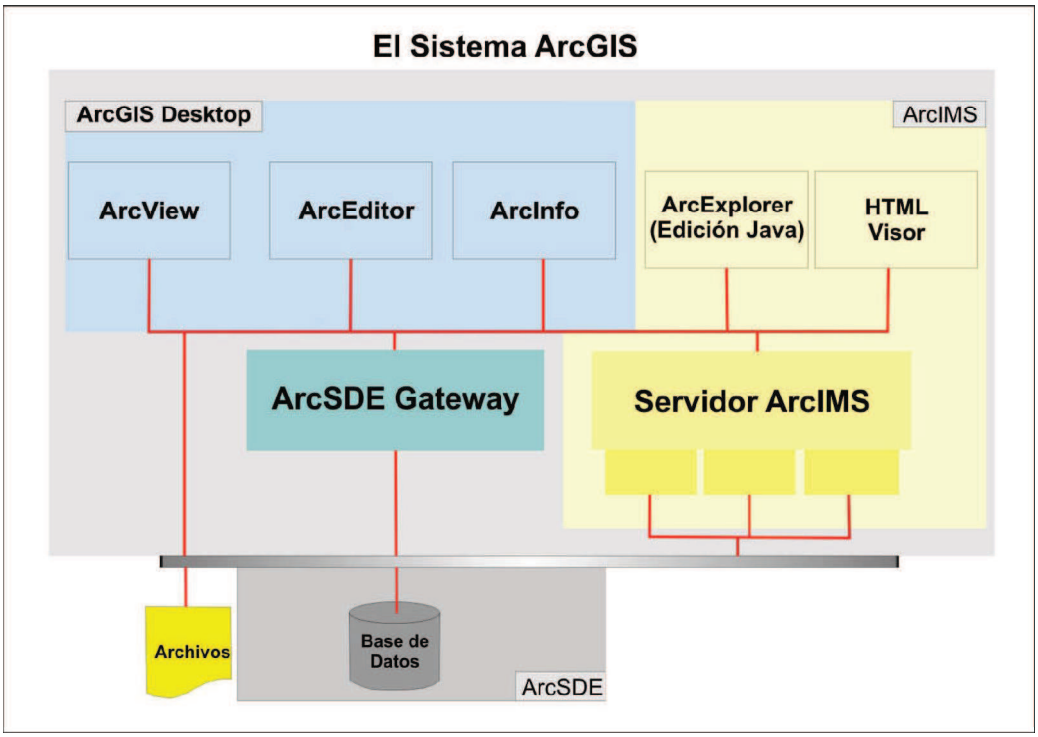


Figura 2-1: Esquema de funcionamiento del ArcGIS (Tomado de ESRI™, 2002).

CAPITULO 3

MARCO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

3.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona seleccionada para llevar a cabo el trabajo de tesis se enmarca dentro de la región Amazonas, ubicada al norte del Perú, entre los paralelos 2º 59' 19'' - 6º 59' 00'' de latitud sur y 77º 09' 00'' - 78º 42' 00'' de longitud Oeste, con una extensión superficial de 39,249.13 km^2, limita por el norte con la republica del Ecuador, por el oeste con la región Cajamarca, al sur con las regiones de La Libertad y San Martín, y al oeste con Loreto y San Martín.

Puntualmente, la zona de estudio se localiza dentro de las provincias de Chachapoyas y Luya, localizada en la parte sur-central de región Amazonas, geográficamente ubicada entre los paralelos 6º 07' 30'' - 6º 22' 30'' de latitud sur y 77º 45' 00' - 78º 00' 00' de longitud Oeste, abarcando una extensión superficial de 601,1 km^2 (Figura 3-1).

Morfológicamente, se ubica dentro de las unidades denominadas Cordillera Oriental, Cordillera Interandina y la Faja subandina (ver marco geomorfológico de este capítulo).

El acceso a la capital de la región Amazonas, se puede realizar por:

Vía terrestre: Siguiendo la ruta Lima-Chiclayo-desvío Jaen-Bagua Grande-Pedro Ruiz-Chachapoyas, haciendo un recorrido de 1 190 km, con una duración del viaje de 22 horas aproximadamente.

La accesibilidad vía terrestre dentro del zona es muy limitado, haciéndose necesario un trabajo de manteniendo constante, para garantizar su transitabilidad de las carreteras.

Vía aérea: El acceso por vía aérea desde Lima capital hacia Chachapoyas era posible hasta hace unos 10 años, por medio de vuelos comerciales regulares, actualmente los

vuelos están restringidos solo a los que realiza la Fuerza Aérea del Perú, los que son de manera esporádica y por motivos especiales.

3.2 COMPRENSIÓN ADMINISTRATIVA

La región de Amazonas se encuentra dividida en siete provincias y estas a su vez en 83 distritos (Tabla 3-1), la capital de la región es la ciudad de Chachapoyas, en donde se encuentra la sede del Gobierno Regional.

La zona de estudio, se ubica políticamente, en las provincia de Chachapoyas (distritos de Chachapoyas, Magdalena, Huancas, San Juan de Sonche, Levanto y San Isidro de Mayno) y Luya (distritos de Lamud, Luya, Lonya Chico, Colcamar, Tingo e Inguilpata), abarcando un área de 601,1 km^2.

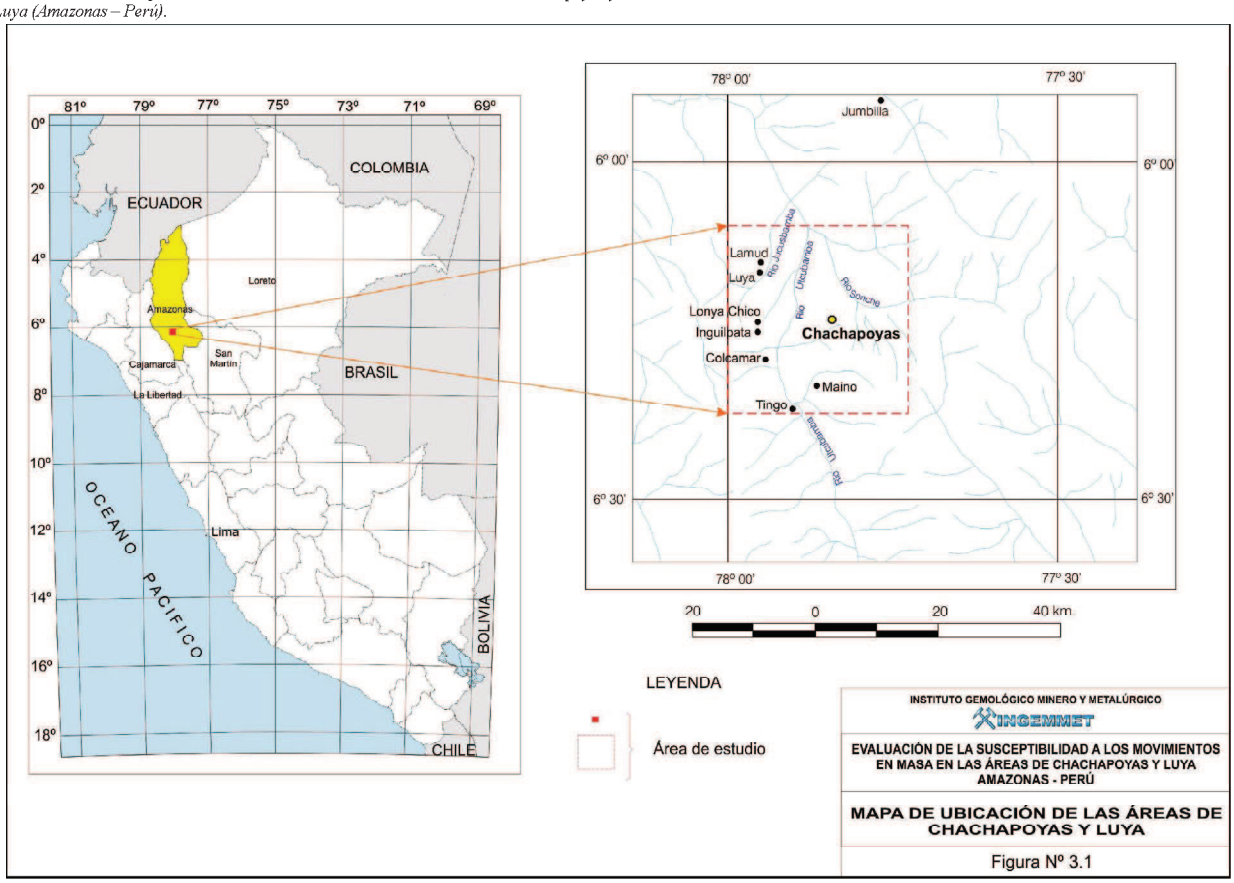

81º
79º
77º
75º
73º
71º
69º
0º
2º
4º
6º
8º
10º
12º
14º
16º
18º
COLOMBIA
ECUADOR
Loreto
Amazonas
Cajamarca
San Martín
La Libertad
BRASIL
OCEANO PACIFICO
Lima
BOLIVIA
CHILE
78º 00'
77º 30'
6º 00'
6º 30'
Jumbilla
Lamud
Luya
Lonya Chico
Inguilpata
Colcamar
Chachapoyas
Maino
Tingo
Río Jucusbamba
Río Utcubamba
Río Sonche
20
0
20
40 km.
LEYENDA
Área de estudio
INSTITUTO GEMOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
INGEMMET
EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN LAS ÁREAS DE CHACHAPOYAS Y LUYA AMAZONAS - PERÚ
MAPA DE UBICACIÓN DE LAS ÁREAS DE CHACHAPOYAS Y LUYA
Figura Nº 3.1

Tabla 3-1: Comprensión administrativa de la región Amazonas y distritos que se encuentran dentro de la zona de estudio.

PROVINCIA	DISTRITO
Bagua	Cercado de Bagua
	Aramango
	Copallin
	El Parco
	Imaza
	La Peca
Bongara	Jumbilla
	Corosha
	Cuispes
	Chisquilla
	Churuja
	Florida
	Jazán
	Recta
	San Carlos
	Shipasbamba
	Valera
	Yabrasbamba
Chachapoyas	Chachapoyas
	Asunción
	Balsas
	Cheto
	Chiliquin
	Chuquibamba
	Granada
	Huancas
	La Jalca
	Leymebamba
	Levanto
	Magdalena
	Mariscal Castilla
	Molinopampa
	Montevideo
	Olleros
	Quinjalca
	San Francisco de Daguas
	San Isidro de Maino
	Soloco
	Sonche

PROVINCIA	DISTRITO
Condorcanqui	Nieva
	Río Santiago
	El Cenepa
Luya	Camporredondo
	Cocabamba
	Colcamar
	Conila
	Inguilpata
	Lamud
	Longuita
	Lonya Chico
	Luya
	Luya Viejo
	María
	Ocalli
	Ocumal
	Pisuquia
	Providencia
	San Cristóbal
	San Francisco del Yeso
	San Jerónimo
	San Juan de Lopecancha
	Santa Catalina
	Santo Tomas
	Tingo
	Titra
Rodriguez de Mendoza	Chirimoyo
	Cochamal
	Huambo
	Limabamba
	Longar
	Mariscal Benavides
	Milpuc
	Omia
	San Nicolas
	Santa Rosa
	Totora
	Vista Alegre
Utcubamba	Bagua Grande
	Cajaruro
	Cumba
	El Milagro
	Jamaica
	Lonya Grande
	Yamón

Distritos comprendidos dentro del estudio.

El área tomada para el estudio en realidad no comprende la totalidad del área de los 12 distritos mencionados, ya que solo se contempla parte de estos, el área total de los 12 distritos es de 1202,34 km^2, y como se dijo arriba el área d estudio es de 601,1 km^2, que equivale al 50 % del total. Sin embargo si se quiere dejar en claro que el total de las centros poblados principales, o sea las capitales de estos distrito si se encuentran dentro del área de estudio, por ende la mayor cantidad de población censada se encuentra

dentro del área de influencia del estudio, por contar los pobladores con viviendas dentro de estos centros poblados.

3.3 OCUPACIÓN ANTRÓPICA

Según información del **X** Censo de Población y **V** de Vivienda, realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú (INEI, 2005), la región Amazonas contaba con una población de 389 700 habitantes. Las provincias de Chachapoyas y Luya, con 49 573 y 49 733 habitantes, representan el 25,32 % del total de la región, constituyéndose, sin duda, en una población importante (Figura 3-2). La densidad poblacional para la provincia de Chachapoyas es de 14,97 hab/km^2 y en Luya es de 15,37 hab/km^2.

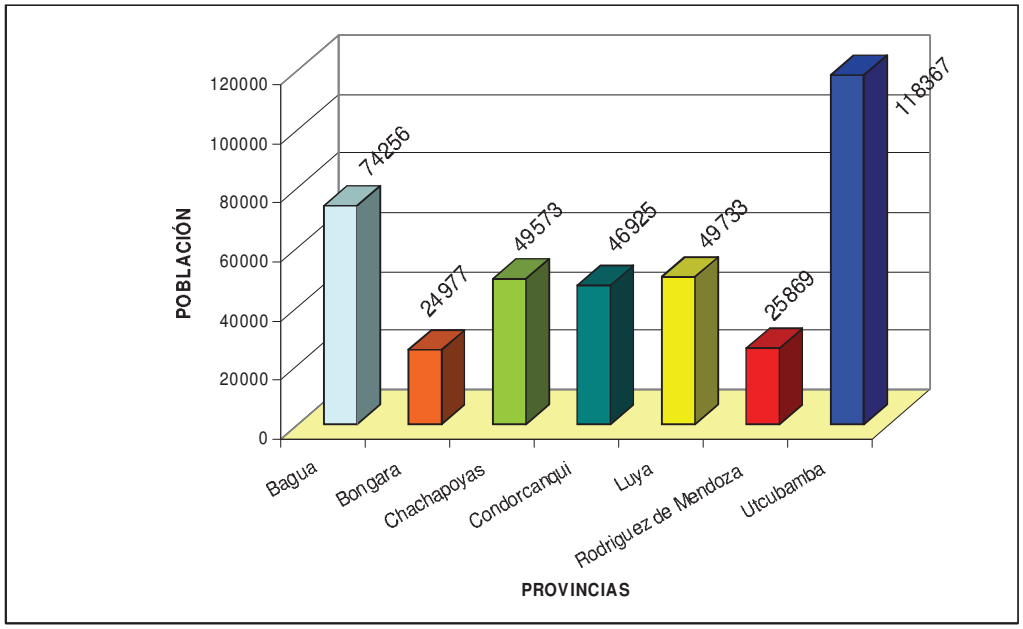


Figura 3-2: Distribución de la población a nivel provincial.

El análisis de la evolución demográfica de las provincia de Chachapoya y Luya pone de manifiesto el progresivo crecimiento de la población en los últimos 33 años, la taza de crecimiento intercensal para el periodo 1981-1993 en Chachapoyas fue de 1,6 % mientras que en Luya fue de 1,1 %. (Tabla 3-2).

Tabla 3-2: Evolución de la población de la región Amazonas a nivel de provincias.

Provincias	Censos (Nº habitantes)				Taza de crecimiento anual %	
	1972	1981	1993	2005	72/81	81/93
Bagua	93 208	47 952	74 568	74 256	-7,1	3,7
Bongara	10 456	14 737	21 021	24 977	3,9	3,0
Chachapoyas	34 898	38 301	46 422	49 573	1,0	1,6
Condorcanqui	*	29 532	36 037	46 925	*	1,7
Luya	40 152	42 435	48 192	49 733	0,6	1,1
Rodriguez de Mendoza	15 758	18 751	21 905	25 869	2,0	1,3
Utcubamba	*	76 413	106 026	118 367	*	2,8

*: La provincia todavía no era creada

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática, censo 2005.

La población comprendida, dentro del área de estudio es de 38 801 habitantes, que equivale al 10 % de la población total de la región. Ahora bien, analizando los datos a escala de distritos, resulta interesante ver que la mayor concentración de población se encuentra en el distrito de Chachapoyas con 22 492 habitantes y una densidad poblacional de 146,27 hab/km^2. Seguido de los distrito de Luya y Lamud (Figura 3-3), observándose claramente su condición de capital de la región y el centralismo existente. Encontrándose en este distrito, todas las instituciones públicas regionales a donde los pobladores tienen que recurrir para realizar gestiones, así como sus transacciones comerciales.

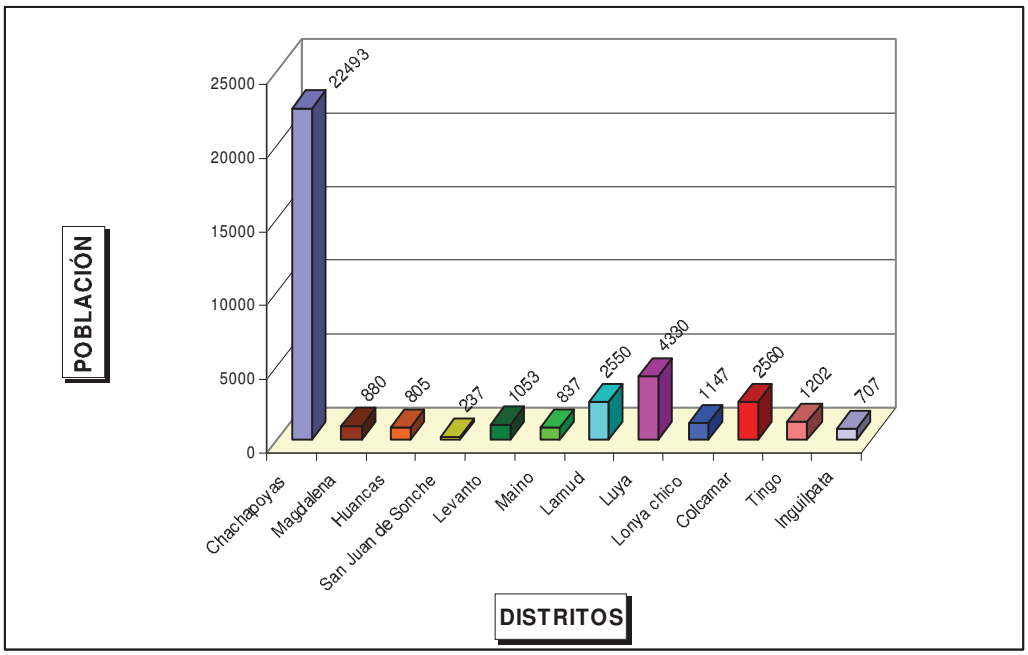


Figura 3-3: Distribución de la población en la zona de estudio

La estructura de la población por grandes grupos de edad en los 12 distritos, se presenta en la tabla 3-3, cuya lectura nos muestra un peso importante de la población adulta, con más del 50 % de la población censada, presentando edades entre los 15 y 65 años. Mientras que el porcentaje de población joven no pasa el 38 %; y mucho menor la población anciana mayor de 65 años, con solo 13,7 %.

La pirámide de población del 2005, elaborada de forma conjunta para estos 12 distritos nos pone de manifiesto una estructura demográfica juvenil-adulta, la población juvenil representa el 30,82 % y el mayor peso de la población el 61,58 % se encuentra entre los 15 y 65 años (Figura 3-4).

Tabla 3-3: Estructura demográfica de la región Amazonas.

Región	Población Joven (<15 años) Nº Hab. - %	Población adulta (15-65 años) Nº Hab. - %	Población anciana (>65 años) Nº Hab. - %
Chachapoyas	6 538 – **29.1**	14 624 - **65**	1 331 – **5,9**
Huancas	121 - **15**	631 – **78,4**	53 – **6,6**
Levanto	369 - **35**	601 – **57,1**	83 – **7,9**
Magdalena	292 – **33.2**	474 – **53.9**	114 - **13**
Maino	254 – **30.3**	517 – **61,8**	66 – **7,9**
Sonche	81 – **34.2**	125 – **52,7**	31 – **13,1**
Lamud	823 – **32.3**	1 393 – **54,6**	334 – **13,1**
Colcamar	900 – **35.2**	1 422 – **55,5**	238 – **9,3**
Inguilpata	193 – **27.3**	417 - **59**	97 – **13,7**
Lonya Chico	388 – **33.8**	631 – **55**	128 – **11,2**
Luya	1 545 – **35.7**	2 407 – **55,6**	378 – **8,7**
Tingo	455 – **37.9**	653 – **54.3**	94 – **7,8**

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática, censo 2005.

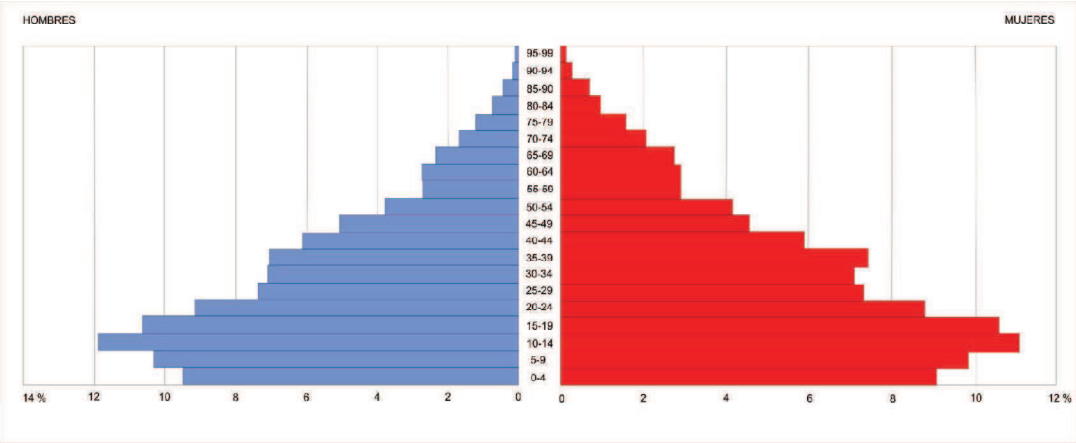


Figura 3-4: Estructura poblacional de la región Amazonas.

Elaborado con datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI, censo 2005.

Según la distribución de población por sexos, para los 12 distritos involucrados en el área de estudio, el 48,76 % son hombres y el 51,24 % son mujeres (Tabla 3-4).

Tabla 3-4: Distribución de la población por sexos.

Sexo	Nº habitantes
Hombre	18 921
Mujer	19 880

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática, censo 2005

Otras de las características demográficas de la región es su fuerte componente urbano. La población que habita en áreas urbanas, representa 79,5 % de la población total, mientras que la rural es solo el 20,5 %, corroborando que la mayoría de población involucrada, en el área de estudio, se encuentra dentro de los centros poblados principales.

En cuanto a los niveles de analfabetismo presentados por la población, nos indican que el 90 % de los habitantes de estos distritos sabe leer y escribir (Figura 3-5).

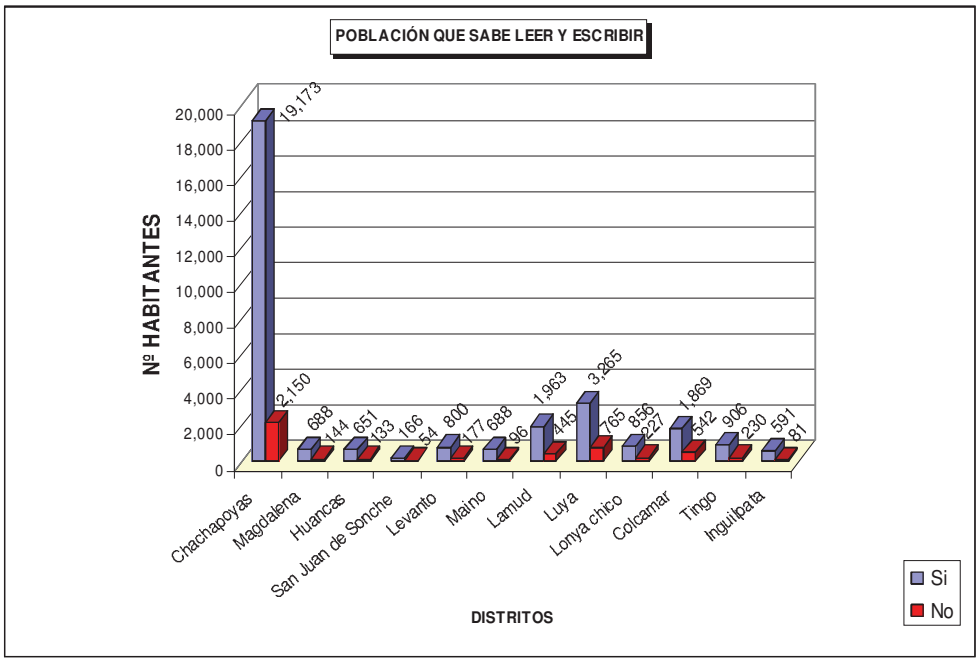


Figura 3-5: Niveles de analfabetismo en la zona de estudio.

En lo que se refiere al acceso a la vivienda se tiene un total de 11 858 viviendas, de las cuales el 99,04 % son viviendas independientes. Del total de viviendas el 77,20 % se encuentra en área urbana y el 22,80 % en área rural (Tabla 3-5 y 3-6).

Tabla 3-5: Tipo de vivienda.

Categorias	Nº Viviendas	%
Casa Independiente	11 744	99,04
Departamento en edificio	9	0,08
Vivienda en quinta	25	0,21
Casa Vecindad	44	0,37
Choza o cabaña	15	0,13
Viv. improvisada	8	0,07
No destinado	4	0,03
Otro	9	0,08
Total	**11 858**	**100**

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática, censo 2005.

Tabla 3-6: Ubicación de viviendas.

Categorias	Nº Viviendas	%
Área Urbana	9 169	77,20
Área Rural	2 708	22,80
Total	**11 877**	**100**

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática, censo 2005.

Los servicios básicos con los que se cuenta los 12 distritos de la zona estudiada se presentan en las tablas 3-7, 3-8 y 3-9. En estas es posible observar una deficiencia en cuanto al acceso de los servicios básicos por parte de la población, evidenciado la falta de atención a estos rubros, los cuales mejoraran la calidad de vida de sus habitantes.

Tabla 3-7: tipo de alumbrado que utilizan los hogares

Categorías	Nº Viviendas	%
Electricidad	6956	75,03
Kerosene (mechero / lamparin)	575	6,20
Petróleo / gas (lámpara)	11	0,12
Vela	1 630	17,58
Generador	1	0,01
Otro	43	0,46
No tiene	55	0,59
Total	9 271	100

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática, censo 2005.

Tabla 3-8: Tipo de abastecimiento de agua

Categorías	Nº Viviendas	%
Red pública dentro de la vivienda	6614	71,34
Red pública fuera de la vivienda, pero dentro del edificio	876	9,45
Pilón de uso público	12	0,13
Camión-cisterna u otro similar	9	0,10
Pozo	442	4,77
Río, acequia, manantial o similar	675	7,28
Otro	643	6,94
Total	9271	100

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática, censo 2005.

Tabla 3-9: Conexión de los servicios higiénicos

Categorías	Nº Viviendas	%
Red pública dentro de la vivienda	4903	52,89
Red pública fuera de la vivienda pero dentro del edificio	626	6,75
Pozo séptico	666	7,18
Pozo ciego o negro / letrina	1981	21,37
Rio, acequia o canal	60	0,65
No tiene	1 035	11,16
Total	9 271	100

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática, censo 2005.

3.4 CLIMA

El Perú, por estar ubicado entre la línea ecuatorial y los 18º de latitud sur, debería tener un clima cálido lluvioso. Sin embargo diversos factores modifican el clima, presentando una gran variedad de climas contrastantes. Entre los factores que influyen en el clima del Perú y el continente, tenemos:

a) La presencia de la Cordillera de los Andes
b) El Anticiclón del Pacífico Sur
c) La Corriente Oceánica Peruana (corriente del Humbolt)
d) La corriente del Niño

En la región Amazonas, el factor más importante, con influencia en el clima, lo constituye la Cordillera de los Andes, que atraviesa el Perú en dirección SE-NO, formando una barrera para la circulación de los vientos y que en su desplazamiento altitudinal modifica las condiciones de temperatura, humedad, precipitación, insolación, evaporación y nubosidad.

El Sistema de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite, cuya metodología para la clasificación de los climas es aceptada oficialmente por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), se apoya en datos meteorológicos de veinte años (1965-1984), teniendo en cuenta la precipitación, la temperatura y la humedad del aire, a partir de los cuales se formularon los índices climáticos. Los tipos climáticos identificados con esta metodología para nuestra zona de estudio son:

a) Zona de clima semicálido, lluvioso, con deficiencia de lluvia en invierno, con humedad relativa calificada como húmeda ($B_{(i)}B'_1H_3$). Este tipo de clima se encuentra en la localidada de Chachapoya, Luya y Lamud.

b) Zona climática semifrío, lluvioso, con deficiencia de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda ($B_{(o,i)}B'_3H_3$). Este clima se encuentra en el sector oeste de la zona de estudio entre los 2 000 y 3 000 msnm.

c) Zona semiseca, templada, con deficiencia de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda ($C_{(o,i)}B'_2H_3$). Este tipo de clima se encuentra en el sector noreste de la zona de estudio.

d) Zona semiseca, templada, con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera, zona calificada como húmeda ($C_{(o,i,p)}B'_3H_3$). Este tipo de clima se presenta en el lado oeste de la zona de estudio por encima de los 3 000 msnm.

3.4.1 Precipitación

La precipitación total promedio anual medida en la estación Chachapoyas es de 805,2 mm, para un periodo de 5 años (Tabla 3-10), comos se puede ver el registro es muy corto, así como tampoco se tiene en cuenta el fenómeno El Niño, evento que cambia totalmente las condiciones climatológicas de la zona.

Tabla 3-10: Precipitación total promedio anual

ESTACIÓN	ALTITUS (msnm)	PRECIPTACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)	PERIODO ANALIZADO (años)
Jazan	1 350	998	1999-2003
Chachapoyas	2 490	805,2	1999-2003
Leimebamba	2 800	1 166,5	1985-1989

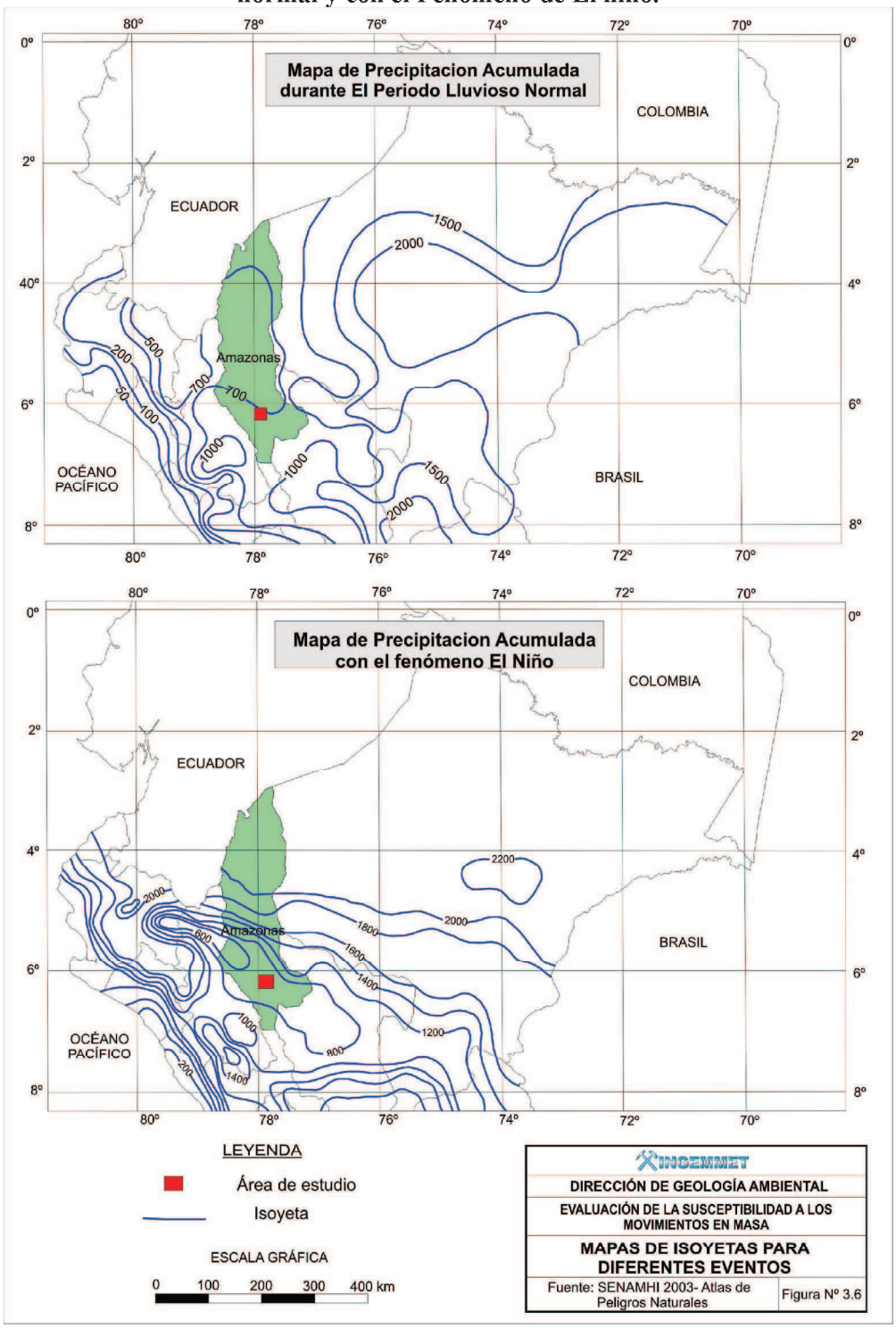
En la siguiente tabla se hace una comparación entre los periodos lluviosos en años normales y con la presencia del fenómeno El Niño 1997-98 (SENAMI – Atlas de Peligros Naturales – INDECI, 2003), (Tabla 3-11).

Tabla 3-11: Comparación de valores de precipitación

Periodos lluviosos	Precipitación acumulada (mm)
Año Normal	700 – 1 000
Fenómeno de El Niño 1997-98	600- 800

Se puede apreciar en la tabla que durante el Fenómeno de El Niño la precipitación pluvial en la zona estudiada sufrió un descenso en comparación a los periodos de precipitación normal (Figura 3-6).

Figura 3.6: Mapas de Isoyetas de la zona norte del Perú, en periodo lluvioso normal y con el Fenómeno de El niño.



3.4.2 Temperatura

La temperatura en el área de estudio, es influenciada por su compleja topografía, ya que presenta marcadas diferencias altitudinales. Además, la influencia de las grandes masas de humedad que se mantienen al norte y este de la región Amazonas, esto hace que las temperaturas del aire registren grandes variaciones en su distribución. Presumiéndose que existe una secuencia térmica gradual, desde el patrón cálido en los niveles inferiores hasta el frío acentuado en los niveles superiores (Vargas, 2007).

Según la información obtenida en de las distintas estaciones meteorológicas, se tiene que la temperatura promedio anual en la localidad de Chachapoyas, ubicada arriba de los 2000 msnm, es de 14,7 ºC, la sensación es templada, datos obtenidos para un periodo de registro de 5 años (Tabla 3-12). La temperatura promedio más baja registrada en Chachapoyas se da en el mes de julio con 13,6 ºC, el cual se constituye en uno de los valores más bajos registrados para toda la región Amazonas.

Tabla 3-12: Comparación de valores de temperaturas (periodo de registro 5 años)

ESTACIÓN	ALTITUS (msnm)	TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL (ºC)	PERIODO ANALIZADO (años)
Jazan	1350	19.9	1999-2003
Chachapoyas	2490	14.7	1999-2003

3.4.3 Evapotranspiración

La evapotranspiración potencial, es definida por Thornthwaite, como la cantidad de agua que se evaporaría de la superficie del suelo y la que transpiraría las plantas si el suelo dispusiera de humedad suficiente. Los datos de evapotranspiración potencial (ETP) calculados por el método de Thornthwaite presentan valores más altos entre los meses de octubre y enero, y los más bajos en los meses junio y julio. El total anual para la región Amazonas varía entre un máximo de 1 600 mm/año (Bagua Chica) y un mínimo de 700 mm./año (Chachapoyas), (Vargas, 2007).

3.4.4 Balance hídrico

El análisis del balance hídrico permite determinar para las estaciones meteorológicas ubicadas en y cerca de la zona de estudio, el comportamiento de la disponibilidad de agua, evapotranspiración, épocas de recarga de agua, el déficit y exceso de agua, así como el cálculo de la evapotranspiración real (ETR).

Así se tiene que en la estación Jasan ubicada a 1 350 msnm se presenta un déficit de agua durante los meses de enero (27 mm) y noviembre (23 mm), con un déficit total anual de 50 mm. Durante los meses de Junio (22 mm), julio (5 mm) y septiembre (24 mm) se tienen excedentes equilibrados, con un excedente total anual de 51 mm (Vargas, 2007).

La estación Chacapoyas (2 490 msnm), muestra excedentes de agua durante cuatro o cinco meses del año, alcanzando un exceso total anual de 102 mm (Vargas, 2007).

3.5 MARCO HIDROLÓGICO

3.5.1 HIDROLOGÍA

De forma general, la red hidrográfica de la Región Amazonas, está conformada por parte de la cuenca del río Marañón Siendo sus afluentes principales por la margen izquierda los ríos Cenepa y Santiago, y por la margen derecha los ríos Utcubamba, Imaza-Chiriaco y Nieva. También discurren, dentro de la región, ríos pertenecientes a las cuencas altas de los ríos Mayo y Huayabamba; cuyas aguas drenan hacia territorios de la región San Martín, como los ríos Ventilla y Huambo. Los ríos mantienen un caudal muy variable durante todo el año y dependen de la intensidad de las lluvias.

La red hidrografica de la zona de estudio tiene como curso principal el río Utcubamba (Foto 3-1). Este río nace en las alturas de Lluy cerca del abra Barro Negro a un altura de 2 212 msnm, ubicado a aproximadamente 60 km al sur de la ciudad de Chachapoyas.

Foto 3-1: Vista panorámica aguas arriba (vista hacia el Sur) del valle del río Utcubamba, confluencia con el río Rumiyacu.

El río Utcubamba recorre la región Amazonas con una dirección inicial sur-norte. Disectando en su recorrido rocas de tipo calcáreo y formando, a partir de las inmediaciones del poblado de Tingo, un cañón de aproximadamente 33,5 km de longitud. Este cañón termina muy cerca de las confluencias de los ríos Sonche y Chiliquin, fuera de la zona de estudio.

En la zona de estudio, se tienen como afluentes principales del río Utcubamba, al río Sonche (afluente por la margen derecha), cuyas nacientes se ubican al noreste de Chachapoyas; así como el río Utcubamba, que tras recibir los aportes del río Sonche, cambia de dirección hacia el noroeste, la cual mantiene hasta su confluencia con el río Marañón.

Afluentes importantes del río Utcubamba por su margen izquierda, son el río Jucusbamba, el cual nace de la confluencia de las quebradas Gache y Chuscate en las alturas de las provincias de Luya y Lamud, atraviesa en su recorrido los poblados de

Luya y Lamud ubicados en un zona de planicie, para luego cortar las rocas calcáreas y silito-clasticas y formar un cañón que termina en su confluencia con el río Utcubamba. Otro afluente es la quebrada Tincas, la cual se forma de la confluencia de las quebradas Santillacucho, Urita, Yojomal y Yunquilla, antes de su confluencia en el río Utcubamba forma un cañón de unos 3,8 km de longitud.

La velocidad de la corriente media, medida en el río Utcubamba en el año 2005, a la altura de la localidad de puente Caclic, estación de aforo ubicada dentro de la zona de estudio, reporta un valor de 1,003 m/s, con velocidad de corriente máxima de 2,345 m/s y un caudal de 34,67m^3/s.

Valores de velocidades de corriente medidos en el río Utcubamba, aguas abajo de la zona de estudio, se tiene que en el sector de Puente Corontachaca, se reporta valores de velocidad de corriente media de 1,754 m/s, velocidad de corriente máxima de 2,226 m/s y un caudal de 95,66 m^3/s. En el sector bajo del río Utcubamba, a la altura del Puente Milagro, la velocidad de corriente media es de 1,878 m/s, velocidad de corriente máxima de 2,894 m/s y un caudal de 211,24 m^3/s.

La navegabilidad del río Utcubamba en la zona de estudio no es posible, por contarse con un valle angosto y caudaloso, sin embargo en el sector bajo de la cuenca la navegabilidad es posible por medio de embarcaciones pequeñas.

3.6 COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO

Las características topográficas y la ubicación geográfica de la región Amazonas (faja latitudinal tropical, que comprende la región norte del país), promueven condiciones ecológicas definidas por la interacción oceánica-continental. Condicionada por factores geomorfológicos y climáticos, que determinan los diversos tipos climáticos y zonas de vida del área.

De acuerdo con la clasificación de Zonas de Vida, del Dr. L.R. Holdridge (1967), que se fundamenta en criterios bioclimáticos, como parámetros que definen el habitad de la vegetación; en la región Amazonas se han determinado 18 zonas de vida y 9 unidades

bioclimáticas, distribuidas entre los pisos altitudinales denominados Premontano, Montano bajo y Subandino.

Dentro de la zona de estudio se pude encontrar 5 de los ambientes bioclimáticos, de los 9 determinados para la región Amazonas, estos son:

- Ambiente árido a semiárido y calido (bs-PT)
- Ambiente seco y semicálido/templado (bs-MBT)
- Ambiente húmedo y cálido/semicálido/templado (bh-MBT)
- Ambiente muy húmedo y semicálido (bp-MT)
- Ambiente muy húmedo y templado (bmh-MT)

Por otra parte, se cuenta con 5 zonas de vida de las 18 existentes en la región Amazonas. Diferenciadas en base a sus características principales de distribución geográfica, clima, suelo, vegetación y uso de la tierra (INRENA, 1995). En las cuales se describen las características que debería presentar la vegetación existente en la zona de estudio. A continuación se presenta un breve resumen de cada una de estas 5 zonas de vida.

a) **Bosque Pluvial - Montano Tropical (bp-MT)**: se ubica en la región latitudinal tropical del Perú, geográficamente se distribuye ocupando las vertientes orientales de los Andes, extendiéndose entre los 2 500 y 3 800 msnm, en la zona de estudio, esta zona de vida, se ubica en el lado sureste. La biotemoperatura media anual varía entre 6 ºC y 12 ºC.

   Su topografía es abrupta, laderas con más de 75 % de pendiente. La vegetación esta conformada por árboles que alcanzan los 15 m de altura, presentando un epifitismo extremo. También es posible observar vegetación conformada por carrizos, especies de la familia Melastomacea, helechos arbóreos y arbolillos de los géneros Polylepis, Agnus, Oreopanax, Dicsonia y Alsophilla.

b) **Bosque Húmedo - Montano Bajo Tropical (bh-MBT)**: se ubica en la región latitudinal tropical del Perú, geográficamente ocupa los valles interandinos en su

porción intermedia, entre los 1 800 y 3 000 msnm. Las localidades de Maino y Levanto se encuentra dentro de esta zona de vida. La biotemperatura media anual máxima es de 17,9 ºC y la media anual mínima de 12,6 ºC.

De topografía generalmente inclinada, con escasez de zonas llanas, por estar ubicada en las laderas de valles interandinos.

La vegetación clímax no existe, por efectos del sobre uso ganadero y agrícola. Sin embargo, es posible observar bosques sobre las faldas de cerros de pendiente fuerte. Dentro de las especies vegetales se tiene al aliso, ulcumano, diablo fuerte y moena; también se encuentran cubriendo los árboles, zarzamoras, carricillos, bromeliaceas y musgos que recubren los árboles.

c) **Bosque Seco - Montano Bajo Tropical (bs-MBT)**: Ocupa valles mesoandinos entre los 2 500 y 3 200 msnm, encontrándose las localidades de Lamud, Luya y Colcamar, dentro de esta zona de vida. La biotemperatura media anual máxima es de 16,5 ºC y media anual mínima de 10,9 ºC. Su relieve varía de suave o plano, en las terrazas de valles interandinos; a inclinado, en las laderas de estos valles.

La vegetación natural ha sido fuertemente degradada y sustituida por cultivos. Dentro de las especies vegetales que se tiene en esta zona destacan la retama, el maguey, el eucalipto, el capulí y la chamana.

d) **Bosque Seco - Premontano Tropical (bs-PT)**: Geográficamente se encuentra ocupando parte del valle del río Utcubamba y altitudinalmente se distribuye entre los 1 000 y 2 250 msnm. La biotemperatura media anual máxima en esta zona de vida es de 25,1 ºC y la media anual mínima de 174 ºC. La topografía es mayormente inclinada, por estar ubicada sobre las laderas de valles interandinos.

La vegetación, debería estar constituida por una vegetación de tipo sabana, conformado por arbustos, árboles pequeños y gramíneas estacionales. Dentro de las especies de árboles tenemos la tara, el harabiscus, hualango; arbustos como la Chamana y algunas cactáceas.

Las sabanas son utilizadas, para el pastoreo de ganado vacuno y caprino. El pastoreo de tipo caprino, realizado en laderas de fuerte pendiente y de forma incontrolada, ha degradado severamente la vegetación natural y los suelos, observándose denudamiento de los terrenos y presencia de cárcavas.

e) Bosque Muy Húmedo - Montano Tropical (bmh-MT): Se ubica entre los 2 800 a 3 800 msnm. Específicamente se le bica en el lado oeste de la zona de estudio. La biotemperatura media anual máxima es de 10,9 ºC y la media anual mínima de 6,5 ºC.

Su relieve es por lo general accidentado; laderas con pendientes de 60%. La vegetación esta constituida por especies arbóreas de los géneros Clusia, Brunellia, Raoabea, entre otras, también se tiene helechos arbóreos y el carricillo. En la parte superior de la Cordillera Oriental, la vegetación es reducida, pero es posible encontrar especies de los géneros Cynoxys, Baccharis, Polylepidas, asociadas con gramíneas altas y tupidas (Stipa, Calamagrostis, festuca, etc.) que constituyen praderas de pastos naturales.

Por otro lado, considerando la necesidad de contar con un mapa de cobertura vegetal y uso de suelos, para realizar los análisis de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa, fue necesario utilizar la información proveniente de los trabajos realizados por el Instituto Nacional de Recursos Naturales del Perú (INRENA, 1 995 y 1 996), elaborados a escalas regionales. Así como también, se tubo en cuenta la distribución de la cobertura vegetal dominante, diferenciada en los mapas topográficos de escala 1:25 000 elaborados por COFOPRI (Organismo de Formalización de la Propiedad Informal). Este fue completado y actualizado, desde el punto de vista de protección natural de los terrenos a la ocurrencia de movimientos en masa y su resistencia a la degradación por erosión. Realizado mediante la fotointerpretación, revisión de imágenes satelitales del área y la comprobación de campo de los diferentes tipos de coberturas de suelo. En el área estudiada se han diferenciado cinco zonas de cobertura vegetal y uso de suelo, las cuales fueron usadas en el análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa (Mapa 1), estas unidades son las siguientes:

3.6.1 Bosques (Bs)

Abarca una superficie de 68,84 km^2, se extiende en los extremos sur y este de la zona estudiada hasta los 3 400 msnm, este tipo de vegetación esta conformada por bosques húmedos de montañas (INRENA, 1996). De relieve montañoso, con cerros escarpados. En las cimas de estas montañas, es característica la presencia de una cubierta de nubes que provocan lloviznas.

La vegetación es variada, siendo posible encontrar epifitas, hiervas, lianas, arbustos y árboles, las cuales disminuyen a medida que se asciende a mayores altitudes. En cuanto a la fisonomía, también cambia al ascender, tornándose en un bosque menos exuberante con árboles más delgados, retorcidos y de menor altura. En niveles altitudinales superiores es posible ver abundancia de epífitas y musgos.

Las especies que es posible encontrar en esta zona son el saucesillo, sayo, lalus, cascarilla, Chachacomo, lanche, incienso, así como también se tienen herbáceas como Cyclantheas, epífitas herbáceas, orquídeas, musgos y helechos arborescentes (Foto 3-2).

También, es posible encontrar bosques de eucaliptos, que son el resultado de trabajos de reforestación realizados por los pobladores, con fines de estabilización de suelos o puramente económicos. Estos árboles son posteriormente cortados y vendidos como madera, ejemplos de esto se tiene en la localidad de Chachapoyas (Foto 3-3).

La presencia de este tipo de cobertura vegetal, le confiere al suelo una protección natural, ante los efectos erosivos que podrían producir las fuertes precipitaciones propias de la zona. Evitando así la perdida del suelo, por incidencia directa de las gotas de lluvia en la superficie de suelo, así como, por el arrastre de materiales por medio de procesos erosivos de tipo laminar, surcos y cárcavas. Las hojas de los árboles son las que amortiguan y reducen la velocidad de las gotas de lluvia. Por otro lado, las raíces de árboles y arbustos producen un efecto de estabilización en el suelo, controlando la formación de movimientos en masa en el terreno, a menos que la sobresaturación de los suelo, aumente la presión de poros y el peso ganado en el suelo por la presencia de agua, puede provocar la generación de un movimiento en masa.

Foto 3-2: Bosques húmedos, asociados con matorrales, laderas del valle del río Osmal, distrito de Levanto.

Foto 3-3: Bosque de eucaliptos sembrados por pobladores del poblado de Chahapoyas.

3.6.2 Pastizales (Pz)

Ocupa una superficie de 364,84 km^2, se ubican inmediatamente debajo de los bosques de montaña, clasificada por el INRENA (1996) como áreas deforestadas. En la actualidad, la vegetación que cubre esta zona, esta conformada por pastizales utilizados para la crianza de ganado vacuno yes posible encontrar zonas con asociación de pastos, arbustos y matorrales muy espaciados (Foto 3-4), así como también se encuentran pequeños bosques de eucaliptos sembrados por los pobladores.

En algunos sectores, es posible también encontrar asociaciones arbustivas siempre verdes, con alturas de hasta 4 metros. También se tienen de forma dispersa especies arbóreas perennifolias de porte bajo (INRENA, 1 996), como el molle, la tara y el nogal.

El desarrollo de herbáceas, como las gramíneas es notable a medida que se asciende a niveles superiores. Dentro de estas, es posible encontrar el ichu. Estas áreas fueron inicialmente pobladas por bosques primarios, los cuales sufrieron daños por la intensa deforestación causada por el hombre en su afán de ampliar la frontera agrícola.

Este cambio en el uso del suelo, bosques que se transformaron en pastizales, origino un desequilibrio del mecanismo de protección natural ejercido por los bosques. En esta zona, la incidencia de las fuertes precipitaciones, se produce de manera directa contra el suelo, cuando es escaso manto de pastos. Por otro lado la infiltración de agua aumento y la escorrentía puede producir rápidamente la perdida de suelos por erosión.

Foto 3-4: Pastizales en primer plano, hacia el fondo bosques de eucalipto, sector Aeropuerto, Chachapoyas.

3.6.3 Cultivos (Cul)

Ocupa una superficie de 153,4 km^2, se ubican a los alrededores de los centro poblados, clasificada por el INRENA (1996) como áreas deforestadas y de matorral subhúmedo.

Sin embargo, a la escala de trabajo, han sido catalogadas como terrenos utilizados para cultivos agrícolas (Foto 3-5). Es posible observar la presencia, en forma dispersa, de especies arbóreas perennifolias de porte bajo que circundan los terrenos de cultivo. Entre estas se tiene: al molle, la tara, nogal y boliche. En los valle del área estudiada, es común encontrar esta asociación de cultivos, con especies arbóreas, que se ubican al pie de las laderas.

Es probable que los matorrales, que existieron con abundancia, hayan constituido verdaderos bosques, que debido a la intensa actividad antrópica, fueron modificados en su estructura primaria, al ser utilizados por los pobladores para obtener leña, madera para construir viviendas, herramientas, artesanías, productos para consumo humano y medicina folklorica.

Las condiciones climáticas, propició asentamientos humanos, que desarrollaron una actividad agrícola en secano, de carácter rotativo y ganadería extensiva con pasturas estaciónales.

Los principales cultivos agrícolas son el maíz, papa, trigo, cebada, fríjol, arvejas, habas, lentejas y pastos cultivados, destinados al comercio y consumo humano.

El cambio brusco en el uso del suelo, donde actualmente se llevan a cabo el removido del terreno para poder realizar la siembra, ha originado un desequilibrio del mecanismo protección de natural ejercido por los matorrales. En esta zona la incidencia de las fuertes precipitaciones, se produce de manera directa contra el suelo, facilitando los procesos erosivos. Por otro lado la infiltración de agua aumenta, sobresaturando los suelos y haciéndolos propensos a la formación de movimientos en masa.

Foto 3-5: Terrenos de cultivo en laderas de montaña, sector de Levanto.

3.6.4 Área deforestada (Ad)

Ocupa una superficie de 12,05 km^2, se ha catalogado dentro de esta unidad a las zonas donde la cobertura vegetal es realmente escasa o nula, resultado de procesos intensos de erosión laminar y cárcavas. También por efectos de derrumbes, que remueven grandes cantidades de terreno y zonas donde la cobertura de suelo es mínima o nula, como pasa en los escarpes o acantilados (Foto 3-6). Sin embargo, es posible encontrar de manera muy dispersa, vegetación de tipo matorral y pastizales recubriendo las paredes de las escarpas, las cuales no proporcionan ninguna protección a los terrenos.

Foto 3-6: Escarpas desprovistas de vegetación, margen izquierda del río Utcubamba.

3.6.5 Zona urbana (Zu)

Se denomina así, a la porción del territorio donde actualmente se desarrollan centros poblados importantes. Se puede incluir zonas de expansión urbana que aún no están construidas y/o potencialmente urbanizables. Estos pueden incorporarse a los poblados, en base a un plan previamente elaborado, que establezca las pautas para su desarrollo urbano, donde se prevea la incorporación de los servicios necesarios. No se consideran caminos ni carreteras, así como tampoco poblados de área reducida.

Las actividades que se realizan dentro de esta unidad son de tipo socio-económicas y el uso que se da al territorio es residencial, comercial y de servicios; institucional y recreacional. Los poblados más importantes dentro del área de estudio son: Chachapoyas, Luya, Lamud, Inguilpata, Colcamar, Maino, Levanto, Sonche, etc. (Foto 3-7).

Foto 3-7: Vista panorámica de la ciudad de Chachapoyas.

3.7 MARCO GEOMORFOLÓGICO

GENERALIDADES

Se considera a los mapas geomorfológicos una herramienta indispensable para el análisis de los peligros naturales, por su estrecha relación con los procesos geodinámicos.

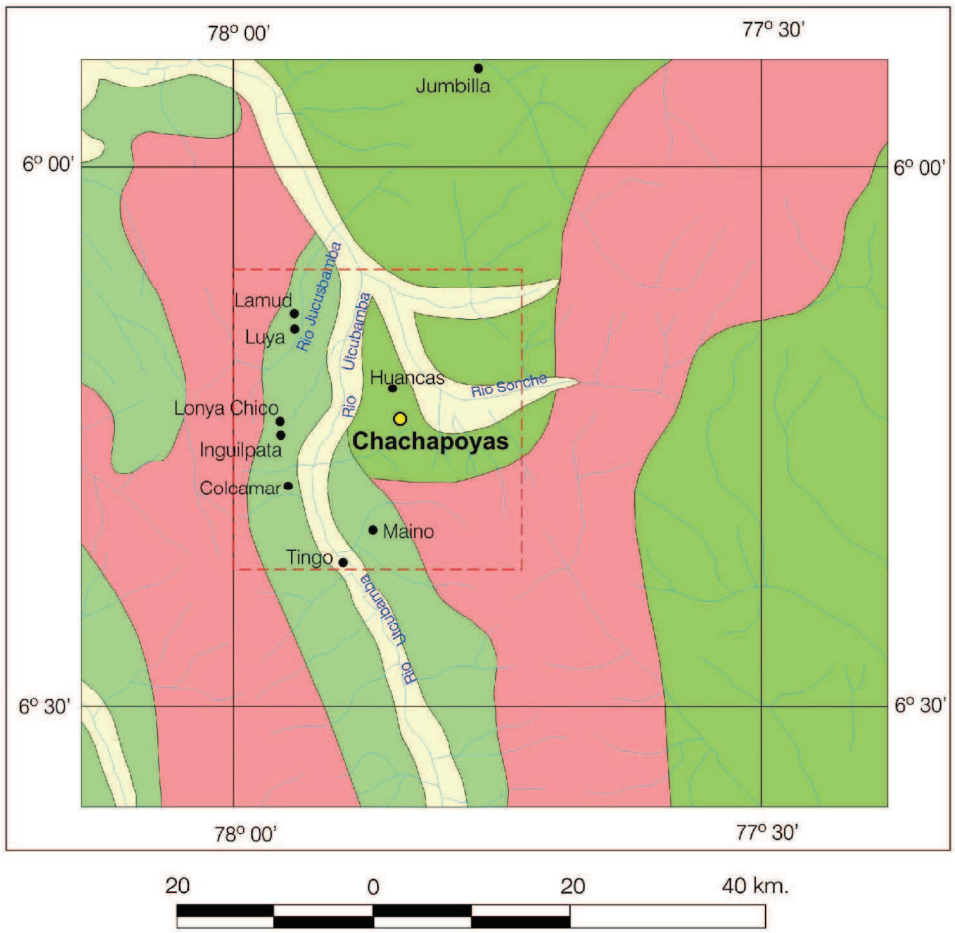
En general, desde el punto de vista morfoestructural regional, el área estudiada se ubica dentro de la Cordillera interandina, la Cordillera Oriental y Faja Subandina, la cual se encuentra disectada por los ríos Utcubamba y Sonche (Figura 3-7).

Las diferentes unidades geomorfológicas se han formado por la acción de los agentes tectónicos, erosionales y depositacionales, ocurridos a lo largo de la historia geológica. El origen de estos, está ligado al proceso del levantamiento andino (profundización y ensanchamiento de valles), asociado a eventos de glaciación y deglaciación, así como a procesos de movimientos en masa.

La Cordillera Interandina es la zona de transición entre las Cordilleras Occidental y Oriental de los Andes, se encuentra configurado por cadenas montañosas que pueden llegar hasta los 3 000 msnm, formadas por rocas de edad cretácea, configurando mesetas estructurales o altiplanicies. Se localizan principalmente en la cuenca del río Utcubamba.

La Cordillera Oriental, se encuentra conformado por cadenas montañosas altas y alargadas, que pueden sobrepasar los 4 600 msnm, constituidas por un substrato rocoso antiguo de edad precambreano y paleozoico, así como rocas calcáreas del mesozoico, siguiendo una dirección NO-SE.

La Faja Subandina, corresponde al flanco Este de la Cordillera Oriental, conformada por sistemas de colinas y montañas de origen estructural (plegadas y falladas) y denudacional. Así como los valles de sedimentación fluvial y aluvial, con elevaciones que se encuentran comprendidas entre los 3 000 y 1 000 msnm.



Zona Interandina

Cordillera Oriental

Faja Subandina

Vallles

Zona de estudio

INSTITUTO GEMOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

INGEMMET

EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN LAS ÁREAS DE CHACHAPOYAS Y LUYA AMAZONAS - PERÚ

MAPA MORFOLÓGICO REGIONAL DE LA ZONA DE CHACHAPOYAS Y LUYA

Figura Nº 3.7

UNIDADES GEOMORFOLOGICAS

La cartografía geomorfológica y delimitación de unidades[1] se fundamenta en el criterio principal de homogeneidad relativa y su caracterización de los siguientes aspectos:

1) Origen general y específico del relieve (ya sea estructural, de erosión o acumulación).

2) Tipos generales y específicos del relieve (planicies, colinas y lomeríos, piedemontes y montañas), teniendo en cuenta su amplitud de relieve (altura relativa); para el caso de montañas se consideró además como criterio de diferenciación la pendiente y el control estructural de sus laderas.

3) Se incluye en la descripción de las diferentes unidades la litología principal de los afloramientos rocosos y/o depósitos superficiales, así como los peligros geológicos asociados.

Así mismo, parte de la metodología usada, se ayudó en la cartografía geomorfológica de Italia y España, que considera de importancia los procesos morfogenéticos (PELLEGRINI, 2000).

Se consideró una base topográfica a escala 1:25 000, la geología (Carta Geológica Nacional), teniendo en cuenta los límites de las unidades geológicas (substrato rocoso – depósitos superficiales), con énfasis en la diferenciación de depósitos superficiales en los trabajos de campo y con la ayuda de fotografías aéreas[2]. Con la información topográfica a escala 1:25 000, se elaboró el modelo digital de terreno (MDT), el cual adicionalmente, permitió elaborar un mapa de pendiente de los terrenos.

---

[1] Es una adaptación del Sistema para el Levantamiento y el Mapeo Geomorfológico del ITC (*International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences*, Países Bajos) con aportes de Verstappen y Van Zuidam, 1991, y la construcción de los mapas geomorfológicos según Tapia-Varela y López-Blanco, 1998 (En: TAPIA-VARELA, G. & LOPEZ-BLANCO, J., 2001).

[2] La fotointerpretación geomorfológica se llevó a cabo usando imágenes satelitales landsat, a la misma escala, fotografías aéreas, considerando los rasgos del relieve que sirvieran para definir y diferenciar cada tipo, tales como: rupturas de pendiente, altura relativa, forma topográfica, influencia estructural, base geológica a escala 1:100 000 y cartografía de movimientos en masa.

Una delimitación inicial de los cuatro grandes tipos de relieve (Montañas, Colinas, Depósitos de Piedemonte, Planicies y depresiones) y una posterior subdivisión considerando su origen y la geometría del relieve (pendiente del terreno), carácter estructural y asociación morfogenética (fluvial, aluvial, glacial y gravitacional), permitió establecer las unidades geomorfológicas descritas a continuación (Mapa 2):

3.7.1 MONTAÑAS

Presentan mayor distribución en el área de estudio (80,66 %), se considera dentro de este unidad a las formas que alcanzan alturas mayores a los 300 m respecto al nivel de base local, se reconocen como cumbres y estribaciones producto de las deformaciones sufridas por la erosión y la influencia de otros eventos de diferente naturaleza (levantamiento, glaciación, etc.) (Villota, 2005).

En el contexto general se encuentran conformadas por alineamientos alargados que sobrepasan los 300 m del nivel de base local, constituidos por rocas de tipo metamórficas y sedimentarias con un moderado estado de meteorización superficial y de erosión.

Se caracterizan por presentar cimas crestadas como resultado de la interestratificación de litologías variadas; en algunos casos son cimas amplias y/o subredondeadas, las que constituyen divisorias de aguas, muchas de ellas se encuentran conformadas por roca descubierta, es decir no existe cobertura de suelos alguna, produciéndose procesos de metodización y erosión superficial de la roca expuesta.

Las laderas se encuentran constituidas en forma compleja, tanto en su litología como en su configuración externa, con moderada intensidad de disección y erosión en rocas consolidadas e intensa disección y erosión en rocas poco consolidadas de edad Neógeno, generalmente ubicadas inmediatamente debajo de las cimas.
Para una mejor aplicación según los objetivos del estudio, la geomorfología se dividió en los siguientes cuatro grandes subgrupos:

Montañas en rocas sedimentarias (Ms)

Muestran laderas de pendiente pronunciada a fuerte, la equidistancia de curvas de nivel es menor, presentado una mayor densidad de curvas, generalmente las pendientes se encuentran por encima de 30° (Foto 3-8). Están compuestas por rocas de distinto tipo, pudiéndose encontrar rocas antiguas de edad Precambrico pertenecientes al Complejo Marañón (esquistos, gneis), que afloran en el extremo sur-occidental de la zona de estudio.

Las secuencias sedimentarias están representadas por rocas del Grupo Ambo, secuencias sedimentarias calcáreas del Triásico y Jurásico distribuidas en el sector sur de la zona estudiada. Los movimientos en masa asociados son generalmente derrumbes, caída de rocas, deslizamientos, flujos y procesos de erosión de laderas.

Foto 3-8: Montañas en la margen izquierda del río Utcubamba, sector de Tingo.

Montañas de laderas estructurales (Me)

Su asociación litológica es principalmente sedimentaria (secuencias calcáreas del Triásico y Jurásico), estructuralmente se presentan como alineamientos montañosos compuestos por secuencias estratificadas plegadas y/o con buzamientos de las capas que controlan la pendiente de las laderas, conformando anticlinales, sinclinales y cuestas,

que le dan una característica particular en las imágenes satelitales. Varían en pendiente desde moderada a muy abruptas (Foto 3-9).

Dentro de esta unidad es posible encontrar montañas de laderas estructurales con estratificación subhorizontal, donde los estratos presentan buzamientos del orden de los 10º, su asociación litológica es principalmente sedimentaria (secuencias calcáreas del Triásico, Jurásico, cretácico y secuencias clásticas del Cretáceo), conforman localmente mesetas estructurales, estas aparecen limitada por escarpes o acantilados de fuerte pendiente (Foto 3-10).

Ocupan una superficie de 286,62 km^2 dentro de la zona de estudio, se distribuyen en los sectores de la Cordillera Interandina y la Cordillera Oriental, hacia el sur de la ciudad de Chachapoyas, también se le encuentra conformando las cabeceras de las cuencas de los afluentes de los ríos Utcubamba y Sonche

Geodinámicamente se asocian a caída de rocas, derrumbes, deslizamientos, erosión de laderas y flujo de detritos.

Foto 3-9: Montañas con laderas estructurales inclinadas (Me), margen izquierda río Osmal, cerca de Levanto.

Foto 3-10: Hacia el fondo Laderas de montañas estructurales, conformada por capas horizontales, margen derecha del río Utcubamba.

Karst (Relieve Montañoso por disolución) (Kr)

Zona que posee una topografía particular, se presenta en zonas calcáreas o dolomíticas, resultado de los procesos de disolución superficial y subterránea de los carbonatos, por efecto de las aguas meteóricas que al concentrarse en escorrentía superficial son posteriormente acarreados hacia cauces subterráneos.

Desde el punto de vista geomorfológico un karst constituye un paisaje único con numerosos rasgos externos e internos determinados por la disolución de los carbonatos (Villota, 2005).

En la zona de estudio, se identificaron depresiones cerradas, llamadas dolinas, que constituyen hoyos cerrados en forma de embudo con sus lados rocosos y cubiertos, en algunos casos, por vegetación en las paredes y el piso. Se presentan de manera aislada y en grupos. Estas son resultado de procesos de disolución, desplome y subsidencia, existiendo diferencias entre ellas por el mecanismo de formación.

Otro tipo de depresión cerrada, la constituye las uvalas, que son el resultado de la unión de dos o más dolinas vecinas, presentan una forma alargada irregular o lobulada.

Muchas de estas, dan lugar a cuencas endorreicas, las cuales forman ríos subterráneos. Se encuentran ubicadas, por ejemplo, al sur de la ciudad de Chachapoyas a aproximadamente 7 km, así como al sur de los poblado de Colcamar, Lamud y Trita (Foto 3-11). Geodinámicamente se asocian a hundimientos, derrumbes y caída de rocas.

Foto 3-11: Formación de una dolina en calizas rellena de agua en un paisaje de karst (Kr) por hundimiento, cerca del poblado de Lamud.

Escarpes (Es)

Superficie plana inclinada, con pendiente superior a los 40º. Se encuentran limitando las montañas de laderas estructurales con estratificación horizontal. Estos son el resultado de los procesos erosivos, debido a la precipitación pluvial, deslizamientos y derrumbes, así como por la incisión de los cursos de ríos en las secuencias sedimentarias del Mesozoico.

Como ejemplo tenemos, los acantilados del valle encañonado del río Utcubamba y la quebrada Tincas (foto 3-12). Geodinámicamente están asociados a caída de rocas, derrumbes y deslizamientos.

Foto 3-12: Acantilados en rocas carbonatadas, margen izquierda del río Utcubamba, frente al sector de El Cañaveral, Chachapoyas.

3.7.2 COLINAS Y LOMADAS

Están representadas por colinas de relieve simple, son resultado de procesos denudativos, de menor altura que una montaña (menos de 300 metros desde el nivel de base local) y con inclinación de laderas promedio superior a 16 % (FAO, 1968). Ocupan un área reducida que representa el 1,79 % dentro de la zona de estudio. Se asocian litológicamente a rocas de tipo sedimentarias del Cretácico y Neógeno.

Dentro de este grupo se ha diferenciado la subunidad:

Colinas (Col)

Se denomina así a las elevaciones de terreno con alturas no mayores a 300 m, cuya pendiente es mayor a 7° o 16 %. Constituida por rocas sedimentarias de las formaciones Chulec e Inguilpata, afectados por procesos denudativos, donde no es posible observar estratificación alguna. Ocupa una superficie muy reducida, restringiéndose al sector noroeste, cerca de esta unidad se encuentran las localidades de Lamud y Luya, presentando una configuración plano ondulada.

Suelen ocurrir procesos de reptación de suelos, deslizamientos y erosión de laderas.

3.7.3 PIEDEMONTES

Para delimitar los piedemontes, se reconocieron aquellas características que los conforman, como el depósito y acumulación de material, y las rupturas de pendiente característicos. En conjunto ocupan un área que equivale al 4,31 % del total.

Abanicos proluviales (Ap)

Depósitos de flujos de detritos canalizados, en forma de abanico, ubicados en la parte terminal o desembocadura de una quebrada o curso fluvial (régimen estacional o torrentoso) a un río principal (Foto 3-13). Estos pueden generar el represamiento de valles o desviaciones de cursos fluviales, controlando la morfología actual del valle. Estas geoformas pueden ser originadas por eventos individuales de diferente magnitud, mostrando áreas de depósito de extensiones y altura variable, así como ligera pendiente hacia el valle, confundiéndose en algunos casos con las terrazas aluviales.

Están compuestos por depósitos de detritos clásticos de variados tamaños, que vistos en planta presentan formas característicamente cónica, con pendientes de 2° - 15°, ejemplos de abanicos se tienen entre las márgenes de los ríos Sonche y Utcubamba. Están asociadas a la ocurrencia de flujos de detritos (huaycos) periódicos y excepcionales.

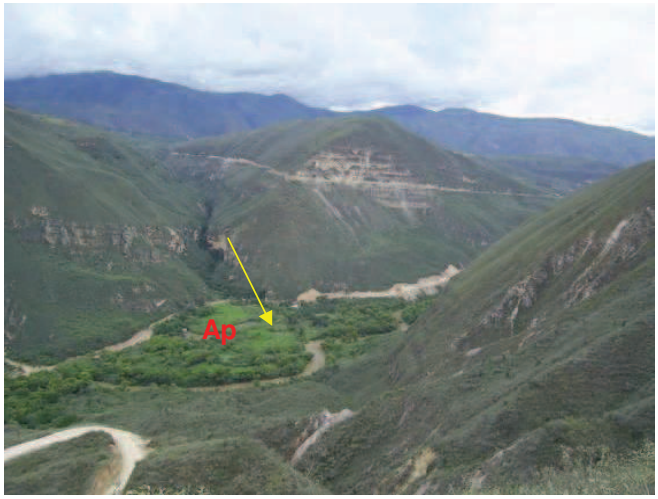


Foto 3-13: Vista de un Abanico proluvial (Ap), en la quebrada Jatunsacha, margen derecha del río Utcubamba, la carretera de acceso a Chachapoyas cruza este deposito.

Vertiente de detritos (Vd)

Son depósitos inconsolidados, acumulados en las partes bajas de las laderas de montañas o colinas, en forma de talus de detritos de origen coluvial y diluvial. Son depósitos de edad reciente, que descienden hacia los valles principales, quebradas tributarias o se depositan en terrenos bajos y planos, no presentan una geoforma característica (Foto 3-14). Por encontrarse cerca de su fuente de origen, presentan una naturaleza litológica homogénea, sin embargo su granulometría es variable, presentando fragmentos angulosos, con grado de compacidad bajo y no consolidado.

Están asociados a procesos de flujos de detritos, erosión de laderas, derrumbes y deslizamientos superficiales. Los depósitos de vertientes de detritos más representativos, se encuentran en el sector central del área de estudio, cerca de la ciudad de Chachapoyas, e inmediatamente debajo de las unidades de montañas y montañas estructurales.

Foto 3-14: Deposito de vertiente de detrito (Vd), formado por la acumulación de clastos caídos desde la parte superior de la ladera, margen izquierda del río Utcubamba.

Depósitos proluvio-aluviales (Dpa)

Son depósitos conformados por una combinación de materiales de origen proluvial y aluvial. Los depósitos proluviales son el resultado del acarreo y depósito de material de forma violenta, en su desembocadura hacia otro río o en zonas planas. Estos materiales son transportados por cursos de agua esporádicos, o como resultado del aumento de los

caudales en el cauce de un río, al producirse precipitaciones excepcionales en su cuenca de recepción.

Los depósitos aluviales están constituidos por la acumulación de material acarreado por cursos de agua permanentes, estos son acumulados a manera de terrazas hacia ambas márgenes de ríos.

Los depósitos proluvio-aluviales, son el resultado de una acumulación alternada de estos materiales, controlada por la cantidad de precipitación caída en la zona. Estos depósitos están constituidos por gravas y cantos subredondeados a subangulosos (por el poco transporte sufrido), arenas, limos y arcilla, el depósito presenta una baja pendiente (Foto 3-15). Geodinámicamente están relacionados a la ocurrencia de procesos de reptación de suelos, derrumbes y deslizamientos.

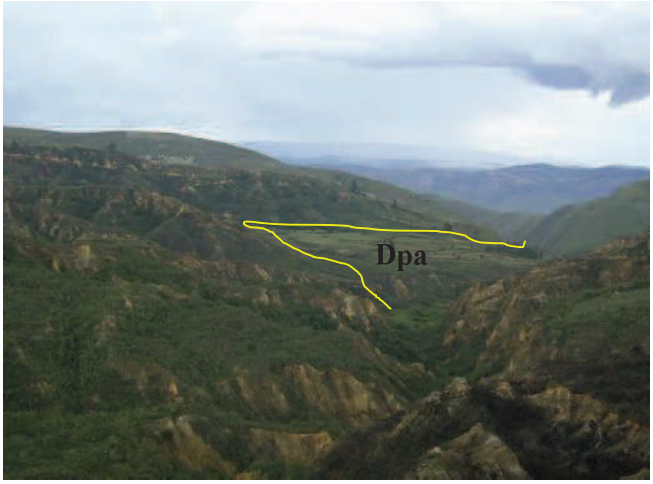


Foto 3-15: Deposito proluvi-aluvial (Dpa), de suave pendiente, delimitado por línea amarilla, confluencia de la quebrada Yunguilla a la quebrada Tincas, Luya.

3.7.4 PLANICIES

Se presentan conformando superficies llanas a planas, asociadas a depósitos aluviales antiguos, rocas sedimentarias con estratificación subhorizontal y ubicados inmediatamente a los cursos fluviales y fondos de valle. Limitados en muchos casos por depósitos de piedemontes y laderas de montañas o colinas; ocupan una superficie del 6,91 % del área total de la zona estudiada.

Para una mejor representación se ha diferenciado cuatro sub-unidades:

Planicie aluvial o terraza alta / Fondo de valle fluvial (Ta)

Terrenos ubicados encima del cauce y llanura de inundación fluvial, son terrenos planos, de ancho variable, siendo más amplio en el sector de Tingo y estrecho a la altura del puente Progreso su extensión esta limitada a los valles (Foto 3-16).

En muchos casos se consideró los fondos planos de valles, indiferenciando las terrazas fluviales y llanuras de inundación de poca amplitud, muestran en general una pendiente suave, entre 1º y 5º.

Los depósitos de mayor extensión se localizan hacia ambas márgenes del río Utcubamba, esta unidad se presenta de forma reducida en las márgenes de los ríos Osmal y Sonche.

Sobre esta unidad se ubican algunos poblados, como Puente Caclic, El Cañaveral y San Isidro en el río Utcubamba. Suele producirse en sus márgenes, inundaciones de tipo fluvial y procesos de erosión fluvial, con el consecuente socavamiento de sus taludes inferiores, generando derrumbes y pérdida de terreno.

Foto 3-16: Valle del río Utcubamba, cerca de la localidad de Tingo, es posible observar las terrazas usadas para labores agrícolas.

Altiplanicie disectada (Ad)

Forma superficies planas, algo inclinadas, de edad Neógeno Superior, localizada a diferente altitud y constituida por una secuencia de conglomerados y areniscas líticas semiconsolidadas de la Formación Inguilpata. Terrenos sometidos constantemente al ataque de procesos degradacionales, fuerte meteorización, desarrollo de suelo, erosión fluvial y algunas formas de movimientos en masa. Estos procesos cuales han cambiado su morfología original, subdividiéndolas en porciones menores separadas por valles o disectados por una intensa red de drenaje (Foto 3-17).

Esta unidad ha sido diferenciada en las localidades de Lonya chico e Inguilpata.

Geodinámicamente, se asocian a procesos de erosión de laderas muy intenso (cárcavas), las cuales presentan un desarrollo retrogresivo y de ensanchamiento, por medio de derrumbes, deslizamientos y movimientos complejos.

Foto 3-17: Vista de la altiplanicie disectada (Ad) en el sector de Inguilpata.

Planicie inclinada (Pi)

Formado por terrenos planos con ligera inclinación, que al igual de las altiplanicies disectadas esta constituida por una secuencia de conglomerados y areniscas líticas

semiconsolidadas de la Formación Inguilpata, así como también de la acumulación de materiales coluviales y deluviales inconsolidados, que provienen de la erosión de terrenos circundantes más altos. Sobre esta unidad se encuentra asentada la ciudad de Chachapoyas (Foto 3-18).

Geodinámicamente, se asocian a procesos de erosión de laderas ha manera de cárcavas, con derrumbe y deslizamientos hacia sus márgenes, también se puede producir reptación de suelo y flujos de tierra.

Foto 3-18: Vista panorámica de la planicie inclinada (Pi) donde se ha asentado la ciudad de Chachapoyas.

Valle rellenado (Vr)

Se le ha otorgado este nombre, a una unidad geomorfológica diferenciada en la zona de estudio, que es resultado del relleno de un valle, con materiales que provienen de un deslizamiento-flujo (movimiento complejo) de gran magnitud.

La característica principal, que ha permitido su diferenciación es la presencia de valle amplio y plano, el cual es cortado repentinamente por una caída de agua, con estrechamiento del cauce del río.

Este depósito esta conformado por la acumulación de material poco consolidado, de tipo bloques, cantos, gravas, arenas y limos.

Esta geoforma ha sido identificada en el cauce del río Osmal, cerca de Maino, originado por la acumulación de material proveniente de un movimiento complejo (deslizamiento-flujo) originado en la margen izquierda (Foto 3-19).

Geodinámicamente se asocia a procesos de erosión, flujos y deslizamientos, de los materiales removidos.

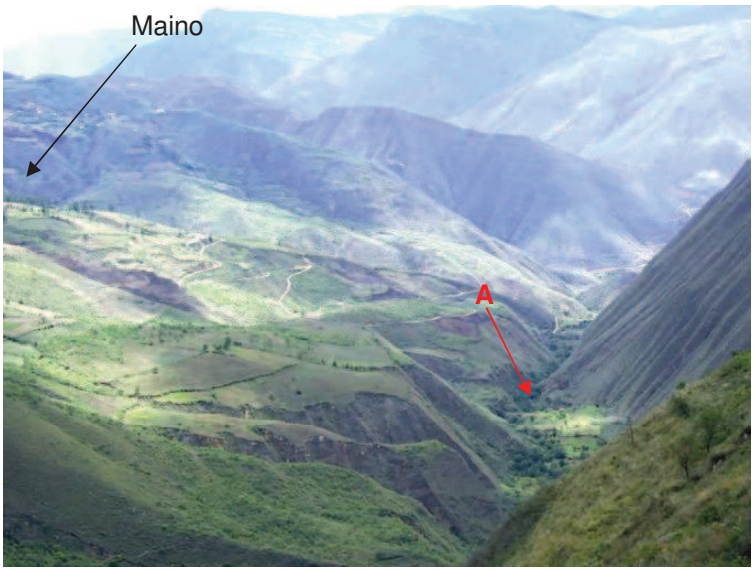


Foto 3-19: Valle rellenado (Vr) en el río Osmal, es posible observar el corte abrupto (A) y el estrechamiento del valle aguas abajo.

3.8 MARCO GEOLÓGICO

La zona estudiada se encuentra en un conjunto montañoso de dirección SE-NO denominados Cordillera Oriental, Cordillera Interandina y Faja Subandina, situado en el extremo norte de la Cordillera de Los Andes, en las provincia de Chachapoyas y Luya de la región Amazonas. El estudio no esta centrado a la totalidad de los distritos que conforman estas provincias, por el contrario solo se ha considera parte del territorio de doce distritos. En las fotos 3-20 y 3-21 se observan distintas panorámicas del área de estudio.

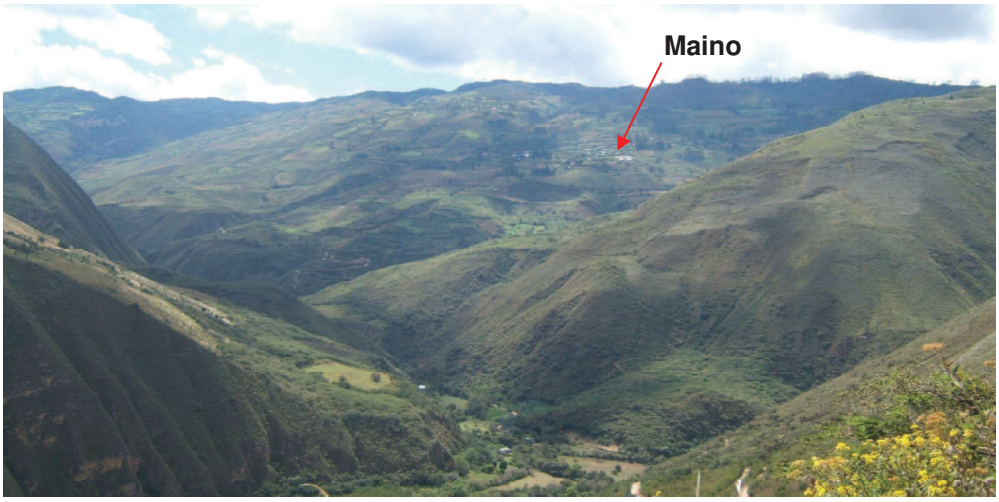


Foto 3-20: Panorámica de los cerros Cachiyacu y Convento, poblado de Maino, vista hacia el Noreste.

Foto 3-21: Panorámica donde se observa en primer plano la localidada de Chachapoyas, hacia el fondo los cerros Shucsha y Tosan, donde se asientan las localidades de Luya y Lamud, vista hacia el Noroeste.

El área estudiada, se localiza dentro de las zonas estructurales denominadas zona de transición y zona de Bloques (Bloque Marañón, Utcubamba y Yasgolga). Definidas por sus características litoestratigráficas y por los pliegues y fallas que han resultado de la deformación (Sanchez, 1 995).

La zona de bloques han controlado la sedimentación y la deformación, estos están limitados por fallas regionales de alto ángulo con desplazamientos verticales importantes, que actuaron durante el Mesozoico de forma intermitente.

La zona de transición ubicada al NNE de Chachapoyas, presenta bloques levantados y hundidos, limitados por fallas inversas y normales, que permitieron el ascenso de rocas del Triásico-Jurasico a manera de pliegues anticlinales fallados y el descenso de rocas cretácicas. Esta zona con suave relieve, de buzamientos moderados a bajos, disectado profundamente por el río Utcubamba y sus afluentes, presenta pliegues extendidos y esporádicos.

Las fallas han afectado a las secuencias paleozoicas y cenozoicas, delimitando bloques levantados y hundidos. Estas también han incidido en la morfología actual, se pueden agrupar en dos sistemas según su orientación en NO-SE el más importante y NE-SO menos desarrollado, las fallas de carácter regional y local que aparecen en la zona de estudio son descritas a continuación (ver mapa 4):

Falla Lluy – Kuelap: Falla de alto ángulo, de tipo inversa, cambia a un movimiento de tipo normal al sur de Santo Tomas, evidenciando reactivaciones con movimientos variados, forma escarpas verticales, así como alineamientos bien definidos, en el sector Suroeste de la zona de estudio esta falla pone en contacto rocas del jurásico (Grupo Pucará) contra el Grupo Goillarisquizga y Pulluicana y la Formación Chulec del cretáceo. Falla con un significado importante en la evolución tectónica del sector, debido a que muestra inclinaciones y movimientos variados a lo largo de su recorrido.

Falla Yasgolga: Esta falla, limita el borde oriental de la cordillera que termina al sur de la ciudad de Chachapoyas, hace que el Grupo Pucará sobreyasca al Grupo Goyllarisquizga. A lo largo de su recorrido, la falla cambia de dirección siendo primero

N-S, pasa luego a una NO y finalmente sigue una dirección E-O a NE-SO, su inclinación es de mas de 60º en la zona de estudio.

Fallas Triunfo-Barbasco: fallas de tipo inverso, aproximadamente paralelas ubicadas al lado Este de la zona de estudio, siguen un rumbo N 40º W, su inclinación es mayor a 70º. Estas fallas han levantado bloques del Grupo Mitu sobre el Grupo Pucará y a este sobre la Formación Sarayaquilo.

Falla Luya-Sipabamba: Falla de alto ángulo, de movimiento inverso y 80 km de longitud, se extiende desde el valle del río Utcubamba, pasando por las localidades de Luya y Lamud, a formado un pliegue de arrastre característico en el río Utcubamba, su rumbo es N 20º O, forma una escarpa notoria.

Falla Chontapampa: es una falla de la zona de transición, de movimiento inverso, ubicada al NE de la zona estudiada, siguiendo una dirección NW-SE, ha desplazado hacia arriba a la Formación Sarayaquillo, poniéndola en contacto con rocas de Cretáceo.

3.8.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Los materiales que afloran en este sector, son correspondientes a rocas metamórficas y secuencias sedimentarias, con edades que van desde el Proterozoico a la actualidad.

A) PRECAMBRICO (Proterozoico)

El complejo marañón conformado por rocas metamórficas se subdivide en 2 unidades:

a) Esquistos: Ubicados a la base, su afloramiento es reducido en la zona de estudio, limitándose al extremo Suroeste.

b) Metasedimentitas: También aparece el sector suroeste, conformado por un conjunto de rocas que presenta un metamorfismo de bajo grado.

B) PALEOZOICO

Constituido por depósitos del carbonífero de areniscas, limoarcillitas, limonitas y conglomerados, la deformación sufrida ha sido moderada.

También se presentan secuencias clásticas continentales del Pérmico, constituidas por areniscas, lodolitas y conglomerados.

C) TRIÁSICO-JURÁSIO

Constituida por depósitos del Noriano, Hettangiano, Sinemuariano y Retiano de calizas y limoarcillitas, de estratificación paralela con superficies onduladas y la presencia de nódulos.

Se tiene además rocas del Jurásico superior constituidas por brechas y brechas-conglomerados mal seleccionadas, los clastos son calcáreos angulosos a subredondeados de calizas, unido con cemento calcáreo, así como también hay secuencias de lodolitas, limonitas y arenisca de coloración rojiza.

D) CRETÁCEO

Constituida por depósitos Aptianos de secuencias sílico-clásticas de arenas, limolitas y limoarcillitas, que conforman capas macizas.

Secuencias Albeanas constituidas por calizas y margas, con nódulos resultantes de la meteorización, con estratificación delgada.

Secuencia del Albiano-Turoniano de calizas, areniscas y limoarcillitas, en estratos laminados de 5 a 20 cm. Una secuencia conformada por calizas nodulares del Cenomaniano, con un espesor total de 100 m.

E) NEÓGENO

Constituido por depósitos del Neógeno superior de conglomerados y areniscas semiconsolidadas, los conglomerados son polimícticos, es una secuencia grano decreciente en sentido de Oeste hacia el Este, puede llegar a tener potencias de 150 m.

F) CUATERNARIO

Dentro del cuaternario se han podido distinguir:

a) Depósitos Aluviales

Localizados en las terrazas de cauces de ríos y quebradas, principalmente en el valle del Utcubamba.

b) Depósitos Coluviales

Ubicados inmediatamente debajo de las laderas de montañas, resultado de la acumulación de material caído por efectos de la gravedad y el viento.

c) Depósitos coluvio-deluviales

Son el resultado de la combinación de depósitos coluviales y deluviales, depositados en al pie de colinas y montañas.

d) Depósitos proluviales

Constituido por los materiales acarreados por cursos de agua violento, los cuales bajan por los valles a manera de flujos de detritos (huaycos).

e) Depósitos proluvio-Aluviales

Depósitos que son el resultado de la combinación de depósitos proluviales y aluviales, depositados en cauces de ríos y zonas planas.

3.8.2 ESTRATIGRAFÍA

En el área de estudio se ha utilizado los restos de fauna fósil, criterios de posición estratigráfica con respectos a secuencias datadas y relaciones con intrusivos, para poder otorgarle edad a las formaciones.

Los materiales existentes comos se dijo líneas arriba están constituida por rocas metamórficas de bajo grado y esquistos, secuencias silico-clásticas, carbonatadas y conglomeradicas.

Los ambientes sedimentarios son variados, así se tiene que las secuencias carbonatadas (Grupo Pucará) son de tipo marino desarrollada en mares subtropicales, donde el aporte terrígeno fue restringido, se presentan litofácies de parte media de la plataforma carbonatada y litofácies de aguas someras.

Otro ambiente de depositación es resultado de un levantamiento y erosión intensa de las calizas del Pucará (Fm. Corontachaca), que dio lugar a la acumulación de depósitos de talud, los cuales cementaron con sus propias disoluciones de carbonato.

La Formación Sarayaquillo es una secuencia característica de ambiente continental, presenta litofácies variables, con conglomerados que desaparecen hacia el Este, representan una sedimentación aluvio-coluvial y fluvial.

El Grupo Goyllarisquizga es de un ambiente de sedimentación marina litoral a continental con ambientes restringidos de transición.

La formación Chonta se acumulo en un ambiente marino próximo a la costa.

La sedimentación calcárea y clastica del Cretáceo ocurrió en un ambiente de mares someros subtropicales a tropicales que recepcionaron aportes terrígenos significativos.

La Formación Inguilpata se deposito en una depresión durante el Plio-Pleistoceno.

Para este trabajo, se ha utilizado la carta geológica de Chachapoyas elaborada por INGEMMET (1995), de donde se extrae la descripción de cada una de las formaciones geológicas (Figura 3-8).

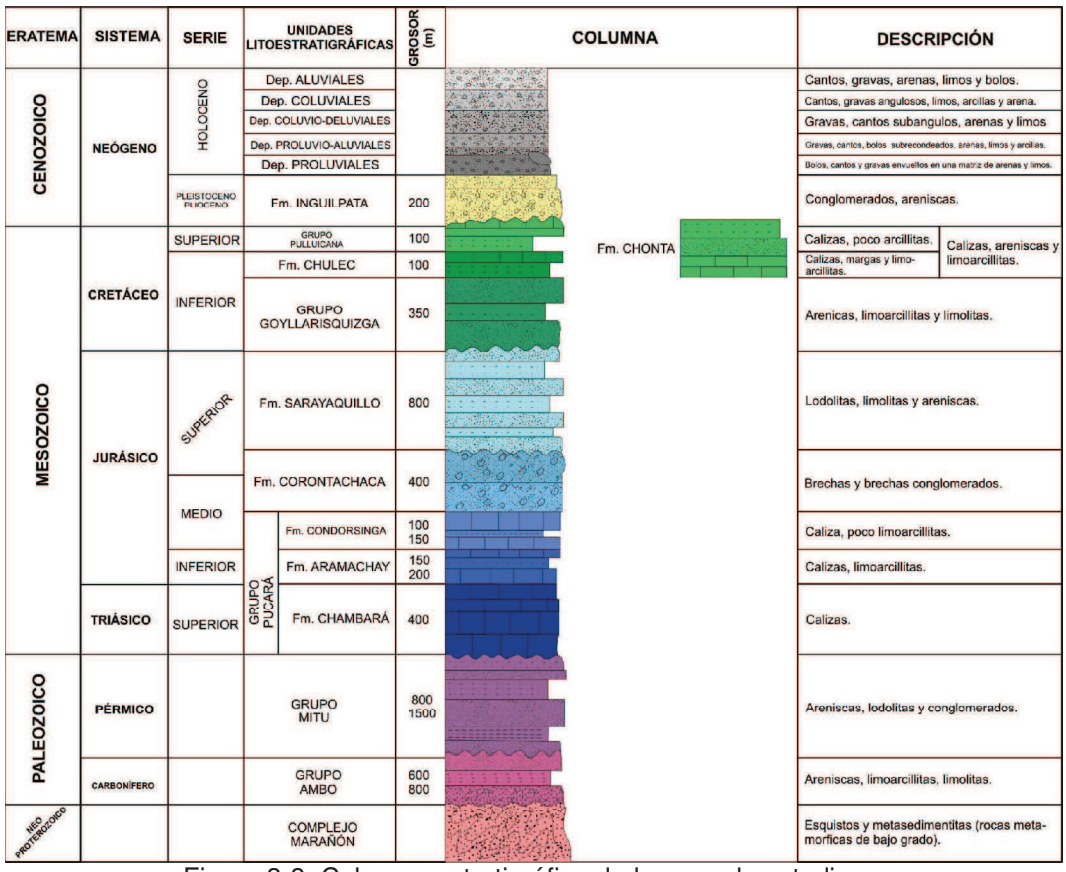


Figura 3-8: Columna estratigráfica de la zona de estudios

PRECAMBRICO (Proterozoico)

Complejo marañón

Formado por rocas metamórficas, que se encuentran como una franja de dirección NO-SE, presenta diversas unidades litológicas, de contactos poco diferenciables, las unidades diferenciadas dentro del Complejo Marañón son:

- Esquistos: esquisto cuarzosos y esquistos cuarzo-sericita y esquistos graníticos de color verde, asociados a abundantes vetas de cuarzo, diques de andesita y diabasa

- Metasedimentitas: son un conjunto de rocas metamórficas de bajo grado, ocupan las partes marginales de complejo marañón, estas rocas muestran remanentes de la estratificación original donde se intercalan pizarras, esquistos micáceos y filitas, cuarcitas, mármoles, cortados por vetas de cuarzo lechoso.

Estas rocas se encuentran infrayaciendo en discordancia angular a unidades del Paleozoico inferior, Paleozoico Superior y a rocas del Mesozoico, considerado de edad Meso-Neoproterozoico.

PALEOZOICO

Grupo Ambo

Forman los núcleos paleozoicos que define la cordillera oriental. Al sur de la localidad de María se presentan afloramientos de areniscas, limoarcillitas grises, limolitas verdosas y grises, un conglomerado verdoso a la base, con clastos menores de 15 cm de cuarcitas de matriz arenosa, grosor de 600 a 800 m.

A unos 3 km al sur de Chachapoyas en la quebrada Papayacu, se encuentran limoarcillitas, areniscas y limonitas micáceas de color gris pardo a pardo verdoso, en estrato con grosores entre 20 a 60 cm, definen una morfología de colinas algo empinadas.

Su deformación ha sido moderada, infrayace en discordancia angular al Grupo Mitu, su edad es Carbonífero inferior.

Grupo Mitu

Compuesto por rocas clásticas continentales, en estrato medianos a gruesos, con coloración rojiza y resistente a la erosión (Foto 3-22), se encuentran discordantes sobre rocas paleozoicas y proterozoicas, e infrayace en discordancia angular a las secuencias calcáreas del Grupo Pucará.

La litología la conforman areniscas, lodolitas y conglomerados, también se presentan rocas volcánicas piroclasticas y brechas polimícticas bien cementados. Las areniscas son mas abundantes en la parte media, las lodolitas y limonitas rojas se incrementan hacia el tope de la formación, con una proporción importante de areniscas todavía.

La estratificación es media a gruesa, con límites planos y ondulados no paralelos y estratificación sesgada, laminación paralela, ondulada, paleocanales, grietas de desecación, con grosores de 800 a 1 500 m, de edad Pérmico superior al Triásico inferior.

Foto 3-22: Areniscas y lodolitas rojas, Formación Mitu, carretera a La Colpa.

TRIÁSICO - JURÁSICO

Grupo Pucará

Secuencia calcárea triásica-jurásica, los afloramientos mas accesibles se encuentran en el río Utcubamba, se han diferenciado tres formaciones (Chambará, Aramachay y Condorsinga).

El Grupo Pucará influye en la morfología, en ella se han formado relieves karsticos con abundantes cavernas y dolinas, se encuentra bastante deformado y en muchos lugares

sobreyace en discordancia angular al Grupo Mitu e infrayace también en discordancia angular a la Formación Saraquillo o al Grupo Goyllarisquizga.

Formación Chambará: Es la base del Grupo Pucará, sus afloramientos se observan hasta la alturas de la localidad de Levanto a sur de Chachapoyas. En el río Utcubamba se encuentra formado el núcleo de pliegues anticlinales, se pueden diferenciar dos miembros, el inferior compuesto por calizas en capas de 1 a 3 m de grosor, estratificación paralela con superficies onduladas e irregulares. Las calizas son macizas y resistentes, afectadas por disolución (cuevas y dolinas), forma farallones y escarpas empinadas (Foto 3-23).

El miembro superior presenta estratos de 10 a 40 cm de grosor, separados por superficies de estratificación ondulada, irregular paralela, se presenta en algunos sectores deformado mostrando pliegues regulares. La Fm. Chambará presenta abundantes nódulos silíceos en el río Utcubamba, su grosos es de casi 400 m, tiene un contacto discordante sobre el Grupo Mitu, e infrayace en concordancia a la Formación Aramachay, de edad fines del Triásico superior durante el Noriano.

Foto 3-23: Afloramiento de calizas de la Formación Chambará, carretera hacia la Colpa, Chachapoyas.

Formación Aramachay: sus afloramientos son menos resistentes a la erosión, sobre ella se han desarrollado cultivos y pastos naturales, sus estratos tiene grosores de 5 a 40 cm, limitados por superficies de estratificación planas y paralelas (tabular), sus afloramientos tienen coloración superficial crema a beige, gris marrón oscura a gris marrón en las área húmedas con mayor densidad de lluvias y por tanto con vegetación abundante.

Esta formación consiste en calizas y limoarcillitas color marrón oscuro, intercaladas con calizas grises a negras, bituminosas, limoarcillitas (Foto 3-24).

Caracteriza a la unidad las limoarcillitas marrones, afloran en la carretera Chachapoyas a Levanto, entre las localidades de Magdalena y Maino. Es posible observar dentro de esta secuencia cambios de litofácies marcados por la abundancia de nódulos calcáreos , la presencia de niveles de carbón y un incremento de proporción de calizas limolíticas hacia el sur de Chachapoyas, su grosor promedio es de 150 a 200 m en el valle del río Utcubamba.

De edad Jurásico inferior (pisos Hettangiano y Sinemuriano).

Foto 3-24: Formación Aramachay, carretera Chachapoyas-Levanto.

Formación Condorsinga: Es la unidad superior del Grupo Pucará, sus mejores exposiciones se encuentran hacia el Este de Utcubamba.

Presenta una estratificación delgada en su base y gruesa hacia el tope, resistente a la erosión, forma un sinclinal al norte del poblado de Tingo sobre las ruinas de Makro al Oeste de Magdalena.

La litología la componen calizas micríticas de color gris a beige, en estratos delgados de 10 a 30 cm de grosor generalmente, superficies de estratificación algo onduladas, paralelas y discontinuas, puede presentar intercalaciones de limoarcillitas delgadas con grosores de menos de 10 cm, color gris claro, verdoso a amarillento (Foto 3-25).

En la mitad superior se presentan calizas micríticas en estratos gruesos de aspecto macizo, carecen de nódulos de chert, estratificación ligeramente tabular, son calizas grises a gris claras, finas, su potencia es de 100 a 150 m.

Sobreyace concordantemente a la formación Aramachay e infrayace en leve discordancia angular a la formación Corontachaca al norte de Cáclic en el río Utcubamba. Su edad es Sinemuriano superior a Toarciano superior.

Foto 3-25: Formación Condorsinga, carretera Chachapoyas-Levanto.

Formación Corontachaca

Representada por una secuencia de brechas y brechas-conglomerados mal seleccionadas, esencialmente calcáreos, conformado por fragmentos angulosos y subredondeados de calizas, en una matriz fuertemente cementada de material calcáreo, sobreyace en discordancia angular a la formación Condorsinga e infrayace en discordancia angular a la Formación Sarayaquilllo, sus grosores pueden sobrepasar los 400 m.

Son rocas consolidadas, fuertes, muy resistentes a la erosión, puede formar caídas de agua, conforma farallones escarpados y origina el encañonamiento del río Utcubamba, sus estratos son macizos con espesores mayores a un metro, se considera por sus relaciones estratigráficas como de edad Jurásico medio a Jurásico superior.

Formación Sarayaquillo

Aflora en el sector de Cáclic, es una secuencia de coloración rojiza, de resistencia menor a la erosión, pues presenta un relieve mas bajo que otras formaciones, consiste principalmente de lodolitas, limolitas y areniscas rojas intercaladas en estratos medios, ocasionalmente se pueden encontrar conglomerados clasificados (Foto 3-26).

Sobreyace en discordancia angular a la Formación Corontachaca y al Pucará en sus afloramientos occidentales, también suprayace a la Formación Condorsinga, en la zona de Cáclic infrayace de forma discordante con el Grupo Goyllarisquizga, se estima un grosor máximo de 800 m.

Por sus relaciones estratigráficas se estima de edad Jurásico medio a superior.

Foto 3-26: Formación Sarayaquillo, carretera La Colpa-Pipus.

CRETÁCEO

Grupo Goyllarisquizga

Secuencia sílico-clástica de arenas cuarzosas, limoarcillitas grises a verdosas (Foto 3-27), sobreyacen indistintamente y en discordancia angular a las rocas del Grupo Pucara y la Formación Sarayaquillo, esto se observa en el valle del río Sonche, infrayace de forma concordante a la Formación Chulec.
Litológicamente compuesta por areniscas cuarzosas color blanco, blanco rojizo, blanco grisáceo a crema, con coloraciones rojizas y pardas debido a la meteorización, en conjunto conforman capas macizas de areniscas separadas por capas menos resistentes, que corresponden a limolitas y limoarcillitas grises y verdosas.

El Grupo Goyllarisquizga presenta grosores que alcanzan los 350 m en el sector de Cáclic en el río Utcubamba.

Por su evidencia paleontológica y relaciones estratigráficas se consideran de inicios del Cretáceo, desde el Neocomiano al Aptiano.

Foto 3-27: Formación Goyllarisquizga, bancos de areniscas de más de 2 m de potencia intercalados con limoarcillitas gris verdosas en bancos de 1 m, carretera Caclic-Luya.

Formación Chulec

Unidad calcárea, claramente reconocible en la margen izquierda del río Utcubamba arriba de Cáclic, presenta coloración crema y morfología más suave que otras unidades más resistentes.

Su litología esta compuesta por calizas y margas beige, cremas a grises que ocurren en estratos delgados de 5 a 30 cm, de grosor, intercaladas con capas gruesas de mas de 80 cm de limoarcillitas grises a gris verdosas, con nódulos algo redondeados e irregulares resultantes de la meteorización (Foto 3-28), alcanza unos 100 m de grosor en el río Utcubamba.

Las superficies de estratificación son onduladas y las capas son nodulosas, hacia la parte superior las calizas pueden ser tabulares en estratos delgados, su resistencia la erosión

es baja, en general la estratificación es paralela. La formación es considerada de edad Albiano inferior a medio.

Foto 3-28: Calizas intercaladas con margas de la Formación Chulec, margen Izquierda del río Jucusbamba, Lamud.

Formación Chonta

Definida como una secuencia de calizas, areniscas y limoarcillitas gris a pardo verdosas que suprayacen a la Formación Oriente, en la zona de estudio esta formación presenta un afloramiento muy reducido en el extremo Noreste. Ocupa generalmente sinclinales amplios que se encuentran en el sector oriental de los cuadrángulos de Jumbilla, Chachapoyas y Rioja, en su sección tipo alcanza los 1 200 m de grosor.
Esta formación genera relieves abruptos en su parte inferior y suave en cu parte superior, da lugar a suelos arcillosos y fangosos con algunos niveles calcáreos.

El contacto inferior esta dado por una transición de areniscas limolíticas de color pardo amarillentas a limoarcillitas grises y verdosas, en estratos laminados de 5 a 20 cm, sobre estas yacen estratos de calizas margosas de color gris. Por su contenido fosilífero se le considera de edad Albiano – Turoniano.

Grupo Pulluicana

Secuencia de calizas nodulares algo arcillíticas, con estratificación de límites ondulados, sus estratos son gruesos generalmente mayores de 50 cm (Foto 3-29).
Esta unidad es muy resistente a la erosión, forma escarpas pronunciadas donde destacan las calizas macizas, presenta grosores de hasta 100 m en la margen izquierda del río Utcubamba.

Sobreyace de forma concordante a la Formación Chulec, por su contenido fósil se le atribuye de edad Albiano tardío al Cenomaniano medio.

Foto 3-29: Secuencia calcarea del Grupo Pulluicana, margen izquierda del río Utcubamba.

NEÓGENO

Formación Inguilpata

Es una secuencia de conglomerados y areniscas líticas semiconsolidadas (Foto 3-30), que sobreyacen en discordancia angular a las rocas cretáceas en los alrededores de la localidad de Inguilpata, hasta el río Jucusbamba al Este de Luya y Lamud, esta secuencia también aflora en los alrededores de Chachapoyas.

Los conglomerados polimícticos, son mas gruesos al norte de Inguilpata, con clastos de 30 a 5 cm, estos son mas finos al Este de Chachapoyas, donde los clastos son menores de 10 cm de diámetro y tienen un mayor porcentaje de matriz areno limosa. El grosor de los conglomerados es de 200 m en la parte occidental y 50 m en la oriental.

Las areniscas predominan en la parte superior, son semi-cementadas y tiene grosores variables entre 50 y 150 m, abundan en la parte media del río Tincas, al sur de Luya.

Según su posición estratigráfica y grado de diagénesis y deformación, debe haberse acumulado durante el Neógeno superior.

Depositados antes de la formación del valle encañonado del Utcubamba, teniendo en cuenta que estos cañones iniciaron su desarrollo durante el Plioceno superior – Pleistoceno. Esta secuencia debe haberse depositado en una depresión entre Coechan, Paclas, Chontapampa y Chachapoyas durante el Plio-Pleistoceno, siendo una secuencia grano decreciente yendo del Oeste hacia el Este.

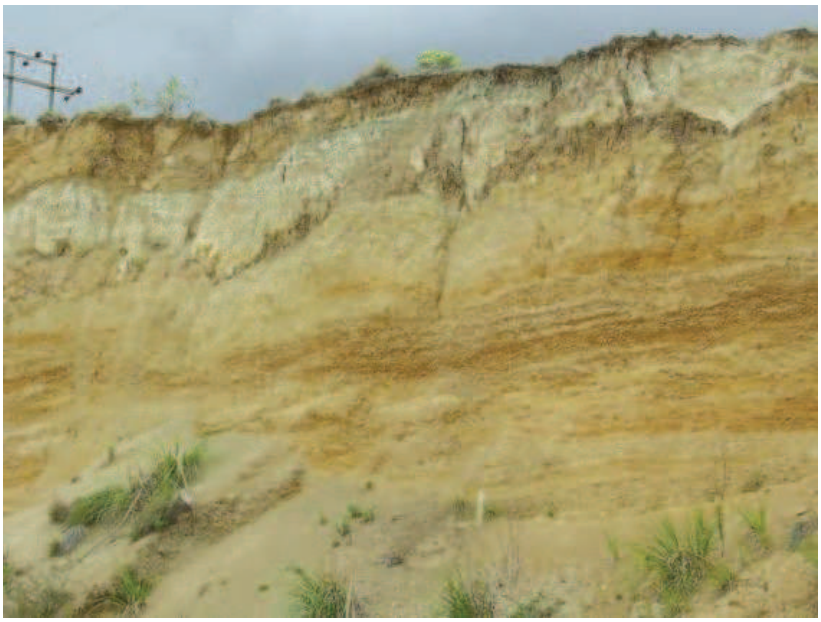


Foto 3-30: Formación Inguilpata, conglomerados y areniscas amarillentas, cerca de Lamud.

CUATERNARIO

Depósitos proluviales

Los depósitos proluviales se encuentran formando conos de deyección o abanicos. Se originan a partir de la existencia de material detrítico suelto acumulado, que al producirse precipitaciones pluviales intensas se saturan, pierden su estabilidad y se movilizan torrente abajo por las quebradas.

El material que las constituye es heterométrico y mal clasificado, por lo general son subangulosos a subredondeados, mezcla de bolos de grandes dimensiones con cantos y gravas, englobados en una matriz fina (areno-limosa), permeables, medianamente cementados (Foto 3-31).

Foto 3-31: Material proluvial, proveniente de flujo de detritos, poblado de San Isidro, Chachapoyas.

Depósitos proluvio-Aluviales

Son depósitos conformados por una combinación de materiales de origen proluvial y aluvial.

Estos depósitos proluvio-aluviales son el resultado de una acumulación alternada de materiales, acumulación que fue controlada por la cantidad de precipitación caída en la zona, estos depósitos están constituidos por gravas y cantos subredondeados por el poco transporte sufrido, además se tienen arenas, limos y arcilla, el depósito presenta baja pendiente (Foto 3-32).

Foto 3-32: Depósito proluvio-aluvial (Pa), forma un depósito de topografía de suave pendiente, quebrada Yunguilla, cerca del poblado de Lonya Chico.

Depósitos coluvio-deluviales

Esta unidad agrupa depósitos de piedemonte de diferente origen (gravitacional y fluvio-gravitacional), que se acumulan en vertientes o márgenes de valles, como también en laderas superiores; son el resultado de una mezcla de depósitos coluviales y deluviales (foto 3-33).

Los depósitos deluviales están referidos a acumulaciones pequeñas a moderadas de depósitos de vertiente, su origen está asociado generalmente a flujos no canalizados, es decir los materiales sueltos son lavados y redepositados por pequeños chorros de agua sin cauce, pueden presentar formas de abanico pero en su mayoría de veces no tiene forma alguna.

Se les encuentra al pie de laderas depositado en zonas planas donde la pendiente cambia y se hace más suave.

Foto 3-33: Depósito coluvio-deluviales (Dca) en color anaranjado, depositados encima de la formación Goyllarisquizga, localidad de Chachapoyas

Depósitos Coluviales

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 (Foto 3-34).

Están conformados por material generalmente grueso de naturaleza homogénea, heterómetricos, 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 talus de escombros, detritos de ladera o pie de montes.

Se les encuentra al pie de laderas de montaña, valles y de barrancos escarpados.

Foto 3-34: Depósitos coluviales, material acumulado por derrumbes y caída de rocas producidos en acantilado formado en rocas de la Formación Goyllarisquizga, margen izquierda del río Utcubamba.

Depósitos Aluviales

Conforman terrazas a diferentes niveles sobre los valles, ubicadas en las márgenes de los ríos principales y tributarios mayores (ríos Utcubamba, Sonche, Jucusbamba, Osmal); también se consideran aquí los materiales ubicados en el cauce o lechos de río y los que se encuentran en terrazas bajas inundables y llanura de inundación (foto 3-35).

Son depósitos algo cementados, algunos de ellos presentan cierto grado de consolidación, son erosionados por los cauces actuales. Estos depósitos generalmente corresponden a una mezcla heterogénea de bolos, cantos, gravas y arenas, redondeadas a subredondeadas, con una matriz areno-limosa; que tienen de regular a buena selección, presentándose niveles y estratos diferenciados que evidencian la actividad dinámica fluvial, puede presentar lentes areno-limosos locales, su permeabilidad es media a alta. Se asocian principalmente a las planicies aluviales o terrazas altas.

Foto 3-35: Material de terrazas y lecho del río Utcubamba, las terrazas son utilizadas en labores agrícolas.

CAPITULO 4

LOS MOVIMIENTOS EN MASA: CLASIFICACIONES Y FACTORES DE INESTABILIDAD DE LADERA

4.1 CLASIFICACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA

El termino movimiento en masa abarca un con junto de procesos denudativos relacionados con la deformación del terreno y el desplazamiento o transposición mas 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).

En la literatura inglesa se utiliza el término landslides para referirse a los movimientos en masa, así se tienen, landslides describe una variedad amplia de procesos que causan el movimiento hacia abajo y hacia afuera de materiales que forman la ladera, incluyendo roca, suelos y relleno artificial, o una combinación de estos (ver http://nationalatlas.gov/articles/geology), los landslides ocurren comúnmente en conexión con otros peligros naturales mayores tales como sismos, volcanes, fuegos incontrolables e inundaciones (ver http://landslides.usgs.gov).

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, para nosotros se entenderá como movimiento en masa, a todo movimiento ladera abajo de material geológico debido a la fuerza de la gravedad.

Por otro lado gran número de autores han propuesto un buen número de clasificaciones de movimientos en masa, con base en las características que pueden distinguir a uno de otro, como puede ser el tipo de material (roca, suelo), la forma de la masa desplazada, la velocidad, la dinámica de la masa desplazada entre otras. Dentro de las clasificaciones propuestas para movimientos en masa están las de Sharpe, 1938, Záruba and Mencl (1969), Ladd (1935), Varnes (1978), Hutchinson (1988), Dikau and Brunsden et al. (1996), Cruden y Varnes (1996) y Corominas y Garcia (1997), basados en el mecanismo de rotura y la naturaleza de los materiales involucrados, algunos sistemas incorporan variables adicionales como el ratio de movimiento y el agua, aire, o contenido de hielo del material deslizado.

Evans (2005) desarrolla una clasificación de movimientos en masa donde toma en cuenta aspectos referidos al mecanismo de movimiento inicial, la transformación que puede sufrir la falla inicial y los efectos secundarios causados por el movimiento en masa, así por ejemplo una avalancha de detritos puede haber tenido como mecanismo inicial de movimiento un vuelco o un deslizamiento traslacional, etc., (Tabla 4-1).

La clasificación utilizada en el estudio es la propuesta por Varnes (1978), la cual se basa en el tipo de movimiento y material involucrado, es así que se pueden encontrar Los tipos de movimientos diferenciados seis mecanismos principales, los cuales son las caídas, expansión lateral, vuelcos, deslizamientos, flujos y movimientos complejos, también se consideran en este trabajo los procesos de erosión de laderas (Mapa 3).

Los cinco primeros son básicos, el sexto 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.

La tabla 4-2 nuestra la clasificación de movimientos en masa propuesta por Varnes (1978), es posible observar la incidencia en el tipo de movimiento y el material involucrado.

Tabla 4.1: Clasificación de movimientos en masa de Evans (2005).

MECANISMO DE MOVIMIENTO INICIAL	TRANSFORMACIÓN DE FALLA INICIAL	EFECTOS SECUNDARIOS	
Flujo (flujo de tierra, flujo de arena, flujo de limos, flujo de detritos)	Flujo	Represamiento / Tsunami	Flujo de detritos
Expansión lateral	Deslizamiento		
Vuelco (flexural, vuelco de bloques)	Colapso (derrumbe)		Inundación de detritos
Deslizamiento (Rotacional, traslacional, compuesto)	Caídas		
Deformación no especificada (reptación, sagging)	Avalancha de rocas		Inundación de agua
Buckling	Avalancha de detritos		

Tabla 4-2 Clasificación de movimientos en masa de Varnes (1978)

TIPO DE MOVIMIENTO			TIPO DE MATERIAL		
			ROCA	SUELOS INGENIERILES	
				Predominantemente Granular	Predominantemente Fino
CAÍDAS			Caída de rocas	Caída de Detritos	Caída de Tierra
VUELCOS (TOPPLING)			Vuelco de Rocas	Vuelco en suelo granular	Vuelco en suelo cohesivo
DESLIZAMIENTO	ROTACIONAL	POCAS UNIDADES	Deslizamiento Rotacional en Roca	Deslizamiento Rotacional de Detritos	Deslizamiento Rotacional de Tierra
	TRASLACIONAL	MUCHAS UNIDADES	Deslizamiento de Bloques de Roca Deslizamiento de Roca	Deslizamiento de Bloques de Detritos Deslizamiento de Detritos	Deslizamiento de Bloques de Tierra Deslizamiento de Tierra
DESPLAZAMIENTOS LATERALES (Lateral Spreads)			Desplazamientos en Roca	Desplazamientos de Detritos	Desplazamientos de Tierra
FLUJOS			Flujos de Roca (Corrientes de bloques)	Flujos de Detritos (Corrientes de derrubios)	Flujo de Tierra (Coladas de barro)
COMPLEJOS			Combinación de dos o más de los principales tipos de movimiento		

Aunque los movimientos en masa tengan que ver principalmente con regiones montañosas, estos también pueden ocurrir en áreas de bajo relieve. En estas áreas, los desprendimientos de tierras ocurren como fallas al cortar y llenar (carretera y excavaciones de edificio), fallas en márgenes de del ríos, movimientos en masa de extensiones laterales, el colapso de pilas de desmonte de mina, y una amplia variedad de fallas de taludes asociados con minas a cielo abierto y canteras. Los tipos más comunes de movimientos en masa son descritos e ilustrados a continuación:

4.1.1 CAÍDAS

Es cuando una masa rocosa, de cualquier tamaño, se desprende de un talud empinado o un acantilado, a lo largo de una superficie sobre la cual ocurre muy poco o ningún desplazamiento cortante, y desciende por lo común a través del aire por caída libre, saltos, rodando, etc. Los movimientos son muy rápidos a extremadamente rápidos y pueden estar o no precedidos de movimientos menores que llevan a la separación gradual de los bloques o cuñas en posibilidad de separarse de su fuente.

Las caídas son movimientos abruptos de masas de materiales geológicos, como rocas y cantos rodados, que se han separado de cuestas escarpadas o acantilados. La separación ocurre a lo largo de discontinuidades como fracturas, juntas, y planos de estratificación, el movimiento ocurre por caída libre, salto, y rodamiento. Las caídas son fuertemente influenciadas por la gravedad, intemperismo mecánico, y la presencia de agua intersticial (ver http://landslides.usgs.gov).

Dentro de las caídas se pueden diferenciar los siguientes dos tipos de movimientos:

<u>Caída de rocas</u>: Caída de rocas: Desprendimientos o caídas de rocas que ocurren en materiales no compactos y semi-compactos, como también en materiales coherentes (roca) o suelo cementados con pendientes mayores de 40º, las caídas individuales de rocas causan pocos daños y muertes (Figura 4-1).

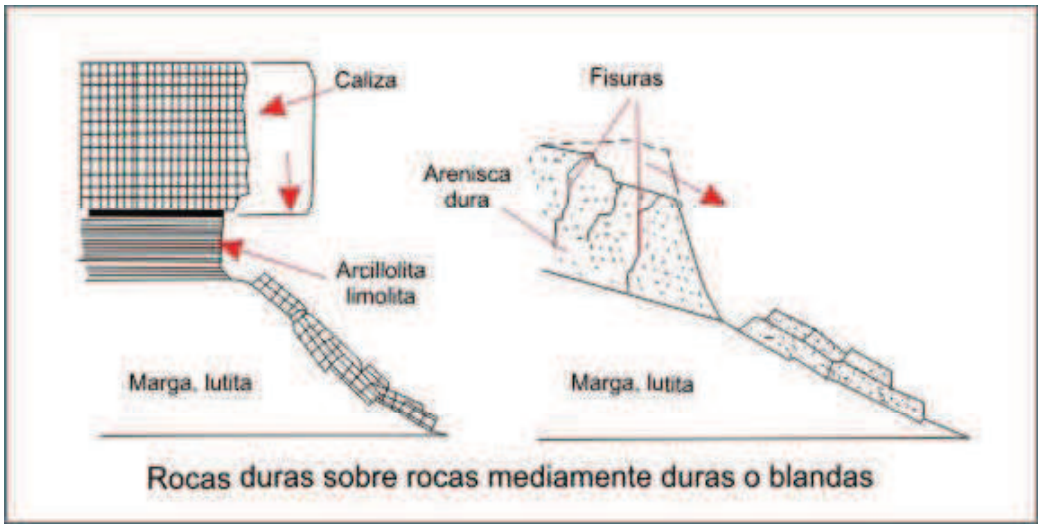
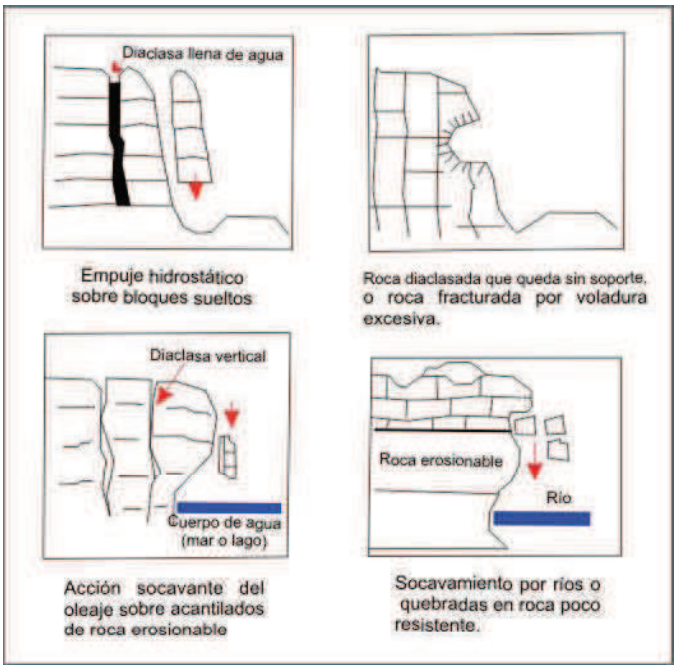


Figura 4-1: Derrumbes y caída de rocas.

Derrumbes: Disgregación generalmente de roca, que forma en la base un depósito caótico de material grueso, son producidos por el socavamiento de la base de riveras fluviales, áreas costeras, acantilados rocosos, por la saturación de suelos incoherentes, en laderas de valles de moderada a fuerte pendiente, por acción de lluvias, movimientos sísmicos y antrópica en cortes de carreteras o áreas agrícolas (Figuras 4-2 y 4-3).



Figuras 4-2: Caída de rocas tomado de Colas y Pillot, 1976; Varnes, 1978.

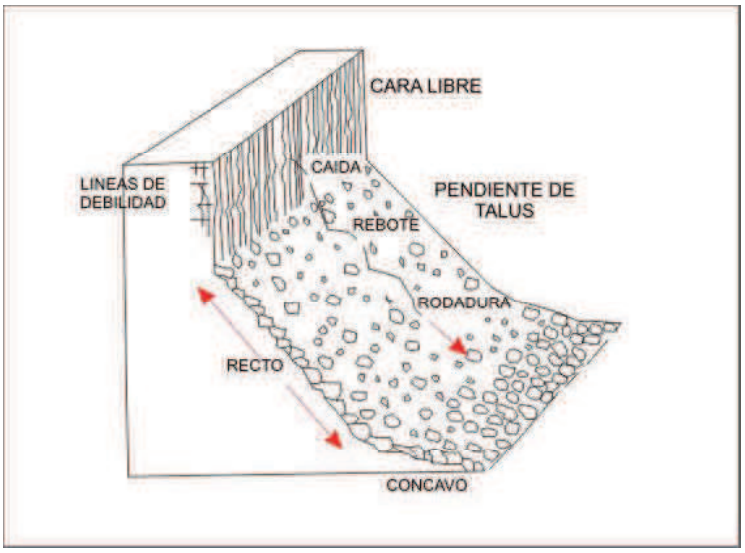


Figura 4-3: Caída de rocas y formación de cono de talus (Clark y Small 1982).

4.1.2 VUELCOS (TOPPLING)

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 o por inclusión de agua en las discontinuidades, 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 4-4).

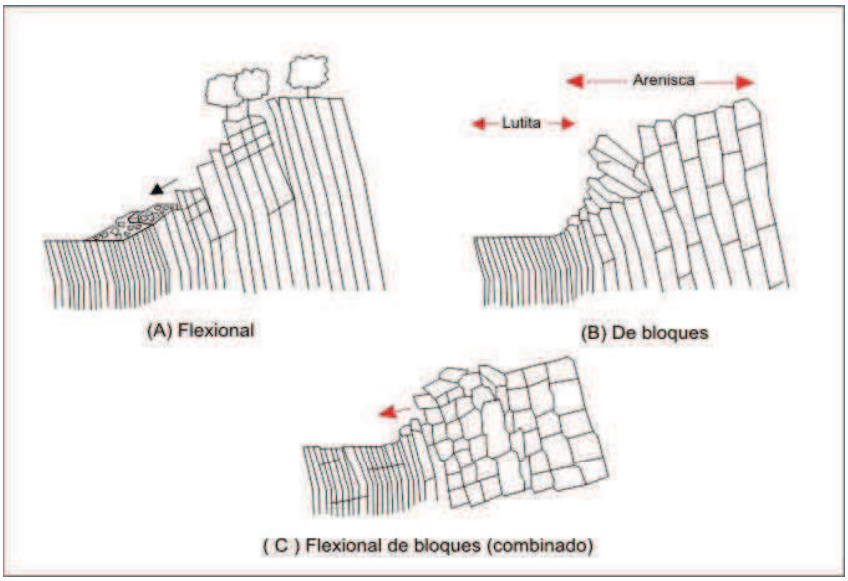


Figura 4-4: Vuelco o toppling (adaptado de Goodman y Bray, 1976).

4.1.3 DESLIZAMIENTOS

Su movimiento consiste de 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. La rotura del talud no siempre es simultánea en todos los puntos de la superficie de falla, sino que puede propagarse desde una zona de falla local. La masa de terreno que se desliza puede avanzar más allá de la superficie de ruptura original sobre el terreno natural. Dentro de los deslizamientos se diferencias los siguientes tipos:

Deslizamiento rotacional: Movimiento debido a fuerzas que causan un movimiento de inversión alrededor de un punto sobre el centro de gravedad de la superficie, la superficie de ruptura es 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 4-5).

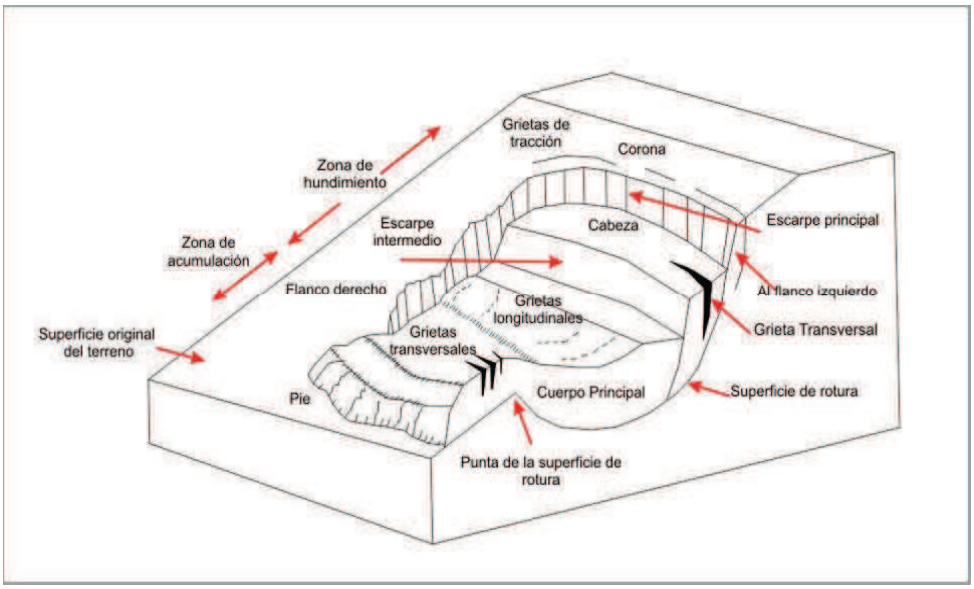


Figura 4-5: Deslizamiento rotacional (adaptado de Varnes, 1978).

Deslizamiento traslacional: Este movimiento se produce a lo largo de superficies de ruptura mas o menos planas o suavemente onduladas coincide con un plano estructural; frecuentemente controladas o relacionadas estructuralmente con superficies de debilidad como son las fallas, diaclasas, planos de estratificación, variaciones de resistencia al

esfuerzo cortante, esfuerzo de cizalla entre capas o depósitos estratificados, o por contacto entre substrato rocoso firme y depósitos suprayacientes superficiales, se pueden producir en roca, suelos y detritos. Los deslizamientos traslacionales implican una mayor disgregación de los materiales (Figuras 4-6 y 4-7).

Deslizamiento de bloques: Un deslizamiento de bloque, es un deslizamiento traslacional en la cual la masa móvil consiste en una sola unidad o unas pocas unidades estrechamente relacionadas que se mueven ladera abajo como una masa relativamente coherente (Figura 4-8).

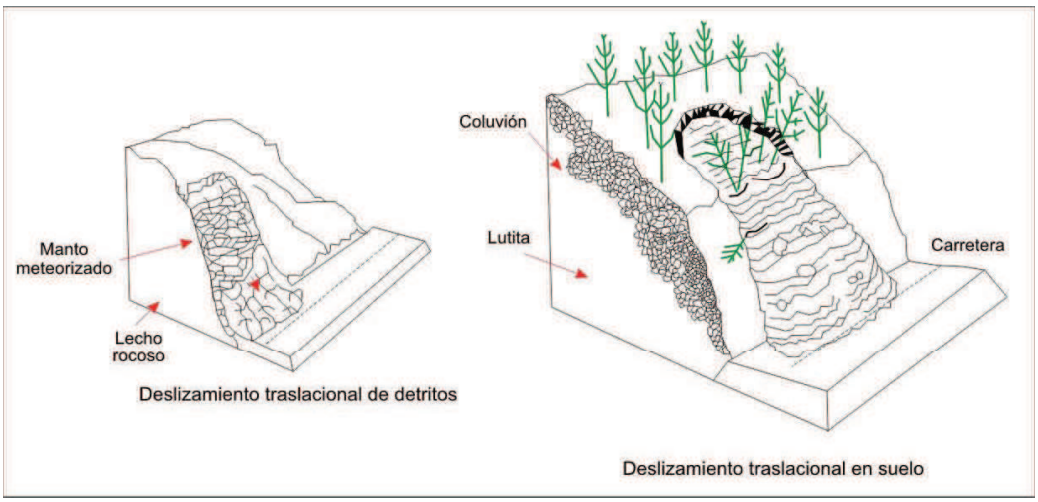


Figura 4-6: Deslizamientos traslacionales en suelos (Varnes, 1978 y Royster, 1979).

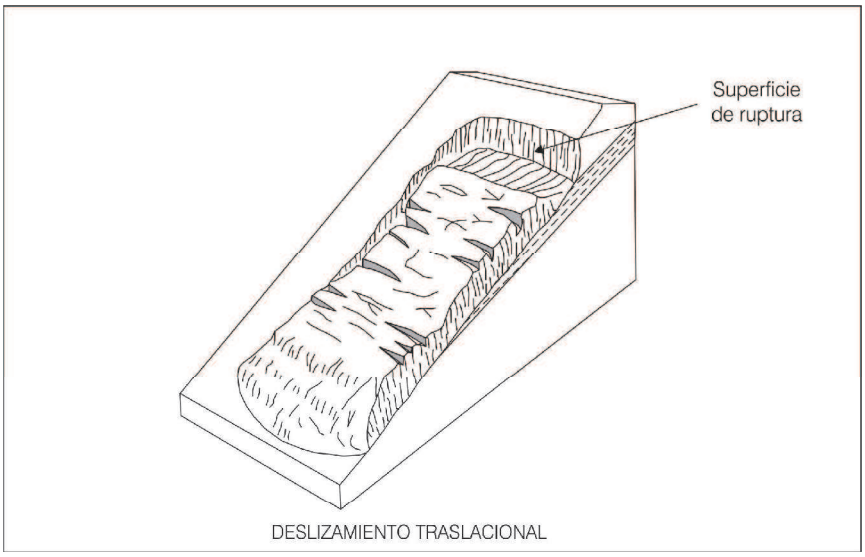


Figura 4-7: Deslizamiento traslacional (USGS, 2007).

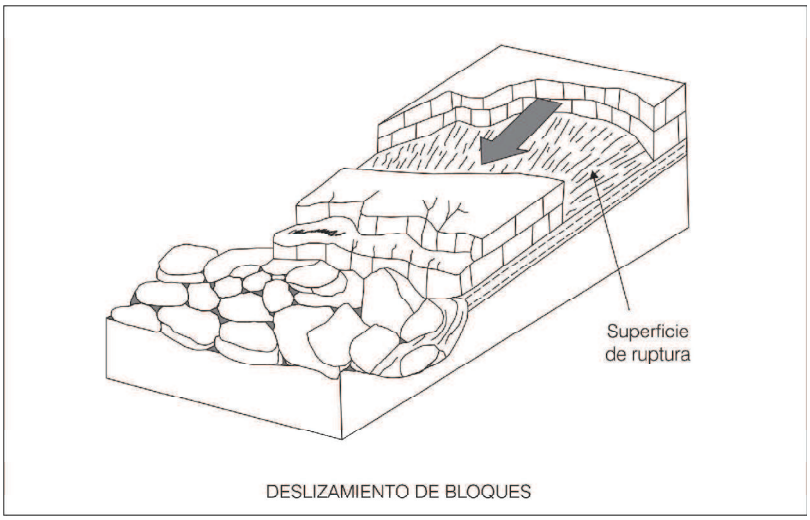


Figura 4-8: Deslizamiento de bloques (USGS, 2007).

4.1.4 EXPANSIÓN LATERAL

Son movimientos de extensión lateral distribuidos en una masa fracturada, son poco frecuentes y ocurren bajo condiciones geológicas complejas, presentan dos características particulares, primero sin que se reconozca o exista una superficie basal neta de corte o cizalla se produce un flujo plástico, y segundo la extensión y fracturación del suelo o la roca, debido a una licuefacción o flujo plástico del material subyacente (Figura 4-9).

Las extensiones laterales por lo general ocurren en laderas muy suaves o terrenos llanos. El modo dominante del movimiento es la extensión lateral acompañada por corte o fracturas tensionales, la falla es causada por la licuefacción, proceso por el cual sedimentos poco cohesivos (usualmente arenas y limos), saturados y sueltos son transformados de un sólido en un estado licuado.

El fallo es por lo general provocado por el movimiento de tierra rápido, como el que se experimenta durante un terremoto, pero también puede ser inducido artificialmente. Cuando el material coherente, lecho de roca o suelo, descansa en materiales que se licuan, las unidades superiores pueden someterse a fracturamiento y extensión, y pueden entonces hundirse, resbalarse, girar, desintegrarse, licuarse y fluir.

La extensión lateral en materiales de grano fino, como en laderas de playas es por lo general progresiva, la falla del suelo comienza de repente en una pequeña área y con extensiones rápidas. Frecuentemente la falla inicial es una depresión, pero en algunos materiales el movimiento no ocurre por ninguna razón aparente.

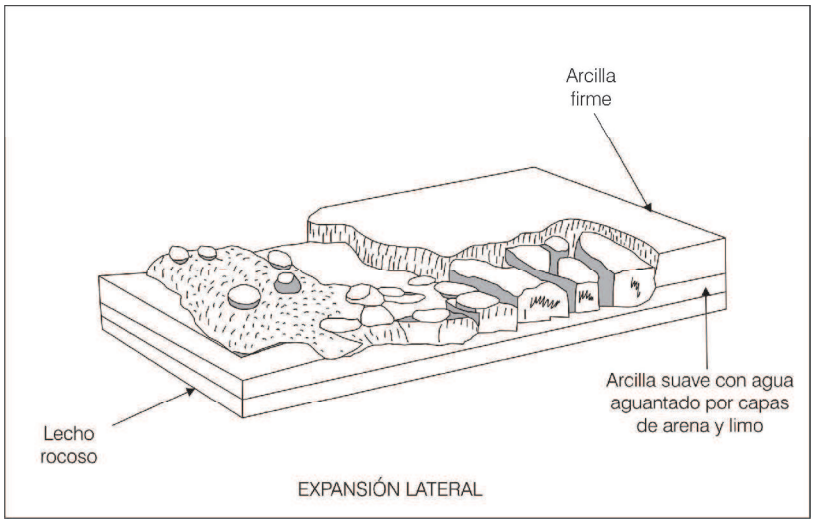


Figura 4-9: Expansión lateral (USGS, 2007).

4.1.5 FLUJOS

Son movimientos de material litológico de textura fina y gruesa que se desplazan a lo largo de una superficie, estos pueden ser:

Flujos de detritos (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 (Figuras 4-10 y 4-12).

Los flujos de detritos incluyen <50 % de finos, son comúnmente causados por el flujo intenso de agua superficial, debido a la precipitación pesada o derretimiento rápido de nieve, que erosiona y moviliza el suelo suelto o la roca en laderas escarpadas.

Los flujos de detritos también se movilizan de otros tipos de movimientos en masa que ocurren en laderas escarpadas, están cerca de la saturación, y consisten en una proporción grande de material de tamaño de arenas y limos. Las áreas fuente de flujo de detritos frecuentemente están asociadas con quebradas escarpadas, los depósitos de flujo de detritos son por lo general indicados por la presencia de abanicos de escombros en las desembocaduras de quebradas. Las malas practicas del hombre que corta y quema la vegetación, desnudan las laderas, intensifican la susceptibilidad de la ladera a los flujos de detritos.

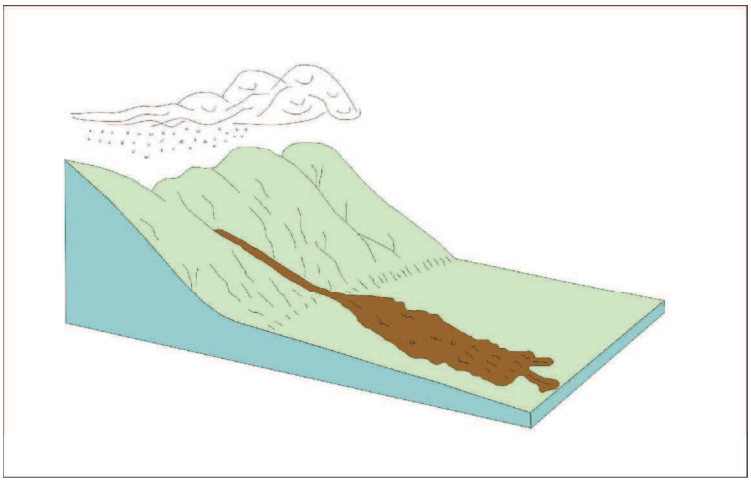


Figura 4-10: Flujo de detritos (USGS, 2007).

Avalancha de detritos: Es una variedad de flujo de detritos muy rápida a extremadamente rápida (Figura 4-11).

Foto 4-11: Avalancha de detritos (USGS, 2007).

Flujos de tierra: Los flujos de la tierra tienen una forma característica de reloj de arena, el material de la ladera se licua y corre hacia afuera, formando un tazón o depresión en la cabeza. El flujo en sí mismo es alargado y por lo general ocurre en materiales de grano fino o rocas arcillosas en laderas moderadas y en condiciones saturadas. Sin embargo, los flujos secos de material granular son también posibles (Figuras 4-12 y 4-13).

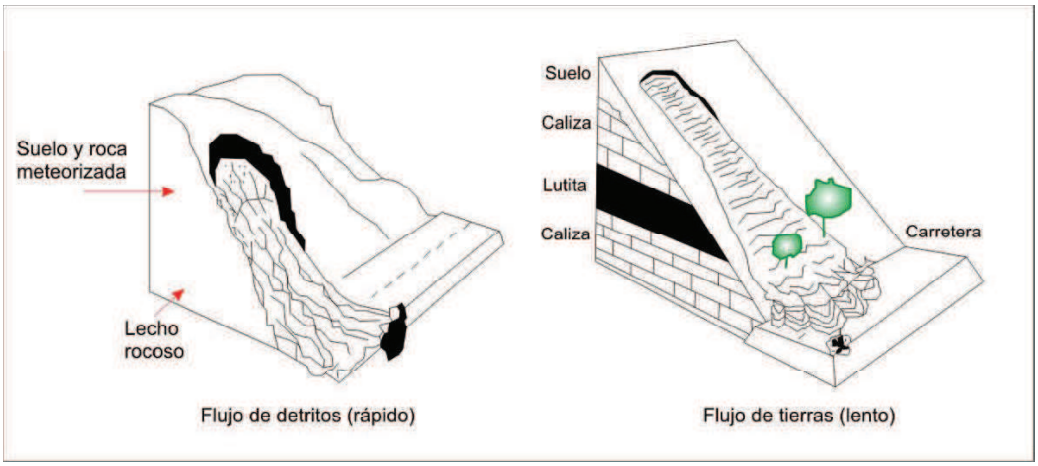


Figura 4-12: Flujos (Tomado de Varnes, 1978 y Royster, 1982).

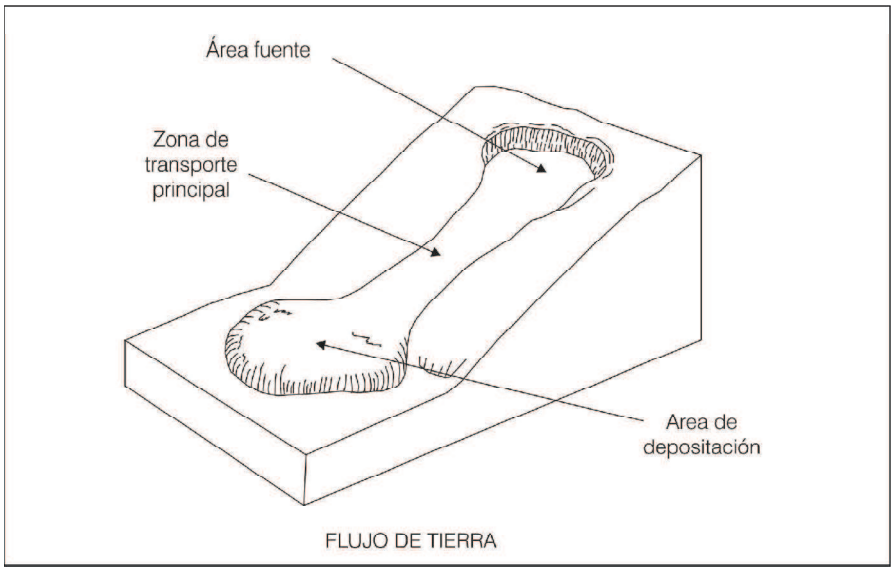


Figura 4-13: Flujo de tierra (USGS, 2007).

Flujo de lodo (Coladas de barro): Se forman cuando una masa de detritos se ablanda por acción del agua hasta tener una consistencia blanda y fluida, se pone en movimiento

y alcanza velocidades altas, según la intensidad y duración de las lluvias y la pendiente del terreno, sus depósitos tienen forma de lengua y su inclinación varia entre 5 y 15º en la superficie de los cuerpos de acumulación (Figura 4-14).

Un flujo de lodo, es un flujo de tierra en donde el material esta 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 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. La viscosidad es función de la propagación de sólidos y líquidos (Instituto Nacional de Vías y Ministerio de Transportes, 1998).

Los flujos de lodo pueden generarse de varias causa según Crandell (1984); Macdonald (1977); Neal (1976), estas pueden ser, lluvias torrenciales sobre depósitos de fragmentos no consolidados de zonas montañosas, colapso de presas formadas por flujos de lava, lahares, movimientos en masa, acumulación de desechos, etc., y por incorporación de detritos en crecientes de ríos causadas por lluvias o por fisión de glaciares o nieve.

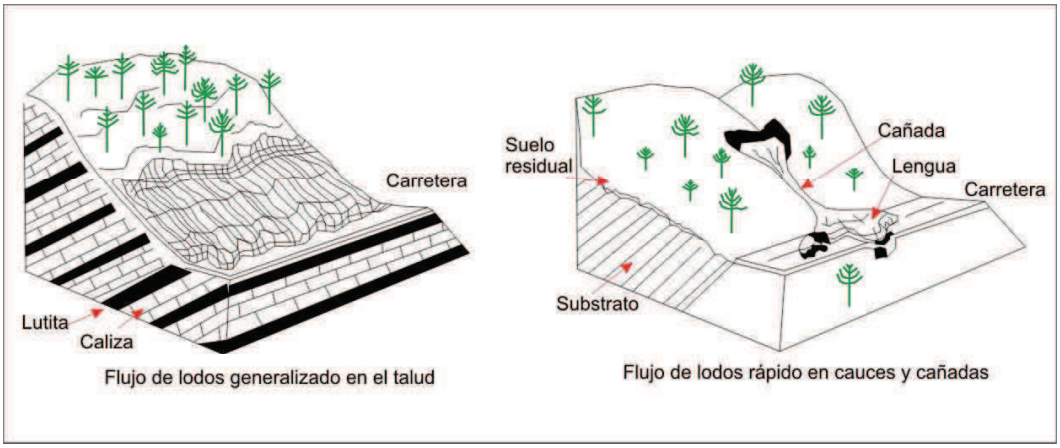


Figura 4-14: Ejemplos de flujos de lodo (tomado de Royster, 1982, Colas y Pilot, 1976).

4.1.6 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 elastoplastica. 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 4-15).

Ocurre por cambios climáticos que afecta suelos superficiales de ladera con expansiones y contracciones térmicas por humedecimiento y secado, infiltración de agua, acción de la gravedad, perdida de soporte lateral; por desarrollarse a nivel superficial y afectar volúmenes reducidos de material su identificación en el campo no es fácil, se le reconoce por inclinaciones ligeras en troncos de árboles, deformación de cercos, muros, formación de ondulaciones en el suelo superficial, pliegues en las formaciones rocosas o arrugas y escalones en la masa del suelo

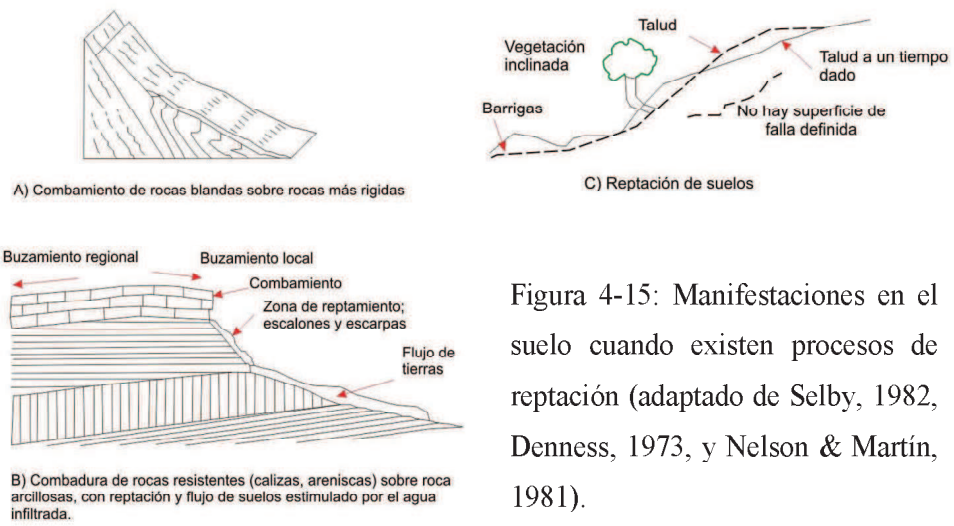


Figura 4-15: Manifestaciones en el suelo cuando existen procesos de reptación (adaptado de Selby, 1982, Denness, 1973, y Nelson & Martín, 1981).

4.1.7 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.).

4.1.8 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), que en contacto con el suelo (Figura 4-16), en el primer caso por el impacto y en el segundo caso por fuerzas tractivas, vencen la resistencia de las partículas (fricción o cohesión) del suelo generándose los procesos de erosión (Gonzalo et al., 2002).

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.

La erosión hídrica causada por el agua de lluvia, abarca los siguientes procesos:

Saltación pluvial: El impacto de las gotas de lluvia en el suelo desprovisto de vegetación ocasiona el arranque y arrastre de suelo fino, el impacto compacta el suelo disminuyendo la permeabilidad e incrementa escorrentía.

Escurrimiento superficial difuso: comprende la erosión laminar sobre laderas carentes de coberturas vegetales y afectadas por saltación pluvial, que estimulan el escurrimiento del agua arrastrando finos.

Escurrimiento superficial concentrado: se produce en dos formas, como surcos de erosión (canales bien definidos y pequeños), formados cuando el flujo se hace turbulento y la energía del agua es suficiente para labrar canales paralelos o

anastomosados; y como cárcavas, que son canales o zanjas más profundos y de mayor dimensión, por las que discurre agua durante y poco después de haberse producido una lluvia. El proceso se da en cuatro etapas: 1) entallamiento del canal, 2) erosión remontante desde la base, 3) cicatrización y 4) estabilización (Gonzalo et al., 2002).

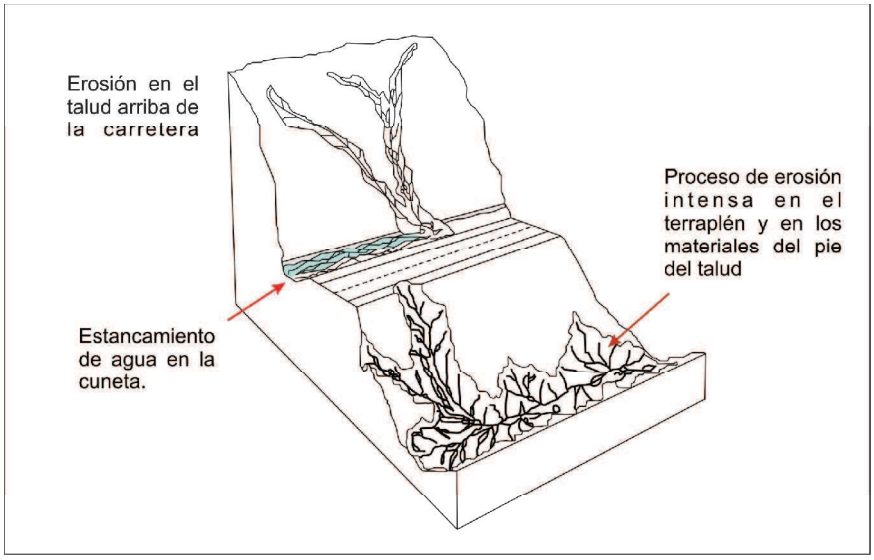


Figura 4-16: Erosión en cárcavas que afectan talud superior e inferior de carretera.

Cualquiera que sea la clasificación que se adopte, la parte principal del problema es entender los movimientos en masa, en si mismos: la localización, la forma, y dimensiones, los factores que intervienen o intervinieron en la predisposición de la falla, el mecanismo que lleva a la falla del terreno, los factores detonantes, la dinámica del movimiento, la magnitud, la distribución de velocidades y la distancia que la masa podría alcanzar una ves que se encuentre en movimiento (Ojeda y Muños, 2001).

4.2 FACTORES DE INESTABILIDAD DE LADERA

Los factores que intervienen en la ocurrencia de un movimiento en masa son variados, estos son agrupados por los distintos autores bajo diferentes categorías, a continuación se presentan algunas de estas agrupaciones. Para Ferrer (1987) estos factores pueden ser agrupados en dos categorías:

Los factores internos: condicionan los diferentes tipos de movimientos en masa, los mecanismos y modelos de rotura. Dentro de los factores internos se tiene a las

características intrínsecas relacionados con la resistencia de los materiales (litología, estratificación, consolidación, tamaño de partículas, etc.) y los estados de esfuerzos; las características extrínsecas que están relacionadas con la morfología de la ladera (pendiente de la ladera y su disposición respecto a discontinuidades geológicas, y la orientación de la ladera), y con las condiciones ambientales de la zona (cambios estacionales de temperatura, tipo de vegetación).

Los factores externos: actúan sobre los materiales modificando las condiciones originales de las laderas, provocando roturas al producirse variación en su estado de equilibrio, estos son la infiltración de agua en el terreno, las vibraciones y las modificaciones antrópicas.

Para Villota (2005), los factores que favorecen la ocurrencia de movimientos en masa pueden agruparse de la siguiente manera:

Naturaleza de los materiales: los movimientos en masa pueden afectar a toda clase de materiales, no obstante existen materiales más susceptibles que otros, esto estará determinado por su grado de cohesión, fricción interna, presencia de fallas, diaclasas, planos de estratificación, de exfoliación, buzamiento de los estratos, discontinuidades litológicas con alternancia de materiales duros y blandos, o por permeabilidades e impermeabilidades.

Factores topográficos: los movimientos en masa han sido reconocidos en todo tipo de relieve, pero estos alcanzan grandes concentraciones en zonas montañosas y colinosas, con pendientes fuertes. El grado de pendiente determina, en gran medida, la velocidad del movimiento, en terrenos con pendientes entre 5º y 30º se producen todo tipo de movimientos en masa mas o menos lenta, por encima de los 30º ocurren con mayor frecuencia movimientos rápidos, en pendientes verticales a subverticales se producen caídas de rocas, por se escasa la presencia de suelos. Otra forma de incidencia de la topografía esta relacionada con la ruptura de la continuidad de la ladera, determinada por fallas, o por acción antrópica (construcción de carreteras), socavamiento por corriente fluviales, por olas, los cuales crean frentes libres y las hacen susceptibles a la generación de movimientos en masa.

Factores climáticos: los movimientos en masa también se produce en cualquier clima, siendo más frecuentes en zonas donde se presentan lluvias fuertes y prolongadas, que humedecen y saturan materiales poco o nada coherentes, porosos e intensamente fracturados. En zonas frías se producen deformaciones en el terreno por periodos de congelamiento y rápido deshielo de suelos, en climas subhúmedos a semiáridos, donde se alternan periodos secos y húmedos, se ve favorecido la formación de grietas en suelos arcillosos y su expansión debido a variaciones en su estado de humedad, así también la formación de grietas favorece la infiltración de agua. Los cambios bruscos de temperatura producen la expansión y contracción de los materiales que conforman suelos y rocas, fenómeno que favorece su debilitamiento, por último fuertes vientos pueden provocar desprendimientos de materiales incoherentes en taludes y escarpes.

Factores edáficos: El agua en el suelo de tipo gravitacional o capilar es un elemento que interviene en la ocurrencia de movimientos en masa, por tanto esta puede disminuir el ángulo de fricción interna entre horizontes, capas de estratos, debido a las presiones hídricas generadas, puede también reducir la cohesión entre partículas o suelos, debido a tensión capilar, hasta sobrepasar el límite de plasticidad o bien hasta producir el flujo (límite liquido). Los suelos pueden cambiar de estado sólido a líquido cuando aumenta los contenidos de humedad y simultáneamente sufren impulso (la atracción gravitacional en terrenos de fuerte pendiente) o un choque (vibración sísmica en zonas más planas) que promueven su flujo, en este estado los materiales fluyen por su propio peso en terrenos confinados o se deforman en laderas rectas y convexas de poca inclinación. El agua también aumenta el peso de los materiales al rellenar los espacios porosos.

Factores biológicos: la vegetación también influencia en la ocurrencia de movimientos en masa, por ejemplo cuando se tienen árboles de raíces superficiales, estos no amarran el suelos, ni retiene los movimientos, tampoco absorben el excesos de agua infiltrada a alguna profundidad, como sucede con la especies de raíces profundas y ávidas de agua, como el eucalipto. El pastoreo y pisoteo excesivo de ganado en los terrenos de ladera favorecen la ocurrencia de movimientos en masa.

La actividad antrópica, reflejada en trabajos de construcción de vías férreas, carreteras, presas, túneles, labores agrícolas, los trabajos de explotación de canteras y demás actividades mineras, tala y quema de bosques, hacen que los suelos se tornen mas propensos a la ocurrencia de movimientos en masa.

La tabla 4-3 presenta un resumen de causas que provocan movimientos en masa, propuesto por el USGS de los Estados Unidos.

Tabla 4-3: Causas que provocan movimiento en masa

MOVIMIENTOS EN MASA-CAUSAS
Causas Geológicas
Materiales débiles o sensitivos.
Material meteorizado.
Materiales cortados, con juntas o figurados.
Orientación de discontinuidades desfavorable (estratificación, esquistosidad, fallas, inconformidades, contactos, etc.).
Contraste en permeabilidad y/o rigidez de materiales.
Causas morfológicas
Elevación tectónica o volcánica.
Retroceso glaciar.
Erosión fluvial, de ola o glaciar del pie de laderas o márgenes laterales.
Erosión subterránea (disolución, piping).
Depositación que carga la ladera o la cresta
Vegetación removida por fuego, sequías.
Deshielo
Periodos de helada y deshielo.
Periodos de contracción y dilatación.
Causas humanas
Excavación al pie de laderas.
Carga de ladera o su cresta.
Diseño de reservorios.
Deforestación.
Irrigaciones.
Minado.
Vibraciones artificiales.
Salida de agua de utilidades.

Fuente: USGS.

El tiempo aunque no se considera un factor, resulta ser un parámetro fundamental en la estabilidad, y que determina el factor de seguridad en los taludes, este influye sobre aspectos como la geometría del talud, la resistencia de los materiales y la oscilación de los niveles piezométricos (Alonso, 1986), su influencia se observa en la distinción entre

estabilidad a corto, medio y largo plazo (Santacana, 2001). Los factores que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa pueden cambiar con el tiempo, por ejemplo, la meteorización que actúa sobre una roca, puede con el tiempo generar horizontes de suelos donde antes no había, estos suelos pueden ser propensos a la ocurrencia de un movimiento en masa.

4.3 EDAD, ACTIVIDAD Y PELIGRO DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA

Para describir la edad relativa de un deslizamiento se puede utilizar el sistema de clasificación de edad de McCalpin (1984), esta clasificación no da una edad absoluta pero si proporciona una descripción cualitativa del estado de actividad y edad de un deslizamiento. Un deslizamiento puede ser descrito como activo o inactivo. Así un deslizamiento activo retiene la topografía original del deslizamiento y tiene la escarpa fresca desprovista de vegetación alguna. El drenaje pre deslizamiento es bloqueado por las márgenes del deslizamiento y depresiones, comúnmente con depresiones hacia arriba en el material desplazado.

Un deslizamiento inactivo presenta un registro de movimientos no recientes, la topografía del deslizamiento es modificada por erosión y depositación. Hay tres subcategorías de deslizamientos inactivos, jóvenes, maduros y viejos, las características de estas categorías se presentan en la tabla 4-4.

Tabla 4-4: Edad de los deslizamientos (McCalpin, 1984)

RASGOS DEL DESLIZAMIENTO	CLASES DE EDAD			
	ACTIVO	INACTIVO (JOVEN)	INACTIVO (MADURO)	INACTIVO (VIEJO)
ESCARPA PRINCIPAL	Abrupto, sin vegetación.	Abrupto, en parte con vegetación.	Suave, con vegetación.	Disectado, con vegetación
ESCARPAS LATERALES Y DRENAJE	Abrupto, sin vegetación, quebradas en el borde.	Abrupto, en parte con vegetación, pequeños tributarios con quebradas laterales.	Suave, con vegetación, tributarios sobre el cuerpo hacia el deslizamiento	Márgenes laterales muy vagos, sin drenaje lateral.
MORFOLOGIA INTERNA Y DRENAJE	Depresiones sin drenaje, lagunas, topografía con montículos, bloques internos angulares separados por grietas sin vegetación.	Sin drenaje, depresiones de drenaje, estanques y pantanos, topografía con montículos, grietas internas con vegetación.	Sin depresiones de drenaje, pero suaves, topografía ondulada, red de drenaje anárquico.	Sin depresiones de drenaje, cicatriz del depósito cortado por canales dendríticos normales.

(Continua)

VEGETACIÓN	Ausente o esparcido en las escarpas laterales e internas, es común ver árboles volcados.	Vegetación más joven que el terreno adyacente o de diferente tipo o densidad.	Vegetación con la misma edad del terreno adyacente, pero puede ser de diferente tipo o densidad.	Vegetación con la misma edad, tipo o densidad del terreno que lo rodea.
RELACIONES DEL PIE DEL DESLIZAMIENTO	El eje del drenaje forzado al lado opuesto del valle donde ocurren los deslizamientos activos, represamiento del drenaje, cobertura moderna sobre la llanura aluvial, no modificados por las quebradas.	Lo mismo en cuanto a su actividad, pero, el pie del deslizamiento puede modificarse por el eje de un cauce moderno.	Cubierto por formaciones modernas, pero cortado por una moderna llanura aluvial de meandros; quebrada no estrecha pero ensanchado por el llano aluvial.	Truncado y recubierto por formaciones modernas o morrenas modernas o terrazas.
EDAD ABSOLUTA	Su actividad dentro del tiempo histórico implica menos de aproximadamente **140** años.	Entre **140** a **5000** años.	Entre **5 000** a **10 000** años.	Más antiguo que **10 000** años (a menudo mucho más antiguo).

Por otro lado Santacana (2001), presenta una clasificación del estado de actividad en que se encuentra un deslizamiento propuesto por WT/WLI (1993), los términos definidos son los siguientes:

1. Deslizamiento activo: presenta movimiento en el momento de la observación.

2. Deslizamiento suspenso: ha tenido movimiento en los últimos 12 meses, pero actualmente se encuentra inactivo.

3. Deslizamiento reactivado: es un deslizamiento activo que previamente fue inactivo, son las reactivaciones de un deslizamiento.

4. Deslizamiento inactivo: No ha sufrido movimiento en los últimos 12 meses.

Los deslizamientos inactivos pueden dividirse en los siguientes estados:

5. Deslizamiento latente: es un movimiento inactivo que se puede reactivar por las causas que lo originaron.

6. Deslizamiento antiguo: es un deslizamiento antiguo que no ha sido afectado nuevamente por sus causas originales.

7. Deslizamiento estabilizado: es un deslizamiento activo en cual se han tomado medidas correctoras.

8. Deslizamiento relicto: es un deslizamiento inactivo que se desarrollo bajo condiciones climáticas o geomorfológicas consideradas diferentes de las que prevalecen actualmente.

Otro punto muy importante, a tener en cuenta cuando se realiza el estudio de movimientos en masa, es la velocidad con la que se viene produciendo o se ha producido el movimiento. Por ejemplo al realizar monitoreos en una zona específica, los valores de velocidad medidos nos dan indicios de la actividad de un movimiento, así, cuando se registran cambios de bajas a altas velocidades pude ser indicador de que el proceso se pude disparar en cualquier momento. Esta información nos puede ayudar a tomar decisiones, como sería en el caso de evacuar zonas pobladas que pueden ser afectados por el material que resulte desplazado, aquí radica una de las razones importantes para realizar o tener en cuenta los controles de velocidades de los movimientos en masa.

En cuanto a la velocidad, Varnes en cooperación con Cruden (1996), renovó su clasificación de movimientos en masa de 1978 basado en la velocidad del movimiento. La velocidad tiene rangos que van desde 1 (extremadamente lento) a 7 (extremadamente rápido). La velocidad típica de los deslizamientos propuestas por Varnes en 1978, también ha sido modificada, así en los deslizamientos extremadamente rápidos su velocidad ha sido cambiada de 3 m/s a 5 m/s, etc.

La tabla 4-5 presenta la escala de velocidades propuesta por Crucen y Varnes (1996).

Tabla 4-5: Escala de velocidad de deslizamiento (Cruden y Varnes, 1996)

Clase de velocidad	Descripción	Velocidad (mm/sec)	Velocidad tipica
7	Extremádamente rápido		
		5×10^{3}	5 m/seg
6	Muy rápido		
		5×10^{1}	3 m/min
5	Rápido		
		5×10^{-1}	1.8 m/hr
4	Moderado		
		5×10^{-3}	13 m/mes
3	Lento		
		5×10^{-5}	1.6 m/año
2	Muy lento		
		5×10^{-7}	16 mm/ año
1	Extremádamente lento		

Los movimientos en masa son procesos o fenómenos naturales terrestres, que pueden causar pérdida de vidas, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica, así como la degradación ambiental; de esta forma al hablar de los movimientos en masa y de la manera como afectan a las poblaciones, es necesario tener presente los conceptos de los término referidos a ellos, a continuación se presentan las definiciones propuestas por la Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres - Naciones Unidas (EIRD/ONU) (2004), UNDRO (1979), Varnes (1984) y otros autores.

Se debe tener en cuenta que según el autor, se puede encontrar un nombre diferente para la misma definición, como es el caso de peligrosidad, que viene a ser lo mismo que peligro y amenaza.

Peligro / Amenaza / Peligrosidad: 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. (EIRD, 2004).

Peligrosidad es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente perjudicial dentro de un periodo de tiempo determinado y un área específica (Varnes, 1984).

Evento amenazante o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural potencialmente perjudicial en un área dada en un periodo específico (UNDRO, 1979).

Peligro Geológico / Amenaza Geológica: Procesos o fenómenos naturales terrestres, que puedan causar pérdida de vida o daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental.

Los peligros Geológicos incluyen procesos terrestres internos (endógenos) o de origen tectónico, tales como terremotos, tsunamis, actividad de fallas geológicas, actividad y emisiones volcánicas; así como procesos externos (exógenos) tales como movimientos en masa: deslizamientos, caídas de rocas, avalanchas, colapsos superficiales, licuefacción, suelos expansivos, deslizamientos marinos y subsidencias. Las amenazas geológicas pueden ser de naturaleza simple, secuencial o combinada en su origen y efectos. Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres - Naciones Unidas (EIRD, 2004).

Vulnerabilidad: Condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos, y ambientales, que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de amenazas (EIRD, 2004).

Vulnerabilidad es el grado de perdida provocado por la ocurrencia de un fenómeno natural de magnitud determinada sobre un elemento o conjunto de elementos (Varnes, 1984).

Vulnerabilidad es el grado de perdida de un elemento o conjunto de elementos bajo riesgo como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud dada y

expresada en una escala de 0 (ningún daño) a 1 (perdida total), o como el porcentaje de pérdida esperado (PNUD-UNDRO, 1991).

Riesgo: Probabilidad de consecuencias perjudiciales o perdidas esperadas (muertes, lesiones, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiente) resultado de interacciones entre amenazas naturales o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad. Convencionalmente el riesgo es expresado por la expresión **R**iesgo = **A**menazas **x V**ulnerabilidad.

Algunas disciplinas también incluyen el concepto de exposición para referirse principalmente a los aspectos físicos de la vulnerabilidad. Más allá de expresar una posibilidad de daño físico, es crucial reconocer que los riesgos pueden ser inherentes, aparecen o existen dentro de sistemas sociales. Igualmente es importante considerar los contextos sociales en los cuales los riesgos ocurren, por consiguiente, la población no necesariamente comparte las mismas percepciones sobre el riesgo y sus causas subyacentes (EIRD, 2004).

El riesgo específico es el grado de perdida esperado debido a un fenómeno natural y se expresa con el producto del peligro por la vulnerabilidad, los elemento en riesgo de un área son la población, construcciones, etc., (Varnes, 1984).

Susceptibilidad: Es el grado de propensión que tiene una zona a que en ella se genere o resulte afectada por un movimiento en masa debido a sus condiciones intrínsecas, las cuales pueden ser la geometría del terreno, la resistencia de los materiales, los estados de esfuerzo, las condiciones de drenaje superficial y subsuperficial, la cobertura del terreno y la trayectoria de la masa en movimiento (UNDRO, 1979).

Análisis de amenazas /peligros: Estudios de identificación, mapeo, evaluación y monitoreo de una(s) amenaza(s) para determinar su potencialidad, origen, características y comportamiento (EIRD, 2004).

Evaluación del riesgo / análisis: Metodología para determinar la naturaleza y el grado de riesgo a través del análisis de 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 se 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 (EIRD, 2004).

Prevención: Actividades tendentes a evitar el impacto adverso de amenazas, y medios empleados para minimizar los desastres ambientales, tecnológicos y biológicos relacionados con dichas amenazas. Dependiendo de la viabilidad social, técnica y de consideraciones de costo/beneficio, la inversión en medidas preventivas se justifica en áreas afectadas frecuentemente por desastres. En este contexto, la concientización y educación pública relacionadas con la reducción del riesgo de desastres, contribuyen a cambiar la actitud y los comportamientos sociales, así como a promover una "cultura de prevención" (EIRD, 2004).

CAPITULO 5

ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA UTILIZANDO EL METODO BIVARIANTE

En el presente capítulo se desarrolla el procedimiento utilizado para analizar la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa en las laderas de las zonas de Chachapoyas y Luya. El procedimiento aplicado es la técnica del análisis estadístico bivariante (univariante), se presentan además los resultados obtenidos.

Es necesario definir lo que se entiende por movimientos en masa, la hipótesis de rotura, la susceptibilidad y los factores determinantes seleccionados como principales en la ocurrencia de los movimientos en masa, como paso previo a la descripción de la metodología seguida y sus resultados.

5.1 MOVIMIENTOS EN MASA

Los movimientos en masa constituyen los procesos geológicos que involucran desplazamiento o remoción de masas rocosas (fracturadas y/o meteorizadas), de depósitos no cimentados, o ambos, por efecto de la gravedad.

Los movimientos en masa identificados se han descrito utilizando la clasificación sobre deslizamientos y en general de movimientos en masa de Varnes (1978 y 1984), se diferencian procesos activos y antiguos (algunos reactivados), 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 deslizamiento antiguo puede ser reactivado en cualquier momento por efectos de cambios climáticos o por alteración de su condición de estabilidad, como puede ser el realizar cortes en laderas para construir una carretera por ejemplo.

La cartografía geomorfológica-geodinámica efectuada tuvo especial atención a las geoformas relacionadas con procesos de movimientos en masa, para lo cual se utilizaron fotografías aéreas disponibles de los años 1963 y 1991, interpretación de imágenes satelitales Landsat a escala 1:100 000 y mapas topográficos actualizados del COFOPRI a escala 1:25 000.

El término movimiento en masa no ha sido utilizado de manera genérica, se han reconocidos movimiento en masa de tipo deslizamientos, caídas, flujos, reptación de suelos, movimientos complejos y procesos de erosión de laderas. Las evidencias seguidas para la identificación de inestabilidad en laderas, así como las formas de depósitos relacionados a movimientos en masa fueron:

- Identificación de depósitos de movimientos en masa de dimensiones grandes (deslizamientos y derrumbes), cartografiables a escala 1:25 000, y en algunos casos de escala menor.
- Depósitos de flujos antiguos (fósiles) de dimensiones variables en forma de conos y abanico, tanto de origen deluvial y proluvial, que pueden mostrar cierres parciales de valles.
- Depósitos de movimientos en masa de diferente tipo con represamientos de valles principales o secundarios.
- Depósitos de vertiente o piedemonte con formas irregulares, muchas veces asociados a movimientos en masa.
- Canales o surcos de erosión pluvial, carcavamientos (Ejemplo, procesos avanzados de erosión de laderas en los alrededores de Inguilpata que desencadenan en derrumbes y deslizamientos).
- Cicatrices de deslizamientos antiguos, caídas o derrumbes recientes.
- Irregularidades del terreno en laderas de baja a fuerte pendiente, por procesos de reptación, que involucra rompimiento de cobertura vegetal (pastizales).

5.2 HIPÓTESIS DE ROTURA

Los trabajos de campo nos han permitido observar que los diferentes movimientos en masa identificados no se producen de manera aleatoria, sino más bien estos presentan

cierto control relacionado con las características geológicas (litología, fracturamiento y suelos), la pendiente y la vegetación de la zona. A lo largo del cañón de río Utcubamba, los movimientos en masa son principalmente de tipo deslizamientos, caídas y movimientos complejos, de los cuales uno de los más grandes ubicado cerca de la Central hidroeléctrica de Cáclic, es un derrumbe producido enteramente en roca (areniscas, cuarcitas y limolitas), este evento produjo la caída de una gran volumen de material que provoco el cierre parcial y estrechamiento del cauce, esto se puede interpretar como que los movimientos en masa de grandes dimensiones ocurridos en el valle del Utcubamba, en zonas donde la cobertura de suelo es escasa a nula, los factores determinantes para que se produzcan son el estado de alteración de la litología, la presencia de familia de fracturas, presencia de agua y la ocurrencia al parecer de sismos que son detonantes de los movimientos, antes que la presencia de pendientes superiores a 45º.

Por otro lado la ocurrencia de movimientos en masa en zonas con presencia de suelos se debe a las condiciones de humedad, los suelos al sobresaturarse de agua aumentan su presión de poros y pierden estabilidad al ubicarse en terrenos con pendiente.

La vegetación cumple una función de estabilizador del suelo, las raíces profundas proveen un sostenimiento de suelos, al introducirse en el suelo y servir de anclaje contra el substrato rocoso, por otro lado en zonas donde la cobertura vegetal es densa, sus 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 la zona de estudio se ha podido observar que las zonas donde mas se presentan movimientos en masa, la cobertura vegetal era de tipo pasturas y donde se realizan labores agrícolas, los trabajos de volteo del terreno para realizar los cultivos, favorecen la infiltración de agua y desestabilización de los terrenos.

La morfología presente en la zona 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 superpie 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, esta hipótesis se orienta a la elección de parámetros condicionantes de la inestabilidad de las laderas. La hipótesis de trabajo plantea los siguientes enunciados:

- Las laderas están cubiertas por suelos de diferente naturaleza y permeabilidad, muy susceptibles 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.

- Laderas con suelos areno-limosos presentan permeabilidades altas, estos suelos se sobresaturan rápido y son susceptibles a la generación de movimientos en masa. Suelos o formaciones poco consolidadas o in consolidadas se alteran de forma más rápida que rocas consolidadas.

- Las laderas que presentan afloramientos de roca, 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, el agua de precipitaciones pluviales que forman escorrentía superficial, se infiltran y sobresatura el suelo y el substrato alterado, incrementan la presión de poros y favoreciendo las roturas; en segundo lugar la actividad sísmica, las aceleraciones sísmica pueden desestabilizar masa de rocas ubicados en substratos 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 presenten 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.

5.3 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 las zonas donde se hace necesaria o conveniente la realización de estudios geotécnicos complementarios (Ayala-Carcedo, 1992).

Los mapas de susceptibilidad pueden realizarse sobre la base de:

- Mapas de inventario: reconociendo las áreas donde se producen los eventos, han ocurrido, o pueden volver ha 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 esta basada en la preparación de mapas temáticos de factores condicionantes, 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 de un Sistema de Información Geográfica (SIG), que permite el análisis automático de los datos y el establecimiento de bases de datos 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 cuento 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 destinada 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, condicionantes.

- Identifica áreas potenciales donde se pueden generar deslizamientos pero no la totalidad de zonas que se verán afectadas. Tampoco asegura que el evento vaya a ocurrir.

- No predice el periodo de tiempo durante el cual podría presentarse un deslizamiento.

- 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 (Escalas 1:10 000 a 1:5 000).

- La metodología utilizada está diseñada para un reconocimiento previo de las áreas con posibles problemas por deslizamientos de tierra. No puede sustituir en ningún caso al análisis geotécnico de campo.

- Revisiones posteriores del mapa utilizando información actualizada, posiblemente cambie los límites de las zonas identificadas. Por lo tanto, dichos límites deben ser considerados como referenciales y no como valores absolutos.

5.3.1 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 un 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 suponer que el comportamiento futuro de la ladera seguirá las mismas pautas que hasta el presente (Ayala-Carcedo, 2002).

Los estudios relacionados a la evaluación de los peligros geológicos por movimientos en masas, 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 perdidas 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 Chachapoyas y Luya, se ha tomado en cuenta como base inicial la Base de Datos Georeferenciada incluida en el "Mapa de Riesgos Fisiográficos y Climatológicos" (INGEMMET, 1997), y reportes de emergencia del INDECI, la cual se depuro y se procedió a su verificación y actualización durante los trabajos de campo. También se utilizo la información bibliográfica disponible, consistente en boletines y tesis de la zona, de esta manera se obtuvieron 33 ocurrencias puntuales de peligros geológicos (movimientos en masa). Cada ocurrencia cuenta con una ficha de registro llamada

"Ficha de Inventario de Peligros Geológicos", elaborado por la Dirección de Geología Ambiental 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 suelo, pendientes, geomorfología, etc., que nos ayudaron en la evaluación de la susceptibilidad.

5.3.2 VARIABLES O FACTORES UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS Y METODO 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 deslizamientos y mapas geomorfológicos): 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 bivariante, que es una aproximación semicuantitativa para estimar la posibilidad de ocurrencia de movimientos en masa en diferentes zonas de una región dada.

El proceso 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) son la parte metodológica fundamental y previa al análisis espacial propiamente dicho (van Westen et al., 1997).

Estos mapas índice 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 esta regida por la interacción de diversos factores propios de la ladera y de su entorno, como son las condiciones geomorfológicas, geológico estructurales, climatológicas y biológicas.

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 (caídas, deslizamientos, movimientos complejos, flujo de detritos, reptación de suelos y erosión de laderas) en las zonas de Chachapoyas y Luya fueron:

A) LITOLOGÍA

Considerada como una variable importante y de influencia directa en la generación de movimientos en masa en laderas y taludes, la información geológica evaluada se obtuvo a partir de los mapas geológicos a escala 1:100 000 de los boletín Nº 56, serie "A", de la Carta Geológica Nacional, elaborados por la Dirección de Geología Regional del INGEMMET, se realizaron además trabajos de fotointerpretación y revisiones de campo para definir fallas y contactos litológicos.

Al mapa geológico 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 y composición de la roca, origen y tipo de material superficial, fracturamiento, grado de meteorización y presencia de agua. Este análisis busca describir sus características geotécnicas que pueden ser indicadores de su resistencia y susceptibilidad a los procesos erosivos y movimientos en masa.

De esta agrupación de rocas, resulta el mapa litológico, considerado como mapa índice (Mapa 4), el cual será usado en el SIG para el análisis de la susceptibilidad.

Los principales grupos de suelo y rocas se han agrupado en dos grandes unidades de clasificación: Depósitos inconsolidados y unidades del substrato rocoso

DESPÓSITOS 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 Plioceno hasta la actualidad y agrupados en función a su origen.

Para las zonas de Chachapoyas y Luya se diferenciaron seis 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 la unidad "I", la cual está acompañada de un número "I1" que indica la clase de depósito.

De acuerdo a su origen se clasifican en:

DEPÓSITOS ALUVIALES (I1):

Son depósitos poco consolidados, algunos de ellos presentan cierto grado de consolidación, son erosionados por los cauces actuales. Compuestos por una mezcla heterogénea de bolones, cantos, gravas y arenas, redondeadas a subredondeadas, con una matriz areno-limosa; que tienen de regular a buena selección, presentándose niveles

y estratos diferenciados que evidencian la actividad dinámica fluvial, puede presentar lentes areno-limosos locales, su permeabilidad es media a alta.

Se asocian principalmente a las planicies aluviales o terrazas altas, susceptibles a erosión fluvial (socavamiento en el pie de terrazas), algunos derrumbes y hasta deslizamientos cuando se encuentran conformando márgenes de ríos y quebradas.

DEPÓSITOS COLUVIALES (I2):

Los depósitos coluviales o de caída, se les reconoce por su geometría, son producto de la caída de material por efectos de la gravedad o por el desplazamiento de material por proceso de movimiento en masa, su fuente de origen es cercana. Están conformados por material generalmente grueso de naturaleza homogénea, heterómetricos, 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 talus de escombros, detritos de ladera y pie de monte; se les encuentra en las laderas de valles y al pie de barrancos escarpados.

DEPÓSITOS COLUVIO-DELUVIALES (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; son el resultado de una mezcla de depósitos coluviales y deluviales, pueden presentar algo de consolidación por efectos de secado del agua que estuvo presente al momento de su depositación.

Los depósitos deluviales están referidos a acumulaciones pequeñas a moderadas de depósitos de vertiente, su origen está asociado generalmente a flujos no canalizados, es decir los materiales sueltos son lavados y redepositados por pequeños chorros de agua sin cauce, pueden presentar formas de abanico pero en su mayoría de veces no tiene forma alguna. Se les encuentran adosadas o al pie de laderas, en zonas planas donde la

pendiente cambia y se hace más suave. En conjunto, por su naturaleza son susceptibles a la erosión pluvial, remoción y generación de flujos de detritos (huaycos), así como de otros movimientos en masa.

DEPÓSITOS PROLUVIO-ALUVIALES (I4):

Son depósitos conformados por una combinación de materiales de origen proluvial y aluvial.

Estos depósitos proluvio-aluviales son el resultado de una acumulación alternada de estos materiales, acumulación que fue controlada por la cantidad de precipitación caída en la zona. Depósitos constituidos por bolos, gravas y cantos subredondeados por el poco transporte sufrido, la matriz que los engloba presenta arenas, limos y arcilla, este material se puede presentar algo compactada cuando la matriz limoarcillosa se encuentra seca.

DEPÓSITOS PROLUVIALES (I5):

Los depósitos proluviales se encuentran formando conos deyectivos o abanicos. Se originan a partir de la existencia de material detrítico suelto acumulado, que al producirse precipitaciones pluviales intensas se saturan, pierden su estabilidad y se movilizan, torrente abajo, por las quebradas en forma de flujos de detritos o flujos de barro.

El material que las constituye es heterométrico y mal clasificado, por lo general son subangulosos a subredondeados, mezcla de bolones de grandes dimensiones con cantos y gravas, englobados en una matriz fina (areno-limosa), permeables, medianamente consolidados.

CONGLOMERADOS Y ARENISCAS (I6):

Es una secuencia de conglomerados y areniscas semiconsolidadas, los conglomerados, son mas gruesos al norte de Inguilpata, sus clastos alcanzan tamaños de entre 30 a 5 cm,

sin embargo al Este de Chachapoyas, los clastos son menores de 10 cm de diámetro y tienen un mayor porcentaje de matriz areno limosa.

Esta formación se presenta cubierto por un suelo areno-limoso y gravas, con un espesor de 0,50 m, de coloración marrón claro en seco, los materiales de esta formación en presencia de agua se saturan y se tornan muy plásticos, posibilitando la formación de flujos de tierra y reptación de suelos, además son susceptibles a procesos de erosión de laderas, a sido posible evidenciar durante los trabajos de campo cárcavas de hasta 15 m de profundidad que afectan estos materiales.

Los depósitos superficiales se presentan húmedos en épocas de lluvia, esta agua aumenta el peso en las laderas, disminuye la cohesión de los materiales y por lo tanto su resistencia al corte, lo que es reflejado en la susceptibilidad a los movimientos en masa.

UNIDADES DEL SUBSTRATO

Estas unidades han sido divididas de tal forma que se agrupan a las diferentes litologías según su composición, grado de alteración o meteorización, en los diferentes estudios de riesgo geológico realizados por INGEMMET, se han diferenciado las siguientes unidades de rocas que conforman el substrato rocoso, así se tienen rocas intrusitas **(II)**, rocas volcánicas **(III)**, rocas volcánico sedimentarias **(IV)**, rocas sedimentarias **(V)** y rocas metamórficas **(VI)**, las cuales se subdividen a su vez en otras subunidades según el tipo de litología particular de la cual están compuestas..

Sin embargo como se vera más adelante en el área de Chachapoyas y Luya solo se tiene el grupo de rocas sedimentarias **(V)** y metamórficas **(VI)**, por lo que no se mencionan los otros grupos litológicos antes mencionados.

ROCAS SEDIMENTARIAS (V)

Las rocas sedimentarias tienen amplia distribución, encontrándoseles en toda la zona de estudio, generalmente se presentan estructuralmente plegadas y falladas. Esta unidad ha

sido dividida en ocho subunidades, tomando en cuenta la litología predominante de cada subunidad y su estado de meteorización.

Sus valores de resistencia a la compresión para estos materiales sedimentarios detríticos y químicos son: a) lutitas o limo-arcillitas: el rango comprende de 2-215 Mpa, b) areniscas: 40-110 Mpa; c) conglomerados 90 Mpa y d) calizas se tiene un rango en el valor de resistencia de 50-60 Mpa.

Calizas, pocas arcillitas y limoarcillitas (V1): Esta subunidad esta conformada por secuencias de calizas intercaladas con pocas arcillitas y limoarcillitas, pueden presentarse estratos de areniscas (Formación Chonta), conforman laderas de fuerte pendiente y barrancos de paredes inclinadas, tienen dureza uniforme, su competencia se reduce por la presencia de limoarcillitas, la permeabilidad depende de la intensidad del fracturamiento, es susceptible a la ocurrencia de derrumbes y caída de rocas.
Dentro de esta subunidad se encuentra el Grupo Pulluicana y las Formaciones Chonta y Condorsinga.

Calizas, margas y limoarcillitas (V2): Esta subunidad esta conformada por una secuencia de calizas, margas y limoarcillitas suaves, conforman geoformas de suave pendiente, se encuentran cubiertas por suelos deslenables (arcillo-limoso) y fangoso, los afloramientos rocosos se presentan muy fracturados, los taludes de corte realizados en esta subunidad son inestable e impermeables, su competencia y capacidad portante no son favorables. Dentro de esta subunidad se encuentra la Formación Chulec.

Areniscas, limoarcillitas y limonitas (V3): Esta subunidad esta conformada por una serie de cuarcitas, arenicas y limolitas, se pueden presentar lentes conglomerádicos, resistencia dura a muy dura, la presencia de limolitas le disminuyen sus condiciones geomecánicas.

Se encuentra conformando farallones y laderas naturales mas o menos estables, que se vuelven inestable al realizarles cortes artificiales, por otro lado estas condiciones de estabilidad también se ven reducidas por la presencia de familias de fracturas que

pueden producir mecanismos de rotura de diferente tipo. Dentro de esta subunidad se encuentra el Grupo Goyllarisquizga y el Grupo Ambo.

Lodolitas, limolitas y areniscas (V4): Es una secuencia de coloración rojiza, de resistencia menor a la erosión, pues presenta un relieve mas bajo que otras formaciones, consiste principalmente de lodolitas, limolitas y areniscas rojas, se pueden encontrar también conglomerados.

Dentro de esta subunidad han sido colocadas materiales que se presentan muy alterados y fracturados, afectados por movimientos en masa y procesos de erosión de laderas intenso.

Pertenecen a esta subunidad la Formación Sarayaquillo y las subdivisiones realizadas a los Grupos Goyllarisquizga y Mitu que se presentan muy alterados y fracturados, posiblemente por efectos de las fallas Lluy Kuelap y Yasgolga, que las afectan respectivamente.

Conglomerados (V5): es una secuencia de brechas y brechas-conglomerados mal seleccionadas, esencialmente calcáreos, conformado por fragmentos angulosos y subredondeados de calizas, en una matriz fuertemente cementada de material calcáreo.

Son rocas consolidadas, fuertes, muy resistentes a la erosión, puede formar caídas de agua, conforma farallones escarpados y origina el encañonamiento del río Utcubamba, sus estratos son macizos con espesores mayores a un metro.

Dentro de esta subunidad se ha considerado a la Formación Carontochaca.

Calizas y limoarcillitas (V6): consiste de calizas y limoarcillitas color marrón oscuro, intercalado con calizas grises a negras, bituminosas y limoarcillitas.

Sus afloramientos son menos resistentes a la erosión, se presenta fracturada, las capas de limoarcillitas se presentan muy fracturadas y deleznables, sobre ella se han

desarrollado cultivos y pastos naturales, sus afloramientos tienen coloración superficial crema a beige, gris marrón oscura a gris marrón en las áreas húmedas.

Dentro de esta subunidad se ha considerado a la Formación Aramachay, del Grupo Pucará.

Calizas (V7): secuencia conformada por calizas macizas y muy resistentes a la erosión, forma farallones y escarpas empinadas, sin embargo es afectada por procesos de disolución de carbonatos con la consecuente formación de cavernas y dolinas por hundimiento de los techos de cavernas.

Dentro de esta unidad se ha considerado a la Formación Chambara del Grupo Pucará.

Areniscas, lodolitas y conglomerados (V8): esta subunidad esta conformada por una secuencia de areniscas, lodolitas y conglomerados, de coloración rojiza a violácea, también se pueden presentar rocas volcánicas piroclasticas y brechas polimícticas bien cementadas.

Es posible encontrar en taludes de cortes de carretera inestables conformados por secuencias de limolitas y areniscas muy fraturadas por efectos de la excavación así como por el intemperismo sufrido en la roca expuesta.

Dentro de esta subunidad se ha considerado al Grupo Mitu.

ROCAS METAMÓRFICAS (VI)

Solo se tiene una pequeña exposición dentro de la zona estudiada, pero que en realidad forma parte de extensos afloramientos del Complejo Marañón que sigue una orientación NO-SE.

Esta unidad ha sido dividida en la zona de estudio en una subunidad en donde se ha tomado en cuenta el tipo de litología que las constituye.

Esquistos y metasedimentitas (VI): presenta diversas unidades litológicas, de contactos poco diferenciables, se encuadran esquistos y metasedimentitas que son un grupo de rocas metamorficas de bajo grado, donde se intercalan pizarras, esquistos y filitas.

Dentro de esta subunidad se ha considerado los afloramientos del Complejo Marañón.

B) PENDIENTES

La pendiente de los terrenos se constituye en uno de los principales factores dinámicos y particularmente de los movimientos en masa, ya que determinan 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 (Lecarpentier 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 45º ocurre lo contrario y la pendiente de la ladera es demasiado empinada para retener la formación superficial. Por esta razón a pendientes elevadas solo aflora el substrato

rocoso y la posibilidad de aparición de roturas se reduce drásticamente (Ayala-Carcedo, 2002).

Densmore y Hovius (2000), revelan una alta frecuencia de pendientes naturales superiores a 40º, sin movimientos en masa, en áreas en las cuales ocurrieron movimientos en masa disparados por lluvias y sismos, los cuales significa que sobre estas pendientes son menos frecuentes los movimientos en masa. Thomas (1994), reseña 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 20º, son aparentemente estables pero no pueden ser considerados 100% seguros durante eventos extremos; taludes entre 26 y 28º se caracterizan por su gran inestabilidad; entre 38 y 50º, son propicios (en puerto rico), para eventos de reflujos de escombros. En Japón son comunes en el rango de 35-50º.

En el presente trabajo se adoptó la siguiente clasificación de rangos de pendientes (Mapa 5):

Las áreas de menor pendiente son susceptibles a movimientos en masa de tipo reptación de suelos, así como también son afectados por eventos originados en las porciones adyacentes o superiores de mayor pendiente. Inclinaciones entre 0° y 5°

Laderas entre 5° y 10° de inclinación suave, conforman relieves también con baja susceptibilidad (afectadas por procesos de reptación de suelos, algunas veces afectadas por eventos que se originan en pendientes más inclinadas), generalmente flujos de detritos (huaycos).

Laderas con inclinaciones entre 10° y 15°, terrenos inclinados donde se pueden producir movimientos en masa.

Los terrenos o laderas con pendientes entre 15° y 25°, terrenos inclinados susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.

Laderas con pendientes entre 25º y 35º, rango donde se ha evidenciado con los trabajos de campo, se encuentra un gran número de movimientos en masa, considerándosele muy susceptible a la ocurrencia de movimientos en masa.

Laderas entre 35º y 45º de pendiente, susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa siempre y cuando se presente suelo o el substrato rocoso este fracturado.

Laderas con pendientes superiores a los 45º, los movimientos en masa ocurren por la presencia de fracturamiento en el substrato rocoso, el detonante puede ser las lluvias o sismos.

C) GEOMORFOLOGÍA

Para la zona de Chachapoyas y Luya, la forma del terreno tiene incidencia directa en la estabilidad de las laderas. Se han clasificado 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 geomorfolófgicas diferenciadas se describen en el capítulo 3, este se elaboro utilizando imágenes satélites Landsat TM5 y los mapas topográficos a escala 1:25 000 del COFOPRI, con su respetiva comprobación de campo.

D) COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO

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 muerta y de la estructura del suelo bajo vegetación), de tal manera que la cantidad de aguas de lluvias que se escurre es menor en terrenos de cobertura vegetal que en terrenos desprotegidos (Lecarpentier et al., 1977).

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

Pero todos los tipos 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 acarrean 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., (1988) concluyo en base a trabajos realizados en Hong Kong, que las raíces de los árboles 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 trabes 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 muere las raíces se pudren y dejan huecos por donde también se facilita la filtración de agua (figura 5-1).

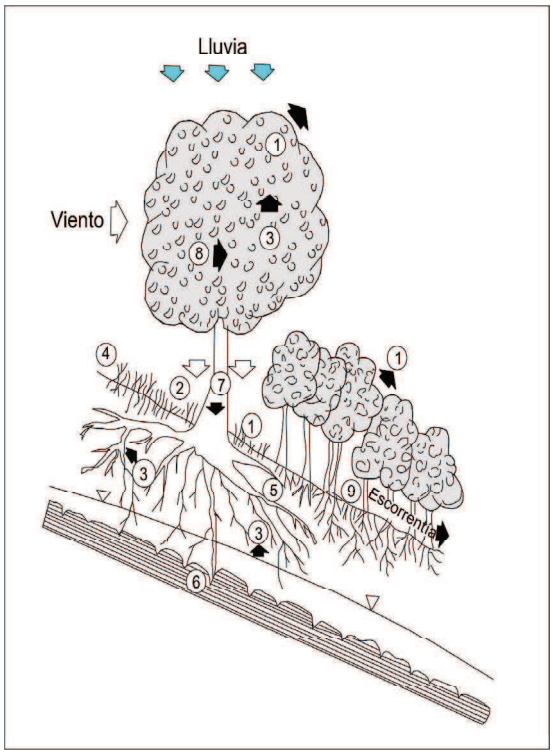


Figura 5-1: Interacción ladera-vegetación, e influencia en la estabilidad (Yin et al, 1988).

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 si cruzan el plano de falla estas son cortadas, con lo que muere el árbol y todos sus efectos beneficiosos.

La tabla 5-1 resume las conclusiones de Yin et al., sobre la influencia de la vegetación en la estabilidad de taludes.

Tabla 5-1 Influencia de la vegetación en la estabilidad de taludes (Yin et al, 1988).

MECANISMOS DE HIDROLÓGICOS	INFLUENCIA
1) El follaje intercepta lluvia, causando pérdidas por absorción y evaporación que reduce la infiltración e las aguas.	Beneficiosa
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 atmósfera por transpiración, conduciendo a menores presiones de poro.	Beneficiosa

(Continua)

4) Disminución de la humedad del suelo puede acentuar la desecación y agrietamiento del suelo, resultando en una mayor capacidad de infiltración.	adversa
EFECTOS MECÁNICOS	**INFLUENCIA**
5) Las raíces refuerzan el suelo, aumentado 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 árboles sobrecarga el talud, aumentando las componentes normales y la fuerza en el sentido de la ladera.	Adversa/Beneficiosa
8) La vegetación expuesta al viento, transmite fuerza dinámicas en la ladera.	Adversa
9) Las raíces unen las partículas de suelo a la superficie del terreno, reduciendo su susceptibilidad a la erosión.	Beneficiosa

Las unidades de cobertura vegetal, teniendo muy presente su influencia beneficiosa, han sido obtenidas a partir del mapa topográfico a escala 1:25 000 elaborado por COFOPRI, al cual se ha completado y realizado algunas modificaciones, por medio de la interpretación de fotos aéreas, imágenes satelitales y trabajos de campo, estas unidades se describen en el capitulo 3.

5.4 METODOLOGÍA

De acuerdo con van Westen, Aleotti y Chowdhury (en Concha et al., 2007) la evaluación del peligro por movimientos en masa se realiza a través de dos pasos. El primero corresponde a la evaluación de la susceptibilidad del terreno a que fallen los taludes o laderas y las 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 sismos o lluvias intensas.

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

Por lo tanto, nuestro estudio solo se limitara al análisis de la susceptibilidad a los movimientos en masa, y esto esta basado en las siguientes asunciones:

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

2) Las condiciones primarias que causan los movimientos en masa son controlados por factores físicos identificables.

3) Las condiciones y procesos subyacentes que causan los movimientos en masa son comprendidos.

4) La importancia relativa de las condiciones y procesos que contribuyen a la ocurrencia de los movimientos en masa puede ser determinada y se puede asignar a cada cual alguna medida que refleje su contribución (Varnes, 1985).

5) Cualquier tipo de falla en la ladera puede ser identificado y clasificado.

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

El método bivariante es un método estadístico que relaciona mapas de parámetros y densidad de deslizamientos.

Para nuestro análisis estadístico bivariado, 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 hacia la generación de fenómenos de movimientos en masa.

Los datos de entrada son determinantes en el análisis de susceptibilidad, sin buenos datos es muy difícil hacer un análisis de buena calidad (Hermanns et al., 2007). Así como se mencionó arriba, las principales características de los terrenos consideradas para el modelamiento en el SIG son básicamente la litología, la geomorfología, las pendientes y a cobertura vegetal, las cuales se han tenido que elaborar y otras han sido obtenidas de otras fuentes donde fue necesario revisarlas y completarlas.

En este caso se utilizo el sistema de información geográfica ARCGIS 9.1 para realizar las funciones de captura, conversión de datos y cruce de coberturas (capas de información temática), el método comprende cuatro etapas:

1) Digitalización de las diferentes coberturas o mapas que se utilizara durante el análisis (mapa litológico, pendientes, geomorfológico, cobertura vegetal e inventario de movimientos en masa). Se realiza 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 modulo *Editor* de ARCGIS 9.1, las coberturas se digitalizaron a escala 1:25 000. Estos mapas están representados por listas de atributos donde se describe cada campo, se le asigna 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 equidistancia de curvas de cada 25 m, un sector de la zona estudiada se presenta sin cobertura topográfica razón por la cual se opto por dejarla fuera del análisis, el mapa de pendientes se genero a partir de este mapa topográfico utilizando la herramienta *Spatial Analysis* de ARCGIS 9.1.

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 movimiento en masa.

4) Obtención de mapas digitales de susceptibilidad para cada tipo de movimiento en masa, a partir de los cuales se obtiene finalmente, por sumatoria, la susceptibilidad total del terreno.

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 geoambiental, o factor intrínseco, tiene en la generación de los fenómenos de movimientos en masa cartografiados (Ojeda et al., 2001).

Ahora bien, el peso o grado de influencia que tiene cada factor intrínseco del terreno en la generación de movimientos es masa debe de ser determinado, nuestras investigaciones y revisiones de trabajos en los cuales se ha hecho uso del método bivariante 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 píxel, en la relación entre la densidad de movimientos en masa por clase de parámetro comparado con la densidad de movimientos en masa sobre toda el área. Concha et al., utilizan para el cálculo de los valores de peso la formula siguiente (Van Westen, 1994; Cevik and Topal, 2003; Süzen and Doyuran, 2003):

$$Wi = \frac{Densclass}{Densmap} = In \frac{\frac{Npix(Si)}{Npix(Ni)}}{\frac{\sum Npix(Si)}{\sum Npix(NI)}} \qquad (1)$$

Donde:

Wi = la ponderación dada a una cierta clase de parámetro (p.e. un tipo de roca, o un tipo de pendiente).

Densclass = es la densidad de deslizamientos dentro de la clase de parámetro.

Densmap = es la densidad de deslizamientos para toda el área de estudio.

Npix(Si) = es el numero de píxeles, los cuales contienen los deslizamiento dentro de una cierta clase de parámetro.

Npix(Ni) = es el número total de píxeles 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 de píxel resultante (*Wt*), es la sumatoria de los valores de pesos para cada parámetro.

$$Wt = \sum Wi \qquad (2)$$

Donde *Wi* es el valor ponderado del parámetro de clase por *i*. El mapa final que se obtiene es dividido en categorías de susceptibilidad. El método bivariante esta basado así en la frecuencia de deslizamientos dentro de un parámetro de clase, por lo tanto, las frecuencias más grandes, definirá el valor de peso final (*Wt*) más grande también y la clase de susceptibilidad más altas debería mostrar una correlación buena para un número grande de 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 área de cada tipo de movimiento en masa que se 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 formula que utilizan estos autores es la siguiente:

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

Donde:

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

DZX = Es la superficie acumulada de movimiento en masa de tipo X (puede ser un deslizamiento, caída, flujo, etc.) en km^2 o ha, que hay sobre la unidad cartográfica de parámetro.

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 es diferente para cada tipo de fenómeno, de 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 el tipo de movimiento en masa se obtiene mediante la suma de los mapas de susceptibilidad para cada tipo de 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 considerados en el análisis.

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

Por último tenemos la metodología usada por Hermanns et al., (2007), donde plantea que el peso (*Wi*) 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 Nº 4 siguiente:

$$Wi = \frac{\textit{\% del área total ocupada por un determinado tipo movimiento en una unidad de atributo del parámetro evaluado.}}{\textit{\% del área total de la unidad de atributo del parámetro donde se encuentra el movimiento evaluado.}}$$

Donde:

Wi: es el peso de cada unidad de atributo.

Esta formula nos proporcionara la razón o proporción que se utilizara para comprobar si hay o no hay control de cada uno de 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 atributo 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, Hermanns et al., (2007), propone la asignación de pesos (en porcentajes) a 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 del experto. El mapa de susceptibilidad final será obtenido sumando los productos del peso en porcentaje asignado a cada mapa (litología, pendiente, etc.) que intervine en 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 Hermanns 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 5-2 presenta un 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 formula Nº 4, siendo necesario obtener las áreas ocupadas por cada tipo de movimiento en masa en cada unidad cartográfica de terreno y el área de cada unidad cartográfica de terreno.

En otras palabras para poder aplicar este método de análisis, se contrasta cada uno de mapas factores con cada uno de tipos de movimientos en masa definidos 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:

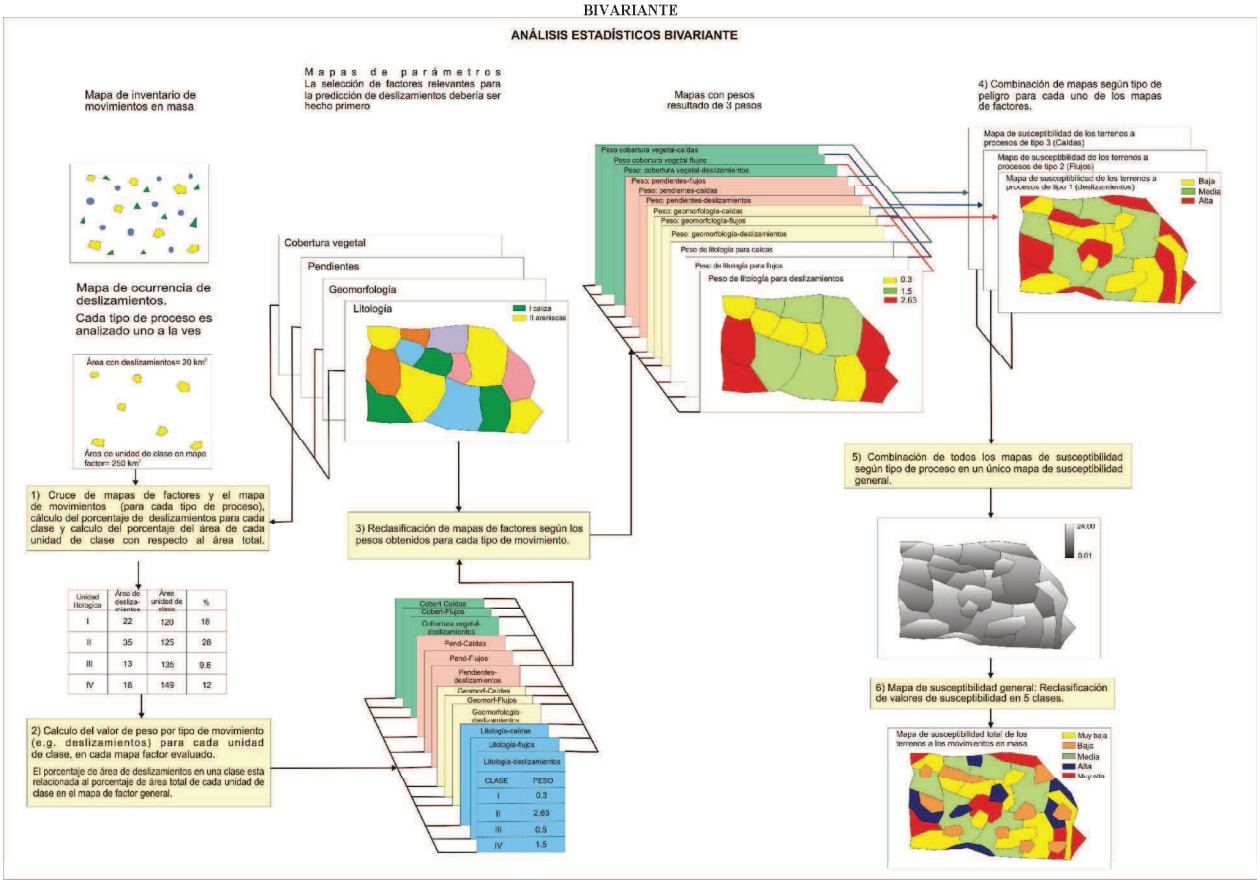
Paso 1: Cruce de coberturas temáticas con coberturas de fenómenos de movimientos en masa para calcular áreas

Cada una de las capas de vectores que contienen los diferentes tipos de movimientos en masa evaluados, se cruzo con cada una de las coberturas de parámetros intrínsecos, como LITOLOGIA, PENDIENTE, GEOMORFOLOGIA y COVERTURA VEGETAL. Los movimientos en masa evaluados fueron (Tabla 5-2):

Tabla 5-2: Tipos de movimientos en masa evaluados

TIPO	MOVIMIENTO EN MASA
Tipo 1	Caídas
Tipo 2	Deslizamientos
Tipo 3	Flujos de detritos
Tipo 4	Erosión de laderas
Tipo 5	Movimientos complejos
Tipo 6	Reptación de suelos

FIGURA 5-2: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA UTILIZADA PARA OBTENER EL MAPA SE SUSCEPTIBILIDADA A LOS MOVIMIENTOS EN MASA UTILIZANDO EL MÉTODO BIVARIANTE



Litología vs movimientos en masa

Se ha hecho una operación de intersección (INTERSECT), entre cada uno de los tipos de movimientos en masa con la capa litología. Este análisis nos permite obtener la litología particular de cada tipo de movimiento en masa. Una vez obtenida estas áreas de litología, se calcula el porcentaje (con respecto al área total del intersec) de los diferentes tipos de litologías de los movimientos en masa. A la misma vez que se a 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 acabo un análisis estadístico bivariado comparando y dividiendo los porcentajes de las diferentes unidades de la litología particular de las áreas de movimientos en masa (p.e. intersect de deslizamientos con litología) dividido por los porcentajes de los diferentes tipos de litología.

Esta comparación nos da proporciones o ratios que nos indican si hay o no control litológico para los diferentes movimientos en masa.

Para realizar este análisis se utilizo los siguientes pasos:

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

Se elige el nombre y ubicación del archivo de salida u 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 fueros las siguientes:

INTERSECCIÓN deslizamientos y geología_final= ***geo_desl_inter***
INTERSECCIÓN caídas y geología_final= ***geo_cai_inter***
INTERSECCIÓN flujos y geología_final= ***geo_flu_inter***
INTERSECCIÓN erosion y geología_final= ***geo_ero_inter***
INTERSECCIÓN complejos y geología_final= ***geo_comp_inter***
INTERSECCIÓN repatación y geología_final= ***geo_rep_inter***

Pendientes vs movimientos en masa

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

Las capas intersectadas y resultantes fueros las siguientes:

INTERSECCIÓN deslizamientos y pend= ***pend_desl_inter***
INTERSECCIÓN caídas y pend= ***pend_cai_inter***
INTERSECCIÓN flujos y pend= ***pend_flu_inter***
INTERSECCIÓN erosion y pend= ***pend_ero_inter***
INTERSECCIÓN complejos y pend= ***pend_comp_inter***
INTERSECCIÓN repatación y pend= ***pend_rep_inter***

Geomorfología vs movimientos en masa

Se realizo el cruce entre la cobertura geomorfología (GEOMOR_FIN) y cada uno de los movimientos en masa, mediante el comando INTERSECT de ARCGIS.

Las capas intersectadas y resultantes fueros las siguientes:

INTERSECCIÓN deslizamientos y geomor_fin= ***geomor_desl_inter***
INTERSECCIÓN caídas y geomorf_fin= ***geomorf_caida_inter***
INTERSECCIÓN flujos y geomorf_fin= ***geomorf_flujo_inter***
INTERSECCIÓN erosion y geomorf_fin= ***geomorf_erosion_inter***

INTERSECCIÓN complejos y geomorf_fin= ***geomorf_comp_inter***
INTERSECCIÓN repatación y geomorf_fin= ***geomorf_rep_inter***

Cobertura vegetal vs movimientos en masa

Por último se realizo el cruce entre la capa de cobertura vegetal (VEGE_FIN) y cada uno de los movimientos en masa, mediante el comando INTERSECT de ARCGIS.

Las capas intersectadas y resultantes fueros las siguientes:

INTERSECCIÓN deslizamientos y vege_fin= ***vege_desl_inter2***
INTERSECCIÓN caídas y vege_fin= ***vege_caida_inter***
INTERSECCIÓN flujos y vege_fin= ***vege_flujo_inter***
INTERSECCIÓN erosion y vege_fin= ***vege_erosion_inter***
INTERSECCIÓN complejos y vege_fin= ***vege_comp_inter***
INTERSECCIÓN repatación y vege_fin= ***vege_rep_inter***

Con este comando para todas las capas intersectadas obtenemos como resultado capas que contienen información de los movimientos en masa y la capas utilizadas en el análisis (litología, pendientes, geomorfología y cobertura vegetal).

Paso 2: Procesamiento estadístico de los resultados del cruce

Se evaluó cada una de las coberturas producto del cruce del paso anterior, que contiene información tanto de las unidades cartográficas del terreno como de los movimientos en masa superpuestos con éstas. Este proceso se realiza una ves obtenidas las capas del INTERSECT, se calcula las áreas para carda tipo de movimiento en masa y las áreas de cada una de las unidades cartográficas de terreno de cada mapa de factores, en la tabla de atributos se crea un nuevo campo con nombre “area”, donde se calculan las áreas de cada uno de los polígonos resultantes de la intersección por medio del Field Calculador, utilizando la formula de ARCGIS para la obtención de áreas.

Una vez obtenidas 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 movimiento en una determinada unidad cartográfica de terreno, para cada uno de los cuatro mapas de entrada (p.e. el área acumulada de deslizamientos que se encuentran dentro de una litología de tipo limolitas, y así para cada una de las litologías dentro del mapa litológico y para todos los demás tipos de movimientos evaluados).

Este proceso se hace utilizando la herramienta ARCTOOLBOX, ANALISYS TOOLS, STATISTICS, FRECUECY, 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 uso el software EXCEL (tablas 5-3, 5-4, 5-5 y 5-6).

TABLA 5-3:
CALCULO ESTADÍSTICO DEL PESO O SUSCEPTIBILIDAD DE LAS UNIDADES LITOLÓGICAS A LOS MOVIMIENTOS EN MASA

				SUPERFICIE ACUMULADA DE PROCESOS (KM^2) EN CADA UNIDAD						% DE PROCESOS EN CADA UNIDAD						SUSCEPTIBILIDAD O PESOS (W) DE LAS UNIDADES LITOLÓGICAS A LOS MOVIMIENTOS EN MASA					
1	**2**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18 =12/5**	**19 =13/5**	**20 =14/5**	**21 =15/5**	**22 =16/5**	**23 =17/5**
Código	**Unidad**	**Área total por unidad**	**% de área por unidad**	**tipo 1**	**tipo 2**	**tipo 3**	**tipo 4**	**tipo 5**	**tipo 6**	**tipo 1**	**tipo 2**	**tipo 3**	**tipo 4**	**tipo 5**	**tipo 6**	**tipo 1**	**tipo 2**	**tipo 3**	**tipo 4**	**tipo 5**	**tipo 6**
I1	Q-al	9.64	1.6	0.02	0.02	0.062	0	0	0	0.073	0.15	2.77	0	0	0	0.045	0.096	1.729	0	0	0
I2	Q-co	32.99	5.5	3.67	3.07	0.001	0.629	8.404	0	11.47	20.70	0.05	12.30	62.25	0	2.092	3.776	0.009	2.2437	11.36	0
I3	Q-co-de	18.05	3.0	1.10	1.48	0	0.096	0.011	1.32	3.429	9.99	0	1.88	0.08	63.77	1.143	3.331	0.000	0.6270	0.027	21.26
I4	Q-p-al	8.11	1.3	0.16	0	0	0.000	0	0	0.512	0	0	0.00	0	0	0.380	0	0.000	0.0004	0	0
I5	Q-p	2.17	0.4	0.02	0	2.124	0.025	0	0	0.058	0	94.94	0.49	0	0	0.161	0	263.307	1.3699	0	0
I6	N-in	61.23	10.2	9.12	3.03	0.025	0.704	0.192	0.11	28.46	20.42	1.14	13.77	1.42	5.48	2.798	2.007	0.112	1.3539	0.14	0.539
V1	Ji-c, Kis-ch, Ks-p	47.00	7.8	0.99	0.96	0.007	0.594	0.690	0	3.099	6.48	0.30	11.61	5.11	0	0.397	0.830	0.038	1.4865	0.654	0
V2	Ki-ch	56.14	9.3	1.31	0.91	0	0.630	0.266	0	4.093	6.17	0	12.31	1.97	0	0.439	0.662	0.000	1.3200	0.211	0
V3	Ci-a, Ki-g	126.22	21.0	11.04	1.67	0.0001	1.543	1.898	0.64	34.45	11.30	0.00	30.17	14.06	30.74	1.643	0.539	0.000	1.4388	0.671	1.466
V4	Js-s, Ki-gal, Ps-ma	26.05	4.3	1.49	0.58	0.002	0.081	0.402	0	4.644	3.90	0.09	1.58	2.98	0	1.073	0.901	0.021	0.3645	0.689	0
V5	Jms-c	2.93	0.5	0.56	0.04	0	0.004	0.184	0	1.754	0.28	0	0.07	1.37	0	3.602	0.579	0.000	0.1531	2.804	0
V6	Ji-a	41.60	6.9	1.04	0.90	0.006	0.455	0.588	0	3.24	6.08	0.25	8.90	4.36	0	0.469	0.880	0.037	1.2871	0.631	0
V7	Tr-ch	107.26	17.8	1.38	0.97	0.010	0.354	0.864	0	4.318	6.58	0.46	6.92	6.40	0	0.242	0.369	0.026	0.3883	0.359	0
V8	Ps-m	61.67	10.2	0.13	1.18	0	0	0	0	0.4	7.96	0	0	0	0	0.039	0.776	0.000	0	0	0
VI	Pe-e, Pe-m	0.85	0.1	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000	0	0	0
	total	**601.92**	**100**	**32.04**	**14.82**	**2.237**	**5.113**	**13.50**	**2.07**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**						

TABLA 5-4:
CALCULO ESTADÍSTICO DEL PESO O SUSCEPTIBILIDAD DE LOS VALORES DE PENDIENTES A LOS MOVIMIENTOS EN MASA

				SUPERFICIE ACUMULADA DE PROCESOS (KM^2) EN CADA UNIDAD						% DE PROCESOS EN CADA UNIDAD						SUSCEPTIBILIDAD O PESOS (W) DE LAS PENDIENTES A LOS MOVIMIENTOS EN MASA					
1	**2**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18 =12/5**	**19 =13/5**	**20 =14/5**	**21 =15/5**	**22 =16/5**	**23 =17/5**
Código	**Unidad**	**Área total por unidad**	**% de área por unidad**	**tipo 1**	**tipo 2**	**tipo 3**	**tipo 4**	**tipo 5**	**tipo 6**	**tipo 1**	**tipo 2**	**tipo 3**	**tipo 4**	**tipo 5**	**tipo 6**	**tipo 1**	**tipo 2**	**tipo 3**	**tipo 4**	**tipo 5**	**tipo 6**
1	0-5°	70.46	11.71	2.99	1.23	1.244	0.340	0.431	0.3023	9.332	8.29	55.64	6.64691	3.196	14.6	0.797	0.708	4.751	0.5676	0.273	1.247
2	5-10°	72.21	12.00	3.41	2.31	0.300	0.682	0.807	0.8853	10.63	15.58	13.41	13.33	5.98	42.75	0.886	1.298	1.117	1.1107	0.498	3.562
3	10-15°	91.32	15.18	4.11	2.30	0.258	0.877	2.304	0.43	12.82	15.51	11.56	17.15	17.07	20.83	0.845	1.022	0.761	1.1299	1.125	1.372
4	15-25°	178.54	29.67	8.69	4.83	0.269	1.556	5.65	0.3562	27.14	33	12.01	30.44	41.87	17.2	0.914	1	0.405	1.0257	1.411	0.58
5	25-35°	113.79	18.91	6.24	2.78	0.115	0.820	2.886	0.0882	19.49	19	5.16	16.04	21.38	4.258	1.031	1	0.273	0.8482	1.131	0.225
6	35-45°	56.01	9.31	4.00	1.19	0.037	0.583	1.182	0.01	12.48	8.06	1.64	11.40	8.76	0.37	1.341	0.865	0.177	1.2247	0.941	0.039
7	45-90°	19.33	3.21	2.60	0.18	0.013	0.255	0.235	0	8.111	1.25	0.59	4.99	1.74	0	2.524	0.388	0.184	1.5538	0.542	0
	Total	**601.92**	**100**	**32.04**	**14.82**	**2.237**	**5.113**	**13.50**	**2.07**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**						

TABLA 5-5:
CALCULO ESTADÍSTICO DEL PESO O SUSCEPTIBILIDAD DE LAS UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL A LOS MOVIMIENTOS EN MASA

				SUPERFICIE ACUMULADA DE PROCESOS (KM^2) EN CADA UNIDAD						% DE PROCESOS EN CADA UNIDAD						SUSCEPTIBILIDAD O PESOS (W) DE LAS UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL A LOS MOVIMIENTOS EN MASA					
1	**2**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18 =12/5**	**19 =13/5**	**20 =14/5**	**21 =15/5**	**22 =16/5**	**23 =17/5**
Código	**Unidad**	**Área total por unidad**	**% de área por unidad**	**tipo 1**	**tipo 2**	**tipo 3**	**tipo 4**	**tipo 5**	**tipo 6**	**tipo 1**	**tipo 2**	**tipo 3**	**tipo 4**	**tipo 5**	**tipo 6**	**tipo 1**	**tipo 2**	**tipo 3**	**tipo 4**	**tipo 5**	**tipo 6**
1	Cul	153.40	25.49	2.67	5.73	0.8561	1.4098	4.901	1.088	8.342	38.69	38.27	27.57	36.31	52.53	0.327	1.518	1.5015	1.0818	1.425	2.061
2	Pz	364.84	60.61	19.84	8.39	1.3726	3.7007	8.597	0.373	61.94	56.63	61.35	72.37	63.68	18.02	1.022	0.934	1.0122	1.1940	1.051	0.297
3	Bs	68.84	11.44	0.04	0.68	0.0057	0.0029	0.001	0	0.133	4.56	0.253	0.06	0.01	0.00	0.012	0.399	0.0221	0.0049	0	0
4	Ad	12.05	2.00	9.48	0.017	0.0029	0.00001	0	0.606	29.57	0.12	0.128	0.0003	0	29.28	14.767	0.058	0.0637	0.0001	0	14.62
5	Zu	2.77	0.46	0.00	0.001	0	0	0	0.003	0.015	0.01	0.00	0	0	0.164	0.032	0.019	0	0	0	0.357
	Total	**601.92**	**100**	**32.04**	**14.82**	**2.237**	**5.113**	**13.50**	**2.071**	**100**	**100**	**100**	**100.00**	**100**	**100**						

TABLA Nº 5.6:
CALCULO ESTADÍSTICO DEL PESO O SUSCEPTIBILIDAD DE LAS UNIDADES MORFOLÓGICAS A LOS MOVIMIENTOS EN MASA

				SUPERFICIE ACUMULADA DE PROCESOS (KM^2) EN CADA UNIDAD						% DE PROCESOS EN CADA UNIDAD						SUSCEPTIBILIDAD O PESOS (W) DE LAS UNIDADES MORFOLÓGICAS A LOS MOVIMIENTOS EN MASA					
1	**2**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18 =12/5**	**19 =13/5**	**20 =14/5**	**21 =15/5**	**22 =16/5**	**23 =17/5**
código	**unidad**	**Área total por unidad**	**% de área por unidad**	**tipo 1**	**tipo 2**	**tipo 3**	**tipo 4**	**tipo 5**	**tipo 6**	**tipo 1**	**tipo 2**	**tipo 3**	**tipo 4**	**tipo 5**	**tipo 6**	**tipo 1**	**tipo 2**	**tipo 3**	**tipo 4**	**tipo 5**	**tipo 6**
1	Col	10.77	1.79	0.20	0.45	0.00	0.186	0	0	0.628	3.03	0.00	3.6393	0	0	0.351	1.696	0	2.0344	0	0
2	Ms	198.96	33.05	1.71	3.77	0.00	0.738	5.067	0.05291	5.34	25.46	0.00	14.4325	37.53	2.555	0.162	0.770	0	0.4366	1.135	0.077
3	Vd	13.82	2.30	1.09	0.87	0	0.101	0.010	1.32	3.41	5.85	0	1.9669	0.08	63.72	1.485	2.549	0	0.8568	0.033	27.76
4	Kr	21.05	3.50	0.01	0	0	0.000	0	0	0.032	0	0	0.0008	0	0	0.009	0	0	0.0002	0	0
5	Me	286.63	47.62	16.39	9	0.006	3.630	7.595	0.69827	51.14	58	0.27	70.9921	56.26	33.72	1.074	1.224	0.01	1.4908	1.181	0.708
7	Ta	9.71	1.61	0.01	0.02	0	0	0	0.00	0.034	0.15	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.021	0.096	0	0.0000	0	0
8	Ap	2.26	0.38	0.02	0.00	2.222	0.025	0	0	0.054	0.00	99.32	0.4939	0.00	0	0.144	0	263.97	1.3128	0	0
10	Es	18.90	3.14	5.30	0.07	0	0.076	0.417	0	16.53	0.46	0	1.4831	3.09	0.003	5.266	0.145	0	0.4724	0.983	0.001
11	Ad	29.37	4.88	7.24	0.68	0.0092	0.346	0.246	0.00	22.6	4.58	0.41	6.7586	1.82	0.00	4.631	0.938	0.08	1.3849	0.374	0
12	Dpa	8.03	1.33	0.06	0.00	0.00	0.000	0	0	0.186	0.00	0.00	0.0007	0.00	0	0.140	0	0	0.0005	0	0
13	Pi	2.25	0.37	0.01	0.32	0	0.012	0	0	0.042	2.17	0	0.2320	0.00	0	0.112	5.802	0	0.6210	0	0
14	Vr	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00	0	0.165	0	0	0.00	0.00	0.0000	1.22	0	0	0	0	0.0000	44.54	0
	Total	601.92	100.0	32.04	14.82	2.237	5.113	13.50	2.07	100	100	100	100.00	100	100						

Obtenidas las área de cada tipo de movimiento y unidad cartográfica de terreno, se establece el peso (W) para cada unidad cartográfica de terreno por tipo de movimiento en masa (pasos 18 al 23 en de las tablas 5-3, 5-4, 5-5 y 5-6), de acuerdo con la formula Nº 4.

Una vez establecida esta relación se recodifican o reclasifican 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 (litología, geomorfología, cobertura vegetal y mapa de inventario de peligros geológicos) a raster. Puesto que este análisis de susceptibilidad se basa en la reclasificación de valores de grilla en una capa, el tamaño de capa asignado es de 25 m para todas las capas.

Para rasterizar las capas se utiliza los siguientes comandos de ARCGIS 9.1, ir a SPATIAL ANALISIS, seleccionar CONVERT, FEATURES TO 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 creo con anterioridad en las tablas de atributos de los mapas de litología, pendientes, geomorfología y cobertura vegetal, y en las cuales se introdujeron los valores de pesos obtenidos en las tablas.

En OUTPUT CELL SIZE se coloca el tamaño de celda, para nuestro caso 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 cuatro 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 raster, es necesario definir los rangos o intervalos de susceptibilidad, estos intervalos pueden se hallados directamente en el ARCGIS, por medio de la herramienta RECLASSIFY el cual nos 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 movimientos, utilizando la metodología presentada por la OEA (1993), es así que los rangos de

valores de pesos se divide en cinco grupos para representar la susceptibilidad relativa a los movimientos en masa de área de estudio. Para asegurar que los puntos usados para definir los cinco grupos han sido determinados objetivamente, se hace uso del análisis de grupo no-jerárquico. (Ver anexo para un ejemplo de cálculo).

Se logra una división inicial en cinco grupos separando 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 estandar 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:

$$W = \sum_{i=1}^{i=5} \sum_{j=1}^{j=n} (Xij + Xi)^2 = W1 + W2 + W3$$

Donde:

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 las tablas 5-7, 5-8, 5-9 y 5-10.

Tabla 5-7: Intervalos de susceptibilidad para pendientes

VALOR	INTERVALO	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
1	0.04-0.71	Muy baja
2	0.71-1.51	Baja
3	1.51-2.52	Media
4	2.52-3.56	Alta
5	3.56-4.75	Muy alta

Tabla 5-8: Intervalos de susceptibilidad para la litología

VALOR	INTERVALO	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
1	0-1.64	Muy baja
2	1.64-3.77	Baja
3	3.77-11.35	Media
4	-	Alta
5	11.35-263.30	Muy alta

Tabla 5-9: Intervalos de susceptibilidad para la geomorfología

VALOR	INTERVALO	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
1	0-2.54	Muy baja
2	2.54-5.80	Baja
3	-	Media
4	5.80-27.75	Alta
5	27.75-263.97	Muy alta

Tabla 5-10: Intervalos de susceptibilidad para la cobertura vegetal

VALOR	INTERVALO	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
1	0-0.39	Muy baja
2	0.39-0.93	Baja
3	-	Media
4	0.93-14.62	Alta
5	14.62-14.76	Muy alta

Paso 3: 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 tablas 5-11, 5-12, 5-13 y 5-14, las cuales ya pueden ser utilizadas para reclasificar nuestras capas raster.

Tabla 5-11: Categorías de susceptibilidad para la litología

CÓDIGO	UNIDAD	RECLASIFICACIÓN DE GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD					
		tipo 1	tipo 2	tipo 3	tipo 4	tipo 5	tipo 6
I1	Q-al	1	1	2	0	0	0
I2	Q-co	2	3	1	2	5	0
I3	Q-co-de	1	2	0	1	1	5
I4	Q-p-al	1	0	0	1	0	0
I5	Q-p	1	0	5	1	0	0
I6	N-in	2	2	1	1	1	1
V1	Ji-c, Kis-ch, Ks-p	1	1	1	1	1	0
V2	Ki-ch	1	1	0	1	1	0
V3	Ci-a, Ki-g	2	1	0	1	1	1
V4	Js-s, Ki-gal, Ps-ma	1	1	1	1	1	0
V5	Jms-c	2	1	0	1	2	0
V6	Ji-a	1	1	1	1	1	0
V7	Tr-ch	1	1	1	1	1	0
V8	Ps-m	1	1	0	0	0	0
VI	Pe-e, Pe-m	1	1	0	0	0	0

Tabla 5-12: Categorías de susceptibilidad para la pendiente

CÓDIGO	UNIDAD	RECLASIFICACIÓN DE GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD					
		tipo 1	tipo 2	tipo 3	tipo 4	tipo 5	tipo 6
1	0-5°	2	1	5	1	1	2
2	5-10°	2	2	2	2	1	1
3	10-15°	2	2	2	2	2	2
4	15-25°	2	2	1	2	2	1
5	25-35°	2	2	1	2	2	1
6	35-45°	2	2	2	2	2	1
7	45-90°	3	1	2	3	1	0

Tabla 5-13: Categorías de susceptibilidad para la cobertura vegetal

CÓDIGO	UNIDAD	RECLASIFICACIÓN DE GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD					
		tipo 1	tipo 2	tipo 3	tipo 4	tipo 5	tipo 6
1	Cul	1	4	4	4	4	4
2	Pz	4	2	4	4	4	1
3	Bs	1	2	1	1	0	0
4	Ad	5	1	1	1	0	5
5	Zu	1	1	0	0	0	1

Tabla 5-14: Categorías de susceptibilidad para la geomorfología

CODIGO	UNIDAD	RECLASIFICACIÓN DE GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD					
		tipo 1	tipo 2	tipo 3	tipo 4	tipo 5	tipo 6
1	Col	1	1	0	1	0	0
2	Ms	1	1	0	1	1	1
3	Vd	1	2	0	1	1	4
4	Kr	1	0	0	1	0	0
5	Me	1	1	1	1	1	1
7	Ta	1	1	0	0	0	0
8	Ap	1	0	5	1	0	0
10	Es	2	1	0	1	1	1
11	Ad	2	1	1	1	1	0
12	Dpa	1	0	0	1	0	0
13	Pi	1	3	0	1	0	0
14	Vr	0	0	0	0	5	0

Obtenidos estas categorías de susceptibilidad, según el tipo de peligro y el tipo de cobertura analizada, es necesario crear seis capas raster de cada uno de los mapas de factores intrínsecos (litología, pendiente, cobertura vegetal y geomorfología) ya rasterizados, a los cuales se le ingresar 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 sus valores de susceptibilidad a las caída, etc. Como nuestras capas de entrada en el análisis son 4 y el número de movimientos en masa utilizados son 6, obtenemos un total de 24 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 nuestro mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa (Tabla 5-15).

Tabla 5-15: Capas raster creadas para asignar los grados de susceptibilidad

COBERTURA / TIPO DE MOVIMIENTO	PENDIENTE	LITOLOGÍA	GEOMORFOLOGÍA	COBERTURA VEGETAL
Deslizamientos	pendes_ras1	geodes-ras	morfodes_ras	vegedes_ras
Caídas	pencai-ras	geocai_ras	morfocai_ras	vegecai_ras
Flujos	penflu_ras	geoflu_ras	morfoflu_ras	vegeflu_ras
Erosión	penero_ras	geoero_ras	morfoero_ras	vegeero1_ras
Movimientos complejos	pencomp_ras	geocomp_ras	morfocomp_ras	vegecomp1_ras
Repatación de suelos	penrep_ras	georep_ras	morforep_ras	vegerep1_ras

Cada una de estas 24 capas es reclasificada en el ARCGIS introduciéndole sus valores de susceptibilidad utilizando la herramienta SPATIAL ANALYST. 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 una de las capas analizadas con relación a cada uno de los movimientos en masa. Así se obtuvieron las siguientes capas reclasificadas (Tabla 5-16).

Tabla 5-16: Capas raster reclasificadas

COBERTURA / TIPO DE MOVIMIENTO	PENDIENTE	LITOLOGÍA	GEOMORFOLOGÍA	COBERTURA VEGETAL
Deslizamientos	pendes1_rec	geodes-rec	morfodes_rec	vegedes_rec
Caídas	pencai-rec	geocai_rec	morfocai_rec	vegecai_rec
Flujos	penflu_rec	geoflu_rec	morfoflu_rec	vegeflu_rec
Erosión	penero_rec	geoero_rec	morfoero_rec	vegeero1_rec
Movimientos complejos	pencom_rec	geocom_rec	morfocom_rec	vegecom1_rec
Repatación de suelos	penrep_rec	georep_rec	morforep_rec	vegerep1_rec

Paso 4: Obtención de los mapas de susceptibilidad total del terreno

Una vez concluido el análisis estadístico bivariado, 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 (Mapa 6), esto se realiza mediante la suma de capas raster a través de las funciones del análisis espacial SPATIAL ANALYST, utilizando la calculadora raster RASTER CALCULATOR.

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

- pendes_rec + geodes_rec+ morfodes_rec + vegetes_rec = **suscep_des** (susceptibilidad de los terrenos a los deslizamientos)
- pencai_rec + geocai _rec + morfocai_rec + vegecai_rec = **suscep_cai** (susceptibilidad de los terrenos a las caídas)
- penflu_rec + geoflu _rec + morfoflu_rec + vegeflu_rec = **suscep_flu** (susceptibilidad de los terrenos a los flujos d detritos)
- penero_rec + geoero _rec + morfoero_rec + vegeero_rec = **suscep_ero** (susceptibilidad de los terrenos a los procesos de erosión en masas)
- pencom_rec + geocom _rec + morfocom_rec + vegecom_rec = **sucep_com** (susceptibilidad de los terrenos a los movimientos complejos)
- penrep_rec + georep _rec + morforep_rec + vegerep_rec = **suscep_rep** (susceptibilidad de los terrenos a la reptación de suelos)

De esta forma se han obtenido 6 nuevas capas raster que representan la susceptibilidad del terreno a cada uno de los movimientos en masa (anexo B). 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 media, el 2 e baja y el 4 es alta susceptibilidad.

Por último, el mapa de susceptibilidad total a los movimientos en masa (**sus_final**), se obtiene sumando en el calculador raster los seis mapas de susceptibilidad obtenidos para cada tipo de peligro, este mapa final (Mapa 6), nos indica las zonas donde sus características intrínsecas las hacen propensas a la ocurrencia de los seis tipos de movimientos en masa, teniendo en cuenta los cuatro factores intrínsecos del terreno evaluados, de igual manera, este mapa tiene que ser reclasificado nuevamente en 5 categorías de susceptibilidad y así como también serán coloreados para diferenciar los grados de susceptibilidad.

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

suscep_des + suscep_cai + suscep_flu + suscep_ero + sucep_com + suscep_rep = **sus_final**

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

MUY BAJA SUSCEPTIBILIDAD:

Estas áreas presentan, por lo general una topografía, plana hasta inclinada con pendientes que pueden alcanzar los 20º, se tienen depósito de material consolidado y no consolidado, el substrato rocoso constituido por rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, lodolitas y calizas) y metamórficas, 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 puedan producir.

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

BAJA SUSCETIBILIDAD

Estas áreas presentan también una topografía plana a inclinada, con pendientes que pueden alcanzar los 25º se tienen depósitos de materiales superficiales consolidados y no consolidados, el substrato esta constituido por rocas sedimentarias (areniscas, lidolitas, conglomerados y calizas), 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 la susceptibilidad. Se incluyen a las zonas de montañas, montañas estructurales, karts y colinas.

Dentro de esta zona también se consideran pendientes superiores a los 45º, donde por ser muy inclinado, la cobertura de suelos es escasa, pudiéndose producir derrumbes o caídas de rocas, controlados por el fracturamiento de la roca y detonado por sismos y precipitaciones pluviales.

Algunas zonas son relativamente inestables, cuando se modifican el estado natural de las laderas para la construcción de carretera, pudiéndose generar caídas de rocas locales desde taludes de corte, muchas de estas zonas consideradas como de baja susceptibilidad, específicamente a lo largo del valle del río Utcubamba, pueden resultar afectadas por flujos de detritos que se generan en las partes altas de quebradas y se depositan en zonas bajas o las desembocaduras de estos afluentes en el valle principal.

MODERADA SUSCEPTIBILIDAD

Estás áreas presentan pendientes bajas a medias (hasta 25º), el substrato esta conformado por materiales inconsolidados (Formación Inguilpata), rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, lodolitas, limolitas y calizas), que se presentan fracturadas y alteradas, dentro de esta zona se pueden general 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 areniscas, conglomerados y limolitas poco consolidadas, que ofrecen poca resistencia a la erosión.

Se incluye dentro de esta zona a la unidades geomorfológicas de montañas, planicies inclinadas y karts, las cuales se encuentran cubiertas por vegetación de tipo pastizales 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 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.

ALTA SUSCEPTIBILIDAD

Estas áreas comprenden topografías con pendientes de medias a altas (20º a 35º), se encuentran ocupando las laderas de montañas, se tienen depósitos de material superficial inconsolidado, que forman suelos limo-arcillos y arenos-limoso con contenidos de grava, constituyen vertientes de detritos y planicies inclinadas. El análisis de susceptibilidad 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 los considerados como materiales superficiales poco o nada consolidados y blandos.

Estas áreas son poco estables y susceptibles a los movimientos en masa (deslizamientos, caídas de rocas, derrumbes, movimientos complejos, flujos de lodo, huaycos y procesos de erosión de laderas), la susceptibilidad de esta zona aumenta por la perdida de la cobertura vegetal cuando se realiza la tala de bosques para aprovechamiento del suelo como terrenos de cultivo, además se encuentra una gran cantidad de derrumbes y deslizamientos a lo largo de taludes de corte de carretera que desestabilizan las laderas.

MUY ALTA SUSCEPTIBILIDAD

Estas áreas se presentan en un rango de pendientes que va de bajas a muy fuertes (5º hasta 45º), se tienen materiales inconsolidados, dispuestos a manera de depósitos de vertientes y planicie inclinada, 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, con la presencia de islas de bosques de eucalipto, sembrados para reforestar y poder darle estabilidad a los terrenos, la cobertura vegetal primaria fue totalmente deforestada.

Dentro de esta zona se producen los movimientos en masa (deslizamientos, caídas, reptación de suelos y movimientos complejos) y procesos de erosión de laderas (que pueden generar flujos de detritos) que mas daño causan en la zona estudiada.

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

Los alrededores de la ciudad de Chachapoyas han sido calificados como zonas de muy alta susceptibilidad a los movimientos en masa, esto obedece a la presencia de materiales poco cementados, conformados por arenas, limos gravas 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 a la ciudad y terrenos de cultivo, es necesario que las autoridades tengan en cuenta que la realización de todo tipo de proyecto dentro de esta zona, necesita de estudios geotécnicos complementarios, que ayuden a determinar los tipos de obras mas adecuados para la zona, así como para la construcción de obras que ayuden a controlar los fenómenos.

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 9.1, se obtuvo como resultado el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa de las áreas de Chachapoyas y Luya, a partir de este mapa se puede establecer que el 28,74 % del territorio comprendido en la zona estudiada presenta muy baja susceptibilidad, el 53.99 % baja susceptibilidad, el 9,23 % moderada susceptibilidad, el 6,61 % alta susceptibilidad y solo un 1,42 % presenta muy alta susceptibilidad (figura 5-3).

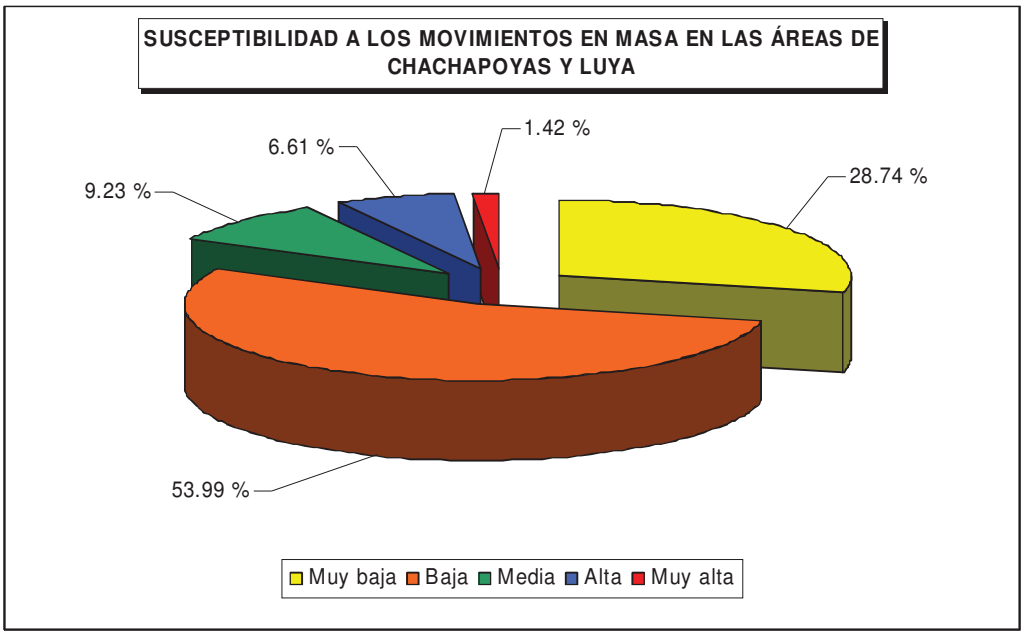


Figura 5-3: Distribución de la susceptibilidad a los movimientos en masa en las áreas de Chachapoyas y Luya.

Como medio de verificar el análisis de susceptibilidad se puede hacer una comparación espacial eligiendo un área con parámetros similares (por ejemplo de similar litología, pendientes, vegetación, geomorfología) 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.

Por lo general las áreas 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 representan características que las hacen potencialmente inestables (Hermanns 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 mas precisas a medida que se utilice en el análisis los mapas de factores lo mas detallados y exactos posibles.

CAPITULO 6

ANÁLISIS DE ZONAS CRÍTICAS

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), a través de su Dirección de Geología Ambiental, viene ejecutando desde el año 2000 trabajos de inventario y cartografiado de Peligros Geológicos a nivel nacional, de los cuales ya se han publicado los estudios denominados "Riesgo Geológico en Las Franjas 1, 2, 3 y 4, franjas que comprenden cada 2º de latitud sur, se han realizados también estudios a nivel de cuencas, de los cuales se encuentran publicados "Los Estudios Geoambientales de las cuencas de los ríos Chira-Catamayo, Puyango-Tumbes, Ramis, Chancay-Lambayeque y Jequetepeque", "El Estudio de Riesgo Geológico en la Región Huánuco" y en proceso de publicación se tienen "Los Estudios de Riesgo Geológico en las Regiones Ancash y Ucayali", por último se tienen en elaboración el "Estudio Geoambiental de la Cuenca del Río Huaura" y "Los Estudios de Riesgo Geológico en las Regiones San Martín, Cajamarca y Amazonas", siendo esta última región en donde se encuentra la zona seleccionada para nuestro estudio; cubriendo aproximadamente hasta la actualidad el 75% del territorio Peruano (ámbito de las regiones de Tacna, Moquegua, Puno, Arequipa, Cusco, Apurímac, Huancavelica, Ayacucho, Madre de Dios, Ica, Lima, Junín, Huánuco, Pasco, Cajamarca, Ucayali, San Martín, Amazonas, parte de Piura, Tumbes La Libertar y Lambayeque).

Continuando con estos trabajos de gran importancia para el conocimiento del medio físico en prevención de desastres y ordenamiento territorial del país, se consideró realizar el trabajo de tesis titulado "Evaluación de la Susceptibilidad a los Movimientos en Masa en las Áreas de Chachapoyas y Luya", dentro del cual se encuentran enfocados el inventario y cartografiado sistemático de Peligros Geológicos, identificando las ocurrencias de movimientos en masa (derrumbes, deslizamientos, huaycos, reptación de suelos y movimientos complejos, así como también zonas afectadas por procesos de erosión de laderas), evaluación de centros poblados y obras de infraestructura vulnerables a los peligros geológicos y la identificación de zonas críticas.

En el presente capítulo se describen las zonas o áreas consideradas como críticas, con peligros potenciales. Muchos de estos peligros con recurrencia excepcional, los cuales pueden presentarse durante eventos de precipitaciones pluviales excepcionales, haciéndose necesario considerarlas dentro de los planes o políticas regionales sobre prevención y atención de desastres.

Las zonas críticas, han sido determinadas en base a la presencia de movimientos en masa y los niveles de daños causados o probables. Esta información fue obtenida por medio de informes, artículos periodísticos, relatos orales de los mismos pobladores, las observaciones de campo en cuanto a las características geológicas-geodinámicas del área y el criterio del geólogo que realizó los trabajos.

La Base de datos GEOEXDAT preparada por INGEMMET en 1996 con ayuda de información de estudios técnicos, tesis, información del ministerio de transportes y comunicaciones, reportes periodísticos, etc., contaba con 72 ocurrencias de peligros geológicos y geohidrológicos (inundaciones y erosión fluvial) para toda la región Amazonas.

Por otro lado los reportes elaborados por el Instituto Nacional de Defensa Civil del Perú (INDECI) dan cuenta de 60 sectores afectados por peligros geológicos y geo-hidrológicos, entre los años 1997 y 2002. Para nuestra zona de estudio del total de 132 eventos identificados en la región Amazonas, se tenían reportados para las provincias de Chachapoyas y Luya solo 33 ocurrencias de peligros geológicos.

Durante los trabajos de campo se ha identificado 799 ocurrencias puntuales, mediante el cartografiado de peligros geológicos a escala 1:25 000, habiéndose tenido previamente un trabajo de interpretación de fotos aéreas para toda el área, así como también de imágenes satelitales Lansat.

Las ocurrencias de movimientos en masa inventariados en el área, indica una mayor frecuencia de caídas con 286 ocurrencias, procesos de erosión de suelos, tomados en forma individual y no por zonas con 274 ocurrencias, le siguen los deslizamientos con

155 ocurrencias, los flujos con 57, movimientos complejos con 21 y por último 6 zonas afectadas con procesos de reptación de suelos (Figura 6-1).

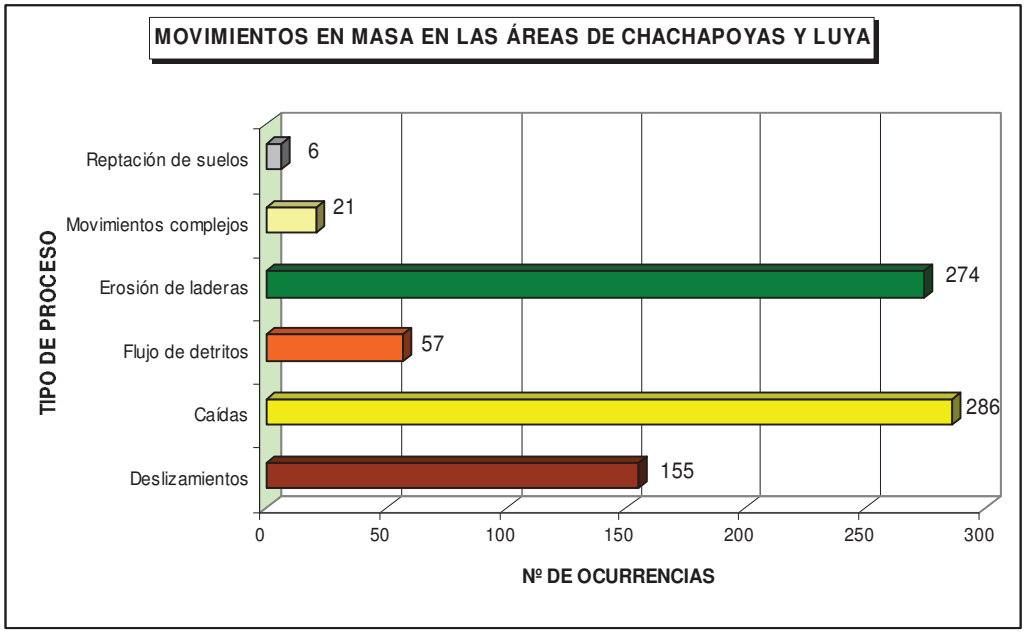


Figura 6-1: Numero de ocurrencias de movimientos en masa según tipo.

La identificación de zonas críticas se llevó acabo mediante el uso de "Ficha o Formato de Inventario de Zonas Críticas", elaborada por la Dirección de Geología Ambiental del INGEMMET, dicha ficha cuenta con varios ítems o campos donde se referencia la ubicación de la zona, su geomorfología, tipos de peligros presentes y su descripción, los daños que ocasionan, la calificación que se le otorga por el grado de peligro y vulnerabilidad, se pueden hacer observaciones y colocar algunas recomendaciones.

En estas zonas críticas se resalta las áreas o lugares, que luego del análisis del peligro geológico identificado, la vulnerabilidad a la que están expuestas (infraestructura y centros poblados) por estos movimientos de ladera, se consideran con peligro potencial de generar desastres, y que necesitan que se realicen obras de prevención y/o mitigación.

A continuación se presenta una breve descripción de cada una de las zonas críticas identificadas durante los trabajos de campo (Mapa 7), en las que se señala:

- Los principales sectores encontrados o Áreas críticas, donde se indica el paraje o lugar, distrito, coordenadas así como un código de inventario.

- Se describen los peligros geológicos de movimientos en masa identificados, o peligros futuros.

- La vulnerabilidad y/o daños ocasionados a centros poblados (viviendas) e infraestructura (carreteras, etc.), ocasionados o probables.

- Recomendaciones y algunas observaciones para cada sector identificado y evaluado. En algunos casos existen medidas adoptadas que es necesario ampliar o mejorar.

- Se incluyen algunas fotografías que ilustran estas zonas críticas identificadas.

ZC-01: Sector sur de Chachapoyas

Ubicado en las coordenadas UTM 9309330 N y 182254 E, distrito de Chachapoyas, en la zona se presenta la ocurrencia de procesos de reptación de suelos, deslizamientos, flujos de detritos y erosión de laderas, que comprometen tanto edificaciones, como tramos de la carretera asfaltada que da acceso a la Localidad de Chachapoyas (Foto 6-1).

Zona crítica localizada en áreas de susceptibilidad alta a muy alta, determinada en el análisis de susceptibilidad.

Se recomienda en lo posible, no construir viviendas en la zona, especialmente de material noble; controlar los deslizamientos en la carretera con la construcción de muros de contención; colocar drenes para reducir el agua en la zona.

Foto Nº 6-1: Deslizamiento que compromete carretera de acceso a Chachapoyas.

ZC-02: Quebrada Santa Lucía

Ubicado en el distrito de Chachapoyas, en las coordenadas 9311444 N y 181632 S, con presencia de deslizamientos, derrumbes y procesos de reptación de suelos, los cuales producen la pérdida de suelos, significando un aporte de material suelto a la quebrada Santa Lucía. Este material suelto podría ser movilizado por efectos de lluvias intensas y generar flujos de detritos que pueden afectar viviendas ubicadas aguas abajo (Foto 6-2). Este sector se encuentra ubicado dentro de una zona de alta muy alta susceptibilidad determinado en el análisis de susceptibilidad.

Foto 6-2: Erosión de laderas intensa, formación de cárcavas, deslizamientos y derrumbes en márgenes de cárcava, norte de Chachapoyas.

Se recomienda realizar trabajos de reforestación en la zona, así como adoptar medidas correctivas contra la erosión de laderas, por medio de trinchos de maderas o muros de roca transversales en las zonas de cárcavas y surcos.

ZC-03: Inguilpata-Lonya Chico

En la parte media de estos dos distritos, en las coordenadas 9309976 N y 173273 S, se presenta una zona con erosión intensa a manera de cárcavas, que ha ocasionado la pérdida de suelos (Foto 6-3). Este punto se encuentra ubicado dentro de una zona de alta susceptibilidad.

En la zona se han realizado trabajos de reforestación por medio de la siembra de árboles de pino. Siendo necesario continuar estos trabajos, así como también se debe de colocar medidas correctivas contra la erosión de laderas dentro de los surcos y cárcavas.

Foto 6-3: Cárcava que formada entre los distritos de Lonya Chico e Inguilpata.

ZC-04: Carretera a Chachapoyas

Tramo de la carretera Pedro Ruiz-Chachapoyas ubicado en el distrito de Huancas, en las coordenadas 9320180 N y 178784 S, se producen deslizamientos, movimientos complejos y flujos de detritos, que pueden afectar un tramo de 900 m por sectores (Foto 6-4). Este punto se encuentra dentro de una zona de moderada a alta susceptibilidad.

Se recomienda realizar trabajos de reforestación en las laderas superiores, así como la construcción de badenes en la carretera en los sectores por donde discurren los flujos de detritos.

Foto 6-4: Material del cuerpo de un movimiento complejo disectado por cárcava por donde discurren flujos.

ZC-05: Central Hidroeléctrica de Caclic

Ubicado en el distrito de Luya, a la margen izquierda del río Utcubamba, en las coordenadas 9315162 N y 178230 S, construida para aprovechar la fuerza hidráulica que produce la caída del agua desde los acantilados de esta margen, que alcanza alturas de hasta 400 m con respecto al nivel del río (Foto 6-5).

Es posible observar que en esta zona se ha producido uno de los derrumbes mas grandes del área estudiada, el cual movilizo un gran volumen de roca y entre sus efectos produjo el cierre del valle del río, se considera que este movimiento estuvo controlado por el fracturamiento de las rocas (Foto 6-6).

La central hidroeléctrica se encuentra ubicada muy próxima a este derrumbe, debajo de un farallón, que presenta las mismas familias de fracturas que dieron origen al derrumbe anteriormente descrito.

Este punto se encuentra dentro de una zona de moderada a alta susceptibilidad.

A nivel del afloramiento se ha realizado una estación de campo en la que se ha obtenido datos geomecánicos de las familias de fracturas o juntas observadas, este punto se ubico en un sector del acantilado, donde fue posible la toma de datos.

Las coordenadas de la estación geomecánica son: 9314349 N y 178119 S.

El acantilado esta conformado por capas de areniscas en bancos gruesos de hasta 3 de potencia interestratificadas con limoarcillitas de coloración gris-verdosas con potencias de 1 m, estas rocas pertenecen al Grupo Goyllarisquizga, las juntas presentan caras rugosas y aberturas de 1-5 mm.

Se utilizo el software **Dips** para procesar los datos de buzamiento y dirección de buzamiento tomados en campo y obtener las familias principales de fracturas presentes en el acantilado, este análisis nos arrojo las siguientes cuatro familias (Tabla 6-1):

Tabla 6-1: Principales familias de juntas detectadas en la estación geomecánica de campo.

Junta	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO
J1	16	259
J2	78	50
J3	74	185
J4	61	125

La figura 6-2 presenta el estereograma para esta estación geomecánica, donde se puede apreciar estas cuatro familias de juntas, la figura 6-3 muestra el mismo estereograma al cual se le ha incluido el acantilado, que presenta una dirección de buzamiento aproximado de 71º y un buzamiento promedio de 70º en los sectores más inclinados.

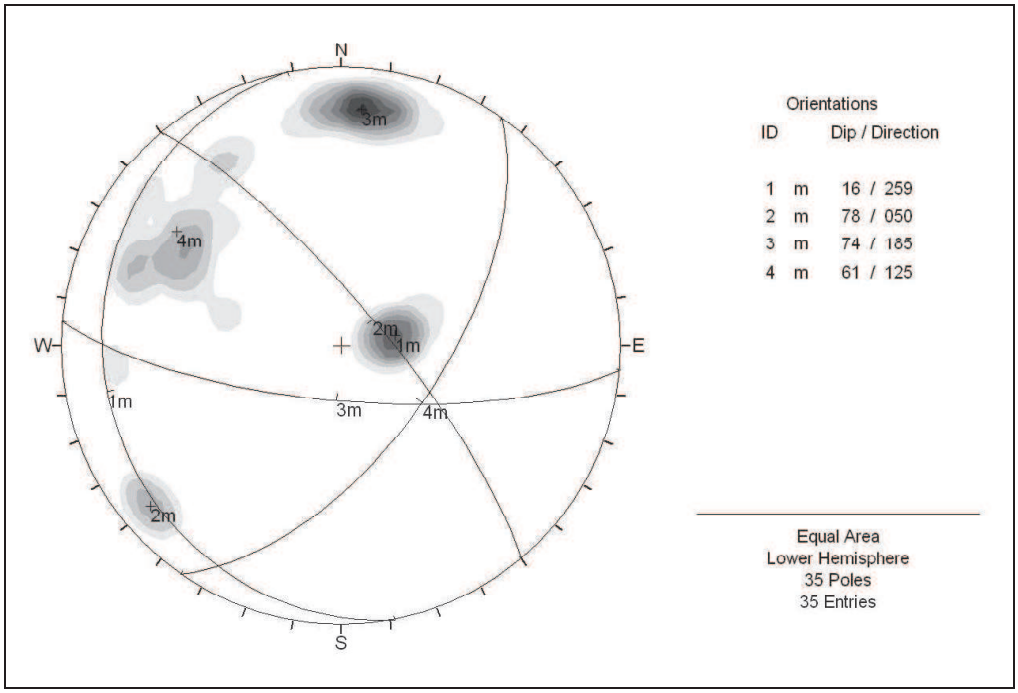


Figura 6-2: Estreograma donde se aprecian las principales familias de juntas.

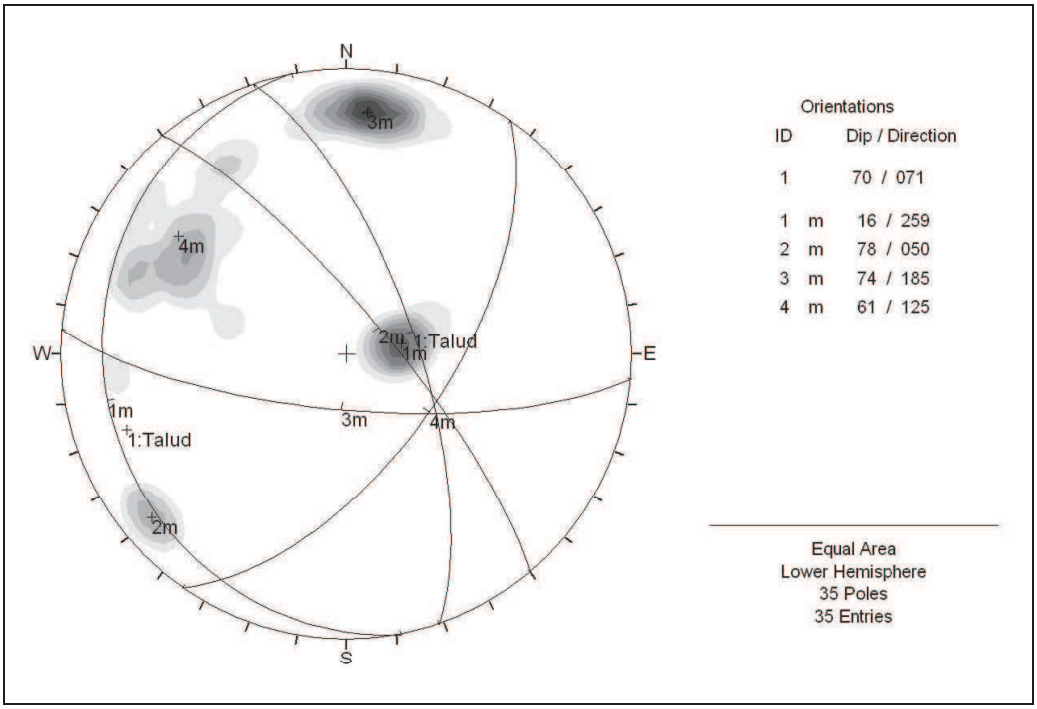


Figura 6-3: Estreograma donde se ha incluido el talud o acantilado.

Al observar las condiciones geométricas y cinemáticas en el estereograma, se pude determinar que el tipo de rotura que produjo la caída del material desde el acantilado fue controlado por la formación de dos cuñas, una formada entre las familias 2-4 y otro entre las familias 2-3, así como también se pudo haber producido vuelcos en la familia 1, esto aunado a la presencia de agua que debilito y produjo fuerzas de empuje dentro de las juntas del macizo rocoso, produjo la caída del material.

Sin embargo se tiene que tener muy presente, que actualmente la central hidroeléctrica de Caclic se encuentra debajo de un talud que presenta las mismas características que el anterior, donde también se puede producir la caída de material desde la parte alta, el cual comprometería la seguridad física de la central hidroheléctrica.

Foto 6-5: Vista Panorámica de la ubicación de la C.C.H.H de Caclic.

Foto 6-6: Derrumbe de gran magnitud ubicado en la margen izquierda del río Utcubamba, muy cerca de la C.C.H.H. de Caclic.

ZC-06: Quebrada Villacorta

Ubicado en el distrito de Chachapoyas, en las coordenadas 9313456N y 178890 S. Por esta quebrada discurren flujos de detritos (huaycos), formados en la cabecera de la quebrada por la ocurrencia de derrumbes hacia sus márgenes. Los mayores efectos se presentan en la carretera de acceso a la ciudad de Chacapoyas, donde la caída de un flujo puede interrumpir el transito (Foto 6-7). También pueden resultar comprometidas, la presa derivadora y los desarenadotes de la central hidroeléctrica de Caclic.

La desembocadura de la quebrada se ubica en una zona de baja susceptibilidad, sin embargo, sus nacientes están en una zona de moderada susceptibilidad, siendo necesario, por extensión, considerar la susceptibilidad más alta en la desembocadura.

Se recomienda, de forma general, realizar trabajos de reforestación el las cabeceras de la microcuenca, construcción de badén en la carretera y evitar la construcción de viviendas cerca del cauce de la quebrada.

Foto 6-7: Quebrada Villacorta, vista del flujo de detritos (huayco) caído el día 28 de octubre del 2007.

ZC-07: Quebrada Loropaccha

Ubicada en el distrito de Chachapoyas, en las coordenadas 9312619 N y 178660 S, en esta se producen huaycos, que pueden afectar un tramo de la carretera de acceso a la

ciudad de Chachapoyas (Foto 6-8). En las cabeceras de la cuenca, se producen derrumbes y procesos de erosión de laderas. Las nacientes de la quebrada se ubican en una zona de moderada susceptibilidad, siendo necesario considerar la parte baja de la microcuenca de igual valor.

Se recomienda realizar trabajos de reforestación el las cabeceras de la microcuenca, construcción de badén en la carretera y evitar la construcción de viviendas cerca del cauce de la quebrada.

Foto 6-8: Vista de la quebrada Loropaccha, en el preciso momento que se produce la caída de un flujo de detritos que corto el transito por aproximadamente 2 horas, el día 28 de octubre del 2007.

ZC-08: El Cruce-carretera a Chachapoyas

Ubicado en el distrito de Chachapoyas, en las coordenadas 9310537 N y 177899 S. Tramo de carretera trazado, en el cuerpo de un deslizamiento-flujo antiguo de gran magnitud. En la actualidad se producen derrumbes en los taludes de corte, así como también deslizamientos (Foto 6-9). El tramo de carretera afectado alcanza una longitud de 3,5 km aproximadamente (5 desarrollos). Este tramo se encuentra dentro de una zona de moderada a alta susceptibilidad.

Se recomienda realizar trabajos de reforestación, limpieza de taludes que presenten bloques inestables y la construcción de muros de contención.

Foto 6-9: Vista del talud superior de la carretera de acceso a la ciudad de Chachapoyas, en donde se observa el material muy fracturado, se producen derrumbes.

ZC-09: Quebrada Ayatacsan

Ubicado en el distrito de Colcamar, en las coordenadas 9304017 N y 174840 S. Afluente por la margen izquierda al río Utcubamba. Por la quebrada discurren flujos de detritos que han formado un gran abanico en la desembocadura. Flujos alimentados con el material suelto que proviene de los numerosos derrumbes y deslizamiento presentes en ambas márgenes de la quebrada. Puede afectar la única carretera de acceso al distrito de Colcamar (Foto 6-10). Se recomienda realizar trabajos de reforestación en las laderas superiores de la quebrada.

Foto 6-10: Quebrada Ayatacsan, por donde discurren flujos de detritos que comprometen tramo de la carretera de acceso al distrito de Colcamar.

ZC-10: Quebrada Achamachi

Ubicada en el distrito de Chachapoyas en las coordenadas 9309764 N y 177270 S. Quebrada afluente del río Utcubamba, por su margen derecha, por esta discurren flujos de detritos que pueden comprometer la seguridad física de la carretera que conduce hacia el distrito de Leimeamba (Foto 6-11). En las cabeceras de la quebrada se producen procesos de erosión de laderas, deslizamiento y derrumbes; que alimentan a los flujos.

Se recomienda realizar trabajos de limpieza del cauce de la quebrada y la reforestación de las cabeceras.

Foto 6-11: Cauce de la quebrada Achamachi por donde discurren flujos de detritos.

Zc-11: Quebrada Pencapampa

Ubicada en el distrito de Chachapoyas en las coordenadas 9308537 N – 176338 S. Afluente del río Utcubamba por su margen derecha, donde discurren flujos de detritos, que pueden comprometer tramos de la carretera que conduce hacia el distrito de Leimebamba. La cabecera de la quebrada se ubica en zonas de moderada a alta susceptibilidad y se producen deslizamientos que aportan material suelto, los cuales pueden ser acarreados a manera de flujo en periodos de lluvia excepcional.

Se recomienda realizar trabajos de limpieza del cauce de la quebrada y la reforestación de las cabeceras.

ZC-12: Quebrada Quipacancha

Ubicado en el distrito de Chachapoyas, en las coordenadas 9304044 N y 175189 S, afluente del río Utcubamba por su margen derecha. Por esta discurren flujos de detritos que comprometen un tramo de la carretera que conduce hacia el distrito de Leimebamba (Foto 6-12). Así como a las viviendas del poblado de San Isidro, ubicadas cerca del cauce. En las cabeceras de la quebrada se producen deslizamientos que pueden alimentar a los flujos.

Se recomienda realizar trabajos de limpieza del cauce de la quebrada y la reforestación de las cabeceras.

Foto 6-12: Cauce de la quebrada Quipacancha, por donde discurren flujos de detritos, se puede apreciar el material acarreado por la quebrada.

ZC-13: Carretera de acceso a la ciudad de Chachapoyas

Ubicado en el distrito de Chachapoyas, en las coordenadas 9308310 N y 181113 S, tramo de carretera asfaltada, donde se producen deslizamientos y procesos de reptación de suelos. El deslizamiento ha producido el asentamiento de hasta 0,70 m y el desplazamiento de 0,50 m de la carretera. En total el tramo afectado por los diferentes procesos es de unos 500 m por sectores (Foto 6-13). Este tramo se localiza dentro de una zona de alta susceptibilidad.

Se recomienda la construcción de muros de contención para controlar el movimiento del terreno, siendo necesario cimentarlos por debajo del plano de falla, para que tengan real efecto de control y drenar el agua presente en los terrenos.

Foto 6-13: Tramo de carretera que conduce a la ciudad de Chachapoyas desplazado por un deslizamiento.

ZC-14: Cabeceras de la quebrada Yunguilla

Ubicado en los distritos de Lonya Chico e Inguilpata, con coordenadas 9312015 N y 171955 S. En esta zona crítica se producen procesos de erosión de laderas muy intenso a manera de cárcavas y surcos, los cuales han disectado profundamente el terreno (Foto 6-14).

La erosión es producto de la poca resistencia que presenta los terrenos, conformados por arenisca, conglomerado y limonitas de la Formación Inguilpata, que presenta poca consolidación.

Esta área se ubica en una zona de baja a alta susceptibilidad, presentando derrumbes y deslizamiento hacia la cara libre de las cárcavas por el avance retrogresivo de las mismas. Se recomienda realizar trabajos intensos de reforestación de las laderas.

Foto 6-14: Cabeceras de la quebrada Yunguilla, afectada por procesos de erosión de ladera intensa, formación de deslizamientos (A) y derrumbes hacia ambas márgenes de quebrada.

ZC-15: Carretera de acceso a la ciudad de Chachapoyas

Tramo de la carretera que da acceso al distrito de Chachapoyas, desde el distrito de Pedro Ruiz, ubicado en el distrito de Huancas, en las coordenadas 9316629 N y 178116 S. Esta área fue afectada por movimientos complejos y actualmente por caída de rocas (Foto 6-15). Sector ubicado en una zona de alta a muy alta susceptibilidad, compromete un tramo de carretera de unos 500 m. Es necesario realizar trabajos de reforestación de las laderas superiores y limpieza de bloques sueltos en los taludes superiores de la carretera.

Foto 6-15: Vista donde es posible observar los bloques y material removido por un gran movimiento complejo, actualmente la carretera que accede al distrito de Chachapoyas cruza esta zona.

ZC-16: Carretera de acceso la ciudad de Chachapoyas

Tramo ubicado en el distrito de Huancas, en las coordenadas 9314757 N y 178424 S, constituye un tramo de la carretera que da acceso al distrito de Chachapoyas. Se localizan deslizamientos, que pueden comprometer la seguridad física de la carretera (Foto 6-16).

En la actualidad, está comprometido un tramo de 600 m por sectores, localizado dentro de una zona de alta a muy alta susceptibilidad.

Es necesario realizar trabajos de reforestación en las laderas superiores y tener especial cuidado en los trabajos de corte de taludes que se realicen en la carretera, ya que se puede desestabilizar el cuerpo del deslizamiento.

Foto 6-16: Vista panorámica de la carretera de acceso a Chachapoyas, afectada por derrumbes y deslizamientos en el talud superior.

ZC-17: Quebrada Jatunsaccha

Ubicado en el distrito de Chachapoyas, en las coordenadas 9312216 N y 178555 S. Quebrada afluente del río Utcubamba por su margen derecha, donde discurren flujos de detritos, forma un amplio abanico en su desembocadura. Este depósito es atravesado por la carretera que da acceso a la ciudad de Chachapoyas (Foto 6-17).

En las cabeceras de esta quebrada así como en las márgenes de sus tributarios se producen procesos de reptación de suelos, derrumbes y erosión de laderas a manera de cárcavas. Estos pueden genera flujos de detritos, que comprometería seriamente la seguridad física de la carretera, vehículos y personas que transitan por la zona.

Las cabeceras de esta quebrada se localizan en una zona de moderada susceptibilidad. Es necesario realizar trabajos de reforestación en las cabeceras de la quebrada.

Foto 6-17: Vista panorámica de la quebrada Jatunsaccha, por donde discurrir flujos de detritos que pueden cortar el acceso a la ciudad de Chachapoyas.

ZC-18: Quebrada Salaverry

Ubicado en el distrito de Chachapoyas, en las coordenadas 9305682 N y 174650 S, quebrada afluente por la margen derecha del río Utcubamba. Por ella discurren flujos de detritos, que pueden comprometer la seguridad física de la carretera, vehículos y viviendas del poblado San Isidro-El Cañaveral, que se ubica cerca del cauce de la quebrada (Foto 6-18).

En las cabeceras se produce derrumbes en las márgenes de los tributarios de la quebrada, que aporta material suelto susceptible de ser acarreado como flujos de detritos.

Es necesario realizar trabajos de reforestación en las cabeceras de la quebrada, trabajos de limpieza y encauzamiento de la quebrada, evitar y prohibir la construcción de viviendas cerca y en el cauce mismo de la quebrada.

Foto 6-18: Quebrada Salaverry, obsérvese el material acarreado por el último flujo de detritos discurrido por la quebrada y la proximidad de viviendas al cauce de la quebrada.

CAPITULO 7

DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Por la información obtenida durante nuestra investigación, tomamos conocimiento que la aplicación del método bivariante no solo es una, sino que existen varios procedimientos de empleo, sin embargo todas utilizan la densidad de movimientos en masa presentes en cada una de las unidades cartográficas de terreno diferenciadas en los mapas de parámetros condicionantes de la inestabilidad utilizados en el análisis de la susceptibilidad, esta densidad de movimientos en masa puede estar representado por el porcentaje del área que ocupa los movimientos en masa o por el número de píxeles que lo conforman, de igual manera existen varias formulas que se aplican para hallar el valor de pesos de cada una de las unidades cartográficas de terreno.

Para nuestro caso, la aplicación del método bivariante, se uso de los porcentajes de área con movimientos en masa con relación al porcentaje del área total de cada unidad cartográfica de terreno. Esta fue determinada en cada uno de los mapas de parámetros, con lo cual se obtuvo los pesos ponderados, que nos permitió elaborar un mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa. Este diferirá, con otros mapas de susceptibilidad de la misma zona realizados con otros métodos. Somos concientes que la exactitud del mapa de susceptibilidad depende de la calidad de los mapas de parámetros utilizados en el análisis. Los mapas de parámetros, deben ser mucho más detallados según la escala se vaya haciendo más grande, para obtener una diferenciación más real de la susceptibilidad. Sin duda es en esta etapa, de elaboración de los mapas de parámetros condicionantes, donde esta presente el factor de subjetividad, por las decisiones que toman los expertos cuando elaboran estos mapas.

Para las áreas de Chachapoyas y Luya se han incluido cuatro parámetros en el análisis y su división en cierto número de clases. Esta selección de parámetros condicionantes es arbitraria y se basa en el conocimiento de los expertos, que determinan el grado de influencia en el movimiento en masa, tanto en las metodologías heurísticas, como en las estadísticas. La inclusión de parámetros bien relacionados a los movimientos en masa puede mejorar el grado de coincidencia con la ocurrencia de movimientos en masa.

Se espera normalmente obtener cuando se utiliza el método bivariante, un mapa donde el mayor número de movimientos en masa coincida con las zonas de alta susceptibilidad, el mapa de susceptibilidad obtenido con el método bivariante para las áreas de Chachapoyas y Luya, presenta una coincidencia del 80 %, entre el inventario de movimientos en masas y las zonas de alta y muy alta susceptibilidad, puesto que existen movimientos en masa, aunque en menor proporción, en zonas de media y baja susceptibilidad. Sin duda esta coincidencia parcial puede deberse a la combinación de mapas de susceptibilidad obtenidos para cada uno de los diferentes movimientos en masa, ya que por ejemplo, una determinada área puede ser muy susceptible a la ocurrencia de deslizamientos, aquí tiene un peso alto y por otro lado es poco susceptible a la ocurrencia de flujos, en este caso su peso en bajo; al ser sumados estas capas se produce un efecto de reducción del grado de susceptibilidad, es por eso que consideramos que es necesario tener siempre presente el mapa de inventario de movimientos en masa, para tener bien en claro la susceptibilidad de un área y de los movimientos en masa que se encuentran dentro de ella.

Se espera obtener una buena correlación entre los movimientos en masa que se puedan producir y nuestro mapa final de susceptibilidad a los movimientos en masa. Para lo cual es necesario realizar trabajos permanentes de actualización de la base de datos y registro del tipo y la actividad de movimientos en masa ocurridos.

Para mejorar este trabajo sería necesario realizar un análisis de la peligrosidad, sin embargo la falta de datos temporales de ocurrencia de movimientos en masas, de los mecanismos de ruptura, así como a la escasez de información pluviométrica, dificultan esta tarea.

Finalmente, se tiene que mencionar que toda mejora en el detalle de los mapas de parámetros condicionantes, así como la inclusión de más mapas de este tipo, también mejorara la calidad del mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa de las áreas de Chachapoyas y Luya.

Terminado el trabajo de tesis se pueden definir las siguientes conclusiones:

- El procedimiento de análisis de la susceptibilidad a los movimientos en masa utilizando un SIG, se hace más rápido, pues se utiliza datos georeferenciados.

- Los SIG permiten una fácil y muy versátil manipulación de las coberturas temáticas, así como de sus tablas relacionadas, permitiendo realizar tareas diversas, que van desde la digitalización de datos analógicos (mapas en papel), hasta el geoprocesamiento de varias coberturas temáticas.

- El SIG permite la elaboración de un modelo de elevación digital (MDE), del cual se pueden obtener otros factores o parámetros, para nuestro caso se obtuvo el mapa de pendientes, muy importante en el análisis de la susceptibilidad.

- Los SIG permiten una rápida obtención del mapa de pendientes a partir del MDE, así como también rapidez en el análisis y de los cálculos necesarios para la obtención del mapa de susceptibilidad final y de su reclasificación en rangos de susceptibilidad.

- La calidad del MDE, elaborado con el SIG, también influirá en los resultados finales, ya que este está condicionado a su disponibilidad, precisión y resolución, toda imprecisión será arrastrada hasta el final del análisis, en nuestro caso el mapa de pendientes esta elaborado con píxeles de 25 m, con los cuales se clasifican los rangos de pendientes con valores promedio, dentro de estos píxeles quedan cubiertos valores de pendientes que se observan en la realidad, pero que por el tamaño del píxel no es posible su representación y por ende no son considerados en el análisis.

- El uso de los SIG garantiza la reproducibilidad de los resultados, cuando se utilizan los mismos parámetros y la misma metodología en el análisis de la susceptibilidad.

- Se tiene que tener muy en cuenta, que gran parte de tiempo que se utiliza para realizar un análisis de susceptibilidad a movimientos en masa, se pierde o se consume buscando información de los parámetros condicionantes que pueden

influir en la inestabilidad, así como también, si no se cuenta con esta información, hay que elaborarla, o se tiene que encargar su elaboración, siendo recomendable que estos los realicen expertos de cada uno de los parámetros considerados, una vez obtenida esta información (mapas), tiene que ser trasformada a formato digital mediante el uso de un SIG u otro software de digitalización (por ejemplo Autocad), para su procesamiento final en el SIG.

- La calidad de nuestro mapa de susceptibilidad final, depende de la calidad de la información que se utiliza. Ya que hay que tener siempre presente, que el SIG es una herramienta que facilita el análisis, mas no realiza las labores de interpretación del geólogo, tanto en las etapas de levantamiento de información geológica, identificación de movimientos en masa, etc., así como de la interpretación del mapa de susceptibilidad final.

- La rapidez con que se realiza en el SIG el cruce de las diferentes capas temáticas consideradas como parámetros condicionantes de la inestabilidad con el mapa de inventario de movimientos en masa, representa una gran ventaja para la aplicación del método bivariante.

- Se puede obtener del análisis celdas asignadas con valores de susceptibilidad que no les corresponden, esto debido a la combinación de variables para la obtención de mapas de susceptibilidad para cada tipo de movimiento en masa y la posterior combinación de todos los mapas de susceptibilidad según el tipo de movimiento en masa en un mapa de susceptibilidad final.

- El método bivariante, que utiliza el análisis estadístico de densidad de movimientos en masa presentes en cada unidad diferenciada dentro de cada uno de los mapas de parámetros condicionantes, reduce el factor subjetivo que se tiene cuando el experto que realiza el análisis de susceptibilidad adjudica los valores de pesos a las unidades de los mapas de parámetros, de acuerdo a su experiencia y conocimiento de la zona estudiada. El método bivariante, permite también la reproducibilidad del mapa de susceptibilidad.

- Según el alcance y la escala de trabajo semidetallada (1:25 000) utilizada en el estudio, se consideraron como parámetros importantes para la evaluación y zonificación de la susceptibilidad a los movimientos en masa (caída, deslizamientos, movimientos complejos, flujos, reptación de suelos y erosión en masas) de las áreas de Chachapoyas y Luya; a la litología, la geomorfología, la cobertura vegetal y la pendiente de los terrenos.

- La geomorfología ha sido considerado importante para el estudio de susceptibilidad, en rasgos generales han sido diferenciadas formas de fluvio-aluvial, denudacional y estructural. De acuerdo a las características topográficas del área estudiada esta ha sido dividida en siete grados o rangos de pendientes. En relación a la susceptibilidad las pendientes menores a 10º se consideran susceptibles a la ocurrencia de procesos de reptación de suelos y flujos de detritos, los cuales pueden depositar los materiales que transportan en estas zonas de baja pendiente. Pendientes entre los 10º y 35º se consideran muy susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa, pendientes entre 35º y 45º grados se consideran susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa siempre y cuando se presente suelo o el substrato rocoso este fracturado. Pendientes por encima de los 45º son susceptibles a la ocurrencia de caídas de rocas y derrumbes desde substratos rocosos fracturados.

- Las formaciones geológicas han sido agrupadas en unidades y sub-unidades litológicas, según similitud o diferencia de los tipos de rocas que las conforman, las unidades diferenciadas son, unidad **I**: depósitos inconsolidados (**I1**: depósitos aluviales, **I2**: coluviales, **I3**: coluvio-deluviales, **I4**: proluvio-aluviales, **I5**: proluviales y **I6**: conglomerados y areniscas); unidad **V**: rocas sedimentarías (con sus sub-unidades **V1**: caliza, pocas arcillas y limoarcillitas, **V2**: calizas, margas y limoarcillitas, **V3**: areniscas, limoarcillitas y limolitas, **V4**: lodolitas, limolitas y areniscas, **V5**: conglomerados, **V6**: calizas y limoarcillitas, **V7**: calizas y **V8**: Areniscas, lodolitas y conglomerados) y por ultimo la unidad **V1**: rocas metamórficas.

- Se considera este trabajo un gran aporte al conocimiento de los movimientos en masa que afectan las área de Chachapoyas y Luya, ya que de las 33 ocurrencias puntuales que se tenían hasta el 2002, actualmente concluido los trabajos de campo y gabinete se tienen cartografiados 799 ocurrencias puntuales de movimientos en masa, de los cuales el mayor número de ocurrencias presentadas son de caídas (286), seguido por procesos de erosión de suelos, tomados de forma individual y no como zonas, con 274 ocurrencias, le siguen los deslizamientos con 155 ocurrencias, los flujos con 57, movimientos complejos con 21 y por último 6 zonas afectadas con procesos de reptación de suelos

- Del análisis realizado se obtuvo que el 1,42 % del área de la zona estudiada presenta muy alta susceptibilidad a los movimientos en masa, 6,61 % alta susceptibilidad, 9,23 % moderada susceptibilidad, 53,99 % baja susceptibilidad y el 28,74 % muy baja susceptibilidad.

- Las zonas de alta susceptibilidad comprenden topografías con pendientes de medias a altas (20º a 35º), se encuentran ocupando las laderas de montañas, se tienen depósitos de material superficial inconsolidado, que forman suelos limo-arcillos y arenos-limoso con contenidos de grava, constituyen vertientes de detritos y planicies inclinadas. Estas áreas son poco estables y susceptibles a los movimientos en masa (deslizamientos, caídas de rocas, derrumbes, movimientos complejos, flujos de lodo, huaycos y procesos de erosión en masas), se considera que la susceptibilidad de esta zona aumenta con la perdida de la cobertura vegetal.

- Las zonas de muy alta susceptibilidad presentan en un rango de pendientes que va de bajas a muy fuertes (5º hasta 45º), se tienen materiales inconsolidados, dispuestos a manera de depósitos de vertientes y planicie inclinada, constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas, que cubren el substrato rocoso, los suelos son tipo arcillo-limoso y gravo-arcillosos de alta plasticidad. Dentro de esta zona se producen los movimientos en masa (deslizamientos, caídas, reptación de suelos y movimientos complejos) y procesos de erosión en masas (que pueden generar flujos de detritos) que mas daño causan en la zona estudiada, además los

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

- El análisis de susceptibilidad, nos ha demostrado que para la zona estudiada, el principal factor intrínseco que influye en la susceptibilidad de los terrenos es la litología, y dentro de estos los considerados como materiales superficiales poco o nada consolidados y blandos, son los más susceptibles.

- Los resultados obtenidos se consideran válidos para la zona analizada, si se quiere utilizar los valores de pesos obtenidos para cada unidad de terreno diferenciada en otra zona, esta deberá presentar los mismos parámetros (geología, pendientes, etc.) que la zona evaluada.

- Los trabajos de campo y gabinete nos han permitido identificar 17 zonas críticas por ocurrencia de movimientos en masa, de las cuales algunas presentan un potencial de alto peligro por la vulnerabilidad asociada. Muchas de estas zonas consideradas como críticas no evidencian la ocurrencia de un evento reciente, pero el tipo de material y las dimensiones de los depósitos nos demuestran la ocurrencia de eventos de gran magnitud y se les ha considerado como críticos al haberse encontrado centros poblados, terreno de cultivo u obras de ingeniería asentado dentro o cruzando estos depósitos, los cuales pueden ser afectados por una reactivación, estas zonas requieren de la atención de las autoridades y necesitan que se realicen obras de prevención y/o mitigación

- Los mapas de susceptibilidad, vienen a ser el resultado de la necesidad que existía de evaluar zonas aparentemente estables o afectadas por fenómenos a presentar problemas. Los mapas de susceptibilidad representan la propensión del terreno a producir roturas en las laderas, lo que no sucederá mientras no se presente un factor detonante (la precipitación pluvial extraordinaria, sismo), así como también mientras no se cambien las condiciones de estabilidad de una zona. Estos mapas de susceptibilidad pueden ser tomados entonces como

herramienta útil en el proceso de toma de decisiones para reducir el impacto de los movimientos en masa.

- El mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa es una técnica que puede ser usado en las primeras etapas de un estudio de planificación, significado un avance importante en el proceso de implementación de una cultura de prevención de desastres, muy necesario en países como el Perú, que son afectados por fenómenos de gran magnitud que ocasionan perdidas económicas muy altas.

- El análisis de la susceptibilidad es una herramienta valiosa en la evaluación de áreas con susceptibilidad a movimientos en masa y si es utilizada responsablemente, permite incrementar los conocimientos en cuanto a los riesgos con que vive una comunidad, así como también se puede realizar tareas de planificación que permitan alcanzar el desarrollo de esta.

- El mapa deberá ser usado como una herramienta de zonificación de la susceptibilidad a nivel semidetallado y para alcanzar una mayor resolución y precisión en la zonificación de la susceptibilidad se debe continuar trabajando con información y datos de mayor resolución.

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.

ALEOTTI, P. AND CHOWDHURY, R., (1999) Landslide hazard assessment: Summary review and new perpectives: *Bulletiín Engineering Geology Environment*, Vol. 58, pp. 21-84.

ALONSO, E. (1986) Influencia del agua en la estabilidad de taludes. Roturas en roca. Casos reales. Riesgos naturales en ingeniería civil. U.P.C. Barcelona, 1986, 99-136 pp.

ALONSO, E. (1989). Analisis de la estabilidad de taludes. Casos simples. En: *Estabilidad de taludes y laderas inestables.* Monografía S:E:G., 3, 97-118.

ALZATE, J. B. Y ESCOBAR, A. E. (1992) "Adquisición de datos para un SIG". Proc. 1r. Simposio Internacional sobre Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica, para el Estudio de Riesgos Naturales, Bogotá, Colombia, 449-465.

ANDERBERG, M.R. (1973) Cluster Analysis for Applications. New York: Academic Press.

AYALA-CARCEDO, F. J. (2002) Una reflexión sobre los mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera, su naturaleza, funciones, problemática y límites. En F. J. Ayala-Carcedo y J. Corominas, (eds.). Mapas de Susceptibilidad a los movimientos de ladera con ténicas SIG. Fundamentos y Aplicaciones en España, Instituto Geológico y Minero de España, 7-20.

AYALA-CARCEDO, F.J. Y ANDRU, F.J. (eds.) (1997). Manual de taludes. Serie Geotecnia, Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 456 pp.

BERNKNOPF, R.L.; CAMBELL, R.H.; BROOKSHINE, D.S. Y SHAPIRO, D.C. (1988) "A probabilistic approach to landslide hazard mapping in Cincinatti, Ohio, with applications for economic evaluation". Bulletin International Association of Engineering Geologíst, v. 25, nº. 1, 39-56.

BONHAM-CARTER, G.F., AGTERBERG, F.P. Y WRIGHT, D.F. (1990). Weights of evidence modeling: a new approach to mapping mineral potential. En: Agterberg, F.P. and Bonham-Carter, G.F. eds. Geológical Survey of Canada Paper 8-9. Ottawa, Canada, 171.183.

BRABB, E.; PAMPEYAN, E. Y BONILLA M. (1972) *Landslide susceptibility in San Mateo,Clifornia, U.S.* Geológical Survey Miscel. Fiel Studies Map, MF-360.

BRABB, E.E.; GUZZTTI, F.; MARK, R. Y SIMPSON, R.W. (1989) "The extend of landsliding in northern New Mexico and similar semi-arid regions". En: Landslides in a

semi-arid environment. Sadler and Morton (Eds.). Publications of the Inland Geological Society, vol. 2, 163-173 pp.

CAMPOS, M., CONCHA, A., & LOPEZ, C. (2007) Comparing heuristoic and bivariate GIS-based methods for refining landslide susceptibility maps in Northern Mexico City: *Environmental & Engineering Geoscience*, Number 4, Volumen XIII, pp. 277-287.

CARRARA, A. (1983a) "Multivariate models for landslide hazard evaluation". Math. Geology 15. 403-426.

CARRARA, A. (1983b) "Geomathematical assessment of regional landslide hazard". 4th Int. Conf. Applic. Stat. porbabil. In Soil and Estruct. Eng. Firenze. 3-27.

CARRARA, A. (1988) "Landslide hazard mapping by statistical methods. A "black box" approach". Workshop on Natural Disaters in European Mediterranean Countries, Perugia, Italy, 205-224 pp.

CARRARA, A. (1992) "Lanslide hazard assessmend". Proc. 1er. Simposio Internacional sobre Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el estudio de Riesgos Naturales, Bogotá, Colombia, 329-335 pp.

CARRARA, A.; CARDINALI, M.; DETTI, R.; GUZZETTI, F.; PASQUI, V. Y REICHENBACH, P. (1990) "Geographical Information Systems and multiariate models in landslide hazard evaluation". ALSP 90 Alpine Landslide Practical seminar. 6th. Int. Conf. And Field Workshop on landslides. Aug. 31. sep. 12, 1990, Milano, Italy, 17-28 pp.

CARRARA, A.; CARDINALI, M.; DETTI, R.; GUZZETTI, F.; PASQUI, V. Y REICHENBACH, P. (1991) "GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard". Earth Surf. Proc. And Landforms, v. 16, nº 5, 427-445.

CARRARA, A.; CATALAMO, E.; SORRISO-VALVO, M.; REALI, C. Y OSSO, I. (1978) "Digital terrain analysis for land evaluation". Geol. Appl. Ed Idrogeol., v. 13, 69-127.

CHACÓN, J.; IRIGARAY, C. Y FERNANDEZ, T. (1992) "Metodología para la cartografía regional de movimientos de ladera y riesgos asociados, mediante un Sistema de Información Geográfica". III Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. La Coruña. Vol. 1, 121-133 pp.

CLARK, M. Y SMALL, J. (1982) "Slopes and Weathering", Cambridge University Press, Cambridge, Ingaterra.

COLAS, G. Y PILOT, G. (1976) "Description et Classification des lissemennts de Terrain". En : Estabilité des Talus 1-Versans Naturels Bulletin des Liaison des Points et Chaussées, Numéro Spécial II, Ministere de l'Equipement. París.

COROMINAS, J. (1987). Criterios para la confección de mapas de peligrosidad de movimientos de ladera. Riesgos Geológicos. Serie Geología Ambiental. IGME, 193-201 pp., Madrid, España.

COROMINAS, J. (1992). Landslide risk assessment and zoning. En: Cendrero, A., Luttig, G., y Wolff, F. CH. (eds.). *Planning the use of the Earth's surface*. Lectura Notes in Herat Sciences 42. Springer- Verlag, 141-173.

CRANDELL, D. (1984) "Catastrophic Debris Avalanche from Ancestral Mount Shata Volcano, California". Geology, Vol. 12 No. 3.

CRUDEN, D.M. & VARNES, D.J. (1996). Landslide types and processes. Landslide investigation and mitigation. Washington, D.C., Transportation Research Board, Especial Report 247.

DAVIES, R., PAULEN, R. & HICKIN, A. (2005) Inventory of Holocene Landslides, Peace River Area, Alberta (NTC 84C). [en línea]. Disponible en: http://www.ags.gov.ab.ca/publications/GEO/PDF/GEO_2003_43.pdf [Consulta: 29 de enero de 2008]

DEGRAFF, J.V. Y ROMESBURG, H.C. (1980). Regional landslide-susceptibility assessment for Wildland management: a matrix approach. En Coates, D.R. y Viteck J.D. (eds.), 410-414.

DENNESS, B. (1973) "Estudio de deslizamientos en relación con la planeación de rutas y carreteras". TRL-MOPT, Bogotá.

DESMORE, L. & HOVIOS, N. (2000) Topographic fingerptints of bedrock landslides. Geology, 28(4): 371-374.

EIRD/ONU (2004) Vivir con el riesgo. Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres versión 2004. Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, Naciones Unidas.

ESRI (2002) *¿Qué es ArcGIS?. SIG de ESRI™* [en línea]. Disponible en: http://www.geotecnologias.com/Documentos/what-is-arcgis-spanish.pdf [Consulta: 11 de enero de 2008]

EVANS, S. (2005). *Clasificación de movimientos en masa.* En III curso Latinoamericano de movimientos en masa. Bogotá. Agosto 2005.

FEIZNIA, S. Y BODAGHI, B. (2000) "A statistical Approach for Logical Modelling of a Landslide Hazard Zonation in Shahrood drainage Basin". En: A. E. Bromhead, N. Dixon and M. L. Ibsen (eds.): Landslide in research, theory and practice. Vol. 3, 950-960 pp. Tomas Telford. London.

FERRER, M. (1987) Deslizamientos, desprendimientos y avalanchas. Serie Geología Ambiental. Riesgos Geológicos I.G.M.E. Madrid. 175-192 pp.

GEOTECNOLOGÍAS (2007) *Generalidades del SIG* [en línea]. Disponible en: http://www.geotecnologias.com/Documentos/GIS.pdf [Consulta: 10 de enero de 2008]

GONZÁLES, A. (2005). *Evaluación de amenaza por fenómenos de remoción en masa.* En III curso Latinoamericano de movimientos en masa - memorias. Bogotá. Agosto 2005.

GOODMAN, R. Y BRAY, J. (1976) "Toppling and Rock Slopes", Proceedings, Specialty Conference on Rock Engineering for Foundations and Slopes, ASCE, New York, E.U.

HAMMOND, C. J.; PRELLWITZ, R. V. Y MILLER, S.M. (1992) « Landslide hazard assessment using Monte Carlo simulation" Proc. 6th. Int. Symp. on Landslides, Chistchurch, New Zeland, Vol. 2, 959-964 pp.

HERMANNS, R.; CERRITOS, O.; VALENCIA, J. Y COURTNEY, J. (2007) Guia 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 José, Costa Rica. 206 pp.

HUMA, I. Y RADULESCU (1978) "Automatic production of thematic maps of slope instability". Bulletin International Association of Engineering Geologist, nº 17, 95-99.

IAEG (1976). Engineering geological maps. A guide to their preparation. International Association of Engineering Geologists. The UNESCO Press, Paris, 79 pp.

INGEOMINAS (1989a)Zonificación de la amenaza por procesos de remoción en masas en las cuencas de los río Bolo y Fraile, y zonificación de amenazas y riesgo por avenidas torrenciales en las cabeceras municipales de Pradera y Florida, Valle del Cauca, Vols. 1, 2 y 3. Convenio interadministrativo cvc 984/96-I-024.

INRENA (1995) Mapa ecológico del Perú - Guía explicativa. Perú: INRENA.

INRENA (1996) Guía explicativa del mapa forestal 1995. Perú: INRENA

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS Y MINISTERIO DE TRANSPORTES (1998) Manual de estabilidad de taludes – Geotecnia Vial. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

IRIGARAY, C. (1995). Movimientos de ladera: inventario, análisis y cartografía de susceptibilidad mediante Sistemas de Información Geográfica. Aplicación a las zonas de Colmenar (Malaga), Rute (Córdoba) y Montefrío (Granada). Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Granada. 578 pp.

IRIGARAY, C. Y CHACON, J (2002). Métodos de 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.

IUGS (1997) "Quantitative risk assessment for slopes and landslides – The State of the Art". Working Group on Landslides. *Proc. of the Int. Workshop on Landslide Risk Assessment*, Honolulu, Balkema. 3-12 pp.

KINGSBURY, P. A.; HASTIE, W. J. Y HARRINGTON, A. J. (1992) "Regional landslip hazard assessment using a Geographical Information Sistem". Proc. 6th. Int. Symp. On Landslide, Christchurch, New Zealand, v. 2, 995-999.

LECARPENTIER, C.; PEREZ, C.; KHOZBZI, J. & OSTER. R. (1977) La erosión de tierras en Colombia – con mapa de procesos dinámicos. Colombia: INDEREMA.

LOPEZ, H. J. Y ZINCK, J. A. (1991) "GIS-assisted modelling on soil-induced mass movement hazards: A case study of the upper Coello river basin, Tolima, Colombia", ITC-Journal, 4, 202-220.

LUZI, L. (1995) "GIS for slope stability zonation in the Fabriano area, Central Italy". Unplubliched MSc Thesis, ITC Enschede, the Netherlands.

LUZI, L. Y PERGALANI F. (1996) "Applications of statistical and GIS Tecniques to slope inestability zonatión (1:50,000 Fabriano geological map sheet)". Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 15, 83-94.

MACDONALD, G. (1977) "Hazards from Volcanoes". Capítulo 2 de Bolt. *et al.* "Geological Hazards". Segunda edición revisada, Springer-Velarg, N.Y.

McCALPIN, J. (1984) *Preliminary age classification of landslides for inventory mapping*. in Proceeding 21 Annual Symposium on Engineering Geology and Soils Engineering. Pochtelo, Idaho.

MORA, S. & VARHSON, W. G. (1993).- Determinación a priori de amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos, Rev. Tecnología ICE, 3(1): 32-42.

MURPHY, W. Y VITA-FINZI, C. (1991) "Landslides and seismicity: an application of remote sensing. Proc. 8th. Thematic Conference on Geological Remote Sencing (ERIM), Denver, Colorado, USA, Vol. 2, 771-784 pp.

NATIONAL ATLAS OF THE UNITED STATES OF AMERICA (2007) Landslide Types and Processes [en línea]. Disponible en: http://nationalatlas.gov/articles/geology/a_landslide.html#two [Consulta: 30 de enero de 2008].

NEALL, V. (1976) "Lahars as Major Geoloical Hazards". International Assotiation of Engineering Geology Bulletin, No. 14.

NEWMAN, E.; PARADIS, A. Y BRABB E. (1978) "feasibility and cost of using a computer to prepare landslide susceptibility maps of the San Francisco Bay Región, California". US Geológical survey Bulletin 1443, 29 pp.

NIEMANN, K. O. Y HOWES, D. E. (1991) "Applicability of digital terrain models for slope stability assessment". ITC-Journal, 3 127-137.

OEA, USAID Y DIRND (1993) Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado. Washington, D.C. [en línea]. Disponible en: http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea65s/begin.htm#Contents [Consulta: 15 de febrero de 2008].

OJEDA, J.; CASTRO, E.; VALENCIA, A. Y FONSECA, S. (2001) Evaluación de riesgos por fenómenos de remoción en masa- Guía metodológica. Colombia: INGEOMINAS - Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

OKIMURA, T. Y KAWATANI, T. (1986). "Mapping of potencial surface-failure sites on granite mountain slopes". En Gardiner, J. (eds.). *International Geoorphology.* Part 1. Jhon Wiley & Sons, 121-138.

PELLEGRINI, G.B., 2000. Note illustrative de ella Carta geomorfologica d'Italia alla escala 1: 50,000, foglio 063: Belluno: Roma: Servizio Geológico d'Italia, 2000.

PNUD_UNDRO (1991) *Vulnerabilidad y evaluación de riesgos.* Programa de entrenamiento para el manejo de desastres. Modulo preparado por A.W. Corburn, R.J.S. Spence y A. Pomonis.

RADDBRUSH-HALL, D.H.; EDWARDS, K. Y BASTON. R. M. (1979) "Experimental engineering geological maps of the conterminous United States prepared using computer techniques". Bulletin International Association of Engineering Geologist, nº 19, 358-363.

ROGERS, C.T. Y SITAR, N. (1994). *Intergrating expert opinión and empirical data to evaluate landslide.* En I Simposio Panamericano de deslizamientos de tierra, 1, 264-279.

ROYSTER, D. (1982) "Landslide Remedial Measures". Tennessee Department of ransportation, Gatlinburg, Tenn, E.U., septiembre.

ROYSTER, D. (1979) "Landslide Remedial Measures". Bulletin of the Assotiation of Engineering Geologist. Vol. XVI, No 2.

SELBY, M. (1982) "Hillslope Material and Processes". Oxford University Press, Oxford, Inglaterra.

SALCEDO, D. (2005). *Estructuras de contención como técnica de estabilización.* En III curso Latinoamericano de movimientos en masa - memorias. Bogotá. Agosto 2005.

SÁNCHEZ, R.; MAYORGA, R.; URREGO, L. & VARGAS, G. (2002) – Modelo para el pronostico de la amenaza por deslizamientos 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 la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfico. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat.* Tesis Doctoral Universidad Politecnica de Cataluña. Barcelona.

SMOLL, F.; ZAVALA, B.; NÚÑEZ, S. y VALENZUELA, G. (2003) Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja No. 3. Boletín. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, n. 28, 373 p. Perú: INGEMMET.

STAKENBORG, J. H.T. (1986) "Digitizing alpine morphology. A digital terrain model based on a geomorphological map for computer-assisted applied mapping". ITC-Journal 4, 299-306.

TERLIEN, M. T. J. (1996). Modelling spatial and temporal variations in rainfall-triggered ladslides. ITC Pubication Number 32, 254 pp.

TERLIEN, M.T. J., VAN ASCH, T.W.J., VAN WESTEN, C.J., 1995. Deterministic modeling in GIS-based landslide hazard assessment. En: Carrara, A., Guzzetti, F. (Eds.), Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer Academic Publishing, The Netherlands, pp. 57-77.

THOMAS, M.F. (1994).- Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudathión in low latitude. Chichester: Jhon Wiley, 428 p.

TRURSTON, N. Y DEGG, M. (2000) "Transferability and terrain reconstruction within a GIS landslide hazrds mapping model: Derbyshire Peak District". A. e. Bromhead , N. Dixon and M. L. Ibsen (eds.): Landslide in research, theory and practice. Vol. 3, 961-968 pp. Tomas Telford. London.

UNDRO (1979) Natural disasters and vulnerability analysis. Informe de reunión del grupo de expertos. Ginebra, Oficina del Coordinador de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre.

USGS (2006) Landslide Types and Processes [en línea]. Disponible en: http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/fs-2004-3072.html [Consulta: 30 de enero de 2008].

USGS (2007) Landslides Hazard Program [en línea]. Disponible en: http://landslides.usgs.gov/ [Consulta: 30 de enero de 2008]

VALENTINI, G. (1967) Un modello statisco nello studio della franosita nel quadro morfológico, geológico e geoténico nella media valle del Fotore. *Geología Aplicata e Idrogeología*, Bari, II.

VAN WESTEN, C. J. (1993) "Aplication of Geographic Information System to landslide hazard zonation" ITC-Publications nº 15 ITC, Enschede, 245.

VAN WESTEN, C. J. (1994). "GIS in landslide hazard zonatión: arcview, with examples from the Andes of Colombia. En M.F. Price and D. I Heywood (editors) *Mountain Environments and Geographic Information System.* Taylor & Francis Ltd. 135-165 pp.

VAN WESTEN, C..J.; RENGERS, N.; TERLIEN, M. T. J.; AND SOETERS, R., (1997) Prediction of the occurrence of slope inestability phonomena through GIS-based hazard zonation: *Geologische Rundschau,* Vol. 86, pp. 404-4014.

VAN WESTEN, C.J. (1994). GIS in landslide hazard zonation: a review, with examples from the Andes of Colombia. In: Price, M. and Heywood, I. (eds.), *Mountain Environments and Geographic Information Systems.* Taylor & Francis, Basingstoke, U.K. pp 135-165.

VAN WESTEN, C.J., Van Duren, I, Kruse, H.M.G. and Terlien, M.T.J. (1993). *GISSIZ: training package for Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation.* ITC-Publication Number 15, ITC, Enschede, The Netherlands. Volume 1: Theory, 245 pp. Volume 2: Exercises, 359 pp. 10 diskettes.

VAN ZUIDMAN, R. (1985) *Aerial photo-interpretatión in terrain analysis and geomorphology mapping,*Holanda, ITC.

VARGAS, G. (1994) Metodología para la cartografía de zonas de susceptibilidad a los deslizamientos a partir de sensores remotos y SIG. Boletín Geológico, INGEOMINAS, Bol. Geol.

VARGAS, G. (1995) Developpment de methodes de cartographie de mouvements de masse et zonage de l'area das les Andes de Colombia. These de doctorat. Paris, Université Perre el Marie Curie.

VARNES, D. J. (1985). Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practices, UNESCO Natural Hazards Series No. 3 (Paris: UNESCO).

VARNES, D. J. (1984) "Landslide hazard zonation: a review of principles and practice". Natural Hazards. nº 3. UNESCO, Paris, 63 pp.

VARNES, D. J. (1978). Slope Movement Types and Processes in R.L. Schuster and R.J. Krizek (eds.), Landslides, Analysis, and Control, Special Report 176 (Washington, D.C.: Transportation Research Board, 1978), pp. 12-33.

WIKIPEDIA (2008) *Sistemas de Información Geográfica* [en línea]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_Informaci%C3%B3n_Geogr%C3%A1fica [Consulta: 10 de enero de 2008]

WP/WLI (1993) Multilingual landslide glossary. The Canadian Geothecnical Society. Bitech Publishers Ltd.

YIN, K., HEUNG, L. & GREENWAY, D. (1988) Effect of root reinforcement on the stability of three fill slopes in Hong Kong. *Proc. 2nd. Int. Conference on Geomechanics in Tropical Soils.* Singapore. Pp. 293-302.

YIN, K. & YAN, T. (1988). *Estatistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks.* En 5th International Symposium on Landdslide. Lausanne, Switzerland, 2, 1269-1272.

ANEXOS

ANEXO A

EJEMPLO DEL CÁLCULO DE LA FUNCION W

Se presenta a continuación un ejemplo del cálculo de la función W, tomado de OEA (1993).

Análisis Factorial, la función W es calculada de la fórmula:

$$W = \sum_{i=1}^{i=3} \sum_{j=1}^{j=n} (Xij + Xi)^2 = W1 + W2 + W3$$

Donde:

X_{ij}= j^{ava} observación i^{avo} grupo

n_i= número de observaciones en el i^{avo} grupo

i= número de grupos

Para el ejemplo, se supone que el análisis factorial combinado produjo las siguientes dieciséis proporciones:

0.53, 0,01. 0,19, 0,03, 0,39, 0,04, 0.05, 0,88, 0,11, 0,01, 0,21, 0,03, 0,61, 0,01, 0,04, 0,11

Paso 1: Las proporciones son entonces arregladas en orden ascendente:

0.01, 0,01, 0,01, 0,03, 0,03, 0,04, 0,04, 0,05, 0,11, 0,11, 0,19, 0,21, 0,39, 0,53, 0,61, 0,88

Los datos van de 0,01 a 0,88. Este rango es dividido en partes iguales para formar tres grupos basados en una partición de intervalos iguales:

$0{,}01 \leq X < 0{,}29$, $0{,}29 \leq X < 0{,}58$, y $0{,}58 \leq X < 0{,}88$

Paso 2: El factor W es calculado usando los valores en cada grupo formado bajo la partición inicial de intervalos iguales:

[0,01≤X<0,29]	[0.29≤X<0.58]	10.58≤X<0,88]
0,01, 0,01, 0,01. 0,03, 0,03, 0.04, 0,04, 0,05, 0,11, 0,11, 0,19, 0,21	0,39 ,0,53	0,61, 0,88
X1 = 0,07	X2 = 0,46	X3 = 0.745
W1 = 0,0534	W2 = 0,0098	W3 = 0,0365

W = W1 + W2 + W3 = 0,0534 + 0,0098 + 0,0365 = 0,0996

El objetivo es minimizar el valor de W. En otras palabras, encontrar los valores más pequeños de W que puedan ser calculados para tres grupos de los valores proporcionales. Esto aplica el principio de mínimos cuadrados, un método estadístico común, a este problema unidimensional minimizando la suma de las desviaciones al cuadrado en relación con los promedios de grupos.

Paso 3: El borde es desplazado hacia la derecha para buscar la disminución deseada en la función W:

[0,01≤X< 0.39]	[0.39≤X<0,58]	[0.58≤X<0.88]
0,01, 0,01, 0,01, 0,03, 0,03, 0,04. 0,04, 0,05, 0,11, 0,11, 0,19, 0,21, 0,39	0,53	0,61, 0,88
X1 = 0,0946	X2 = 0,53	X3 = 0,745
W1 = 0,1479	W2 = 0	W3 = 0,0365

W = W1 + W2 + W3 = 0,1479 + 0 + 0,0365 = 0,18435

Debido a que el valor recalculado es mayor que el valor de W inicialmente calculado, éste fue un movimiento en la dirección contraria. Se trasladará el borde hacia la izquierda del borde inicial en búsqueda de una disminución del valor W.

Paso 4: El borde al extremo de la izquierda se mueve hacia la izquierda por un valor. Se recalcula la función W y se compara con el valor W inicial para constatar si ocurrió la deseada disminución:

[0,01≤X<0,19]	[0,19≤X<0,58]	[0,58≤X<0,88]
0,01, 0,01, 0,01, 0,03, 0,03, 0,04 0,04, 0,05, 0,11 0.11, 0,19	0,21, 0.39, 0,53	0,61, 0,88
X1 = 0,0573	X2 = 0,3767	X3 = 0,745
W1 = 0,0320	W2 = 0,0515	W3 = 0,0365

W = W1 + W2 + W3 = 0,0320 + 0,0515 + 0,0365 = 0,12

Esta no es una disminución. Por lo tanto, la partición del borde, al extremo de la izquierda se mantiene en su valor inicial.

Paso 5: Ahora el segundo borde o sea el borde al extremo de la derecha se desplaza a la derecha:

[0,01≤X<0,29]	[0,29≤X<0,61]	[0,61≤X<0,88]
0,01,0,01,0,01, 0,03, 0,03, 0,04 0,04, 0,05, 0,11 0,11, 0,19, 0,21	0,39, 0,53, 0,61	0,88
X1 = 0,07	X2 = 0,51	X3 = 0,88
W1 = 0,0534	W2 = 0.0248	W3 = 0

W = W1 + W2 + W3 = 0,0534 + 0,0248 + 0 = 0,0782

Esto si es una disminución del valor de W. Si quedaran otros valores en el tercer grupo, el borde se trasladaría paso-a-paso hacia la derecha hasta que no se obtuviera mayor disminución de los valores W. Sin ningún otro valor presente, esto minimiza la suma de las desviaciones al cuadrado en relación con los promedios de grupos, lo más posible y retiene tres grupos. Si el traslado a la derecha hubiera conducido a un valor más alto de W, se hubiera intentado un traslado a la izquierda del borde de la derecha. Habiendo determinado la ubicación de los bordes para obtener el menor valor de W, se ha logrado el mejor agrupamiento de los valores proporcionales presentes.

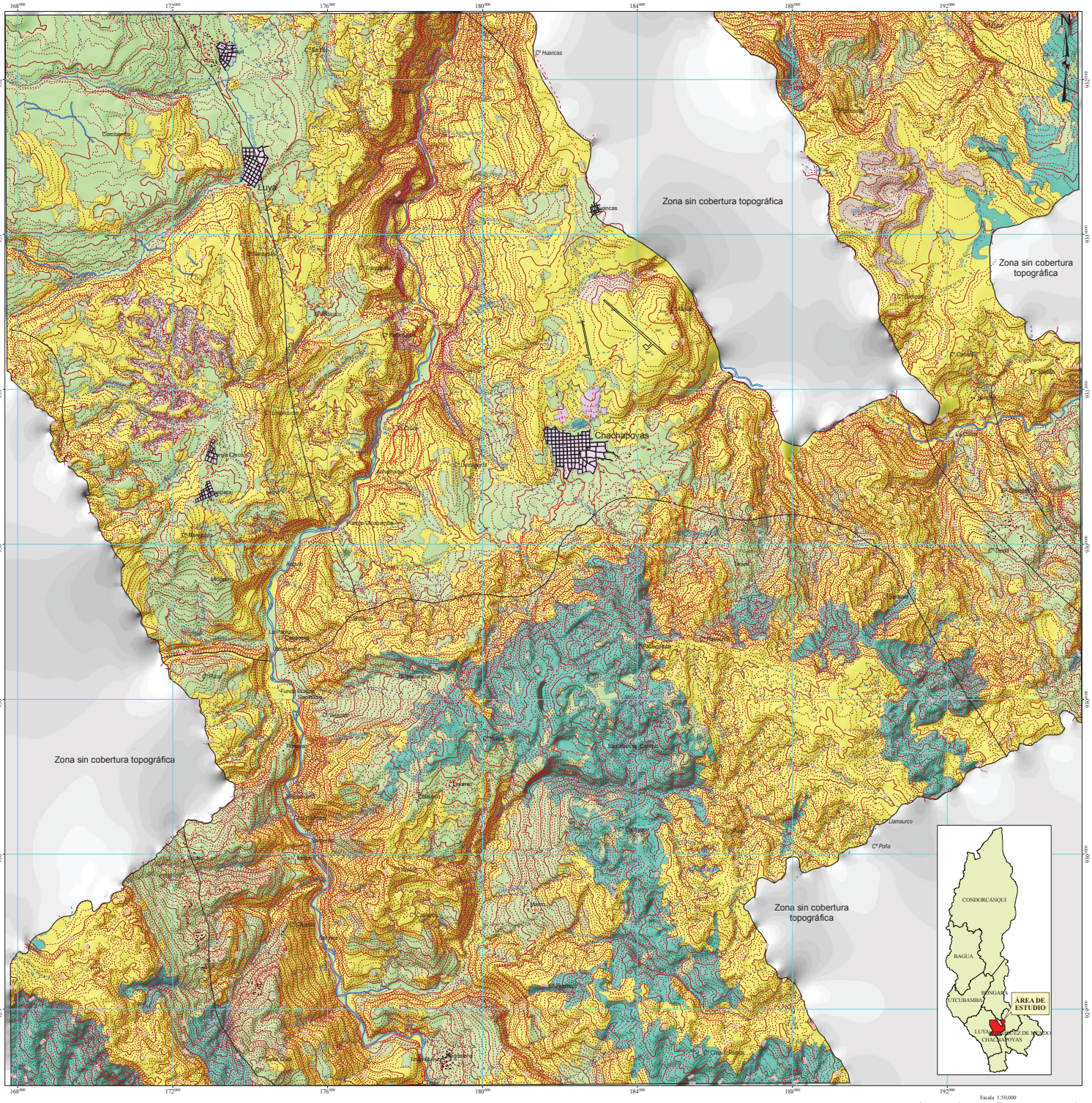
Como resultado de este proceso iterativo, la partición inicial en grupos con los siguientes rangos:

0,10≤W<0,29
0,29≤W<0,58
0,58≤W<0,88

se cambia a una agrupación más consistente con los valores proporcionales involucrados, en base al rango de los valores siguientes:

0,01≤X< 0.29
0,29≤X<0,61
0,61≤X<0.88

MAPAS



Escala 1:50,000

0 1 2 4 km

Proyección: TRANSVERSA DE MERCATOR
Datum Horizontal: SISTEMA GEODÉSICO MUNDIAL WGS84
Zona: 18 Sur

LEYENDA

UNIDAD	SÍMBOLO	COLOR	ÁREA (%)	DESCRIPCIÓN
Bosques	Bs		11.44	Esta vegetación esta conformada por bosques húmedos de montañas , el relieve donde se desarrolla es montañoso con cerros escarpados; en las cimas de estas montañas es característico la presencia de una cubierta de nubes; que provocan llovizinas. La vegetación es de gran complejidad florística, es posible encontrar epifitas, hiervas, lianas, arbustos y árboles, las cuales disminuyen a medida que se asciende a mayores altitudes, en cuanto a la fisonomía también cambia al ascender, tornándose en un bosque menos exuberante con árboles mas delgados, retorcidos y de menor altura, en niveles altitudinales superiores es posible ver abundancia de epifitas y musgos.
Pastizales	Pz		60.61	Se ubican inmediatamente debajo de los bosques de montaña, la vegetación que cubre esta zona esta conformada por pastizales utilizados para la crianza de ganado vacuno, es posible encontrar zonas con asociación de pastos, arbustos y matorrales muy espaciados, así como también se encuentran pequeños bosques de eucaliptos sembrados por los pobladores. En algunos sectores es posible también encontrar asociaciones arbustivas siempre verdes con alturas de hasta 4 metros, también se tienen de forma dispersa especies arbóreas perennifolias de porte bajo, dentro de ellas se tiene al molle, la tara, el nogal.
Cultivos	Cul		24.94	Se ubican a los alrededores de los centro poblados, son terrenos utilizados para cultivos agrícolas, en esta zona también es posible observar la presencia en forma dispersa de especies arbóreas perennifolias de porte bajo que circundan los terrenos de cultivo, entre estas especies se tiene al molle, la tara, nogal y boliche. Los principales cultivos agrícolas en el área estudiada son el maíz, papa, trigo, cebada, frijol, arvejas, habas, lentejas, pastos cultivados, destinados al comercio y consumo humano.
Área deforestada	Ad		2	Se ha catalogado dentro de esta unidad a las zonas donde la cobertura vegetal es realmente escasa o nula, estas son el resultado de procesos intensos de erosión laminar y en cárcavas, también por efectos de derrumbes que remueven grandes cantidades de terreno, también se consideran las zonas donde la cobertura de suelo es mínima o nula, como pasa en los escarpes o acantilados.
Zona urbana	Zu		0.46	Se denomina así a la porción del territorio donde actualmente se desarrollan los poblados importantes del área estudiada, se puede incluir zonas de expansión urbana que aún no están construidas y que son potencialmente urbanizables y que hoy son campo, pero que podrían incorporarse a los poblados en base a un plan previamente elaborado que establezca las pautas para su desarrollo urbano, donde se prevea la forma en que se le brindarán los servicios necesarios, no se consideran caminos ni carreteras, así cono tampoco poblados de área reducida. Ejemplos de poblados importantes dentro del área de estudio son Chachapoyas, Luya, Lamud, Inguilpata, Colcamar, Maino, Levanto, Sonche, etc.

Simbología

- Centro poblado
- Cota
- Carretera asfaltada
- Carretera afirmada
- Camino de herradura
- Río
- Quebrada
- Acequia
- Curva maestra
- Curva secundaria

INGEMMET

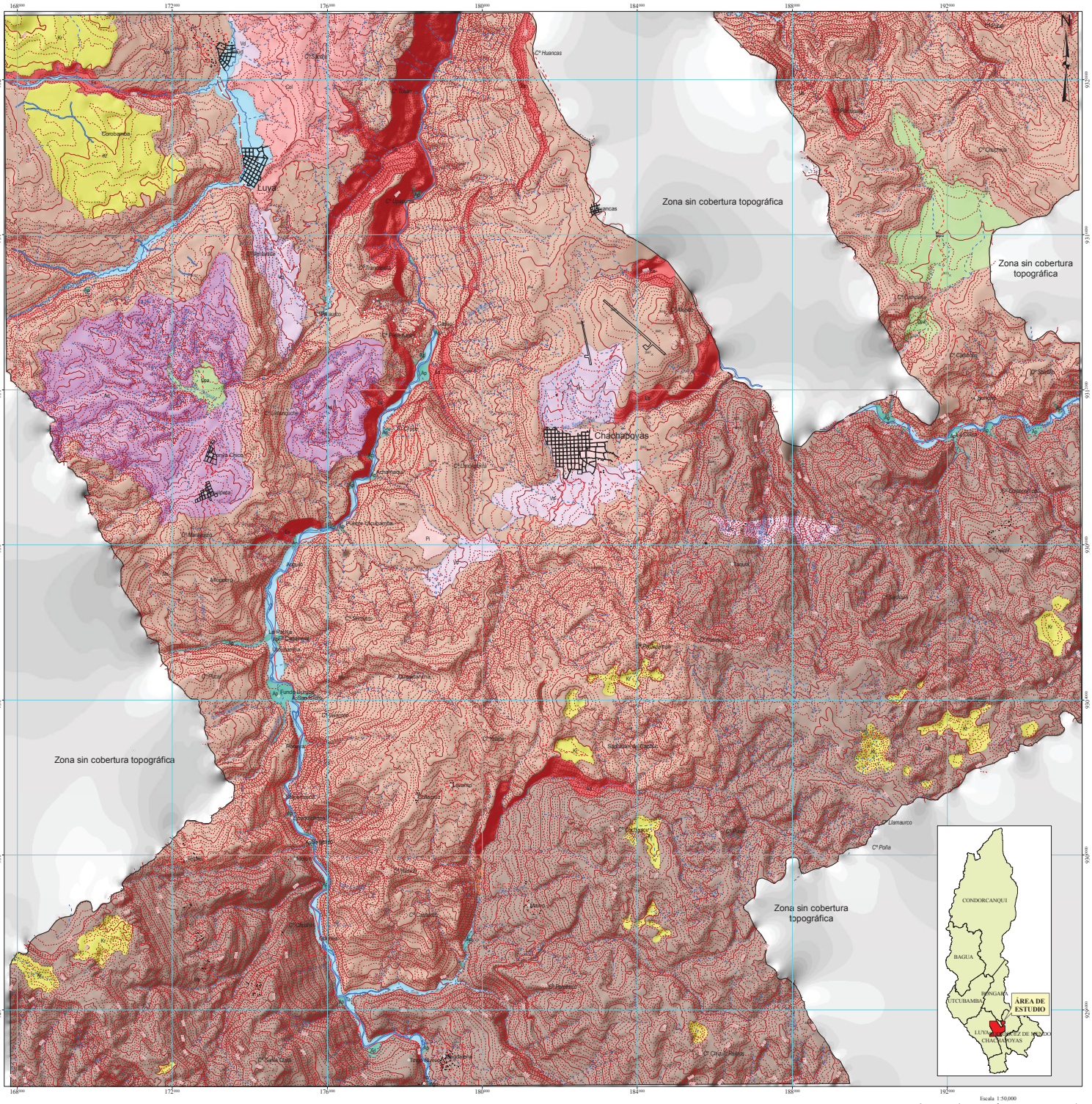
EUROPEAID CO-OPERATION OFFICE

Red DESIR

EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN LAS ÁREAS DE CHACHAPOYAS Y LUYA (AMAZONAS - PERÚ)

MAPA DE COBERTURA VEGETAL Y USO DE SUELO

Escala: 1/50,000	*Autor:* *Manuel Salomon Vilchez Mata*
Julio de 2008	*Dirección:* *Rachid El Hamdouni Jenoui*
N° de mapa: 1	



Escala 1:50,000

0 1 2 4 km

Proyección: TRANSVERSA DE MERCATOR
Datum Horizontal: SISTEMA GEODÉSICO MUNDIAL WGS84
Zona: 18 Sur

LEYENDA

UNIDAD			AREA (%)	FORMAS Y DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL	LITOLOGÍA ASOCIADA	MOVIMIENTOS DE LADERA
MONTAÑAS			**87.3**	**Elevaciones mayores a 300 m desde su nivel de base local. Relieves moderados a fuertes de la Cordillera Oriental.**		
Ms		Montañas en roca sedimentaria	33.05	Muestran laderas de pendiente pronunciada a fuerte, la equidistancia de curvas de nivel es menor, presentado una mayor densidad de curvas, generalmente las pendientes se encuentran generalmente por encima de 30°.	Están compuestas por rocas de distinto tipo, pudiéndose encontrar rocas antiguas de edad Precambrico pertenecientes al Complejo Marañón (esquistos, gneis).Las secuencias sedimentarias están representadas por rocas del Grupo Ambo, secuencias sedimentarias calcáreas del Triásico y Jurásico distribuidas en el sector sur de la zona estudiada.	Los movimientos de ladera asociados son generalmente derrumbes y caída de rocas, deslizamientos, flujos y procesos de erosión de laderas.
Mo		Montañas de laderas estructurales	47.61	Su asociación litológica es principalmente sedimentaria (secuencias calcáreas del Triásico y Jurásico), estructuralmente se presentan como alineamientos montañosos compuestos por secuencias estratificadas, plegadas y/o con buzamientos de las capas que controlan la pendiente de las laderas, conformando anticlinales, sinclinales y cuestas, que le dan una característica particular en las imágenes satelitales.	Su asociación litológica es principalmente sedimentaria (secuencias calcáreas del Triásico, Jurásico, cretácico y secuencias clásticas del Cretáceo), conforman localmente mesetas estructurales, estas aparecen limitada por escarpes o acantilados de fuerte pendiente.	Geodinámicamente se asocian a caída de rocas, derrumbes, deslizamientos, erosión de laderas y flujo de detritos.
Kr		Karst	3.5	Se tienen depresiones cerradas, conformadas por dolinas y uvalas que son el resultado de la unión de dos o más dolinas vecinas. Ubicadas al sur de la ciudad de Chachapoyas a aproximadamente 7 km, al sur de los poblado de Colcamar y Lamud.	Principalmente rocas carbonatadas.	Se asocian a caída de rocas, derrumbes y desplomes.
Es		Escarpes	3.14	Superficie plana inclinada con pendiente superior a los 40°, se encuentran limitando las montañas de laderas estructurales con estratificación horizontal, resultado del fuerte proceso erosivo por precipitación pluvial, deslizamientos y derrumbes, así como por la incisión de los cursos de ríos en rocas sedimentarias.	Secuencias sedimentarias del Mesozoico	Geodinámicamente están asociados a caída de rocas, derrumbes y deslizamientos.
COLINAS Y LOMADAS			**1.79**	**Elevaciones menores de 300 m, de relieve complejo y en diferentes grados de disección, conforman alineamientos de carácter estructural y denudativo. Colinas y lomeríos de la faja subandina.**		
Col		Colinas	1.79	Superficies de terreno con alturas no mayores a 300 m, cuya pendiente es mayor a 7° o 16%, resultado de procesos denudativos, donde no es posible observar estratificación alguna.	Constituida por rocas sedimentarias de las Formaciones Chulec e Ingulipata,	Asociados a procesos de reptación de suelos, flujos de detrito y flujos de tierra.
PIEDEMONTES			**4.01**	**Superficies ligeramente inclinadas, con depósitos que descienden hacia las llanuras aluviales y valles. Depósitos de vertientes de laderas generalmente generados por movimientos en masa (huaycos, deslizamientos, etc.).**		
Ap		Abanicos proluviales	0.38	Depósitos de flujos de detritos canalizados, en forma de abanico, ubicados en la parte terminal o desembocadura de una quebrada o curso fluvial a un río principal, pueden mostrar áreas de depósito de extensiones y altura variable, pendientes de 2°-15°. Se tienen ejemplos a lo largo de las desembocaduras de los afluentes del río Utcubamba hacia ambas	Compuestos por depósitos de detritos clásticos de variados tamaños, que vistos en planta presentan formas característicamente cónica.	Asociados a la ocurrencia de flujos de detritos (huaycos) periódicos y excepcionales.
Vd		Vertiente de detritos	2.3	Son depósitos inconsolidados acumulados en las partes bajas de las laderas de montañas o colinas, en forma de talus de detritos de origen coluvial y deluvial, de edad reciente, que descienden hacia los valles principales, quebradas tributarias o se deposita en terrenos bajos y planos, no presentan una geoforma característica.	Presentan una naturaleza litológica homogénea, sin embargo su granulometría es variable, con fragmentos angulosos y su grado de compacidad es bajo, no consolidado.	Están asociados a procesos de flujos de detritos, erosión de laderas, derrumbes y deslizamientos superficiales.
Dpa		Depósitos proluvio-aluviales	1.33	Los depósitos proluvio-aluviales son el resultado de una acumulación alternada de materiales de origen aluvial y proluvial, acumulación que fue controlada por la cantidad de precipitación caída en la zona.	Están constituidos por gravas y cantos subredondeados por el poco transporte sufrido, además se tienen arenas, limos y arcilla, el depósito presenta un baja pendiente.	Geodinámicamente están relacionados a la ocurrencia de procesos de reptación de suelos, derrumbes y deslizamientos.
PLANICIES			**6.91**	**Depósitos con superficies llanas a planas, estas formas están asociadas a laderas estructurales, depósitos aluviales antiguos y fluvioglaciares, ubicados inmediatamente a los cursos fluviales y fondos de valle**		
Ta		Planicies aluviales o terrazas altas/Fondo de valle fluvial	1.61	Terrenos ubicados encima del cauce y llanura de inundación fluvial, son terrenos planos, de ancho variable, su extensión esta limitada a los valles. Se consideró también los fondos planos de valles, indiferenciando las terrazas fluviales y llanuras de inundación de poca amplitud y mostrando en general una pendiente suave entre 1° y 5°.	Depósitos fluviales y aluviales en forma de terrazas, conformado por materiales heterométrico, poco consolidados.	Erosión fluvial y derrumbes en las margenes activas.
Ad		Altiplanicie disectada	4.9	Conformanda una superficie plano, algo inclinado de edad Neógeno Superior, localizada a diferente altitud, que están sometidas al ataque de procesos degradacionales, incluida una fuerte meteorización, desarrollo de suelo y posteriormente a la erosión fluvial y algunas formas de movimientos en masa, las cuales han cambiado su morfología original subdividéndolas en porciones menores separadas por valles o disectados por una intensa red de drenaje.	Constituida por una secuencia de conglomerados y areniscas líticas semiconsolidadas de la Formación Ingulipata.	Geodinámicamente se asocian a procesos de erosión de laderas muy intenso ha manera de cárcavas.
Pi		Planicie inclinada	0.37	Se encuentra conformando un terreno plano con una ligera inclinación, constituida por una secuencia de conglomerados y areniscas líticas semiconsolidadas de la Formación Ingulipata, así como también de la acumulación de materiales coluviales y deluviales inconsolidados, que provienen de la erosión de terrenos circundantes más altos.	Secuencias de conglomerados y areniscas líticas semiconsolidadas de la Formación Ingulipata y depósitos coluviales y deluviales.	Geodinámicamente se asocian a procesos de erosión de laderas ha manera de cárcavas, con derrumbe y deslizamientos hacia sus márgenes, también se puede producir reptación de suelo y flujos de tierra.
Vr		Valle rellenado	0.03	Es el resultado del relleno de un valle con materiales que provienen de un deslizamiento, flujo, o movimiento complejo de gran magnitud. La característica principal que ha permitido su diferenciación es la presencia de valle amplio y plano, el cual es cortado repentinamente por una caída de agua y se produce un estrechamiento del cauce del río.	Conformado por la acumulación de material poco consolidado, de tipo bloques, cantos, gravas, arenas y limos.	Geodinámicamente se asocia a procesos de erosión de laderas, flujos y deslizamientos.

Simbología

- Centro poblado
- Cota
- Carretera asfaltada
- Carretera afirmada
- Camino de herradura
- Río
- Quebrada
- Acequia
- Curva maestra
- Curva secundaria

INGEMMET

EUROPEAID CO-OPERATION OFFICE

Red DESIR

EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN LAS ÁREAS DE CHACHAPOYAS Y LUYA (AMAZONAS - PERÚ)

MAPA GEOMORFOLÓGICO

Escala: 1/50,000	*Autor:* *Manuel Salomon Vílchez Mata*
Julio de 2008	*Dirección:* *Rachid El Hamdouni Jenoui*
N° de mapa: 2	