

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

**“ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE LOS FENÓMENOS DE
REMOCIÓN EN MASA DE LA CARRETERA LOJA-ZAMORA”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO.**

CRISTIAN JOSÉ CORREA CAMPUÉS

DIRECTOR: ING. GALO PLAZA N.

Quito, Julio 2007

DECLARACIÓN

Yo, Cristian José Correa Campuès, declaro bajo juramento que el trabajo descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a La Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Cristian José Correa Campuès

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Señor Cristian José Correa Campués, bajo mi supervisión.

Ing. Galo Plaza N.

DIRECTOR DE PROYECTO

INDICE GENERAL

DECLARACIÓN	2
CERTIFICACIÓN	3
DIRECTOR DE PROYECTO	3
INDICE GENERAL	4
INDICE DE TABLAS	5
INDICE DE FIGURAS	5
INDICE DE FOTOGRAFIAS	6
INDICE DE ANEXOS	7
RESUMEN	8
CAPITULO I: GENERALIDADES	9
1.1 INTRODUCCION	9
1.1.1 OBJETIVO GENERAL	11
1.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	11
1.2 METODOLOGÍA	11
1.3 BASES DISPONIBLES DEL TRABAJO Y ALCANCE	12
CAPITULO II: CARACTERÍSTICAS DEL AREA DE ESTUDIO	15
2.1 CARACTERISTICAS GEOGRAFICAS	15
2.1.1 UBICACIÓN Y ACCESOS	15
2.1.2 MORFOLOGIA	16
2.1.3 HIDROGRAFIA.....	21
2.1.4 CLIMA Y VEGETACIÓN	21
2.2 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	22
2.2.1 UNIDADES DEL BASAMENTO.....	23
2.2.2 ESTRATIGRAFIA DE LA CUENCA DE LOJA	23
2.3 MARCO GEOLÓGICO LOCAL.....	25
2.4 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES	43
CAPITULO III: IDENTIFICACION DE LOS FENÓMENOS DE REMOCION EN MASA EN EL AREA DE ESTUDIO	45
3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS.....	45
3.1.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA.....	46
3.1.2 CARACTERÍSTICAS FOTOGEOLOGICAS DE LOS FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA.....	46
3.1.3 RESULTADOS DE LA FOTOINTERPRETACIÓN	47
3.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA A PARTIR DEL RECONOCIMIENTO VISUAL EN EL TERRENO	53
3.2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS AREAS INESTABLES.....	53
4.1 INTRODUCCIÓN	66
4.1.1 Consideraciones Realizadas	68
4.2 DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA APLICANDO LA METODOLOGÍA DE BRABB.	70
4.2.1 Elaboración del mapa de pendientes.....	71
4.2.2 Determinación de la Susceptibilidad Relativa o Parcial (SP).....	73
4.2.3 Determinación de la Susceptibilidad Absoluta o Total (ST).....	73

4.3 DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A PARTIR DE LAS RELACIONES ENTRE EL ÁREA DESLIZADA (ADZ) Y/O NÚMERO DE FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA (NFRM) Y EL ÁREA DE LAS CUENCAS.....	78
4.4 UTILIZACIÓN DE PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS PARA LA IDENTIFICACION DE CUENCAS SUSCEPTIBLES A GENERAR FLUJOS DE DETRITOS O CRECIDAS CON DETRITOS. INDICE DE MELTON	82
4.5 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE INESTABILIDAD A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE LA FRACTURACIÓN. MÉTODO DE ESTABILIDAD CINEMÁTICA	86
4.5.1 FALLA PLANAR.....	90
4.5.2 FALLA EN CUÑA.....	92
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
5.1. - CONCLUSIONES	96
5.2. – RECOMENDACIONES	99
BIBLIOGRAFÍA.....	102

INDICE DE TABLAS

TABLA 1.1. Fotografías utilizadas para este estudio.....	13
TABLA 3.1- Resumen de los FRM en la carretera Loja-Zamora.....	56
TABLA 3.2.- FRM según su estado (Actividad).....	59
TABLA 3.3. Resumen de las características de los FRM observados a lo largo de la carretera Loja-Zamora. (*) Son valores aproximados.	64
TABLA 4.1. Determinación de la susceptibilidad Relativa	73
TABLA 4.2. Frecuencia de FRM por unidad litológica y por pendiente	74
TABLA 4.3. Valores de susceptibilidad absoluta por unidad litológica y por pendiente	75
TABLA 4.4.Resultados obtenidos en seis cuencas dentro del área de estudio. AREA: área de la cuenca. RAIZ: raíz cuadrada del área de la cuenca. DIFERENCIA (DIF): diferencia entre el punto más alto y más bajo de la cuenca. LONG: longitud de la cuenca.....	84
TABLA 4.5.Taludes (promedio) determinados estadísticamente para las Unidades Chiguinda y Gneis de Sabanilla.....	88
TABLA 4.6.Planos de fracturas (promedio) determinados estadísticamente para las Unidades Chiguinda y Gneis de Sabanilla	90

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1. Ubicación del Área de estudio	15
FIGURA 2.2. Modelo de elevación digital del área de estudio.....	20
FIGURA 2.3. Mapa Geológico del área de estudio	26
FIGURA 2.4. Representación estereográfica de nueve polos de planos de estratificación de la Formación San Cayetano.	29
FIGURA 2.5. Representación estereográfica de los 10 polos de los planos de estratificación de la Formación Quillollaco	33
FIGURA 2.6. Representación estereográfica de 27 polos de planos de foliación de la Unidad Chiguinda	35
FIGURA 2.7. Representación estereográfica de los polos de planos de foliación de la Unidad Gneis de Sabanilla (U. Sabanilla).	41
FIGURA 2.8. Representación estereográfica de 85 polos de planos de fracturas de la secuencia metamórfica (Unidades Chiguinda y Gneis de Sabanilla)	41

FIGURAS 3.1. Diagramas que muestran las direcciones preferenciales de los flujos y avalanchas (DIRECCION DE FLUJO DEL MATERIAL) identificadas a partir de las fotos aéreas de los años 1976 y 1989. E (67.5°-112.5°), N (0°-22.5°;337.5°-360°), NE (22.5°-67.5°), NO (292.5°-337.5°), O (247.5°-292.5°), S (157.5°-202.5°), SE (112.5°-157.5°), SO (205.5°-247.5°).....	49
FIGURAS 3.2. Diagramas que muestran los valores de pendientes donde se producen flujos y avalanchas identificadas a partir de las fotos aéreas de los años 1976 y 1989 (Escala 1: 60.000) para el área de estudio.	50
FIGURA 3.3. Mapa de inventario de los fenómenos de remoción en masa de la carretera Loja-Zamora	52
FIGURA 3.4. (<i>Izquierda</i>) Esquema de un deslizamiento traslacional en carretera. (<i>Derecha</i>) Deslizamiento traslacional afectando la carretera Loja-Zamora (LZ66, Ver ANEXO 2). UTM: 720219 – 9559070. Unidad Gneis de Sabanilla.....	54
FIGURA 3.5. (<i>Izquierda</i>) Esquema de un flujo de escombros. (<i>Derecha</i>) Flujo de Detritos (Deslizamiento Traslacional) afectando la carretera Loja-Zamora (LZ52, Ver ANEXO 2). UTM: 716288 – 9561922. Unidad Chiguinda.	55
FIGURA 3.7. Porcentaje de deslizamientos en la Formación Quillollaco	57
FIGURA 3.8. Porcentaje de FRM para la Unidad Gneis de Sabanilla.....	58
FIGURA 3.10. Porcentaje de FRM ACTIVOS según la litología	59
FIGURA 3.11. Número de FRM en función del área (m ²) estimada.....	60
FIGURA 3.12. Mapa de ubicación de los fenómenos de remoción en masa presentados en la TABLA 3.3.....	65
FIGURA 4.1. Limitación del área de influencia a partir de las cuencas hidrográficas.....	69
FIGURA 4.2. Histograma de pendientes sin reclasificar.....	71
FIGURA 4.3. Histograma de pendientes reclasificadas.....	72
FIGURA 4.4. Mapa de susceptibilidad de la carretera Loja-Zamora. Grid 50 x 50m	77
FIGURA 4.5. Mapa de susceptibilidad de la carretera Loja-Zamora. <i>Relación</i> : Área deslizada / Área de la cuenca.....	80
FIGURA 4.6. Mapa de susceptibilidad de la carretera Loja-Zamora. <i>Relación</i> : Número (Frecuencia) de FRM / Área de la cuenca.	81
FIGURA 4.7. Gráfico que muestra los campo de flujos de detritos, crecidas con detritos y crecidas tomado y modificado de Wilford D. J. et al., 2004, y parámetros morfométricos de la zona de estudio	83
FIGURA 4.8. Determinación de cuencas susceptibles a crecidas, crecidas con detritos y flujos de detritos. Índice de Melton	85
FIGURA 4.9. Determinación estadística de taludes para la Unidad Chiguinda	87
FIGURA 4.10. Determinación estadística de taludes para la Unidad Gneis de Sabanilla.....	88
Taludes.....	88
FIGURA 4.11. Determinación estadística de fracturas para la Unidad Chiguinda.....	89
FIGURA 4.12. Determinación estadística de fracturas para la Unidad Gneis de Sabanilla	89
FIGURA 4.13. Representación estereográfica del talud T3 y la fractura F1 (Falla Planar).....	91
FIGURA 4.14. Representación estereográfica del talud T3 y el juego de fracturas F1-F2.	93

INDICE DE FOTOGRAFIAS

FOTOGRAFÍA 2.1. Lomas redondeadas y pequeños valles. Vista aproximada N (Sector San Cayetano).....	16
FOTOGRAFÍA 2.2. Pared rocosa. Gneis de Sabanilla. UTM: 7069633-9558586	17
FOTOGRAFÍA 2.3. Lomas alargadas con pendientes moderadas (Ciudad de Zamora). Vista aproximada hacia el NO.	18
FOTOGRAFÍA 2.4. Pendientes abruptas en rocas metamórficas (Sector Quebrada Los Lumos). Vista aproximada al SE. UTM: 7069633-9558586.....	19
FOTOGRAFÍA 2.5. Detalle de taludes formados por areniscas gruesas (Fm. San Cayetano). UTM: 700106-9560010.	27
FOTOGRAFÍA 2.6. Detalle del Miembro Limolita (Fm. San Cayetano). Vista aproximada SO. UTM: 700106-9560010.	28

FOTOGRAFÍA 2.7. Pliegue afectado por fallas en el Miembro Limolita (Fm. San Cayetano). Vista aproximada NE. UTM: 700586-9559549	29
FOTOGRAFÍA 2.8. Deslizamiento rotacional activo, Fm. San Cayetano: Miembro Limolita. UTM: 701240-9559471. (LZ3, Ver ANEXO 2)	30
FOTOGRAFÍA 2.9. Afloramiento de conglomerados intercalados con estratos de areniscas (Fm. Quillollaco). Vista aproximada hacia el NO. UTM: 703362-9559879	31
FOTOGRAFÍA 2.10. Pared vertical de conglomerados y areniscas intercaladas (Fm. Quillollaco) afectada por caídas de rocas y escorrentía superficial. UTM: 702894-9559050.....	32
FOTOGRAFÍA 2.11. Afloramiento de cuarcitas intercaladas con esquistos. Vista aproximada al N. UTM: 715849-9561668	35
FOTOGRAFIA 2.12. Flujos y avalanchas de detritos en rocas metamórficas (U. Chiguinda). Vista aproximada hacia el SE. UTM: 709191-9559279	36
FOTOGRAFÍA 2.13. Afloramiento de cuarcitas y esquistos afectado por desprendimientos (U. Chiguinda. LZ 57). Vista aproximada hacia el SE. UTM: 716835-9562764	37
FOTOGRAFÍAS 2.14 y 2.15. Paredes verticales de gneises: (<i>Foto 2.14</i>) Afectado por caída de rocas. Vista hacia el SE. Sector Río Sabanilla (<i>Foto 2.15</i>) Talud relativamente estable. UTM: 720219-9559070.	38
FOTOGRAFÍA 2.16. Muestra de ortogneis (U. Gneis de Sabanilla) recolectada en UTM: 725232-9551995 .Carretera Loja-Zamora	39
FOTOGRAFÍA 2.17. Muestra de paragneis (U. Gneis de Sabanilla) recolectada en UTM: 720907-9555493 .Carretera Loja-Zamora.	39
FOTOGRAFÍA 2.18. Deslizamiento Rotacional (LZ 67) en un depósito coluvial antiguo (U. Gneis de Sabanilla). UTM: 719818-9555978.....	40
FOTOGRAFÍA 2.19. Deslizamiento Rotacional (Batolito de Zamora; ANEXO 2, LZ 79). UTM: 725327-9551514	42
FOTOGRAFIA 3.1. Detalle de la identificación de flujos a través de las fotos aéreas (círculos amarillo y rojo). Foto aérea (28439) escala 1:60.000 (Proyecto Carta Nacional. IGM).	47
FOTOGRAFÍAS 3.2 y 3.3 .Procesos de remoción en masa: (<i>Izquierda</i>) Flujo de detritos (U. Chiguinda. LZ38). (<i>Derecha</i>) Deslizamiento Rotacional (Fm. San Cayetano. LZ 11).....	53
FOTOGRAFÍAS 3.4 y 3.5. Daños en la carretera: (<i>Izquierda</i>) Asentamiento y pérdida de alienación de la cuneta de la vía UTM: 720219-9559070 (<i>Derecha</i>) obstrucción parcial de la carretera por avalancha de escombros. Sector El Retorno UTM: 719111-9562808	54
FOTOGRAFÍA 4.1. Deslizamiento en cuña. Unidad Chiguinda. Vista SO (UTM: 713074-9561087) ...	94
FOTOGRAFÍA 4.2. Deslizamiento traslacional (LZ 44). Unidad Chiguinda. (UTM: 713904-9561296). ...	94

INDICE DE ANEXOS

- ANEXO 1.** Referencias para el llenado de las fichas de campo
- ANEXO 2.** Fichas de campo de los fenómenos de remoción en masa
- ANEXO 3.** Parámetros para la determinación de la susceptibilidad parcial (Relativa) a partir de las relaciones ADZ/AREA CUENCA y NFRM/AREA CUENCA
- ANEXO 4.** Parámetros morfométricos para la identificación de cuencas susceptibles a generar flujos de detritos y crecidas con detritos. Índice de Melton.
- ANEXO 5.** Datos estructurales tomados a lo largo de la carretera Loja-Zamora.

RESUMEN

La carretera Loja-Zamora desde inicios de su construcción se ha visto afectada por fenómenos de remoción en masa (FRM) e inestabilidad de taludes que han ocasionado inconvenientes a los pobladores de ambas ciudades.

La susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa es la predisposición que presenta un talud o ladera a fallar debido a las características intrínsecas, físicas y geomorfológicas que posee. A partir de la interpretación de fotos aéreas y el levantamiento de información a través de fichas de campo, se evaluó la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa en la carretera. La evaluación se la efectuó mediante la metodología propuesta por Brabb considerando como límite del área de influencia las cuencas hidrográficas que drenan hacia la carretera. Se utilizó también una metodología que determina la susceptibilidad de una cuenca a procesos hidromeomorfométricos (crecidas, crecidas con detritos y flujos de detritos) utilizando los parámetros morfométricos de la cuenca (longitud y área de la cuenca). Finalmente, un análisis del potencial de inestabilidad de taludes a partir de la información estructural obtenida a través de trabajo de campo permite evaluar, de forma general, las condiciones actuales de los taludes formados en la carretera Loja-Zamora. Los resultados obtenidos muestran niveles altos y medios de susceptibilidad en las rocas metamórficas (Unidades Chiguinda y Gneis de Sabanilla) aflorantes a lo largo de la carretera. En el caso de las rocas sedimentarias (Formaciones San Cayetano y Quillollaco) y del intrusivo (Batolito de Zamora), los niveles de susceptibilidad varían de bajo a muy bajo. Los fenómenos de remoción en masa que caracterizan el área de estudio y determinados a partir del levantamiento a través de

fichas de campo son: deslizamientos rotacionales y traslacionales, flujos de detritos, desprendimientos y caídas de rocas.

La información recopilada y presentada en este trabajo constituye una valiosa herramienta que puede ser usada en la zonificación técnica del área de estudio con el propósito de efectuar obras de mitigación y prevención correspondientes así como realizar trabajos en detalle encaminados a mejorar las condiciones actuales de la carretera Loja-Zamora.

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

La susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa (FRM) es la predisposición que presenta un talud o ladera a fallar debido a las características intrínsecas, físicas y geomorfológicas que posee. El análisis de la susceptibilidad se basa en la identificación de los factores que influyen en la ocurrencia de los fenómenos de remoción en masa. Estos factores se sintetizan mediante una metodología de zonificación y el resultado se clasifica en rangos de susceptibilidad que se representan o dibujan sobre un mapa que expresa la distribución de la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa para un sitio determinado (PMA: GCA, 2005b). La zonificación de la susceptibilidad de un área determinada corresponde únicamente a un período de tiempo y no prevé condiciones futuras de inestabilidad, pero facilita la determinación de áreas o zonas que requieren de medidas de control y mitigación inmediata. Los mapas de inventario de fenómenos de remoción en masa, por ejemplo, permiten tener una primera noción de la susceptibilidad de un sitio en particular considerando que en áreas donde han sucedido fenómenos existe la posibilidad de que nuevamente se produzcan (González, 2002).

La carretera Loja-Zamora une dos importantes provincias del sur del Ecuador y desde su construcción ha sido afectada por la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa e inestabilidad de taludes y laderas. Actualmente se está utilizando un nuevo trazado que entró en funcionamiento aproximadamente al inicio de la década

de los ochenta, sin embargo, los problemas relacionados con procesos morfodinámicos continúan.

Existen áreas que muestran evidencias de movimientos profundos lo cual se puede visualizar en los constantes hundimientos y desplazamientos observados en la carretera, la misma que debe ser constantemente reparada. Muchos de los fenómenos de remoción en masa tienen gran potencial para aceleraciones rápidas, que podrían, dependiendo de las condiciones, represar ríos y quebradas e impedir la circulación vehicular entre las ciudades de Loja y Zamora. Debe tenerse presente que las opciones para construir rutas adicionales aparte de la vía principal son limitadas y en algunos casos nulas.

En los primeros trabajos geológicos efectuados en la provincia de Loja se describen reportes de deslizamientos en la cuenca de Loja que incluye el área donde se ubica el trazado actual de la carretera Loja-Zamora (Kennerley, 1973). Estudios efectuados en la región Andina del Ecuador determinan que en la zona se ha producido la reactivación de áreas inestables en numerosas ocasiones, generando movimientos lentos unas veces y rápidos y violentos otras (Plaza, 1996). Trabajos más recientes dan cuenta de la presencia de fenómenos de remoción en gran parte del trazado actual de la vía entre los que se encuentran: deslizamientos rotacionales y traslacionales, flujos de detritos y caídas de rocas que han generado asentamientos y obstrucciones de la carretera, erosión de taludes y daños en cunetas y estructuras de contención (MOP, 2001).

Los antecedentes anteriormente indicados, determinan que la carretera es susceptible a fenómenos de remoción en masa de diferente tipo y magnitud, y por lo tanto, es necesario efectuar una zonificación con el propósito de priorizar técnicamente áreas con mayor o menor susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, para la planificación de trabajos de mantenimiento y reparación de la carretera.

En la ejecución de proyectos lineales es durante la etapa de prefactibilidad cuando se hace indispensable una metodología de análisis de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa. Este análisis junto con el trabajo de campo

correspondiente, permite al proyectista optar por las alternativas adecuadas para la ejecución de la obra e implementar medidas de protección y mitigación frente a fenómenos de remoción en masa a corto y a largo plazo. El método de análisis debe ser de preferencia bastante sencillo en su aplicación de tal forma que permita generar resultados confiables y al mismo tiempo dejar bases suficientes para llevar a cabo trabajos más profundos y detallados a futuro. En el caso de la carretera Loja-Zamora este análisis se realiza durante el presente trabajo, como un aporte al conocimiento de los fenómenos de remoción en masa en el Ecuador.

1.2 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

- Ensayar metodologías para evaluar la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa en el trazado de la carretera Loja-Zamora

1.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Elaborar un mapa de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa de la Carretera Loja-Zamora.
- Determinar el grado de aplicabilidad de la metodología utilizada.

1.2 METODOLOGÍA

Las actividades realizadas fueron las siguientes:

- Recopilación y análisis de la documentación existente acerca de las metodologías para evaluar la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa en carreteras, y los resultados de trabajos anteriores e información técnica existente en el área donde se encuentra el trazado de la carretera.
- Identificación de las metodologías de análisis de susceptibilidad aplicables en el área de estudio de acuerdo a la información existente y de las bases de trabajo disponibles
- Elaboración de los datos básicos en el área de estudio tales como:
 - Identificación y elaboración de un inventario de fenómenos de remoción en masa (Base topográfica 1:50.000).

- Reconocimiento geológico y elaboración de un mapa geológico (Escala 1:50.000).
- Determinación de criterios y lineamientos para la aplicación de la metodología escogida.
- Aplicación de la metodología y análisis de resultados.
- Elaboración del informe final.

1.3 BASES DISPONIBLES DEL TRABAJO Y ALCANCE

Entre la información disponible que permitió lograr los productos que se presentan en este trabajo se pueden citar:

- Bibliografía especializada:
 - **Abad K. F., 2006.** Ensayo metodológico para la evaluación y zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa, Cuenca de Loja. Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Carrera de Ingeniería Geológica. Quito, Ecuador.
 - **Groupe d'Études des Falaises (GEF), 1978.** Eboulements et chutes de pierres sur les routes. Méthode de cartographie. Rapport de recherche LPC N° 80. Ministère de L'environnement et du cadre de vie- Ministère des Transports., 68pp.
 - **Ingeominas, 2001.** Evaluación del Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa, Guía Metodológica, Primera Edición. Bogotá, Colombia.
 - **Technical committee for earthquake geotechnical engineering, tc4, issmfe, 1993.** Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards, The Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering. Tokyo, Japan, 149pp.
 - **Varnes, D., 1984.** Landslide Hazard zonation: a review of principles and practice. UNESCO.
 - **Wilford D. J., Sakals M. E., Innes J.L. Sidle R. C., Bergerud W. A., 2004.** Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics. Landslides 1:61-66. Springer-Verlag.
- Mapas y fotografías aéreas:

- Mapa Geológico de Loja. Escala 1:100.000. Hoja 56
- Mapa Geológico de Zamora. Escala 1:100.000. Hoja 77.
- Mapa Geológico de la República del Ecuador. Escala 1:1000.000.
- Mapas topográficos utilizados:

NOMBRE	CÓDIGO	AÑO	ESCALA
Loja Norte	CT-NVI-F4, 3782-II	1981	1: 50.000
Zumbi	CT-ÑVI-E3, 3882-III	1981	1: 50.000
Río Sabanilla	CT-NVII-B2, 3781-I	1981	1: 50.000
Zamora	CT-ÑVII-A1, 3881-IV	1981	1: 50.000

- Fotos aéreas utilizadas:

Rollo	Fotos	Escala	Año
R14	2817-2818	1: 60.000	1976
R13	2702-2705	1: 60.000	1976
R13	2664-2665	1:60.000	1976
R13	2780-2781	1:60.000	1976
R147	28467-28468	1: 60.000	1989
R147	28402-28404	1: 60.000	1989
R147	28439-28440	1:60.000	1989

TABLA 1.1. Fotografías utilizadas para este estudio

- Fichas de campo: en total para este estudio se utilizaron 82 fichas (Ver ANEXO 2)
 - Se utilizó el programa Arcview 3.2 para el procesamiento digital del trabajo. La edición cartográfica se la efectuó con Autodesk Map 3D 2005.
 - Trabajo de campo: El trabajo de campo tuvo una duración aproximada de un mes y medio. Se lo efectuó en conjunto con personal técnico de la Dirección Nacional de Geología (DINAGE).

ALCANCE

El estudio abarca el trazado de la carretera que une las ciudades de Loja y Zamora que es de aproximadamente 55 Km. A través del estudio de las fotografías aéreas se localizan e identifican fenómenos de remoción en masa, la litología así como las estructuras geológicas presentes. Con esta información se realizó un reconocimiento en el terreno de los elementos identificados en la fotointerpretación. Este reconocimiento permite verificar los datos geológicos estructurales observados a partir de las fotos aéreas y complementar con su medición a lo largo del trazado de la vía.

El estudio de las fotografías aéreas se lo hace sobre fotos de diferentes años y a diferentes escalas con el propósito de tener un inventario de los fenómenos de remoción en masa lo más completo posible.

Debe señalarse que el estudio se lo hizo a lo largo de la carretera y adicionalmente se tomaron datos en el trazado antiguo de la carretera que actualmente ya no es utilizado.

El trabajo definitivo de evaluación de la susceptibilidad se lo realizó sobre el trazado actual de la vía que une las provincias de Loja y Zamora. De forma general, para la evaluación de la susceptibilidad se consideraron las cuencas hidrográficas que influyen directamente sobre el trazado de la carretera. Se usó como límite los bordes de dichas cuencas para aplicar el Método de Brabb el cual considera el mapa de inventario de fenómenos de remoción en masa, el mapa litológico y el mapa de pendientes que se genera a partir del mapa topográfico a escala 1:50.000. Un segundo ensayo se realizó tomando en cuenta el área y el número (frecuencia) de los fenómenos de remoción en masa, con el área de cada cuenca hidrográfica. Con esta relación se califica o pondera la susceptibilidad de cada cuenca a los fenómenos de remoción en masa. Finalmente, se presenta un método que tiene un carácter predictivo y que considera parámetros morfométricos de las cuencas con el propósito de evaluar el tipo de procesos hidrogeomorfométricos (flujos de detritos, crecidas con detritos y crecidas) que pueden suscitarse en las cuencas hidrográficas localizadas dentro de la zona de estudio.

Con las observaciones en el terreno a lo largo de la carretera, se desarrollan recomendaciones generales para contribuir a la prevención y mitigación de los

impactos. Estas recomendaciones se sintetizan en fichas de campo que describen los rasgos relevantes de cada fenómeno de remoción en masa que afecta de forma directa a la carretera.

CAPITULO II: CARACTERÍSTICAS DEL AREA DE ESTUDIO

2.1 CARACTERISTICAS GEOGRAFICAS

2.1.1 UBICACIÓN Y ACCESOS

El trazado de la carretera se localiza al sur del Ecuador en las provincias de Loja y Zamora. La carretera que une las ciudades de Loja capital de la provincia de Loja y Zamora capital de la provincia de Zamora, tiene una longitud aproximada de 55 Km. y atraviesa la Cordillera Real de oeste a este entre las siguientes coordenadas: 699.921-9,560.011 y 726.836-9,550.750.

El acceso a esta zona se lo puede realizar por la carretera desde la Ciudad de Loja y desde la región oriental a través de la carretera Gualaquiza Zamora.

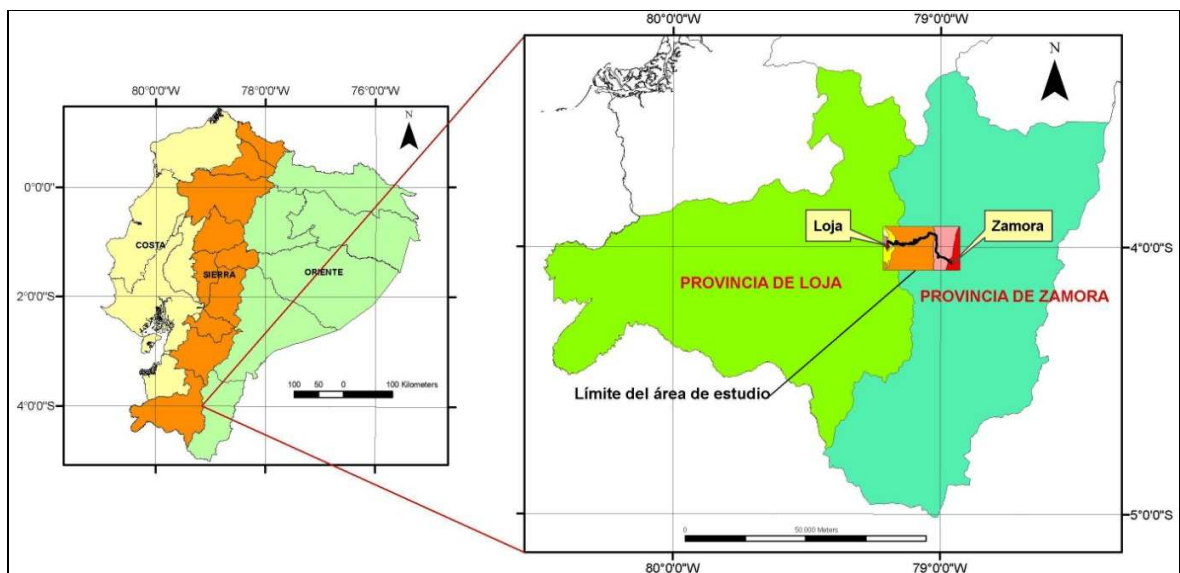


FIGURA 2.1. Ubicación del Área de estudio

2.1.2 MORFOLOGIA

El área de estudio presenta tres zonas morfológicas que de oeste a este son: la Cuenca de Loja, el pie de monte y la zona de montaña que se describen a continuación (FIGURA 2.2):

La Cuenca de Loja (U1): se ubica desde los 2022 a los 2573 msnm (metros sobre el nivel del mar) y corresponde a la parte oriental de la zona de estudio. Se encuentra cubierta en gran parte por depósitos aluviales procedentes de los principales ríos que atraviesan la cuenca (ríos Malacatos y Zamora).

El relieve a lo largo de la carretera se caracteriza, en un inicio, por lomas redondeadas con pequeños valles pasando paulatinamente a un relieve con pendientes abruptas. Se aprecian deslizamientos rotacionales y traslacionales en las laderas y al interior de los valles. Un cambio morfológico importante ocurre en el contacto geológico entre rocas sedimentarias (Formación San Cayetano) y rocas metamórficas (Unidad Chiguinda) resultando en una zona con pendientes fuertes con lomas orientadas aproximadamente N-S y con alturas entre 2.298 a 2.573 msnm.



FOTOGRAFÍA 2.1. Lomas redondeadas y pequeños valles. Vista aproximada N (Sector San Cayetano)

En la FOTOGRAFÍA 2.1 se presentan, al fondo, lomas redondeadas cubiertas por vegetación y en medio de ellas un pequeño valle. Hacia las partes bajas se

observan procesos de reptación y deslizamientos. La pérdida de cobertura vegetal acelera la ocurrencia de estos fenómenos.

La Zona de pie de monte (U2): presenta un relieve moderado el cual por la acción de deslizamientos en algunos sectores ha desarrollado pendientes abruptas (desfiladeros). Se tienen alturas entre 2.573 a 2.849 msnm hacia la ciudad de Loja y desde los 920 a 2.849 msnm para el sector de la ciudad de Zamora.

A partir del kilómetro 27 la carretera sigue la dirección de los cauces del río San Francisco y Zamora. Los ríos de esta zona forman valles en “V” y el relieve se caracteriza por pendientes moderadas a fuertes. La ocurrencia de fenómenos de remoción en masa tales como flujos de detritos, avalanchas y deslizamientos ha modificado el relieve de esta zona.

En el sector denominado El Retorno (kilómetro 36 aproximadamente) la morfología a lo largo del trazado de la carretera se caracteriza por la presencia de taludes verticales varios de los cuales presentan caídas de rocas. Los ríos y quebradas que atraviesan la zona forman valles profundos en “V” que se van ensanchando gradualmente hasta llegar a la ciudad de Zamora.



FOTOGRAFÍA 2.2. Pared rocosa. Gneis de Sabanilla. UTM: 7069633-9558586

En la FOTOGRAFÍA 2.2 se presenta un talud vertical dentro de la Unidad litológica denominada Gneis de Sabanilla. Se observa pérdida de cobertura vegetal en el talud (tonalidad más clara en la fotografía) como producto de una caída de rocas.

En el kilómetro 53, aproximadamente, (Sector quebrada San Genairo) se produce un cambio morfológico pasando de un relieve compuesto por pendientes fuertes y lomas alargadas a un relieve con lomas alargadas y en general una morfología ondulada a semiplana. En esta zona se produce el contacto entre las rocas metamórficas (unidad Gneis de Sabanilla) e intrusivas (Batolito de Zamora).



FOTOGRAFÍA 2.3. Lomas alargadas con pendientes moderadas (Ciudad de Zamora). Vista aproximada hacia el NO.

En la FOTOGRAFÍA 2.3 se presenta una vista panorámica desde la ciudad de Zamora

La Zona de montaña (U3): Caracterizada por alturas que oscilan entre los 2849 a 3400 msnm con pendientes entre los 34° a 89°. La cadena de montañas tiene una dirección preferencial N-S y constituye el límite oriental de la cuenca de Loja. Para el área de estudio se tienen además dos ramales (2849 a 3124msnm) de rumbo aproximado E-O que forman las subcuencas de los ríos San Francisco y Sabanilla, ambos afluentes del río Zamora.

En la FOTOGRAFÍA 2.4 se muestra la morfología que caracteriza la zona de montaña. Se tienen pendientes fuertes y es posible apreciar huellas de antiguos flujos de detritos que nacen en las partes altas y que se dirigen hacia la carretera.

Algunos de los taludes que se formaron como resultado de la construcción de la carretera presentan problemas de inestabilidad (desprendimientos y caída de rocas).



FOTOGRAFIA 2.4. Pendientes abruptas en rocas metamórficas (Sector Quebrada Los Lumos). Vista aproximada al SE. UTM: 7069633-9558586

En el recorrido por la carretera (kilómetros 13 a 16 aproximadamente) se aprecia un relieve fuerte con dominio de montañas alargadas con crestas agudas. El relieve ha sido modificado por fenómenos de remoción en masa tales como flujos de detritos y avalanchas.

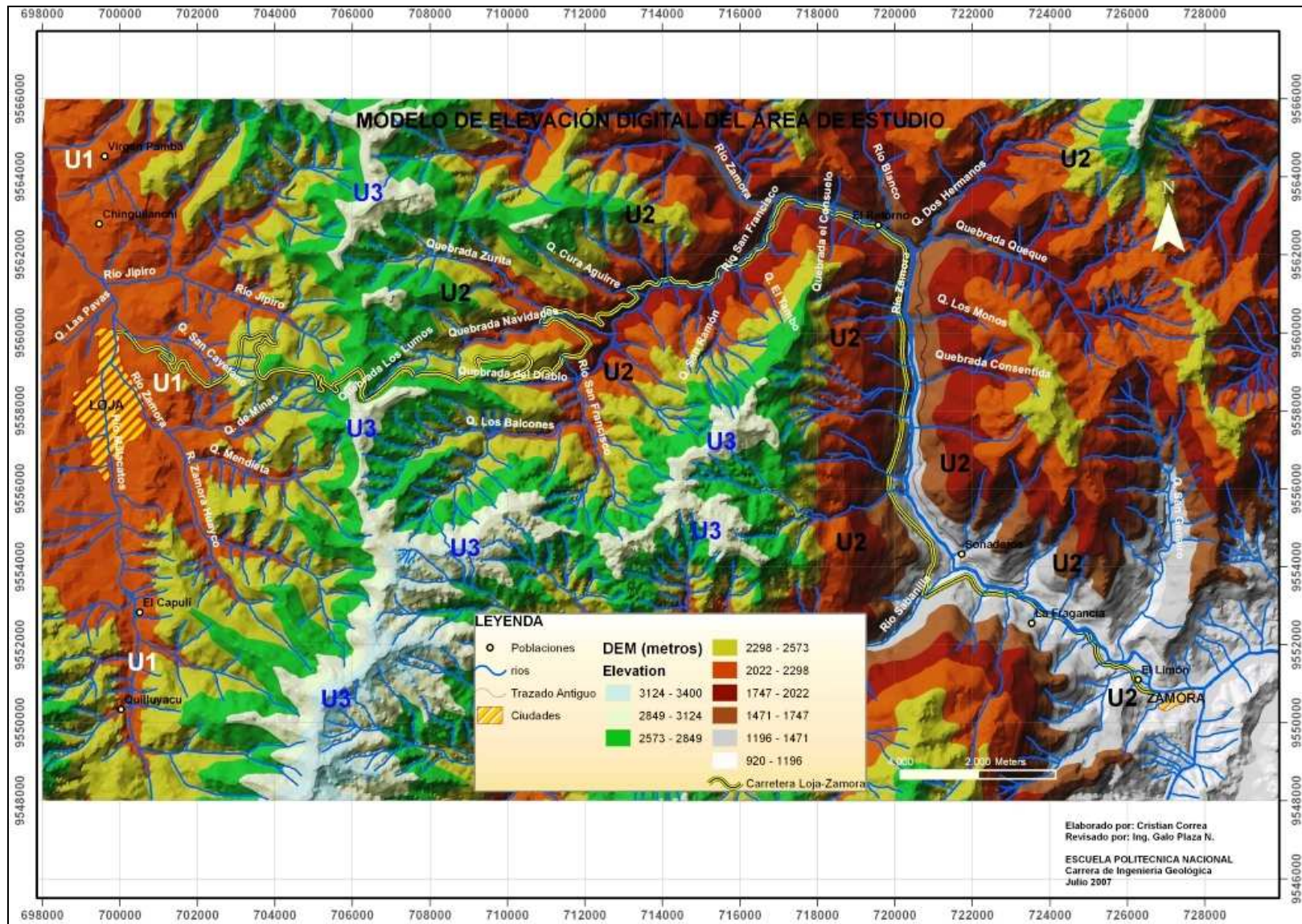


FIGURA 2.2. Modelo de elevación digital del área de estudio

2.1.3 HIDROGRAFIA

Los ríos y quebradas de la zona de estudio presentan una configuración dendrítica a paralela (FIGURA 2.2). La densidad en el drenaje aumenta hacia las estribaciones de la Cordillera Real donde la pendiente también aumenta de manera considerable. Los ejes hidrográficos principales lo conforman el río Malacatos y el río Zamora.

Los ríos que se dirigen hacia la cuenca hidrográfica de Loja presentan gradientes longitudinales entre 3° y 6° aproximadamente. Para las zonas de pie de monte y de montaña se tienen gradientes entre 9° y 24°. Estos ríos fluyen en direcciones aproximadamente perpendiculares a la red de drenaje principal constituida por los Ríos Zamora y Malacatos se tiene una red secundaria compuesta por los ríos Jipiro y Zamora Huayco que junto con las quebradas De Sangre, San Cayetano, Mendieta y de Minas forman un drenaje subparalelo.

Los afluentes importantes del río Zamora son los ríos Sabanilla y San Francisco (zona de pie de monte). Este último tiene un recorrido aproximadamente NE uniéndose al Río Zamora a unos dos kilómetros del sector denominado el Tambo. La red hidrográfica señalada tiene una configuración dendrítica y a diferencia de la red hidrográfica de la cuenca conformada por el río Malacatos, la densidad es notoriamente mayor. Las variaciones de la densidad de drenaje se relacionan con la litología. En la cuenca de Loja se tienen principalmente rocas sedimentarias aflorantes, mientras que, en las zonas de montaña y pie de monte la litología dominante son rocas metamórficas e intrusivas.

2.1.4 CLIMA Y VEGETACIÓN

El clima en la zona de estudio en general es variable. Partiendo desde la Cuenca de Loja hasta la zona de montaña se tiene un régimen climático húmedo notorio en los meses de Mayo y Junio. En los meses de Julio a Agosto se manifiestan lluvias dispersas desde la zona de pie de monte hacia las estribaciones de la Cordillera.

Las temperaturas en la cuenca de Loja decrecen gradualmente con el incremento de la elevación siendo la temperatura promedio anual de la cuenca de 16° C, con una humedad relativa del 75%, y un promedio de precipitaciones que fluctúan entre 728 y

1019 mm al año. El viento se desplaza en diferentes direcciones con velocidades que varían entre 1 a 4 m/s. La vegetación consiste de bosque de montaña baja. Matorrales y hierba rojiza cubren gran parte de las pendientes prominentes del área.

Desde la zona de pie de monte con dirección a la ciudad de Zamora el clima varía desde tropical húmedo hasta templado húmedo con temperaturas que fluctúan desde 18° C hasta 22° C. Se tiene una pluviosidad alta durante el año con períodos cortos de ausencia de lluvias conocidos como “veranillos”. La ciudad de Zamora está dentro de la región húmeda subtropical con promedios de precipitaciones anuales desde 1500 a 3000mm. En cuanto a la vegetación, se distinguen áreas de bosque natural (selvático) hacia las partes más altas junto con pastos naturales.

La ganadería y la agricultura junto con la explotación maderera han contribuido a la tala del bosque selvático en las márgenes de los ríos principales y quebradas. A lo largo de la carretera es posible apreciar que en algunas zonas la pérdida de cobertura vegetal ha influido, al menos en parte, a favorecer la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, puesto que, su presencia contribuye a evitar problemas de erosión, reptación y a controlar la escorrentía superficial.

La marcada variabilidad en el clima provoca grados diferentes de meteorización. Las rocas (Batolito de Zamora) que se ubican cerca de la ciudad de Zamora por ejemplo, donde el clima es bastante cálido, presentan un grado muy alto de meteorización con la formación de suelos de potencias variables (3 a 5m).

2.2 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El área de estudio se ubica al sur de la Cordillera Real del Ecuador, donde afloran rocas metamórficas cubiertas por rocas sedimentarias al este e intruídas por granitos en la parte oeste.

Las rocas metamórficas corresponden al basamento y debido a sus rasgos tectónicos y ambiente de formación han sido agrupados en terrenos separados uno del otro por suturas. Estos terrenos de oeste a este son: Guamote, Alao, Loja, Salado y el Terreno Zamora (Litherland et al., 1994). A continuación se hace una breve

descripción de las Unidades Chiguinda, Gneis de Sabanilla que pertenecen al Terreno Loja así como del Terreno Zamora que forman parte del área de estudio.

2.2.1 UNIDADES DEL BASAMENTO

2.2.1.2 Unidad Chiguinda (Paleozoico)

Predomina en la parte sur de la Cordillera Real y aflora a lo largo de la carretera Catamayo-Loja-Zamora. Su litología comprende esencialmente cuarcitas impuras de grano medio a fino, filitas negras, pizarras y esquistos. Está en contacto tectónico con el Gneis Sabanilla hacia el este y su espesor es desconocido pero se estima que podría medir algunos kilómetros (Aspden y Litherland, 1992). Corresponde al basamento de las cuencas de Loja y Malacatos. Pueden apreciarse pliegues (isoclinales) suavemente inclinados y horizontales así como crenulación.

2.2.1.3 Unidad Gneis Sabanilla (Paleozoico y Triásico)

Comprende un grupo de gneises de grado medio a grueso formando un cinturón de 10 Km de ancho desde la frontera con el Perú hasta 150 Km de largo hacia el norte. Se clasifica como un monzogranito que se encuentra en contacto tectónico con la unidad Chiguinda.

2.2.1.4 Terreno Zamora

Este terreno está constituido por una serie de rocas intrusivas incluidas dentro del Batolito de Zamora así como también de rocas volcánicas. La composición de estas rocas varía de intermedia a ácida. El Batolito aflora desde el norte del Perú hasta la ciudad de Zamora. Es un plutón tipo "I" (Litherland, 1994). En el área de estudio consta primordialmente de granodioritas.

2.2.2 ESTRATIGRAFIA DE LA CUENCA DE LOJA

La cuenca de Loja se localiza al oeste de la zona de estudio y es atravesada por una falla de rumbo norte-sur que buza al oeste, de ahí que se utilizó este rasgo tectónico para dividirla en una parte oeste y otra este. En la cuenca se tienen principalmente

rocas de ambiente fluvial-lacustre (Formaciones Trigo, La Banda, Belén y San Cayetano) y abanicos aluviales (Formación Quillollaco).

A continuación se describen las principales características de las Formaciones San Cayetano y Quillollaco que forman parte de la secuencia estratigráfica de la cuenca de Loja.

2.2.3.4 FORMACIÓN SAN CAYETANO

Con un espesor aproximado de 800m esta formación se compone de areniscas de grano fino, lutitas canalizadas calcáreas y silíceas, brechas, intercalaciones de diatomitas, conglomerados canalizados y carbón tipo lignito. La presencia de ripples y estratificación cruzada en las areniscas serían un indicativo que la depositación tuvo lugar en agua agitada pero de poca profundidad. Aflora en la ciudad de Loja, cerca del pueblo de San Cayetano al este del río Zamora. Se restringe al lado este de la cuenca y se le asigna una edad Mioceno Medio (13.8 ± 1.2 y 10.0 ± 1.4 Ma). Define un ambiente de fluvial a lacustre.

Se la ha dividido en tres miembros que se detallan a continuación:

- **Miembro Arenisca Inferior:** se compone de areniscas espesas, conglomerados canalizados y en menor cantidad lutitas y varias vetas de carbón.
- **Miembro Limolita:** lutitas canalizadas laminadas de color café, gris y blanco, capas de diatomitas y pocos horizontes piroclásticos. La depositación se habría dado en un lago con aporte de clastos en un ambiente tropical de baja elevación. Se han reportado dos capas de brechas con potencias entre 3 y 5 metros.
- **Miembro Arenisca Superior:** de grano mucho más fino que el Miembro Arenisca Inferior y muestran grano creciente.

Esta Formación se encuentra bastante plegada y descansa discordantemente sobre la Unidad Chiguinda y esta sobreyacida en discordancia angular por la Formación Quillollaco.

2.2.3.5 FORMACIÓN QUILLOLLACO

Aflora tanto al lado oeste como este de la cuenca y alcanza una potencia de 600 m y se le ha atribuido una edad de Mioceno Tardío. Esto formada por conglomerados con soporte de clastos y lentes de arenisca. Los clastos son metamórficos tales como filitas, cuarcitas, esquistos, cuarzo de vetas todo en una matriz arenosa. Son esencialmente abanicos aluviales junto con flujos de detritos con aporte metamórfico. Yace en discordancia sobre las formaciones más antiguas (Trigal, Belén y San Cayetano) y esta sobreyacida por depósitos cuaternarios.

2.3 MARCO GEOLÓGICO LOCAL

La carretera que une las provincias de Loja y Zamora atraviesa de oeste a este una secuencia de rocas sedimentarias, rocas metamórficas y rocas intrusivas.

La secuencia sedimentaria está conformada por las formaciones de ambiente lacustre San Cayetano y por los abanicos aluviales de la Formación Quillollaco. La secuencia metamórfica está constituida por rocas asignadas a la unidad Chiguinda, gneises que corresponden a la Unidad Sabanilla y granodioritas pertenecientes al Batolito de Zamora.

Las características litológicas de estas rocas observadas en el trazado de la carretera Loja-Zamora se describen a continuación (FIGURA 2.3):

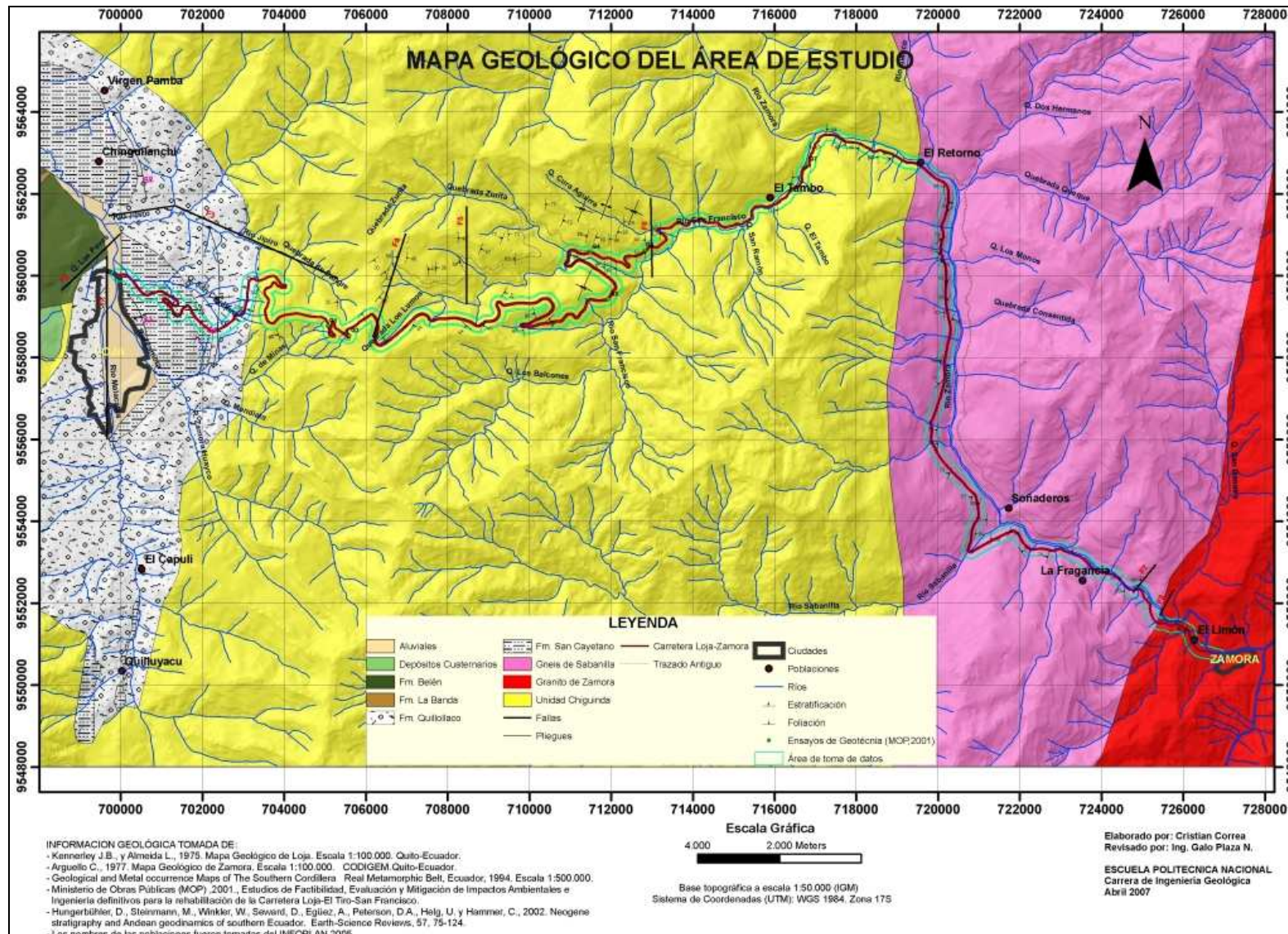
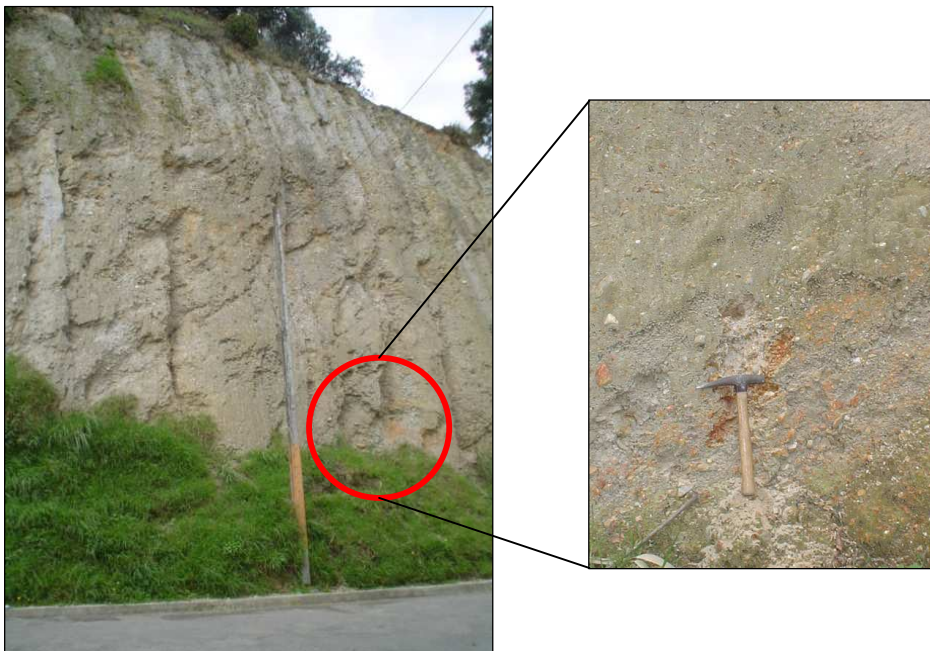


FIGURA 2.3. Mapa Geológico del área de estudio

2.2.4.1 ROCAS SEDIMENTARIAS

Las rocas sedimentarias expuestas a lo largo de la carretera Loja-Zamora corresponden a las Formación San Cayetano y a la Formación Quillollaco.

FORMACION SAN CAYETANO: la formación aflora hasta el kilómetro cuatro (FIGURA 2.3), son comunes areniscas gruesas de color crema con lentes de conglomerados con clastos metamórficos y cuarzo de vetas. Los clastos son subredondeados y tienen diámetros variados desde 1 a 15 cm aproximadamente. Los conglomerados son del tipo matriz soportado. La matriz es silíceo-arcillosa, arcillosa y presenta un tamaño de arena media a gruesa de color crema.



FOTOGRAFÍA 2.5. Detalle de taludes formados por areniscas gruesas (Fm. San Cayetano). UTM: 700106-9560010.

En la FOTOGRAFÍA 2.5 se muestra un detalle de areniscas gruesas donde se pueden apreciar clastos de cuarzo de veta y de rocas metamórficas (pizarras y filitas negras) con diámetros de hasta 4 mm en promedio.

En el kilómetro 2.5, en la secuencia constituida por lutitas (Miembro Limolita) se observan pliegues con rumbos aproximados NO y N-S varios de los cuales se encuentran fracturados. Este fracturamiento ocurre como respuesta al plegamiento

que sufren las lutitas. Por lo general, estas fracturas son perpendiculares a la estratificación.



FOTOGRAFÍA 2.6. Detalle del Miembro Limolita (Fm. San Cayetano). Vista aproximada SO. UTM: 700106-9560010.

De manera general esta secuencia se compone de lutitas de colores café claro a oscuro y forman taludes con alturas de hasta 15m aproximadamente en la carretera (UTM: 701121-9559422 a 701238-95591949).

En las FOTOGRAFÍAS 2.6 y 2.7 se muestra un detalle del Miembro Limolita de la Formación San Cayetano donde se puede apreciar fracturamiento y plegamiento observables en algunos taludes de la carretera. En la FOTOGRAFÍA 2.7 se presenta un pliegue afectado por una falla de cinemática aparentemente inversa.



FOTOGRAFÍA 2.7. Pliegue afectado por fallas en el Miembro Limolita (Fm. San Cayetano). Vista aproximada NE. UTM: 700586-9559549

La Formación San Cayetano presenta estratificaciones con rumbos aproximados N30°E, N-S, N40°O con buzamientos hacia el SE, E y NE, entre 45°, 25° y 65° respectivamente. El MOP (2001) reporta un anticlinal (A1) en el UTM: 700.492-9,559.007 cuyo eje presenta un rumbo aproximado NO (Ver FIGURA 2.3).

Los nueve valores de rumbo y buzamiento de estratificación recolectados a lo largo de la carretera muestran una heterogeneidad. En la FIGURA 2.4 se indica uno de los planos de estratificación con dirección N-S buzando 63° al Este.

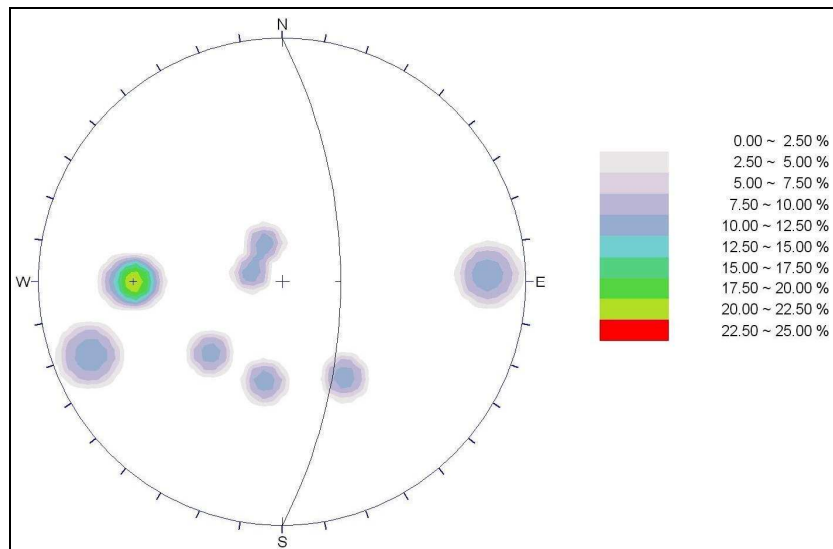


FIGURA 2.4. Representación estereográfica de nueve polos de planos de estratificación de la Formación San Cayetano.

En esta formación se reporta una falla (F2) evidenciada por la dirección NE-SO de la Quebrada Las Pavas (UTM: 699981-9561011) con una extensión de 4Km (MOP, 2001). Una estructura principal constituye una falla N-S que buza hacia el oeste (UTM: 703349-9559875) y que separa la Formación San Cayetano de la Unidad Chiguinda (Hungerbühler et al., 2002).

Los taludes construidos para la apertura de la vía son verticales y por efecto de la escorrentía superficial se generan caídas de rocas (volúmenes no mayores a 0.1 m³) que obstruyen parcialmente las cunetas. Este efecto se ve acentuado en taludes altos (mayores a 10m) sin cobertura vegetal ya que el agua (escorrentía superficial) se moviliza con facilidad arrastrando el material que se encuentra suelto por efecto del plegamiento y fracturamiento que presenta la formación.

Se tienen niveles de alteración con la formación de suelos de composición arcillosa (0.25 a 0.40m de espesor). El manejo del inadecuado del agua es atribuido como uno de los factores desencadenantes para el desarrollo de los deslizamientos (LZ1 a LZ13, Ver ANEXO 2).



FOTOGRAFIA 2.8. Deslizamiento rotacional activo, Fm. San Cayetano: Miembro Limolita. UTM: 701240-9559471. (LZ3, Ver ANEXO 2)

En la FOTOGRAFÍA 2.8 se presenta un deslizamiento rotacional activo en la Formación San Cayetano, que en esta parte se caracteriza por secuencias de lutitas de color crema. En el área es notoria la presencia de agua proveniente de las cunetas en la parte alta y de alcantarillado de las viviendas cercanas. Al pie del deslizamiento se observan entrampamientos de agua.

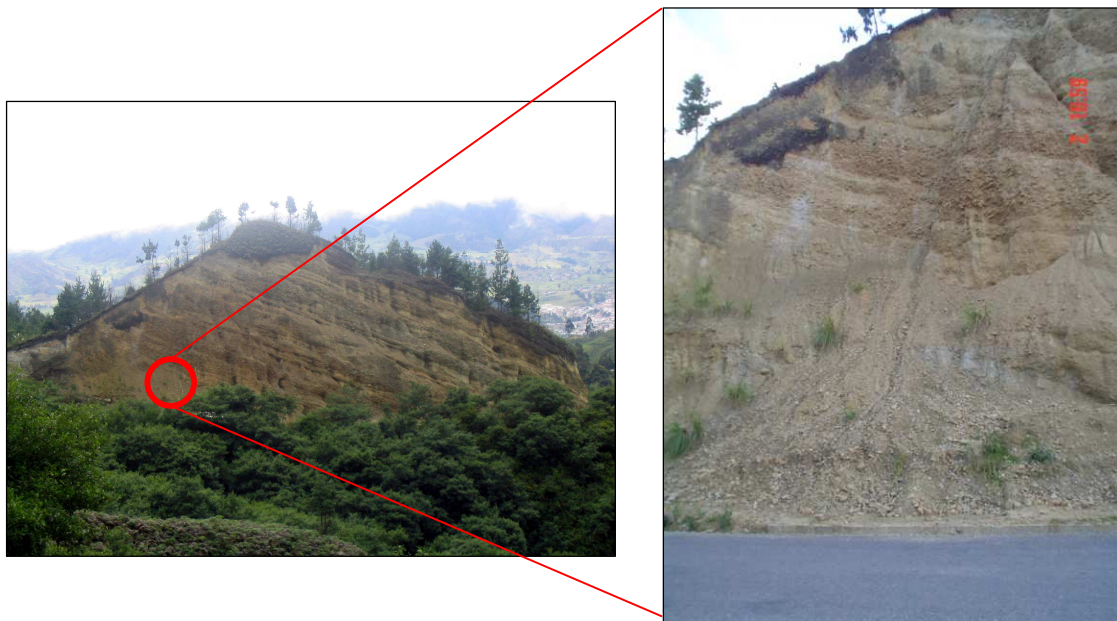
FORMACION QUILLOLLACO: Esta formación aflora desde el kilómetro 4 hasta el kilómetro 6.5. Los afloramientos se presentan como “cuchillas” con rumbo aproximado N-S donde se aprecian estratos de conglomerados en alternancia con areniscas de grano grueso (FOTOGRAFÍA 2.9).



FOTOGRAFÍA 2.9. Afloramiento de conglomerados intercalados con estratos de areniscas (Fm. Quillollaco). Vista aproximada hacia el NO. UTM: 703362-9559879

Los conglomerados presentan potencias entre 1.50 a 2.50 m con clastos metamórficos (esquistos, filitas, cuarzo de vetas) de diámetros no mayores a los 30cm dentro de una matriz de arena de grano grueso. La matriz (porcentaje inferior al 20%) tiene una composición arcillo-limosa. Ocurren también estratos de areniscas de grano medio a grueso de potencias variables de entre 0.5 a 1.0m, intercalados con los conglomerados.

En la FOTOGRAFIA 2.10 se muestra un depósito de caída de rocas al pie de uno de los taludes a lo largo de la carretera. El depósito está compuesto por arena gruesa y clastos metamórficos. Se observa un canal de circulación de agua que se inicia en la parte alta del talud.



FOTOGRAFÍA 2.10. Pared vertical de conglomerados y areniscas intercaladas (Fm. Quillolaco) afectada por caídas de rocas y escorrentía superficial. UTM: 702894-9559050

Medidas de la estratificación recolectados en esta parte de la carretera señalan rumbos NE-NO con buzamientos hacia el NO y SO con ángulos no mayores a 30° . Además de las caídas de rocas son comunes también deslizamientos y reptación. Los diez datos estructurales de rumbo y buzamiento de la estratificación recolectados en la carretera determinaron tres tendencias principales: $N84^\circ O/19^\circ SO$, $N35^\circ O/33^\circ SO$ y $N18^\circ E/31^\circ NO$ (FIGURA 2.5).

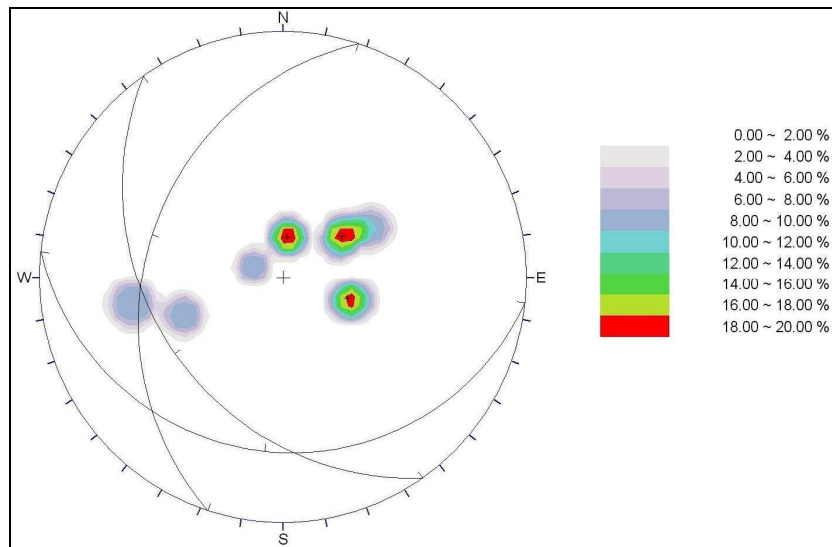


FIGURA 2.5. Representación estereográfica de los 10 polos de los planos de estratificación de la Formación Quillollaco

Para esta formación se reportan dos fallas: una falla (F1) atraviesa el centro de la ciudad de Loja de norte a sur (Hungerbühler, 1997) y está relacionada con la dirección del Río Zamora; no se tienen evidencias morfológicas de la misma porque existe recubrimiento aluvial (UTM: 699666-9560482). Otra falla (F3) presente se ve reflejada por la dirección de la Quebrada De Sangre (UTM: 703387-9560802) que tiene una dirección aproximada oeste-este con una extensión aproximada de 6 Km. Se reportan además dos sinclinales (S1; UTM: 702243-9558631; S2; UTM: 700264-9563261) con rumbos aproximados N-S y NO dentro de esta formación (MOP, 2001).

En los taludes construidos son frecuentes las caídas de rocas (detritos de hasta 15cm de diámetro y con volúmenes de hasta 0,4 m³) por efecto de la escorrentía superficial. De forma general estos taludes no presentan fenómenos de remoción en masa voluminosos.

La presencia de deslizamientos rotacionales superficiales (5m de profundidad en promedio, volúmenes de 1.800m³ aproximadamente) y traslacionales en esta formación se debe principalmente a su litología. La alternancia de estratos de conglomerados con estratos de areniscas facilita la presencia de zonas de debilidad

(superficie de falla). También se ha observado reptación en algunas laderas (LZ16, ANEXO 2).

2.2.4.2 ROCAS METAMORFICAS

UNIDAD CHIGUINDA: esta unidad aflora a partir del kilómetro 6.5 hasta el kilómetro 36.5. Hacia el oeste esta unidad se encuentra discordantemente sobrepuesta por la Formación San Cayetano.

Con excepción de las cuarcitas, las rocas (pizarras, filitas y esquistos) que componen esta unidad presentan un alto grado de meteorización. Las rocas por lo general se encuentran oxidadas presentando coloraciones café oscuro y de estructura frágil (al romperse lo hacen en fragmentos según los planos de foliación). Las cuarcitas ocurren más bien como lentes. Se reporta plegamientos isoclinales en el sector de la Quebrada Cura Aguirre (kilómetro 28.5 aproximadamente) con rumbos NE (BGS, 1993).

En el sector de El Tambo (Parroquia Sabanilla) es característica la predominancia de cuarcitas y esquistos. Por efecto de la meteorización se reporta la formación de suelos residuales con espesores promedio de 12 m (MOP, 2001).

Es notoria la presencia de paquetes de esquistos, filitas gráficas y cuarcitas con rumbos N-S y verticales en unos casos y en otros con rumbos NO y NE buzando entre 30° a 86° hacia el SO y SE respectivamente.



FOTOGRAFÍA 2.11. Afloramiento de cuarcitas intercaladas con esquistos. Vista aproximada al N.
UTM: 715849-9561668

En la FOTOGRAFÍA 2.11 se indica una alternancia de cuarcitas y esquistos. Dada la diferencia en cuanto a competencia son susceptibles a la ocurrencia de deslizamientos en cuña, caídas de rocas entre otras.

El análisis estructural de veinte y siete datos de foliación muestra un rumbo N-S buzando 63° al Oeste (FIGURA 2.6).

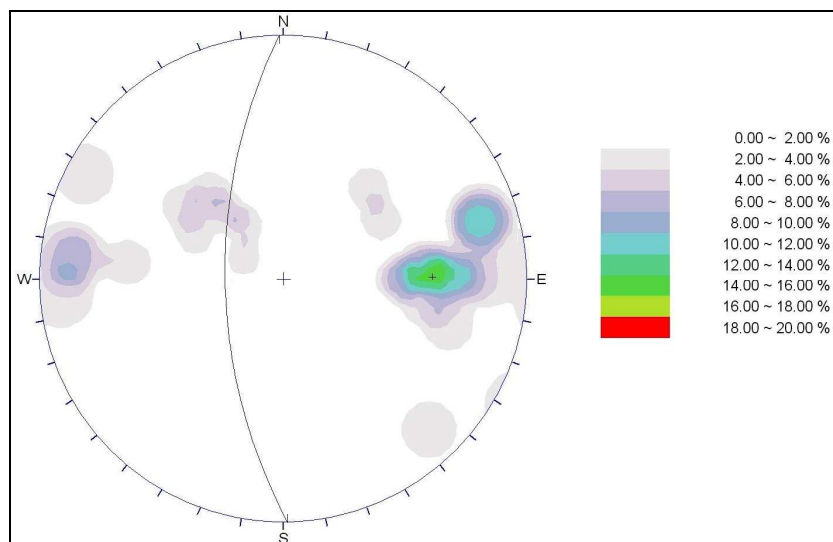


FIGURA 2.6. Representación estereográfica de 27 polos de planos de foliación de la Unidad Chiguinda

En el trazado antiguo que conduce a la ciudad de Zamora se reportan tres fallas (F4; UTM: 706736-9560280, F5; UTM: 708455-9560419, F6; UTM: 712988-9560706) con rumbo aproximado N-S (BGS, 1993). Un rasgo importante para esta unidad la constituye una falla de cabalgamiento (?) N-S que buza hacia el este (UTM: 719499-9562708) y que la separa de la Unidad Gneis de Sabanilla (Hungerbühler et al., 2002).

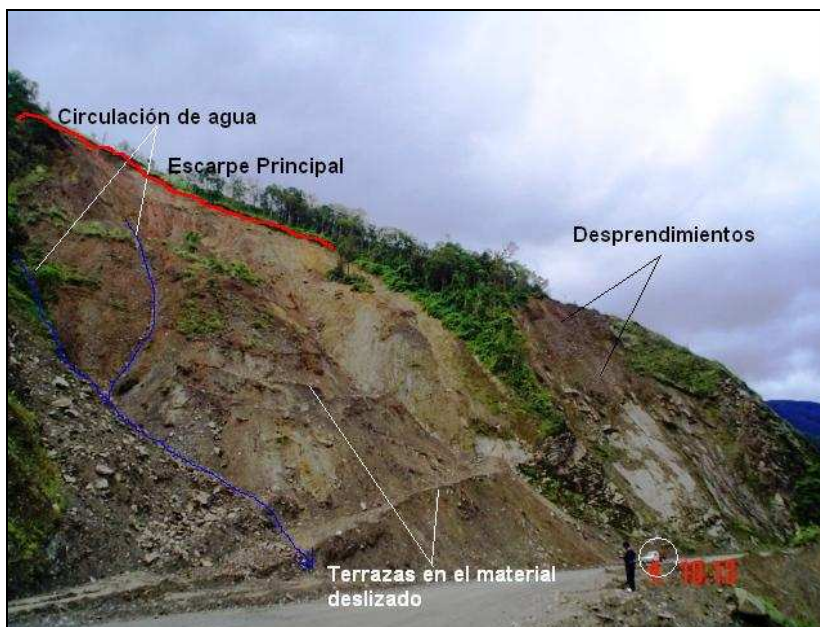
La presencia de flujos de detritos y avalanchas es bastante común en las cercanías de la carretera (FOTOGRAFÍA 2.12). Los canales por donde circula el material pueden alcanzar los 100m de longitud (LZ 29, Ver ANEXO 2) y se ha estimado volúmenes promedio de arrastre de material 16m^3 (LZ 38, Ver ANEXO 2). La mayor parte de los flujos y avalanchas de detritos se concentran entre el kilómetro 13 y 27 en el talud inferior y superior de la carretera y el material finalmente se deposita en las quebradas. El material que se deposita en la carretera es arrojado por maquinaria pesada hacia las quebradas (quebradas Los Lumos, del Diablo, Zurita, Cura Aguirre entre otras) que finalmente desembocan en el río San Francisco.



FOTOGRAFIA 2.12. Flujos y avalanchas de detritos en rocas metamórficas (U. Chiguinda). Vista aproximada hacia el SE. UTM: 709191-9559279

También se observan deslizamientos rotacionales superficiales y traslacionales. Varios de éstos se desarrollan principalmente en depósitos coluviales antiguos (LZ 18, LZ24, LZ52, LZ53, LZ57, LZ60. Ver ANEXO 2) y su inicio se da en el suelo meteorizado para profundizarse de acuerdo a la litología del material y la presencia o no de basamento. Se tienen volúmenes promedio de hasta 10.000m³ (MOP, 2001).

En la FOTOGRAFÍA 2.13 se aprecia un deslizamiento ocurrido en un depósito coluvial. Al fondo de la fotografía se tiene un talud afectado por desprendimientos. Este tramo de la carretera presenta problemas continuos relacionados con obstrucciones y daños especialmente durante periodos de lluvias intensas.



FOTOGRAFÍA 2.13. Afloramiento de cuarcitas y esquistos afectado por desprendimientos (U. Chiguinda. LZ 57). Vista aproximada hacia el SE. UTM: 716835-9562764

Del trabajo de campo efectuado se concluye que entre las causas de la ocurrencia de deslizamientos y flujos esta la naturaleza del material. El grado de alteración que presentan las rocas y la presencia de depósitos coluviales antiguos facilitan la ocurrencia de flujos de detritos y deslizamientos.

UNIDAD GNEIS DE SABANILLA: Aflora entre el kilómetro 36.5 hasta el kilómetro 53.5 de la carretera. Se caracteriza por la presencia de orto y paragneises con cuarcitas. Los cortes a lo largo de la carretera forman taludes verticales con alturas entre 10 m hasta 20 m aproximadamente.

En la FOTOGRAFÍAS 2.14 y 2.15 se muestran los taludes verticales que se forman en esta unidad. Por efecto del fracturamiento algunos de estos taludes presentan caídas de rocas que ocasionan daños en las cunetas y ocasionalmente llegan a la carretera.



FOTOGRAFÍAS 2.14 y 2.15. Paredes verticales de gneises: (Foto 2.14) Afectado por caída de rocas. Vista hacia el SE. Sector Río Sabanilla (Foto 2.15) Talud relativamente estable. UTM: 720219-9559070.

Los ortogneises (FOTOGRAFÍA 2.16) cuyo protolito sería un intrusivo se caracterizan por la presencia de cuarzo, plagioclasa, biotita y moscovita de grano medio a grueso y con una coloración gris clara.



FOTOGRAFÍA 2.16. Muestra de ortogneis (U. Gneis de Sabanilla) recolectada en UTM: 725232-9551995 .Carretera Loja-Zamora

Los paragneises (FOTOGRAFÍA 2.17) se caracterizan por su coloración oscura que presentan un fuerte bandeamiento con segregaciones de biotita, moscovita, plagioclasa y cuarzo. Es notoria la presencia de microplegamientos (PMA: GCA, 2005c).



FOTOGRAFÍA 2.17. Muestra de paragneis (U. Gneis de Sabanilla) recolectada en UTM: 720907-9555493 .Carretera Loja-Zamora.

En la FOTOGRAFÍA 2.18 se indica un deslizamiento rotacional ocurrido en un depósito coluvial. El depósito presenta bloques métricos de gneis algunos de los cuales han obstruido parcialmente la carretera que conduce a la ciudad de Zamora.



FOTOGRAFÍA 2.18. Deslizamiento Rotacional (LZ 67) en un depósito coluvial antiguo (U. Gneis de Sabanilla). UTM: 719818-955978

En la FIGURA 2.7 se presenta el análisis estructural efectuado para esta unidad (se recopilaban 51 datos de foliación a lo largo de la carretera). En la figura se aprecia un plano principal: N13°E/79°NO. Es notorio el cambio de rumbo NE en la parte oeste a un rumbo prácticamente N al este de esta unidad. El aumento del valor del buzamiento de moderadamente alto a casi vertical ocurre en la misma dirección. Una falla de cabalgamiento (UTM: 726046-9552466) de rumbo aproximado NE buzando al oeste (?) separa esta unidad del Batolito de Zamora.

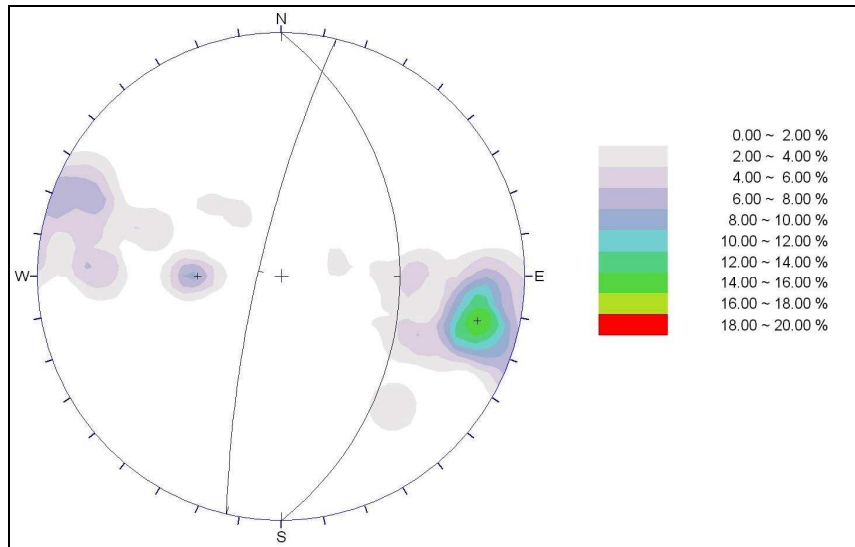


FIGURA 2.7. Representación estereográfica de los polos de planos de foliación de la Unidad Gneis de Sabanilla (U. Sabanilla).

En las unidades Chiguinda y Gneis de Sabanilla se realizó también un análisis de las fracturas (ochenta y cinco datos) y los resultados se presentan en la FIGURA 2.8. Se obtuvieron cuatro planos preferenciales: $N64^{\circ}E/69^{\circ}S$ E, $E-O/69^{\circ}N$, $N49^{\circ}O/68^{\circ}NE$ y $N28^{\circ}O/69^{\circ}NE$.

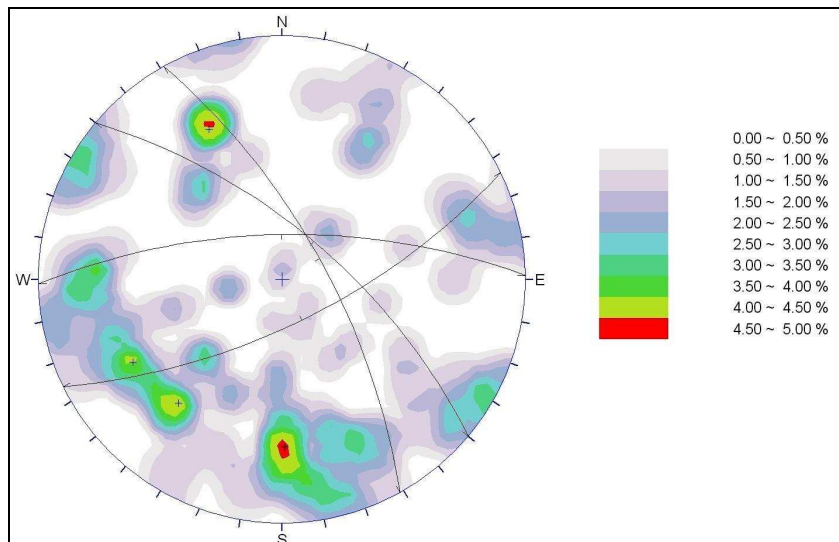


FIGURA 2.8. Representación estereográfica de 85 polos de planos de fracturas de la secuencia metamórfica (Unidades Chiguinda y Gneis de Sabanilla)

Hacia el sector del contacto tectónico entre el Gneis de Sabanilla con el Batolito de Zamora son reportadas fallas (F7, F8; UTM: 724827-9552338,725416-9551696) con rumbos aproximados NE (BGS, 1993).

Es posible ver en algunas de los taludes construidos dentro de esta unidad flujos de detritos y caídas de rocas con bloques de tamaños variados (centimétricos y métricos). Se ha estimado volúmenes desde 20 hasta 2.000m³.

Durante el trabajo de campo se pudo constatar que los deslizamientos que se generan en esta unidad se producen principalmente en depósitos coluviales antiguos. Litológicamente estos depósitos se componen de bloques de gneis de tamaños variados (bloques de algunos centímetros hasta métricos) en una matriz principalmente de tipo arcillo-limosa (LZ 63, LZ64, LZ66, LZ67, LZ69, LZ70, LZ71; ver ANEXO 2). La construcción de la carretera se la ha realizado atravesando algunos de estos depósitos lo que sumado a la pérdida gradual de la cobertura vegetal y la presencia de agua desencadena deslizamientos.

2.2.4.3 ROCAS INSTRUSIVAS

GRANITO DE ZAMORA: aflora en las proximidades de la Quebrada Genairo (desde el kilómetro 53.25 hasta la ciudad de Zamora) y se encuentra en contacto tectónico con la unidad Gneis de Sabanilla. Se estima perfiles de meteorización de 3 a 5m aproximadamente. Es característico para el área de estudio suelos residuales de grano medio a grueso de coloraciones rojizas y amarillentas (FOTOGRAFÍA 2.19).



FOTOGRAFÍA 2.19. Deslizamiento Rotacional (Batolito de Zamora; ANEXO 2, LZ 79). UTM: 725327-9551514

No se observa ningún tipo de estructura cerca de la carretera, sin embargo, en las cercanías del río Zamora inmediatamente debajo de la carretera se obtuvieron datos de foliación con rumbos NO y NE con buzamientos entre 25° a 75° hacia el NE y NO respectivamente. En esta zona se reportan fallas regionales con rumbos NE-SO y E-O que son afectadas por una falla principal de cabalgamiento de rumbo andino (NE-SO) que sigue la dirección de la Quebrada Genairo y que corresponde al contacto (tectónico) entre el Granito de Zamora y la unidad Sabanilla. Se reportan además diques de carácter aplítico y riolítico de color gris claro y de grano muy fino.

Se observaron deslizamientos rotacionales superficiales (espesores promedio de 5m) con volúmenes no mayores a 600m³. El desarrollo de este tipo de fenómenos se ve favorecido por el grado de meteorización que presenta el Batolito de Zamora para este sitio.

2.4 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

La cuenca de Loja se encuentra dividida en dos áreas: una oriental y una occidental por una falla longitudinal de rumbo aproximado N-S que coincide con el curso actual del río Zamora. No se tienen evidencias morfológicas de esta falla debido al recubrimiento aluvial (Hungerbühler, 1997). En el lado oriental de la cuenca de Loja, que forma parte del área de estudio, las rocas sedimentarias de las Formación Quillollaco se encuentran sobrepuestas por rocas metamórficas pertenecientes a la Unidad Chiguinda debido a una falla que actuó durante el Mioceno Tardío. Los esfuerzos provocados por la actividad de esta falla determinaron la formación de pliegues isoclinales en las rocas sedimentarias de las Formaciones San Cayetano y Quillollaco (Abad K., 2006).

La Unidad Chiguinda se encuentra en contacto tectónico con la Unidad Gneis de Sabanilla hacia el oeste del área de estudio. Las rocas de esta unidad han desarrollado una fuerte foliación y un intenso clivaje de fractura. De forma general, esta secuencia se encuentra fuertemente deformada presentando en algunos sitios pliegues volcados e inclinados (PMA: GCA, 2005a).

La Unidad Gneis de Sabanilla presenta de manera muy local micropliegues y la foliación tiene un rumbo preferencial andino (NNE-SSO). Los taludes expuestos a lo largo de la carretera se encuentran poco fracturados. Las fracturas observadas se orientan de forma aleatoria y tienen longitudes no mayores a un metro (Almeida E., 2006).

Del análisis estructural realizado a partir de los datos de campo a lo largo de la carretera Loja-Zamora se pueden evidenciar los siguientes rasgos:

En la secuencia sedimentaria constituida por las Formaciones San Cayetano y Quillollaco se tienen direcciones preferenciales de estratificación N-S, NO y NE con buzamientos no mayores de 31° al E, SO y NO respectivamente. Estos datos evidencian el grado de deformación al que está sometida esta secuencia oriental de la cuenca de Loja y que se ve reflejada en la presencia de anticlinales (A1) y sinclinales (S1, S2) que se reportan dentro del área de estudio.

Para el caso de la secuencia metamórfica donde se tienen a las unidades Chiguinda y Sabanilla los rumbos preferenciales de la foliación son NE y N-S buzando con ángulos de hasta 79° (verticales) hacia el NO y E-O que son consistentes con el rumbo andino dominante para el área de estudio y que están representadas por dos estructuras importantes que separan las unidades Chiguinda, Sabanilla y el Batolito de Zamora. Las fracturas que se observan para las Unidades Chiguinda y Gneis de Sabanilla tienen rumbos variados (NO, N-S, NE buzando al NE, O, SE, respectivamente) con ángulos de buzamiento superiores a los 65°. Debe señalarse además que las rocas pertenecientes a la Unidad Chiguinda se encuentran intensamente fracturadas.

En el CAPITULO IV se presenta un análisis de fracturamiento por separado de estas dos unidades para la determinación del potencial de inestabilidad de taludes.

En el ANEXO 5 se presentan los datos estructurales recolectados en la carretera.

CAPITULO III: IDENTIFICACION DE LOS FENÓMENOS DE REMOCION EN MASA EN EL AREA DE ESTUDIO.

3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS

Utilizando las fotografías aéreas se procedió efectuar el proceso de fotointerpretación. Para el análisis de la susceptibilidad se escogieron las fotos aéreas de los años 1976 y 1989 (Escala 1:60.000) las cuales cubren la totalidad del trazado de la carretera y además permiten efectuar un análisis multitemporal de la ocurrencia de los fenómenos de remoción en masa.

El inventario de los fenómenos de remoción realizado a través del análisis de fotografías aéreas permitió identificar, por sus rasgos fotogeológicos, que la mayoría corresponden a flujos y avalanchas de detritos. Para su representación final se utilizó una base topográfica 1:50.000; pero no se presenta una diferenciación entre flujos y avalanchas (FIGURA 3.3).

Antes de la identificación de los fenómenos de remoción en masa se efectúa un reconocimiento de ríos y quebradas para completar el sistema de drenaje para digitalizar esta información e incorporarla en la topografía base.

Debe indicarse que al delimitar los flujos y avalanchas su tamaño real fue un poco exagerado por motivos de presentación, pues, en muchos casos éstos eran muy pequeños para la escala en la cual se estaba trabajando. Se hizo una ampliación de las fotos aéreas del año 1989 (de escala 1:60.000 a 1:30.000) para mejorar el detalle en la representación de los flujos y avalanchas, principalmente porque para esta fecha es notorio un incremento en la frecuencia de estos fenómenos.

Una vez delimitados los fenómenos de remoción en masa estos fueron digitalizados e incorporados a la base topográfica. Para efectuar el análisis de la susceptibilidad se debe trabajar con áreas deslizadas y en ese caso las variaciones que este factor tenga estarán en función de cómo se dibujaron durante el proceso de fotointerpretación.

3.1.2 CARACTERÍSTICAS FOTOGEOLOGICAS DE LOS FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

Identificadas las redes de drenaje en las fotos aéreas es posible efectuar la discriminación entre flujos y avalanchas de detritos. Debe tenerse presente que la escala a la que se trabajó hace difícil poder diferenciar de forma exacta estos fenómenos, sin embargo, con la ayuda de las observaciones durante el trabajo de campo se pudieron adicionar algunos rasgos característicos que contribuyeron a mejorar el proceso de diferenciación a través de la fotointerpretación.

3.1.2.1 FLUJOS

Para su identificación se tomó en cuenta la existencia de canales de circulación de agua (redes de drenaje principales y secundarias). Lo que se observa en la foto son tonalidades grises claras a oscuras. Los tonos claros por lo general corresponden a la zona de inicio del flujo, la parte que presenta un grado considerable de erosión. La tonalidad más oscura corresponde al canal de circulación y al depósito del material arrastrado. En la mayoría de los casos no se encuentran ya depósitos al pie del flujo bien sea porque el agua se los llevo o porque dada la fecha de toma de la foto el depósito se ha erosionado. En los eventos más recientes la ausencia de vegetación en toda su extensión es un rasgo destacable. Se observa además que un flujo se puede formar por la unión de flujos mucho más pequeños que dan como resultado un canal principal que puede tener una trayectoria aproximadamente lineal.

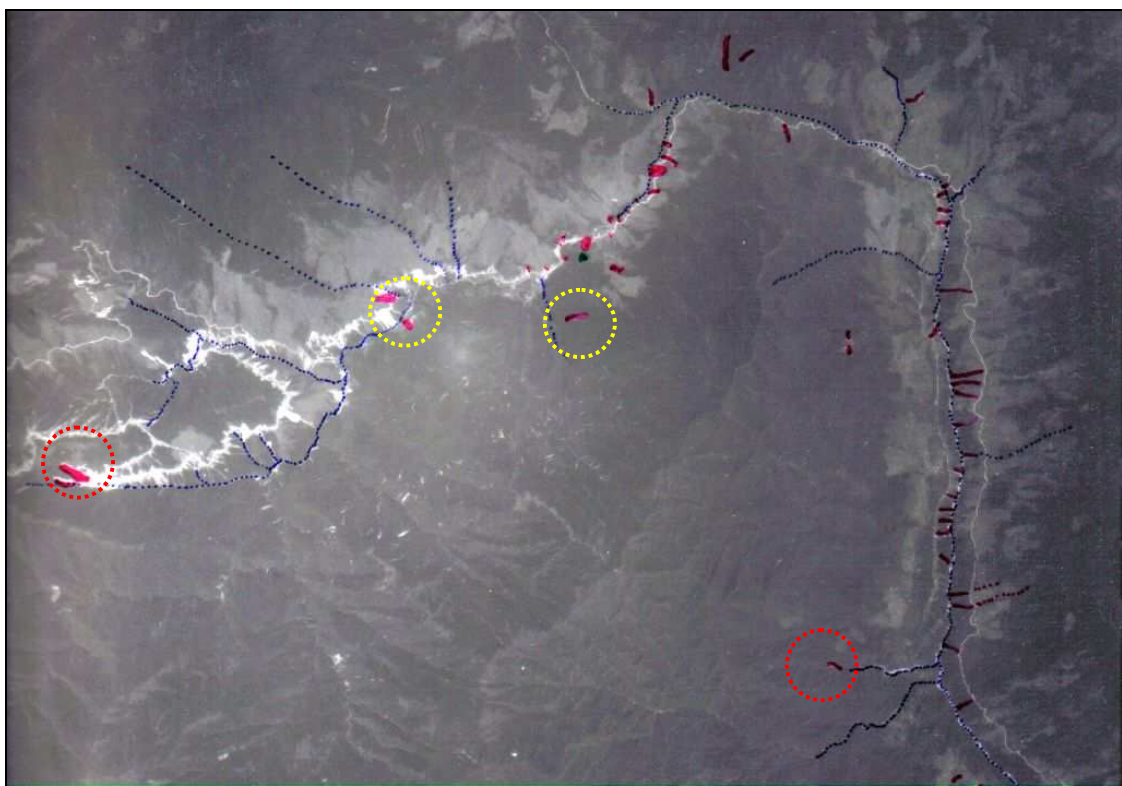
Los depósitos producidos por los flujos que se forman en la zona de pie de monte desembocan en ríos y quebradas del área de estudio.

3.1.2.2 AVALANCHAS

Se presentan en tonalidades grises claros y presentan direcciones de flujo del material lineales. La identificación de los depósitos en la mayoría de los casos también fue difícil dado la escala a la cual se trabajó. Las zonas de circulación de material removido generalmente son poco profundas. Al igual que en los flujos de detritos la ausencia de vegetación a lo largo de la zona de circulación del material es un rasgo característico.

Las avalanchas se distribuyen en la zona de montaña y pie de monte y presentan longitudes mucho menores que los flujos de detritos.

En la FOTOGRAFÍA 3.1 se representa la identificación y representación de flujos y avalanchas de detritos mediante la fotointerpretación efectuados para este trabajo. Flujos de detritos se ubican en ramales secundarios de quebrada principales (círculos rojos); otros se ubican en los taludes superiores de la vía y de algunas cuencas (círculos amarillos).



FOTOGRAFIA 3.1. Detalle de la identificación de flujos a través de las fotos aéreas (círculos amarillo y rojo). Foto aérea (28439) escala 1:60.000 (Proyecto Carta Nacional. IGM).

3.1.3 RESULTADOS DE LA FOTOINTERPRETACIÓN

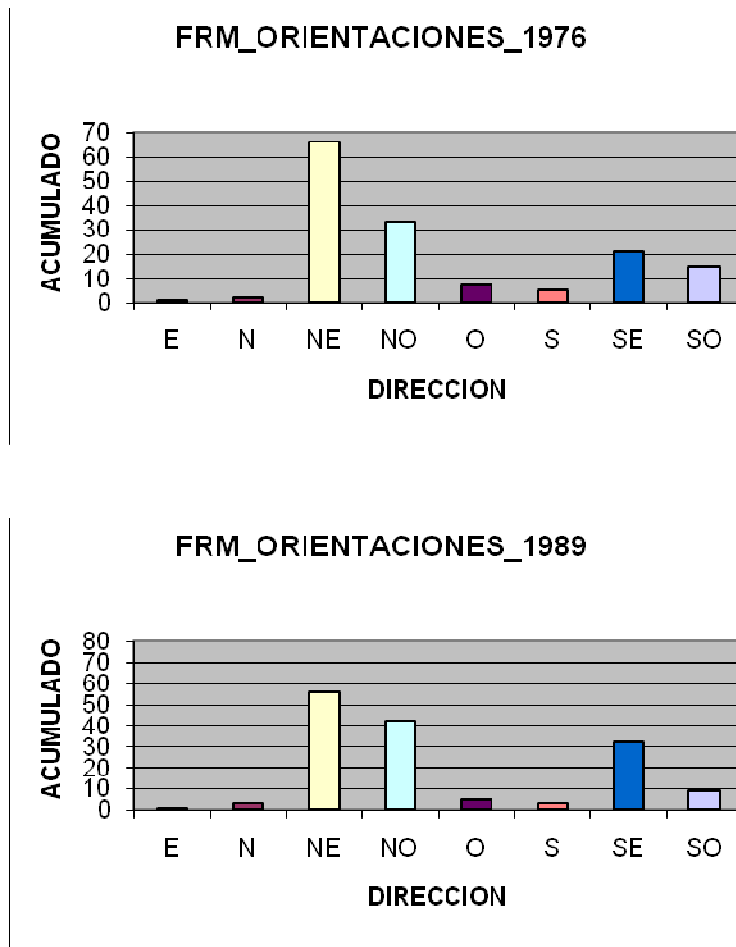
Para el año 1976 se identificaron un total de 315 fenómenos de remoción en masa y para 1989 se encontraron 318.

La interpretación muestra una alta incidencia de fenómenos de remoción en masa principalmente en la zona de montaña y pie de monte (unidades geológicas

Chiguinda y Sabanilla). En menor grado se observan flujos y avalanchas en la cuenca de Loja (Formaciones San Cayetano y Quillollaco).

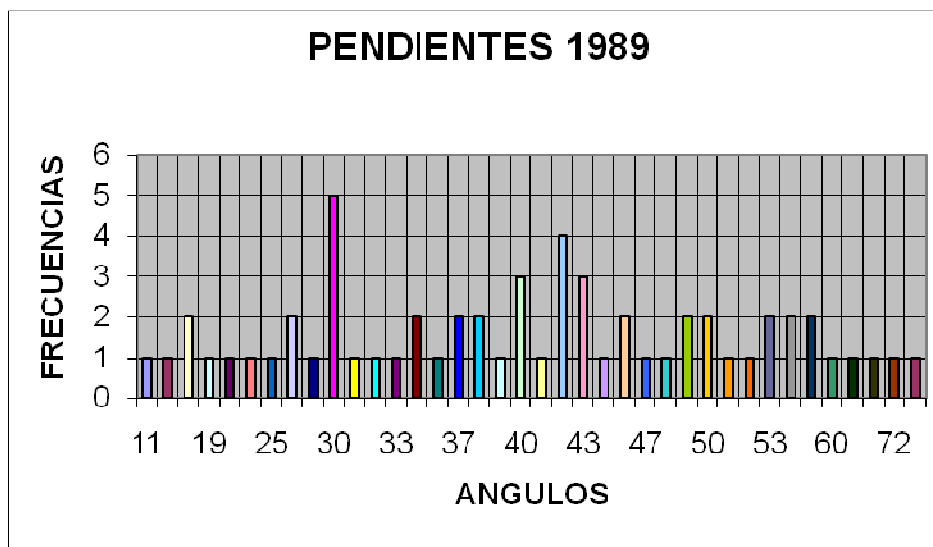
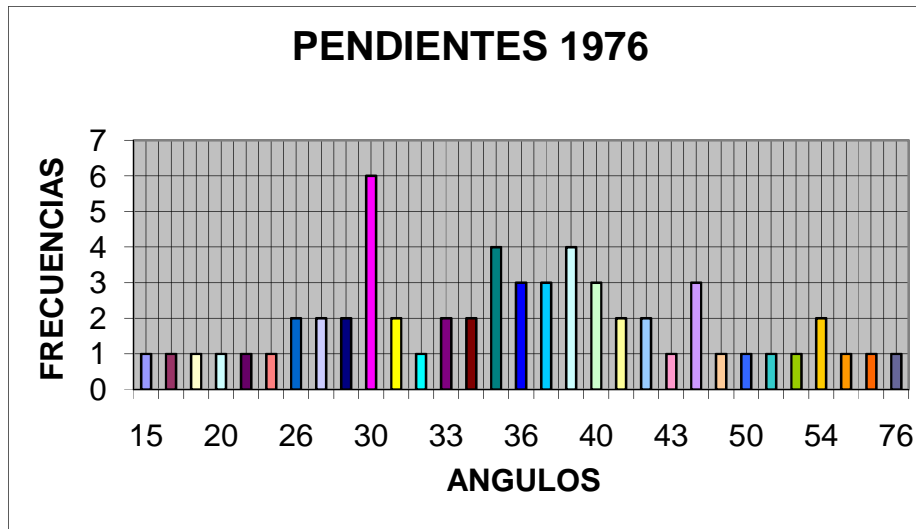
La densidad de flujos y avalanchas aumenta notoriamente en las fotos aéreas de 1989. Para este año se aprecia que la construcción del trazado actual de la carretera ha favorecido la ocurrencia de flujos y avalanchas. Los depósitos se dirigen hacia ríos y quebradas de la zona (Q. Lumos, Q. del Diablo, Q. Zurita, río San Francisco, río Zamora, río Sabanilla). Otra parte se concentra tanto en el talud superior como en el inferior de la carretera en toda su longitud.

La localización de los flujos y avalanchas en la base topográfica permitió realizar un análisis para conocer las direcciones de flujo y los rangos de pendiente donde se presentan tanto flujos de detritos como avalanchas. El análisis se lo efectuó de forma separada para los fenómenos de remoción en masa ocurridos en los años de 1976 y 1989 (FIGURAS 3.1 y 3.2). De forma general, la mayor densidad de flujos y avalanchas de detritos, considerado en primer lugar las direcciones de flujo de material, es hacia el NE y en menor grado al NO. Al tomar en cuenta los rangos de pendientes, se aprecia que este tipo de fenómenos de remoción en masa ocurren entre rangos de pendiente que varían desde los 30° a 43° aproximadamente.



FIGURAS 3.1. Diagramas que muestran las direcciones preferenciales de los flujos y avalanchas (DIRECCION DE FLUJO DEL MATERIAL) identificadas a partir de las fotos aéreas de los años 1976 y 1989. E (67.5°-112.5°), N (0°-22.5°;337.5°-360°), N E (22.5°-67.5°), NO (292.5°-337.5°), O (247.5°-292.5°), S (157.5°-202.5°), SE (112.5°-157.5°), SO (205.5°-247.5°).

En la FIGURA 3.1 se utiliza un sistema en grados con dirección horaria (0° a 360°). Por ejemplo, los flujos y avalanchas que tiene dirección N (Norte) tienen una orientación entre 0 a 22.5° del Norte hacia el Este o entre 337.5° a 360° hacia el Oeste. Los rangos de orientación presentados fueron obtenidos a través del sistema de información geográfica (SIG) Arcview 3.2.



FIGURAS 3.2. Diagramas que muestran los valores de pendientes donde se producen flujos y avalanchas identificadas a partir de las fotos aéreas de los años 1976 y 1989 (Escala 1: 60.000) para el área de estudio.

En la FIGURA 3.3 se muestra el mapa de inventario que finalmente se obtuvo a partir del trabajo de fotointerpretación. La importancia del mismo radica en el hecho de que puede ser utilizado como herramienta base para la determinación de la susceptibilidad (CAPITULO IV) del área de estudio. Al tratarse de un mapa multitemporal permite tener una noción del desarrollo de los fenómenos de remoción en masa en función del tiempo. En este caso en particular, lo que se puede concluir

del análisis de las fotos aéreas es que a partir de la construcción del nuevo trazado de la carretera Loja-Zamora la densidad de fenómenos de remoción en masa aumentó notoriamente. A esta conclusión se llega observando las condiciones iniciales que presentaba la zona de estudio a partir del estudio de las fotos del año 1976 (flujos y avalanchas de color verde) con lo que se observa para las fotos del año 1989 (flujos y avalanchas de color rojo). La importancia de un análisis de fotointerpretación previo a la apertura de la vía indicaba ya que la zona en cuestión presentaba indicios de procesos de inestabilidad de laderas por fenómenos de remoción en masa.

El uso de este mapa de inventario se puede complementar analizando datos de precipitaciones y sismicidad por ejemplo, que permitan determinar en qué medida contribuyeron o no como factores desencadenantes de los fenómenos de remoción en masa que se presentan en el mapa.

Tomando en cuenta la premisa de que en un sitio donde se ha producido un fenómeno de remoción en masa existe la posibilidad que se produzca nuevamente (González, 2002), es necesaria la actualización del mapa de inventario a través del análisis de fotos aéreas recientes para prever futuros problemas de inestabilidad de laderas que pudieren afectar de forma directa a la carretera Loja-Zamora.

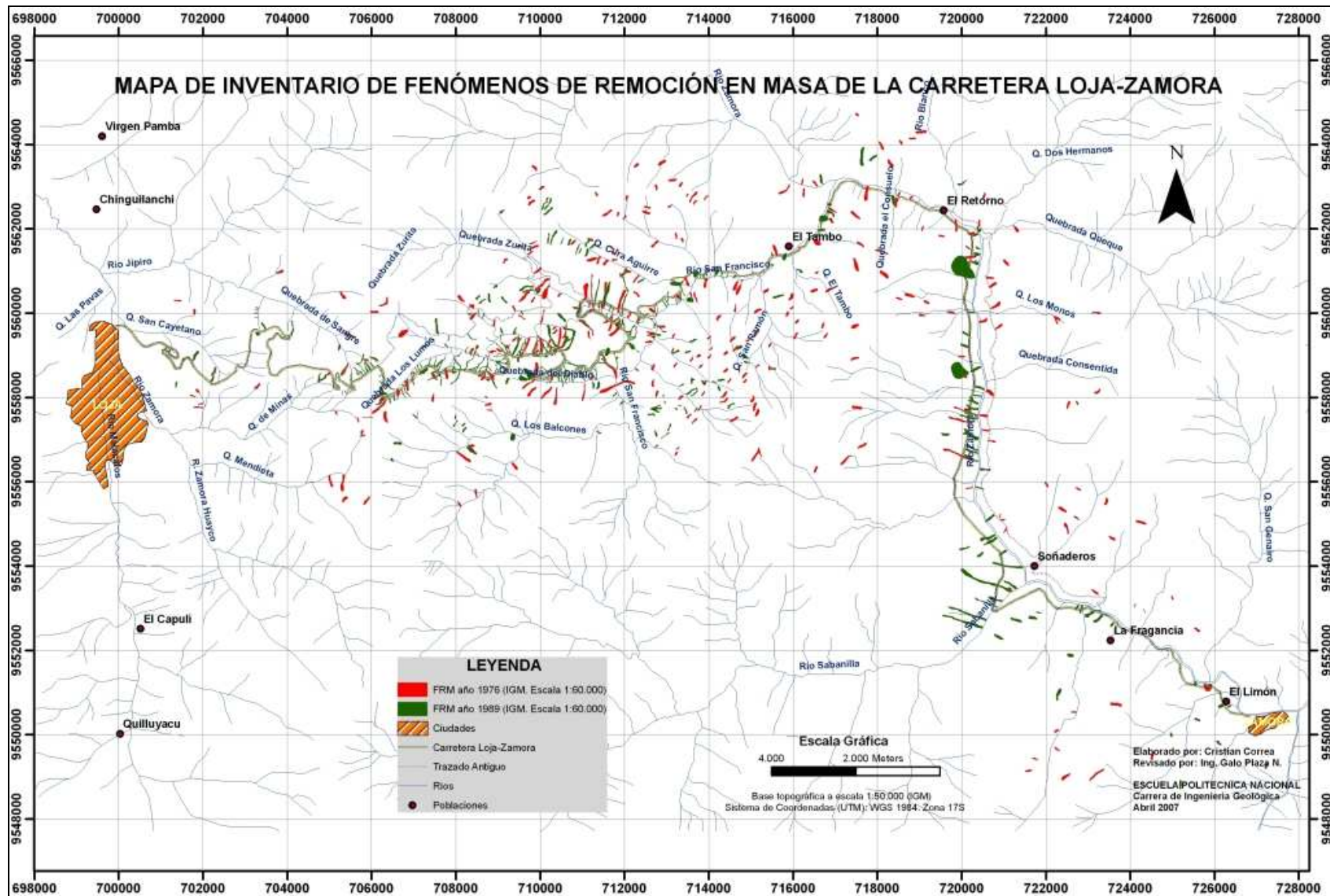


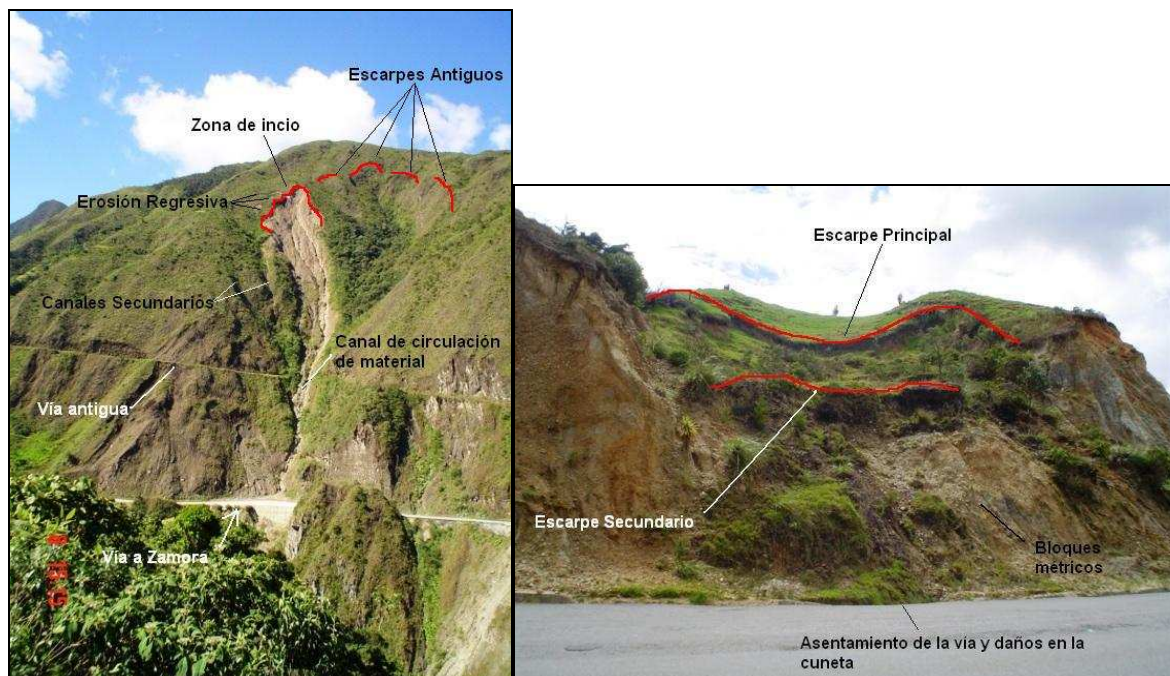
FIGURA 3.3. Mapa de inventario de los fenómenos de remoción en masa de la carretera Loja-Zamora

3.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA A PARTIR DEL RECONOCIMIENTO VISUAL EN EL TERRENO

El estudio de campo se lo realizó en los taludes inferior y superior de la vía que une las ciudades de Loja con Zamora. En cada sitio donde se identificaban fenómenos de remoción en masa se procedió a tomar datos en una ficha previamente diseñada (ANEXO 1, ANEXO2). Los datos finalmente fueron procesados y tabulados para generar una base de datos en la que se destacan los rasgos más importantes de cada fenómeno de remoción en masa identificado.

3.2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS AREAS INESTABLES

En las FOTOGRAFÍAS 3.2 y 3.3 se indican dos tipos de fenómenos de remoción en masa (flujo de detritos y deslizamiento rotacional) encontrados en la carretera. Ambos se califican como activos y se detallan sus rasgos morfológicos característicos.



FOTOGRAFÍAS 3.2 y 3.3 .Procesos de remoción en masa: (Izquierda) Flujo de detritos (U. Chiguinda. LZ38). (Derecha) Deslizamiento Rotacional (Fm. San Cayetano. LZ 11)

En las FOTOGRAFÍAS 3.4 y 3.5 se muestran algunos de los daños y problemas que se encontraron en la carretera y que están relacionados con fenómenos de remoción en masa.



FOTOGRAFÍAS 3.4 y 3.5. Daños en la carretera: (*Izquierda*) Asentamiento y pérdida de alineación de la cuneta de la vía UTM: 720219-9559070 (*Derecha*) obstrucción parcial de la carretera por avalancha de escombros. Sector El Retorno UTM: 719111-9562808

En la FIGURA 3.4 se destaca el sitio de ocurrencia de un deslizamiento traslacional con respecto a la carretera (el deslizamiento se ubica en el talud inferior de la carretera y los depósitos finalmente llegan al río Zamora.)

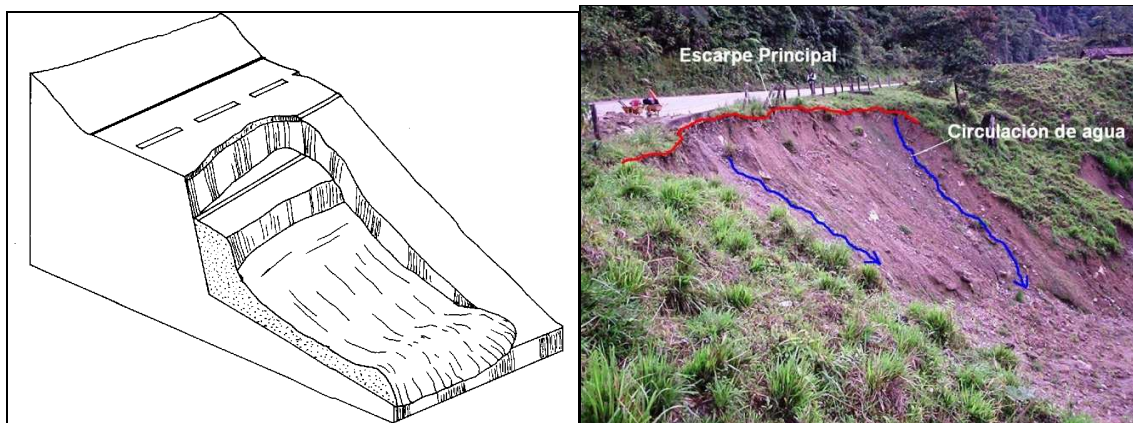


FIGURA 3.4. (*Izquierda*) Esquema de un deslizamiento traslacional en carretera. (*Derecha*) Deslizamiento traslacional afectando la carretera Loja-Zamora (LZ66, Ver ANEXO 2). UTM: 720219 – 9559070. Unidad Gneis de Sabanilla.

En la FIGURA 3.5 se muestra un flujo de detritos que se ubica en el talud superior de la carretera.

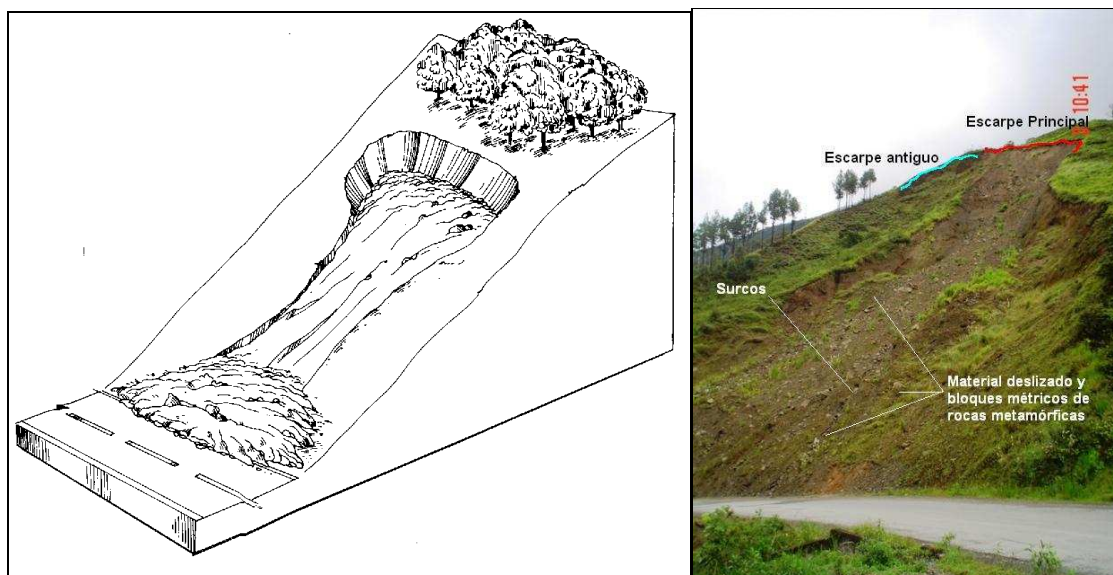


FIGURA 3.5. (Izquierda) Esquema de un flujo de escombros. (Derecha) Flujo de Detritos (Deslizamiento Traslacional) afectando la carretera Loja-Zamora (LZ52, Ver ANEXO 2). UTM: 716288 – 9561922. Unidad Chiguinda.

En el ANEXO 2 se presentan las descripciones de todos los fenómenos de remoción en masa que se encontraron a lo largo del trazado actual de la carretera Loja-Zamora.

Efectuada la recolección de datos en el trabajo de campo mediante las fichas se obtuvieron un total de 82 fenómenos de remoción en masa, entre los cuales se tienen: deslizamientos rotacionales y traslacionales, flujos de detritos, desprendimientos y caídas de rocas.

En la TABLA 3.1 se presentan los tipos y el número de FRM. La predominancia, según los resultados obtenidos, es de deslizamientos y flujos de detritos (alrededor del 80%).

FRM EN LA CARRETERA	Nº FRM	%
Caída de rocas	1	1.22
Desprendimientos	7	8.54
Flujos de detritos	20	24.39
Deslizamientos Traslacionales	25	30.49
Deslizamientos Rotacionales	29	35.37
TOTAL	82	100

TABLA 3.1- Resumen de los FRM en la carretera Loja-Zamora

Por otra parte se observa que la unidad Chiguinda (FIGURA 3.6) presenta la mayor ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, Seguida por la unidad Gneis de Sabanilla, la Formación San Cayetano, la Formación Quillollaco y el Batolito de Zamora. Están incluidos fenómenos de remoción activos, inactivos y estabilizados (FIGURA 3.6).

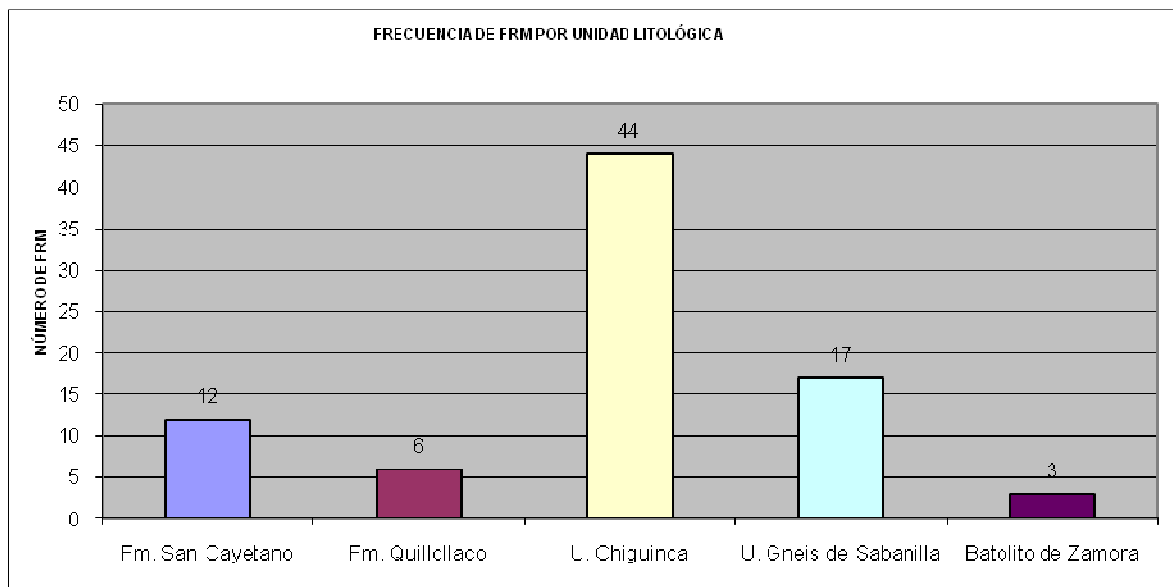


FIGURA 3.6. Frecuencia de FRM por unidad litológica en la carretera

En la FIGURA 3.6 se observa que en las formaciones sedimentarias San Cayetano y Quillollaco así como en el Batolito de Zamora ocurren mayormente deslizamientos rotacionales en relación a los traslacionales. La Formación Quillollaco (FIGURA 3.7) presenta 1 deslizamiento traslacional y 5 deslizamientos rotacionales. Para el caso de la Formación San Cayetano se tienen 1 de deslizamientos traslacionales y 11

deslizamientos rotacionales. Finalmente, en el Batolito de Zamora se tienen 2 deslizamientos rotacionales y 1 deslizamiento traslacional.

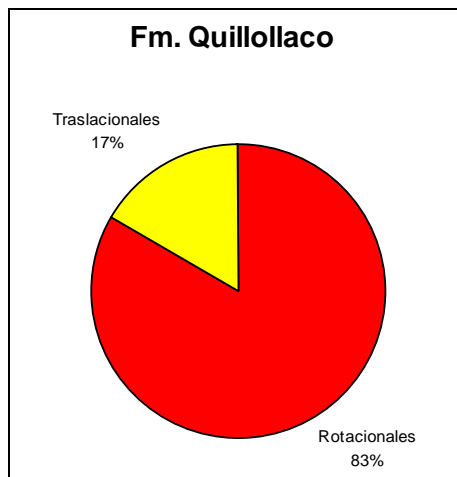


FIGURA 3.7. Porcentaje de deslizamientos en la Formación Quillollaco

Para el caso de las Unidades Chiguinda y Gneis de Sabanilla se tienen deslizamientos traslacionales y rotacionales, flujos de detritos, desprendimientos y caídas de rocas. En este trabajo se observó una caída de rocas en las Unidad Chiguinda (Ver ANEXO 2, LZ31).

En las FIGURAS 3.8 y 3.9 se presentan los porcentajes de ocurrencia de los diferentes fenómenos de remoción en masa para las unidades Gneis de Sabanilla y Chiguinda. En la Unidad Gneis de Sabanilla la predominancia es de flujos de detritos y deslizamientos; en la Unidad Chiguinda destacan deslizamientos traslacionales y flujos de detritos.

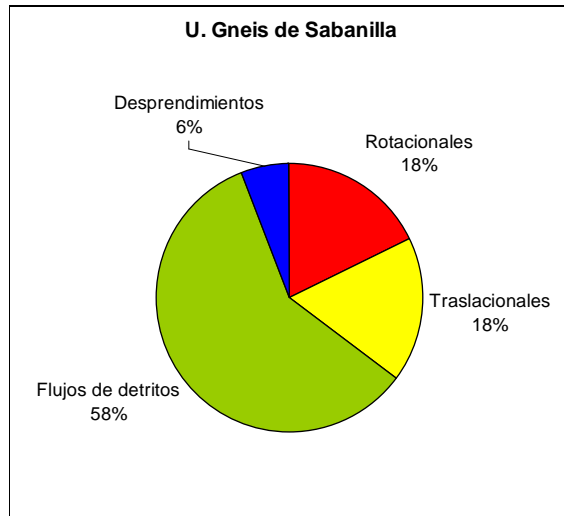


FIGURA 3.8. Porcentaje de FRM para la Unidad Gneis de Sabanilla

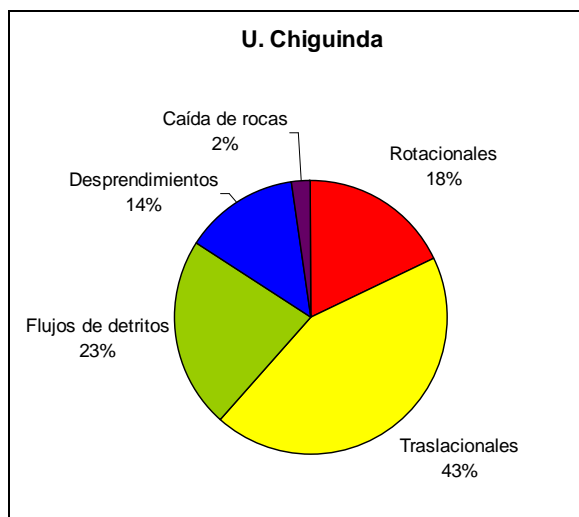


FIGURA 3.9. Porcentaje de FRM para la Unidad Chiguinda

Respecto al grado de actividad se tiene un total de 67 fenómenos de remoción en masa activos, 11 inactivos y 4 estabilizados. En la Formación San Cayetano no se reportan fenómenos de remoción en masa inactivos (TABLA 3.2).

ACTIVIDAD	NFRM TOTAL	NFRM	U. LITOLÓGICA
Activo	67	1	Fm. San Cayetano
		3	Fm. Quillollaco
		35	U. Chiguinda
		16	U. Gneis de Sabanilla
		1	Batolito de Zamora
Inactivo	11	1	Fm. Quillollaco
		7	U. Chiguinda
		1	U. Gneis de Sabanilla
		2	Batolito de Zamora
		2	Fm. Quillollaco
Estabilizado	4	2	Fm. Quillollaco
		2	U. Chiguinda

TABLA 3.2.- FRM según su estado (Actividad)

En la FIGURA 3.10 se presentan los porcentajes de fenómenos de remoción en masa activos por unidad litológica. Se puede apreciar que las unidades Gneis de Sabanilla y Chiguinda presentan en conjunto (alrededor del 80%) el mayor porcentaje de fenómenos de remoción en masa clasificados para este trabajo como activos.

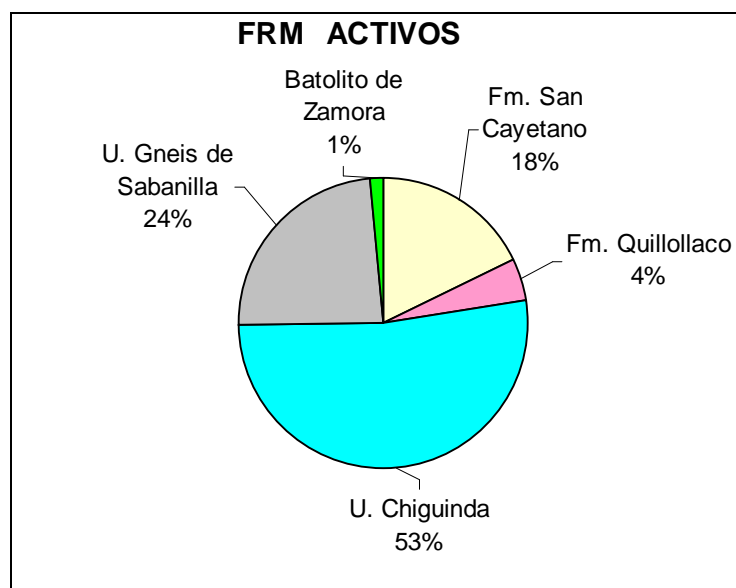


FIGURA 3.10. Porcentaje de FRM ACTIVOS según la litología

El área que se presenta en las fichas es un valor aproximado y varían desde 24 hasta 10.000m² como valor máximo. En la FIGURA 3.11 se observa que la mayor parte de los fenómenos de remoción en masa cartografiados se ubican dentro del

rango de 100 a 1000m² de área estimada. Esta área toma en cuenta no solamente la masa deslizada sino el contorno de afectación del fenómeno de remoción en masa.

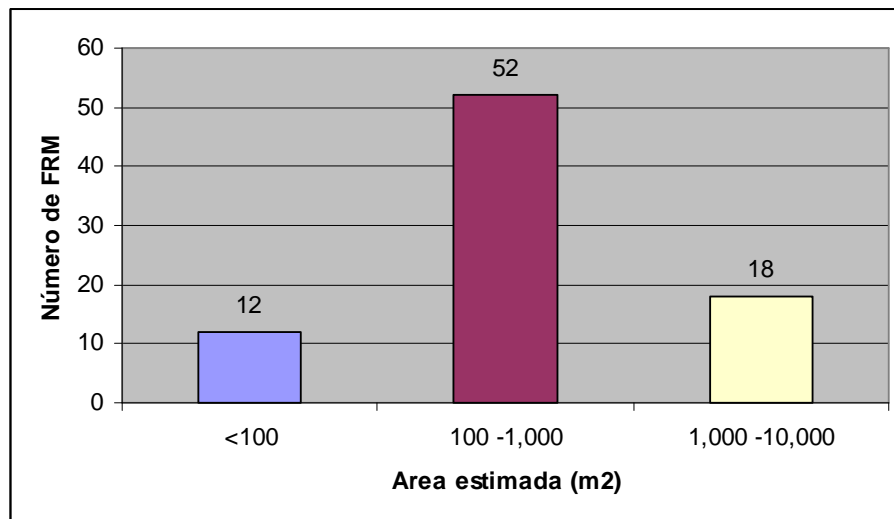


FIGURA 3.11. Número de FRM en función del área (m²) estimada

Para cada fenómeno de remoción en masa según sus características y grado de afectación se realizaron algunas recomendaciones que se indican a continuación:

1. Estudio geotécnico para diseñar las obras de estabilización del sitio a mediano plazo
2. Control de la escorrentía superficial y drenaje a corto plazo
3. Señalización en el sitio a corto plazo
4. Re-vegetación del talud / ladera
5. Observación visual del movimiento (Deslizamientos) / Observación y limpieza del canal de circulación de material (Flujos)

Del análisis se observa que para cada fenómeno de remoción en masa se aplica una combinación de las recomendaciones antes mencionadas.

Las recomendaciones están encaminadas principalmente a tomar medidas de prevención y mitigación a mediano y largo plazo en función de la magnitud del fenómeno y del grado de actividad.

La mayor parte de los fenómenos de remoción en masa se presentan en laderas (62); el resto ocurre en taludes (20).

Un aspecto importante dentro de la información recopilada en las fichas de campo es el grado de alteración y fracturamiento que según los rangos considerados para este estudio (Ver ANEXO 1, Referencias para el llenado de las fichas de campo) los valores más comunes son W2 (roca ligeramente meteorizada) y F2 (roca fracturada) respectivamente. En las rocas metamórficas existe una amplia variación en cuanto a los grados de meteorización y fracturamiento. En el caso del Batolito de Zamora, el grado de meteorización alcanza el valor W5 correspondiente a rocas completamente meteorizadas donde todo el material rocoso está descompuesto. Las rocas pertenecientes a las Formaciones San Cayetano y Quillollaco se pueden considerar como rocas frescas a ligeramente meteorizadas (W1 a W2) con grados de fracturamiento entre F1 a F2 (ligeramente fracturada a fracturada). Estos rangos permiten evaluar de forma general las condiciones de fracturamiento y meteorización de las rocas aflorantes a lo largo de la carretera.

El tramo de la carretera que atraviesa la Unidad Chiguinda presenta el mayor porcentaje de fenómenos de remoción en masa activos. Entre estos fenómenos destacan flujos de detritos y deslizamientos traslacionales. Este tramo de la carretera presenta una mayor incidencia de fenómenos de remoción en masa y requiere de trabajos de mantenimiento a corto plazo.

En las fichas de campo que se presentan en el ANEXO 2 se presentan los datos e información que sirvieron para realizar el análisis aquí presentado. En cada una se detallada las principales características de los diferentes fenómenos de remoción en masa, la secuencia de eventos que desencadena en el desarrollo del fenómeno y de las posibles causas que generaron su ocurrencia. Como se señaló al inicio, las recomendaciones que se presentan en este trabajo son recomendaciones generales encaminadas principalmente a identificar las acciones inmediatas de mitigación y prevención a tomar para cada uno de los fenómenos identificados. La actualización de forma periódica de la información presentada a través de las fichas de campo permitirá a las autoridades pertinentes (Municipios de Loja y Zamora, Ministerio de

Obras Públicas, Defensa Civil, etc.) evaluar el estado de la carretera y efectuar los trabajos de adecuación y remediación correspondientes.

En la TABLA 3.3 se presenta un resumen de las principales características de los fenómenos de remoción en masa presentados en el mapa de inventario (FIGURA 3.12) en este trabajo.

Al comparar el mapa de inventario obtenido a partir del trabajo de fotointerpretación y mapa obtenido a través del levantamiento mediante fichas de campo (FIGURAS 3.3 y 3.12, respectivamente) lo que se puede apreciar es que se han desarrollado nuevos fenómenos de remoción (deslizamientos y flujos) en masa en sitios donde no hay evidencia de que hayan sucedido con anterioridad (como se puede observar en las cercanías del trazado actual de la carretera). Aproximadamente desde el kilómetro 14 al 25 se observan flujos de detritos que se han formado debido a que el material que se deposita en la carretera proveniente del talud superior es arrojado con maquinaria hacia los bordes de las quebradas del lugar. En estudios posteriores es importante efectuar una discriminación de este tipo de fenómenos originados de forma más bien antrópica.

De igual manera, a lo largo de la carretera se pueden observar zonas donde se desarrollan repetidamente fenómenos de remoción en masa de diferente magnitud y tipología. Varios de los deslizamientos que se reportan (especialmente para las Unidades Chiguinda y Gneis de Sabanilla) ocurren en depósitos coluviales antiguos muchos de los cuales probablemente corresponden a depósitos antiguos de flujos y avalanchas de detritos.

CODIGO	TIPOLOGIA	UBICACIÓN	ESTADO	UNIDAD / FORMACION	AREA(m2)*
LZ1	Deslizamiento Rotacional	Talud	activo	San Cayetano	208
LZ2	Deslizamiento Rotacional	Ladera	activo	San Cayetano	2500
LZ3	Deslizamiento Rotacional	Ladera	activo	San Cayetano	3500
LZ4	Deslizamiento Rotacional	Ladera	activo	San Cayetano	872
LZ5	Deslizamiento Rotacional	Talud	activo	San Cayetano	330
LZ6	Deslizamiento Rotacional	Talud	activo	San Cayetano	220
LZ7	Deslizamiento Rotacional	Talud	activo	San Cayetano	384
LZ8	Deslizamiento Rotacional	Ladera	activo	San Cayetano	2800
LZ9	Deslizamiento Rotacional	Talud	activo	San Cayetano	102
LZ10	Deslizamiento Traslacional	Ladera	activo	San Cayetano	200
LZ11	Deslizamiento Rotacional	Ladera	activo	San Cayetano	104
LZ12	Deslizamiento Rotacional	Talud	activo	San Cayetano	122,5
LZ13	Deslizamiento Rotacional	Talud	estabilizado	Quillollaco	109,8
LZ14	Deslizamiento Rotacional	Ladera	estabilizado	Quillollaco	68,75
LZ15	Deslizamiento Rotacional	Ladera	inactivo	Quillollaco	292,8
LZ16	Deslizamiento Traslacional	Ladera	activo	Quillollaco	360
LZ17	Deslizamiento Rotacional	Ladera	activo	Quillollaco	185,4
LZ18	Deslizamiento Rotacional	Ladera	activo	Quillollaco	375
LZ19	Deslizamiento Traslacional	Ladera	inactivo	Chiguinda	58,85
LZ20	Deslizamiento Rotacional	Talud	activo	Chiguinda	1003,2
LZ21	Flujo de detritos	Ladera	inactivo	Chiguinda	107,52
LZ22	Deslizamiento Traslacional	Talud	activo	Chiguinda	1944
LZ23	Deslizamiento Rotacional	Ladera	inactivo	Chiguinda	4500
LZ24	Deslizamiento Rotacional	Ladera	inactivo	Chiguinda	264
LZ25	Deslizamiento Traslacional	Ladera	activo	Chiguinda	475
LZ26	Desprendimientos	Talud	activo	Chiguinda	120
LZ27	Desprendimientos	Talud	activo	Chiguinda	45
LZ28	Desprendimientos	Talud	activo	Chiguinda	115
LZ29	Flujo de detritos	Ladera	activo	Chiguinda	1040
LZ30	Deslizamiento Traslacional	Talud	activo	Chiguinda	800
LZ31	Caída de rocas	Talud	activo	Chiguinda	750
LZ32	Deslizamiento Traslacional	Talud	activo	Chiguinda	84
LZ33	Flujo de detritos	Ladera	activo	Chiguinda	4000
LZ34	Flujo de detritos	Ladera	activo	Chiguinda	55
LZ35	Desprendimientos	Talud	activo	Chiguinda	650
LZ36	Desprendimientos	Talud	activo	Chiguinda	195
LZ37	Deslizamiento Traslacional	Ladera	activo	Chiguinda	202
LZ38	Flujo de detritos	Ladera	activo	Chiguinda	2850
LZ39	Deslizamiento Traslacional	Talud	activo	Chiguinda	820
LZ40	Desprendimientos	Talud	activo	Chiguinda	500
LZ41	Deslizamiento Traslacional	Ladera	activo	Chiguinda	72
LZ42	Deslizamiento Traslacional	Ladera	estabilizado	Chiguinda	180
LZ43	Deslizamiento Rotacional	Ladera	activo	Chiguinda	3000
LZ44	Deslizamiento Traslacional	Ladera	activo	Chiguinda	540
LZ45	Deslizamiento Traslacional	Ladera	activo	Chiguinda	760
LZ46	Deslizamiento Rotacional	Ladera	inactivo	Chiguinda	510
LZ47	Flujo de detritos	Ladera	activo	Chiguinda	189
LZ48	Deslizamiento Traslacional	Ladera	activo	Chiguinda	237,5

CODIGO	TIPOLOGIA	UBICACIÓN	ESTADO	UNIDAD/FORMACION	AREA(m ²)*
LZ49	Deslizamiento Rotacional	Ladera	activo	Chiguinda	600
LZ50	Deslizamiento Rotacional	Ladera	activo	Chiguinda	550
LZ51	Deslizamiento Rotacional	Ladera	activo	Chiguinda	406
LZ52	Deslizamiento Traslacional	Ladera	activo	Chiguinda	6000
LZ53	Deslizamiento Traslacional	Ladera	inactivo	Chiguinda	90
LZ54	Deslizamiento Traslacional	Ladera	activo	Chiguinda	40
LZ55	Flujo de detritos	Ladera	activo	Chiguinda	126
LZ56	Flujo de detritos	Ladera	activo	Chiguinda	135
LZ57	Deslizamiento Traslacional	Ladera	activo	Chiguinda	10000
LZ58	Deslizamiento Traslacional	Ladera	estabilizado	Chiguinda	252
LZ59	Deslizamiento Traslacional	Ladera	activo	Chiguinda	1320
LZ60	Deslizamiento Traslacional	Ladera	inactivo	Chiguinda	76
LZ61	Flujo de detritos	Ladera	activo	Chiguinda	50
LZ62	Flujo de detritos	Ladera	activo	Chiguinda	205
LZ63	Flujo de detritos	Ladera	activo	Sabanilla	140
LZ64	Flujo de detritos	Ladera	activo	Sabanilla	160
LZ65	Flujo de detritos	Ladera	activo	Sabanilla	900
LZ66	Deslizamiento Traslacional	Ladera	activo	Sabanilla	1500
LZ67	Deslizamiento Rotacional	Ladera	activo	Sabanilla	3250
LZ68	Flujo de detritos	Ladera	inactivo	Sabanilla	300
LZ69	Deslizamiento Traslacional	Ladera	activo	Sabanilla	1920
LZ70	Deslizamiento Rotacional	Ladera	activo	Sabanilla	9000
LZ71	Desprendimientos	Talud	activo	Sabanilla	100
LZ72	Flujo de detritos	Ladera	activo	Sabanilla	3500
LZ73	Flujo de detritos	Ladera	activo	Sabanilla	620
LZ74	Flujo de detritos	Ladera	activo	Sabanilla	545
LZ75	Flujo de detritos	Ladera	activo	Sabanilla	143
LZ76	Deslizamiento Traslacional	Ladera	activo	Sabanilla	468
LZ77	Flujo de detritos	Ladera	activo	Sabanilla	32
LZ78	Flujo de detritos	Ladera	activo	Sabanilla	24
LZ79	Deslizamiento Rotacional	Ladera	activo	Sabanilla	225
LZ80	Deslizamiento Traslacional	Ladera	activo	B. de Zamora	265
LZ81	Deslizamiento Rotacional	Ladera	inactivo	B. de Zamora	450
LZ82	Deslizamiento Rotacional	Ladera	inactivo	B. de Zamora	950

TABLA 3.3. Resumen de las características de los FRM observados a lo largo de la carretera Loja-Zamora. (*) Son valores aproximados.

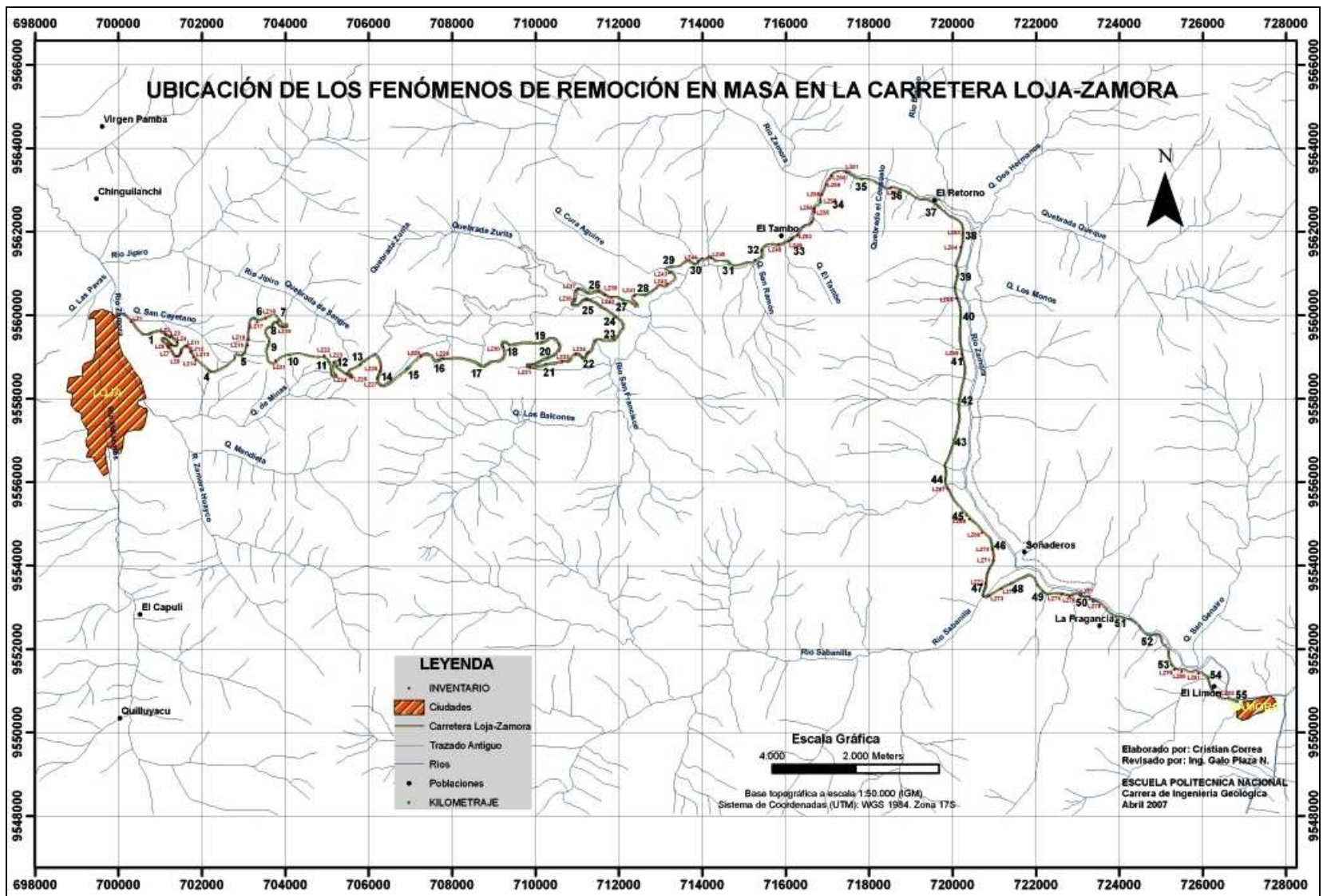


FIGURA 3.12. Mapa de ubicación de los fenómenos de remoción en masa presentados en la TABLA 3.3

CAPITULO IV: DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LA CARRETERA LOJA ZAMORA

4.1 INTRODUCCIÓN

Entre las metodologías que se han propuesto para determinar la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa se tienen dos métodos que se utilizaron específicamente en carreteras (TC4, 1993; GEF, 1978) y otros que pueden ser utilizados para la zonificación de la susceptibilidad en áreas (Brabb, 1984; INGEOMINAS, 2001). A continuación se describen sintéticamente estos métodos y se indican las consideraciones para su utilización durante este trabajo.

El método propuesto por la Asociación de Carreteras de Japón (Technical committee for earthquake geotechnical engineering, tc4, issmfe, 1993) permite predecir la inestabilidad de taludes por caídas de rocas considerando doce factores: altura del talud, ángulo del talud, contrapendiente, geología, espesor del suelo alterado, flujo de agua, frecuencia de caída de rocas, deformación del talud o ladera, deformación de estructuras de contención (muros), caídas de rocas que provocan problemas de tráfico, corte o relleno del talud y estabilidad de estructuras de contención (muros).

Estos parámetros tienen una ponderación que es evaluada en dos estados uno en la cual existe una estructura de contención y otra sin la estructura. Los resultados permiten predecir si el talud bajo estudio fallará o no, es decir, si se produce un fenómeno de remoción de masa o no (deslizamientos, caídas, etc.). Su aplicación para el presente trabajo es limitada pues se aplica solamente para caída de rocas y adicionalmente se requiere de información de la periodicidad con que ocurren las caídas.

El Groupe d'Études des Falaises (GEF, 1978) presenta una metodología para la evaluación del peligro en taludes y laderas de carreteras por caídas de rocas. Proponen un método cartográfico donde durante el trabajo de campo se recolecta la

siguiente información: materiales involucrados en la caída (rocas o bloques), volumen del material depositado, frecuencia de las caídas, naturaleza del material, altura del talud o ladera, circunstancias en las que se produjo la(s) caída(s) (intemperismo o trabajos de adecuación), daños ocasionados, trabajos de remediación efectuados. Con esta información se consideran la no ocurrencia, la posibilidad y la probabilidad de ocurrencia de una caída de rocas (calificación de 0,1 o 2 respectivamente) considerando los parámetros topografía, vegetación, protección e hidrología. La valoración del peligro por caídas de rocas se hace por zonas o por puntos específicos en el trazado de la carretera en función de la ponderación obtenida de la calificación dada a cada parámetro. Este método se aplica solamente para caídas de rocas de ahí que su aplicación no es factible para el presente trabajo.

El método que propone INGEOMINAS (2001) utiliza la relación $W\% = \frac{DZX}{S} \cdot 100$ para determinar la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa. En la relación anterior se tiene:

W: susceptibilidad de la Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP) respecto al movimiento en masa analizado.

DZX: superficie acumulada de movimiento en masa de tipo X (Km² o ha) que hay sobre la UCP.

S: superficie total acumulada de la UCP

Los autores proponen la utilización de dos clases de mapas: el mapa de procesos morfodinámicos (inventario) y un mapa índice (ingeniería geológica, pendientes, geomorfología, conflictos de uso del suelo). Seguidamente se procede a dividir el área (DZX) de los FRM para el área de cada factor (UCP) representado en el mapa índice, esto es, unidades litológicas, unidades geomorfológicas, rangos de pendiente y uso del suelo. De este modo se obtiene un porcentaje (W%) que indica un nivel de susceptibilidad que se tabula de acuerdo a seis niveles de susceptibilidad que sugieren los autores. Finalmente, se realiza una sumatoria de los diferentes mapas de susceptibilidad y se pondera nuevamente según los diferentes niveles de susceptibilidad propuestos.

Abad (2006) en su trabajo realiza una evaluación y zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa en la cuenca de Loja. Utiliza las metodologías de Brabb y de Mora Vahrson. Respecto a esta última metodología, ésta se utiliza en la predicción de amenaza por fenómenos de remoción en masa considerando cinco factores: relieve relativo, litología, humedad del suelo, sismicidad e intensidad de lluvias. Para este trabajo no se consideró esta metodología pues en lo que tiene que ver a sismicidad no se cuenta con una buena calidad de datos dentro del área de estudio. En lo referente al método de Brabb, Abad (2006) realiza algunos ensayos partiendo del método original para efectuar variaciones al considerar frecuencia (número) de fenómenos de remoción en masa y área deslizada para cada unidad litológica en diferentes rangos de pendiente. Por las características e información disponible para el área de estudio este método es el que finalmente se escogió para realizar el análisis de la susceptibilidad.

4.1.1 Consideraciones Realizadas

- Se determinaron 170 cuencas hidrográficas varias de las cuales presentan flujos y avalanchas de detritos. Para obtener el mapa de susceptibilidad de la carretera se consideraron únicamente las cuencas que drenan hacia el trazado actual de la carretera que suman un total de 82 cuencas (AREA DE INFLUENCIA, FIGURA 4.1).
- Se elaboró un mapa de inventario a partir de las fotografías aéreas a escala 1:60.000 de los años 1976 y 1989 (IGM) que cubren todo el trazado de la carretera actual que une las provincias de Loja y Zamora (CAPITULO 3, FIGURA 3.3). Se decidió presentar un solo mapa de inventario con el propósito de contar con una base lo más completa posible.
- Los mapas de susceptibilidad finales (Método de Brabb) se los hizo con un tamaño de grid de 50 x 50m puesto que la base topográfica con la cual se trabajó fue de 1:50.000 y según las sugerencias realizadas en Abad (2006) el tamaño de grid mencionado es el más adecuado para la representación final.



FIGURA 4.1. Limitación del área de influencia a partir de las cuencas hidrográficas.

4.2 DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA APLICANDO LA METODOLOGÍA DE BRABB.

El método ha sido detallado para ser utilizado en forma cartográfica por Varnes (1984). Este método utiliza fundamentalmente tres clases de mapas para evaluar la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa: un mapa de inventario de fenómenos de remoción en masa (FRM), un mapa de unidades litológicas y un mapa de pendientes. El procedimiento descrito es el siguiente:

1.- Primero, se determina el área de cada una de las unidades y subunidades litológicas de la zona, utilizando una malla con resolución de 0.01 millas cuadradas (2.6 hectáreas).

2.- El Mapa Inventario de Fenómenos de Remoción en Masa se sobrepone al Mapa de Unidades Litológicas para identificar las unidades en las cuales ocurren fenómenos de remoción en masa; y, se calculan las áreas deslizadas en cada una de las unidades litológicas usando la malla.

3.- Las unidades litológicas del mapa son luego listadas en orden creciente considerando el porcentaje determinado por la relación entre las áreas deslizadas en cada unidad litológica y las áreas determinadas para cada unidad litológica. De esta manera se determina una susceptibilidad relativa, según el porcentaje de masa deslizada en cada litología, identificándola con numerales I, II, III, IV, V y VI.

4.- La clase más alta de susceptibilidad (L) se asigna a los depósitos de fenómenos de remoción en masa, porque contienen mucha más área deslizada (100%) que las litologías de las cuales ellos provienen. Así, los depósitos de los fenómenos de remoción en masa se consideran como una unidad litológica.

5.- Las otras clases de susceptibilidad parcial (I a VI) se determinan en función de intervalos convenientes de los porcentajes de masa deslizada, identificados para cada unidad litológica, asignándoles de esta forma un símbolo a cada uno de ellos. Según Varnes (1984), los intervalos de las clases de susceptibilidad relativa no son uniformes (1%, 6%, 16%, 10%, etc.).

6.- El mapa de pendientes se sobrepone al Mapa Litológico y al Mapa Inventario de los fenómenos de remoción en masa combinados; y, se examinan sistemáticamente

para determinar los intervalos de pendiente que muestran la máxima frecuencia de los fenómenos de remoción en masa para cada unidad litológica. Los intervalos de pendiente que presentan los valores máximos, son etiquetados con las clases de susceptibilidad más alta (números romanos).

Abad K. F. (2006) propone en su trabajo tres variaciones al método original de Brabb. Por las características del área de estudio y de acuerdo a los datos disponibles se utilizó la variante que el autor denominó VARIACION N°3 y que se detalla a continuación:

4.2.1 Elaboración del mapa de pendientes

Respecto al mapa de pendientes, se utilizó un mapa con 5 rangos calculados en grados y reclasificados en base al criterio estadístico del histograma plano (FIGURAS 4.2 y 4.3).

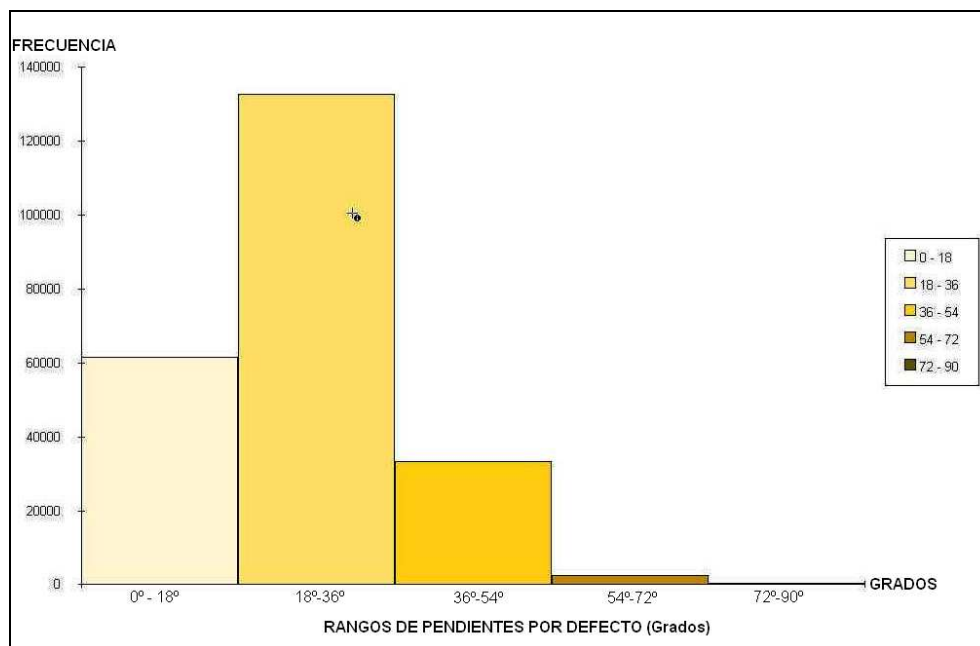


FIGURA 4.2. Histograma de pendientes sin reclasificar

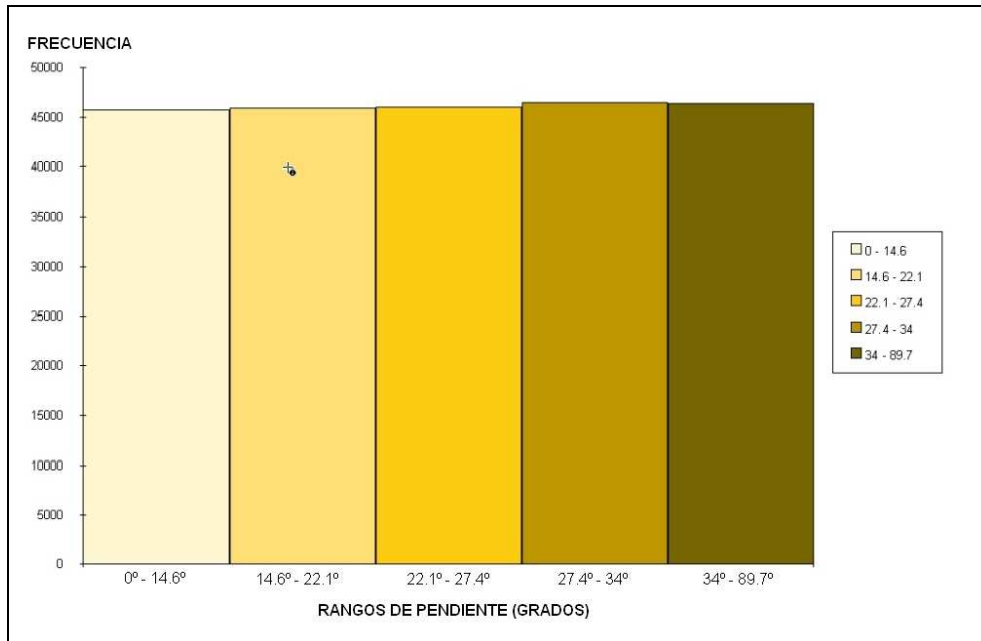


FIGURA 4.3. Histograma de pendientes reclasificadas

Los rangos que se obtuvieron (FIGURA 4.2) una vez que se realizó la reclasificación son los siguientes:

0 - 14.60°
14.6° - 22.05°
22.05° - 27.36°
27.36° - 33.97°
33.97° - 89.70°

Se establecieron solamente 5 rangos de susceptibilidad relativa o parcial (SP), incluidos los depósitos de los fenómenos de remoción en masa y no se ha adoptado el criterio del 30% que indica el método original (equivalente a 13.5°). Del método original se mantiene el valorar a los depósitos de los fenómenos de remoción en masa con el máximo valor de susceptibilidad relativa (L).

4.2.2 Determinación de la Susceptibilidad Relativa o Parcial (SP).

Se considera la relación entre el área aflorante de cada unidad litológica (AREA) y el área deslizada en cada una de ellas (AREA DZ), y se obtiene el porcentaje deslizado por unidad litológica (%DZ). Los rangos de susceptibilidad relativa o parcial (SP) se determinan mediante un análisis estadístico considerando para este caso 4 clases entre 1.57% y 5.82%. Estos valores corresponden al menor y mayor porcentaje de áreas deslizadas respectivamente (TABLA 4.1).

OBTENCION DEL RANGO	RANGOS	Susceptibilidad Relativa
5,82-1,57 = 4,25	1,57-2,63	I
4,25 / 4 = 1,06	2,63-3,69	II
	3,69-4,75	III
	4,75-5,81	IV
	>5,81	L

UNIDAD LITOLÓGICA	AREA 1976(m ²)	AREA DZ(m ²)	%DZ 1976	SP
Fm. San Cayetano	3442070,47	54130,68	1,57	I
Fm. Quillollaco	2941608,00	49842,23	1,69	I
Granito de Zamora	2376837,56	67464,12	2,84	II
Gneis de Sabanilla	26871697,42	1213096,45	4,51	III
Unidad Chiguinda	47862140,34	2783569,87	5,82	IV
Depósitos Deslizados	4168103,354	4168103,35	100,00	L

TABLA 4.1. Determinación de la susceptibilidad Relativa

4.2.3 Determinación de la Susceptibilidad Absoluta o Total (ST).

Seguidamente se elabora otra matriz considerando las unidades litológicas y su susceptibilidad parcial, los rangos de pendientes y el número de fenómenos de remoción en masa (frecuencia) en cada rango de pendientes y en cada unidad litológica. La TABLA 4.2 muestra la matriz de frecuencias de fenómenos de remoción en masa para cada unidad litológica y en cada rango de pendiente.

UNIDAD LITOLÓGICA	RANGOS DE PENDIENTES (°)				
	0-14,60	14,60-22,05	22,05-27,36	27,36-33,97	33,97-89,70
Fm. San Cayetano	9	8	2	0	2
Fm. Quillollaco	9	7	2	2	0
Granito de Zamora	8	7	6	2	9
Gneis de Sabanilla	62	43	78	97	101
Unidad Chiguinda	217	151	322	427	431
Depósitos Deslizados	L	L	L	L	L

TABLA 4.2. Frecuencia de FRM por unidad litológica y por pendiente

Con los resultados obtenidos a partir de la TABLA 4.2 se determina la susceptibilidad absoluta (ST). Al no tomar en cuenta el criterio del 30% de la pendiente para la determinación de la susceptibilidad como lo establece el método original, se consideraron la mayor y menor frecuencia de fenómenos de remoción en masa para cada unidad litológica. Así por ejemplo, para la Unidad Chiguinda con un valor de SP=IV, se tiene una frecuencia máxima de 431 y una mínima de 151. Para la Unidad Granito de Zamora se tiene una frecuencia máxima y mínima de 9 y 2 respectivamente con un valor SP=II. Con estos valores se construye la tabla de susceptibilidad absoluta (ST) de la siguiente manera:

OBTENCION DEL RANGO
$431 - 151 = 280$
$280 / 4 = 70$

RANGOS	Susceptibilidad Absoluta
151-221	I
221-291	II
291-361	III
361-431	IV

OBTENCION DEL RANGO
$9 - 2 = 7$
$7 / 2 = 3,5$

RANGOS	Susceptibilidad Absoluta
2-5,5	I
5,5-9	II

Se procede del mismo modo para cada una de las litologías en base a su valoración de susceptibilidad relativa. La TABLA 4.3 muestra la determinación de la susceptibilidad total.

UNIDAD LITOLÓGICA	RANGOS DE PENDIENTES (°)					
	0-14,60	14,60-22,05	22,05-27,36	27,36-33,97	33,97-89,70	ST
Fm. San Cayetano	I	I	I	I	I	I
Fm. Quillollaco	I	I	I	I	I	I
Granito de Zamora	II	II	II	I	II	II
Gneis de Sabanilla	I	I	II	III	III	III
Unidad Chiguinda	I	I	III	IV	IV	IV
Depósitos Deslizados	L	L	L	L	L	L

TABLA 4.3. Valores de susceptibilidad absoluta por unidad litológica y por pendiente

Finalmente, mediante los valores obtenidos y con la ayuda del Arcview 3.2 se elabora el mapa de susceptibilidad. Para la representación cartográfica se toma en consideración los siguientes valores de susceptibilidad:

Valor de Susceptibilidad Absoluta	Susceptibilidad
I	Muy Baja
II	Baja
III	Media
IV	Alta
V	Muy Alta

En la FIGURA 4.4 se presenta el mapa de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa de la carretera Loja-Zamora.

En la primera etapa del desarrollo del método se observa que las unidades Gneis de Sabanilla y Chiguinda tienen los valores más altos de susceptibilidad relativa (III y IV respectivamente). Una vez que se determina la susceptibilidad absoluta los resultados señalan que la Unidad Chiguinda presenta valores de susceptibilidad entre baja a alta, seguidamente se tiene a la Unidad Gneis de Sabanilla con valores de susceptibilidad media. Las formaciones San Cayetano, Quillollaco y el Batolito de Zamora presentan valores de susceptibilidad absoluta muy baja y baja respectivamente.

Los rangos de pendientes comprendidos entre 37.6° a 89.7° tienen, para el caso de las Unidades Chiguinda y Gneis de Sabanilla, los niveles más altos de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa.

A lo largo de la carretera se observa que aproximadamente el 49% de la longitud total presenta valores altos de susceptibilidad en el sector correspondiente a las rocas pertenecientes a la Unidad Chiguinda. Un 29% presenta valores de susceptibilidad media y corresponde a la zona donde afloran rocas de la Unidad Gneis de Sabanilla. El 20% restante de la vía presenta valores de susceptibilidad baja a muy baja y corresponde a las Formaciones San Cayetano, Quillollaco y el Batolito de Zamora, respectivamente.

El método de Brabb utilizado para este trabajo permite establecer aquellas unidades litológicas con mayor frecuencia de fenómenos de remoción en masa en función del área deslizada. Adicionalmente, se establecen rangos de pendientes donde estos fenómenos se producen con mayor frecuencia dentro de las diferentes unidades litológicas involucradas.

De acuerdo al análisis de las fotografías aéreas y del trabajo de campo, los resultados obtenidos mediante el método de Brabb reflejan la realidad de la carretera. La mayor ocurrencia (densidad) de fenómenos de remoción en masa la presenta las Unidades Chiguinda y Gneis de Sabanilla.

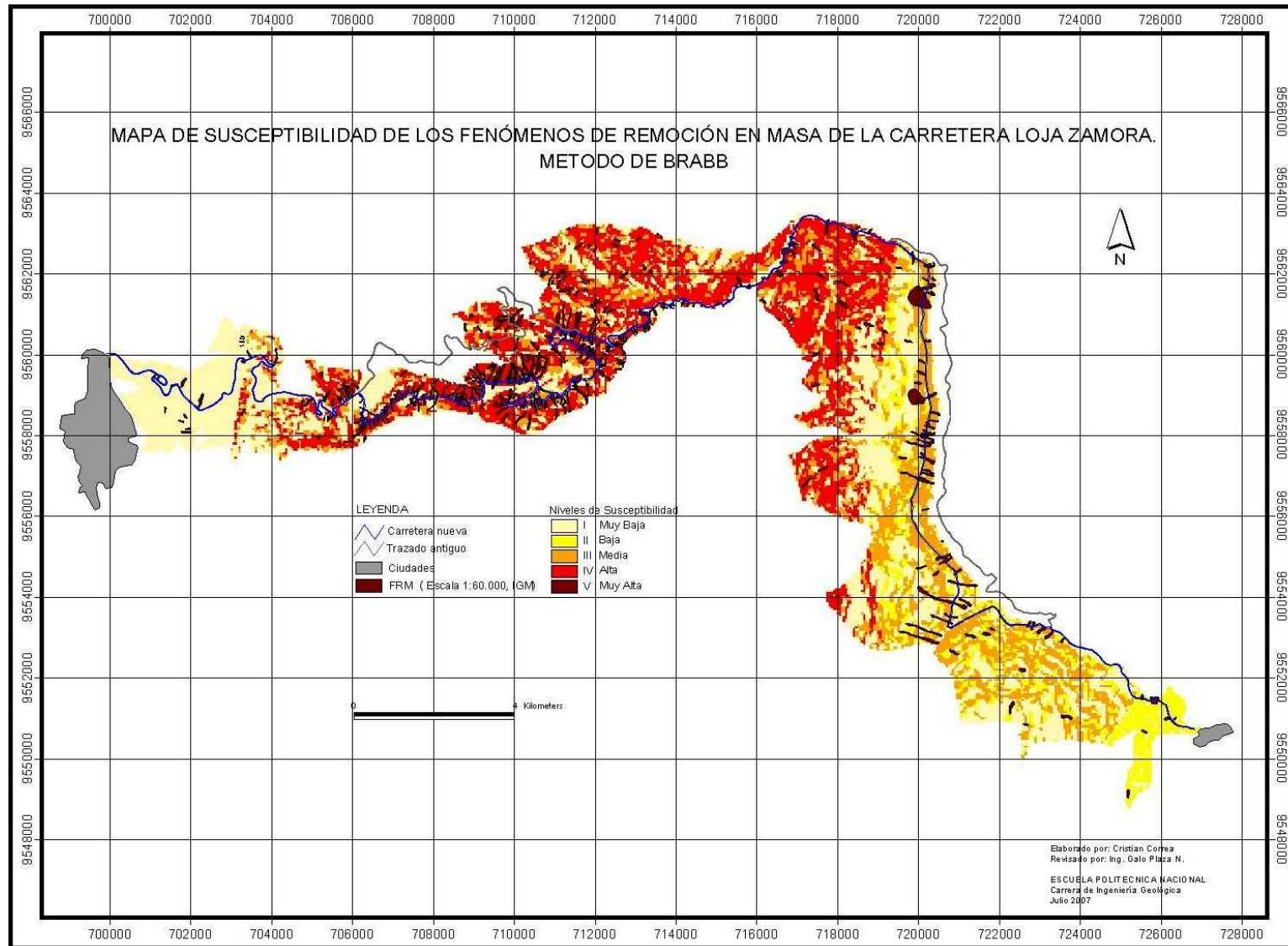


FIGURA 4.4. Mapa de susceptibilidad de la carretera Loja-Zamora. Grid 50 x 50m

4.3 DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A PARTIR DE LAS RELACIONES ENTRE EL ÁREA DESLIZADA (ADZ) Y/O NÚMERO DE FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA (NFRM) Y EL ÁREA DE LAS CUENCAS

Una vez definidas las áreas donde se presentan fenómenos de remoción en masa se pueden determinar las relaciones entre las áreas deslizadas y el área donde se producen o el número de fenómenos de remoción en masa, con el propósito de calificar dichas áreas ya sea por el área que se desliza o por la frecuencia de fenómenos de remoción en masa ocurridos. De esta manera se propone una noción de la susceptibilidad de un sitio o zona en función de estas relaciones sencillas.

Se analizaron las cuencas que drenan a la carretera y para cada una se determina su área total, seguidamente se determina el área deslizada (área de cada proceso de remoción en masa en cada cuenca) y el número de procesos de remoción en masa existente en cada cuenca. Con estos valores se procede a obtener la relación entre el área deslizada (ADZ) o el número (frecuencia) de fenómenos de remoción en masa por cuenca (NFRM) con el área de la cuenca (ÁREA). Cada valor obtenido se multiplicó por cien para obtener un porcentaje y se los ordena de forma ascendente. Finalmente se expresa la susceptibilidad utilizando 5 rangos para lo cual se resta el porcentaje mayor del menor y el resultado se divide para cinco obteniéndose así los valores requeridos. Esta relación corresponde a valores de la susceptibilidad relativa para cada cuenca. Se analizaron un total de 82 cuencas. Los mapas resultantes se presentan en las FIGURAS 4.5 y 4.6.

Las relaciones de área deslizada sobre área de la cuenca y la frecuencia (NFRM) para el área de la cuenca son factores que determinan esencialmente la densidad de fenómenos de remoción en masa para cada cuenca, expresada en un caso por el área deslizada, mientras que, en el segundo caso por el número o frecuencia (NFRM) de los fenómenos de remoción en masa. Al comparar los mapas resultantes se aprecia que existen coincidencias en el valor de susceptibilidad en varias cuencas. Cuando se trabaja con áreas se obtiene un número adimensional que

permite asignar un valor de susceptibilidad relativa según lo propuesto por Varnes (1984). En el segundo ensayo realizado, es decir, la relación número o frecuencia de fenómenos de remoción en masa para el área de la cuenca determina un factor que expresa la densidad de fenómenos de remoción en masa por área de la cuenca (NFRM / m²). Esta diferencia en el origen de las relaciones explicaría al menos en parte porque se produce una diferencia en los resultados para algunas cuencas.

Los valores más altos de susceptibilidad (moderada a muy alta) se concentran aproximadamente desde el kilómetro 13 al 27 y se presentan en la Unidad Chiguinda. El resto de cuencas tiene un valor de susceptibilidad bajo.

Este método resulta fácil de aplicar y requiere únicamente del valor del área deslizada o bien el número de fenómenos de remoción en masa para un área determinada sea esta una cuenca o una unidad litológica. Se tiene entonces un valor de la susceptibilidad relativa o de la densidad de fenómenos de remoción para un área determinada. Los valores de susceptibilidad están en relación directa con el área de la cuenca, su variación provocará cambio en la susceptibilidad relativa. Los valores de susceptibilidad que se obtuvieron al aplicar el método de Brabb son valores de susceptibilidad absoluta e involucran el factor litológico con el respectivo valor de susceptibilidad relativa y un rango de pendientes. Resultan dos concepciones diferentes en cuanto a la susceptibilidad de ahí que los resultados difieran uno del otro.

Los parámetros de las cuencas y sus valores se presentan en el ANEXO 3.

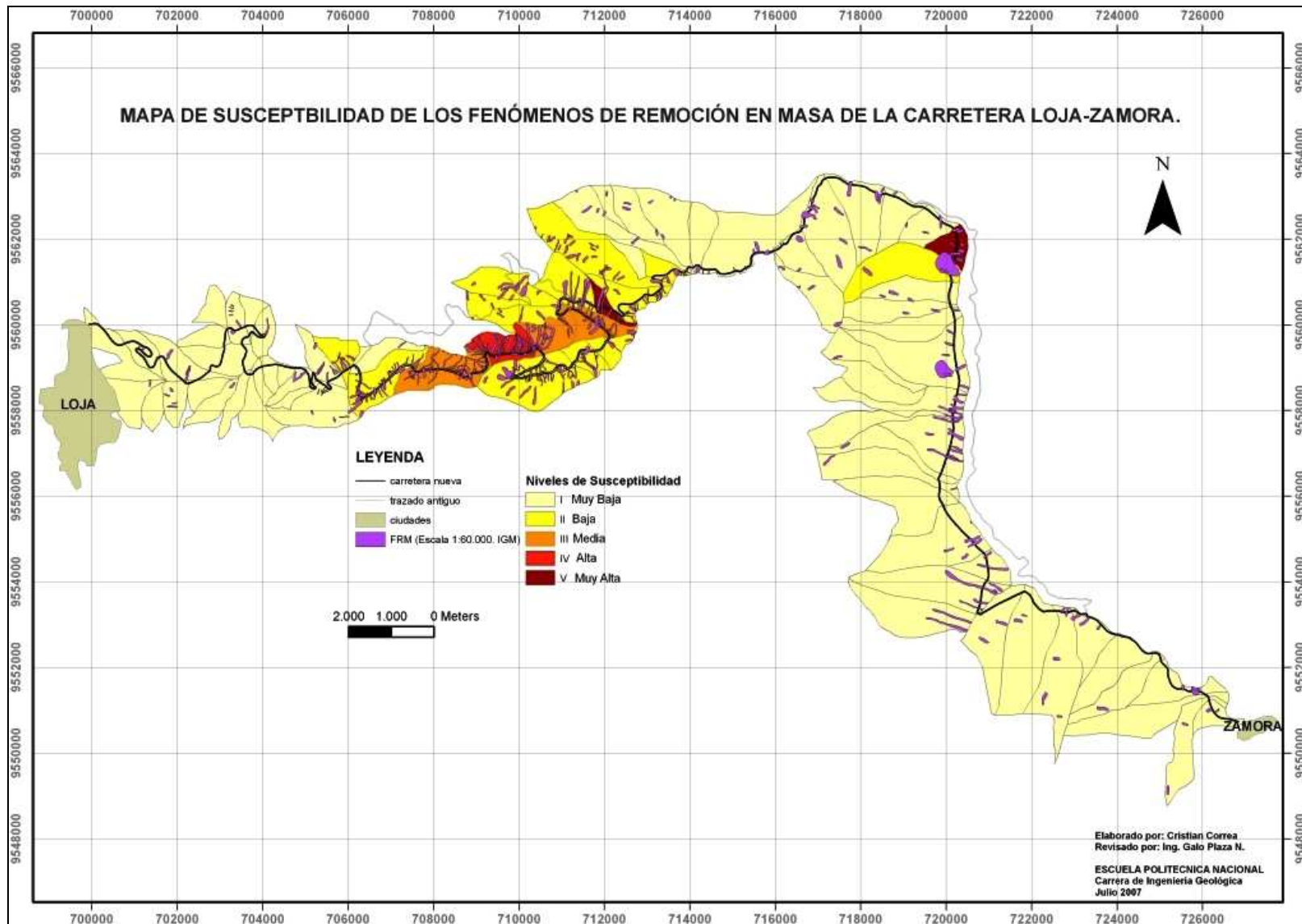


FIGURA 4.5. Mapa de susceptibilidad de la carretera Loja-Zamora. *Relación:* Área deslizada / Área de la cuenca.

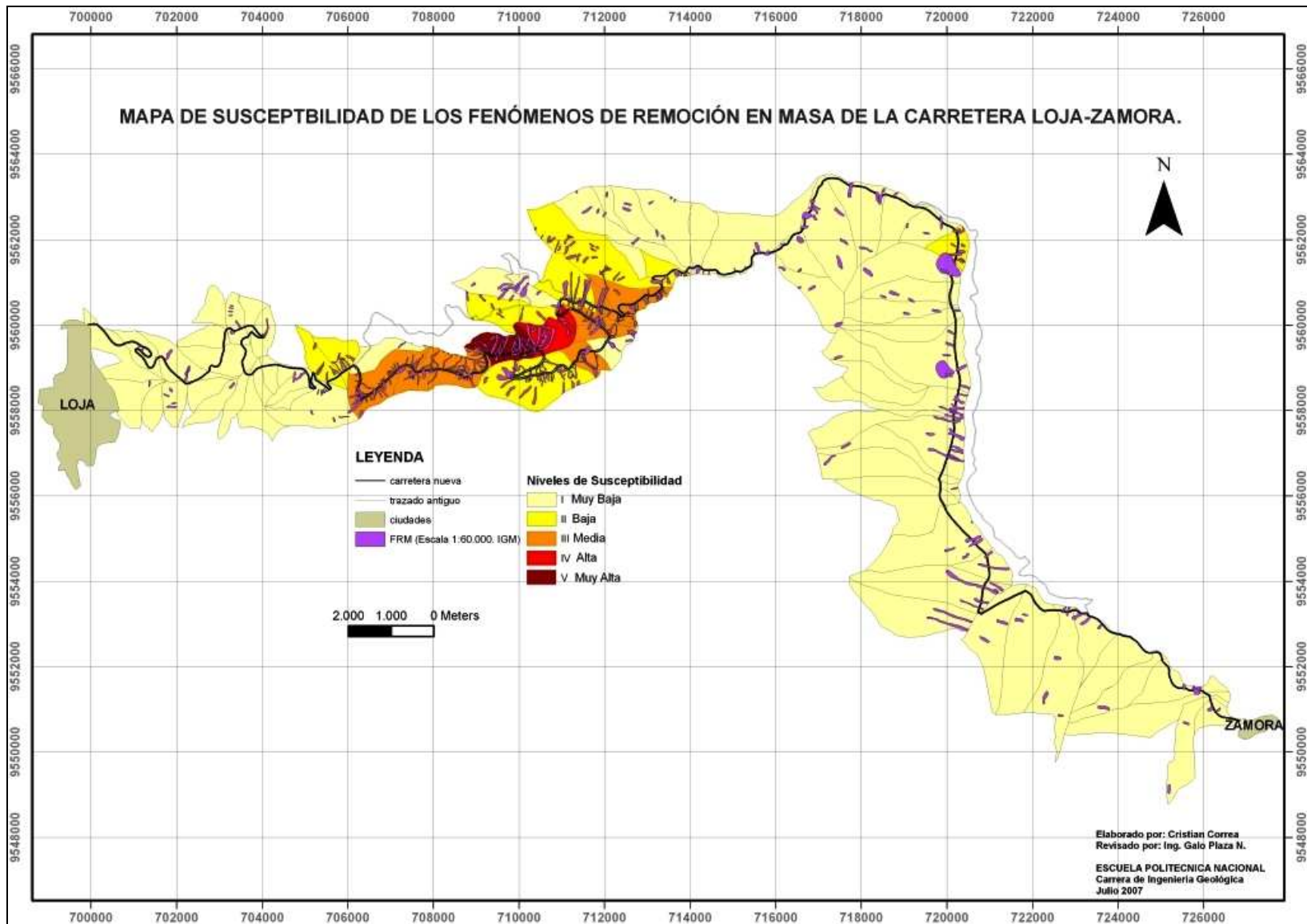


FIGURA 4.6. Mapa de susceptibilidad de la carretera Loja-Zamora. *Relación:* Número (Frecuencia) de FRM / Área de la cuenca.

4.4 UTILIZACIÓN DE PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS PARA LA IDENTIFICACION DE CUENCAS SUSCEPTIBLES A GENERAR FLUJOS DE DETRITOS O CRECIDAS CON DETRITOS. INDICE DE MELTON

Investigaciones efectuados en las Montañas Rocosas Canadienses (Jackson L., Jr. et al., 1987; Wilford D. J. et al., 2004) a partir del estudio de los depósitos dejados por flujos de detritos y crecidas con detritos, han permitido generar una metodología que utiliza esencialmente dos parámetros morfométricos para la diferenciación de cuencas susceptibles a originar estos procesos. Estos parámetros son la longitud de la cuenca y el denominado índice de Melton.

El impacto que producen los flujos de detritos y crecidas con detritos son diferentes por el volumen de sólidos (sedimentos) que cada uno contiene y es importante poder diferenciarlos para evaluar su peligrosidad. Los flujos de detritos (flujos de escombros) son fenómenos de remoción en masa muy rápidos, que transcurren confinados a lo largo de un canal o cauce empinado con un caudal pico que puede ser hasta 40 veces mayor que el caudal de las crecidas (inundaciones). Una crecida con detritos es un flujo de agua muy rápido que transporta una cantidad de detritos menor que en un flujo de escombros a lo largo de un canal inclinado. Un criterio adicional para distinguir entre flujo de detritos y crecidas con detritos es la máxima descarga que cada proceso produce (PMA: GCA, 2005b). Estos fenómenos se presentan en regiones montañosas, a veces de difícil acceso, para un reconocimiento de campo.

Wilford D. J. et al. (2004) ha demostrado que la combinación del índice de Melton (relación entre la diferencia del punto más alto y más bajo de una cuenca para la raíz cuadrada del área de la cuenca) con la longitud de la cuenca, permite diferenciar entre cuencas susceptibles a originar flujos de detritos de otras susceptibles a generar crecidas con detritos. Sus resultados señalan que para generar crecidas en una cuenca el índice de Melton debe tener un valor de hasta 0.3, para crecidas con detritos la longitud de la cuenca debe ser mayor a 2.7Km y para flujos de detritos el

índice de Melton debe ser mayor que 0.6, con una longitud de cuenca menor a 2.7Km (FIGURA 4.7).

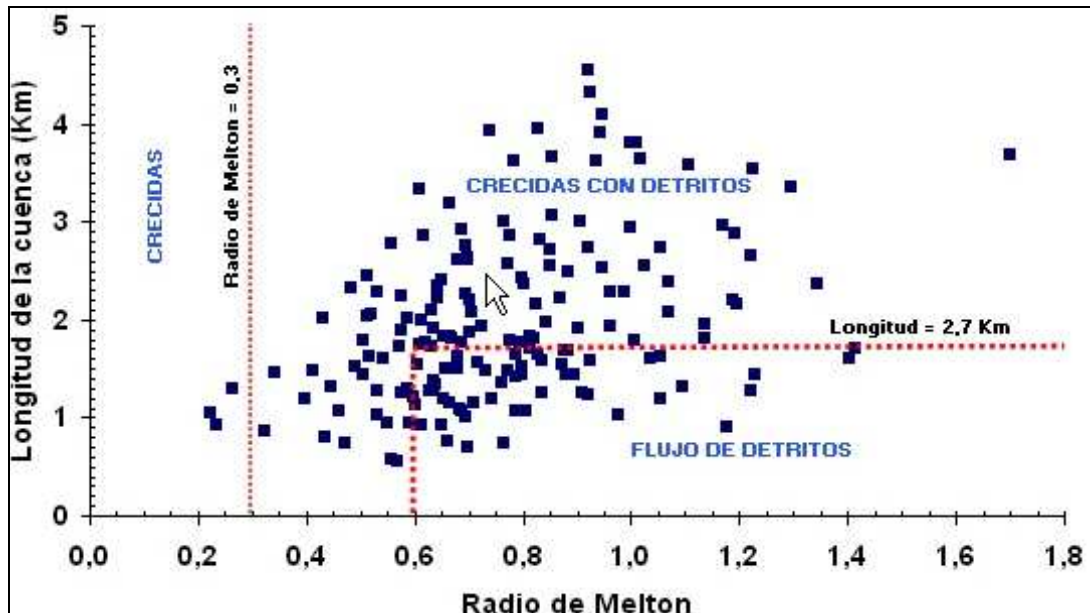


FIGURA 4.7. Gráfico que muestra los campo de flujos de detritos, crecidas con detritos y crecidas tomado y modificado de Wilford D. J. et al., 2004, y parámetros morfométricos de la zona de estudio

Respecto a la longitud de la cuenca debe señalarse que en el método original la define como la distancia entre el punto más alto de la cuenca y el límite superior del depósito originado por el flujo (inicio del abanico de depositación). En este estudio se consideró como longitud de la cuenca la distancia entre el punto más alto y el más bajo de cada cuenca en razón de que no se produce un cambio significativo en los resultados finales (*comunicación personal Dr. Lionel Jackson, 2006*). En la FIGURA 4.7 se representan los parámetros morfométricos para el área de estudio. En la TABLA 4.9 se presentan de los parámetros morfométricos y la tipología que finalmente se obtuvo en seis cuencas dentro del área de estudio. En el ANEXO 4 se presentan todos los parámetros utilizados para este trabajo.

CUENCA	AREA(KM ²)	RAIZ(KM)	ALTO	BAJO	DIFERENCIA	DIF(KM)	LONG(KM)	MELTON	TIPOLOGIA
C1	0,57	0,76	2720m	2240m	480m	0,48	1,3	0,6	Debris Flows
C2	0,47	0,69	2240m	2080m	160m	0,16	0,9	0,2	Floods
C89	0,96	0,98	2840m	2360m	480m	0,48	1,5	0,5	Debris Flood
C90	0,53	0,73	2440m	1840m	600m	0,6	1,8	0,8	Debris Flows
C130	1,75	1,32	2280m	1080m	1200m	1,2	3,0	0,9	Debris Flood
C131	0,30	0,55	1240m	920m	320m	0,32	1,3	0,6	Debris Flows

TABLA 4.4. Resultados obtenidos en seis cuencas dentro del área de estudio. AREA: área de la cuenca. RAIZ: raíz cuadrada del área de la cuenca. DIFERENCIA (DIF): diferencia entre el punto más alto y más bajo de la cuenca. LONG: longitud de la cuenca.

Se analizaron un total de 170 cuencas. Se observa que 119 cuencas son susceptibles a generar flujos de detritos, 48 cuencas son susceptibles a originar crecidas con detritos y 3 cuencas son susceptibles a generar crecidas.

En la FIGURA 4.8 se presentan los resultados obtenidos para este trabajo. Por tratarse de un ensayo y como comprobación del método sólo se consideraron aquellas cuencas donde se presentaron flujos y avalanchas de detritos, de ahí que algunas cuencas dentro del área de influencia aparezcan sin color (en blanco).

El método aquí presentado tiene un carácter predictivo y permite evaluar de forma general, en función de parámetros morfométricos, la susceptibilidad de una cuenca hidrográfica a generar crecidas, crecidas de detritos o flujos de detritos.

Los resultados obtenidos utilizando el índice (radio) de Melton confirman la ocurrencia de flujos de detritos dentro del área de estudio. Son necesarios estudios complementarios (estudio de los depósitos dejados por estos fenómenos) que permitan comprobar la presencia o no de crecidas y crecidas con detritos en las cuencas ubicadas en los alrededores de la carretera y evaluar el grado de certeza del método en cuestión y establecer si los límites propuestos por Wilford D.J. et al. (2004) para la discriminación de este tipo de fenómenos se pueden aplicar en otras regiones sin ningún tipo de restricción.

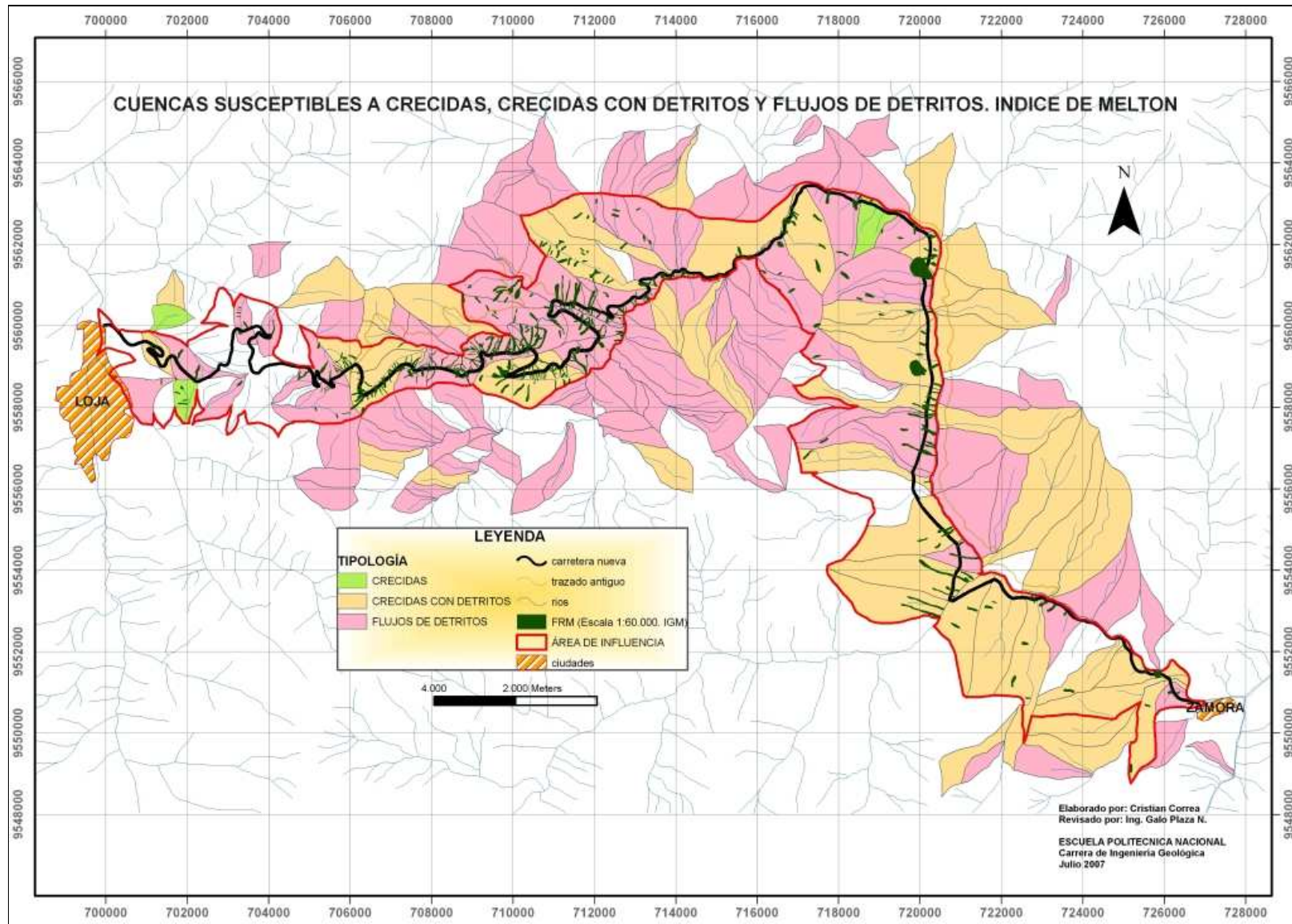


FIGURA 4.8. Determinación de cuencas susceptibles a crecidas, crecidas con detritos y flujos de detritos. Índice de Melton

4.5 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE INESTABILIDAD A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE LA FRACTURACIÓN. MÉTODO DE ESTABILIDAD CINEMÁTICA

El método de la estabilidad cinemática para evaluar la inestabilidad potencial de taludes en macizos rocosos considera un análisis del rumbo y buzamiento de los planos de fracturas (Suárez, 1988). Se consideraron los modelos de falla planar y falla en cuña los cuales son posibles en macizos rocosos fracturados como es el caso de las rocas metamórficas presentes en la carretera Loja -Zamora (Unidades Chiguinda y Gneis de Sabanilla). La cantidad de datos de fracturamiento obtenidos permiten desarrollar un análisis estadístico de la inestabilidad de algunos taludes a lo largo de la carretera.

El análisis se lo hace en forma gráfica usando la proyección estereográfica de los planos de fractura y del plano del talud, para los casos de falla planar y en cuña es necesario considerar además el valor del ángulo de fricción interna en los planos de fractura.

Para evaluar la estabilidad de un talud frente a falla planar o falla en cuña se toman en cuenta tres relaciones:

1. La relación entre el buzamiento de la fractura y el ángulo de buzamiento del talud. Si el buzamiento del talud es mayor, se cumple la primera condición de inestabilidad.
2. La relación entre la dirección de buzamiento de la fractura y la dirección de buzamiento del talud. Si el ángulo entre estas direcciones es menor que 20° se cumple con la principal condición de inestabilidad, en caso contrario se considera que el talud es estable.
3. Relación entre el ángulo de buzamiento de la fractura y el ángulo de fricción interna en la superficie de falla. Si el buzamiento de la fractura es mayor, se cumple una condición de inestabilidad. Para este caso se estimó 30° como ángulo de fricción interna para las Unidad Chiguinda y Gneis de Sabanilla (González, 2002).

La determinación de los taludes así como de las fracturas características de cada unidad se la efectuó a partir del análisis estadístico de los datos recolectados.

Para el análisis de estabilidad cinemática se utilizó la siguiente simbología:

DBF: Dirección de buzamiento de la fractura

BF: Buzamiento de la fractura

ϕ : Angulo de fricción interna en los planos de las fracturas

DBT: Dirección de buzamiento del talud

BT: Buzamiento del talud

TALUDES

Para el caso de la Unidad Chiguinda se utilizaron un total de 12 datos de buzamiento y dirección de buzamientos de los taludes; para la Unidad Gneis de Sabanilla se utilizaron 10 datos. La determinación de los taludes característicos se la realizó estereográficamente escogiendo áreas de mayor concentración de polos (FIGURAS 4.9 y 4.10). Los resultados obtenidos se muestran en la TABLA 4.10.

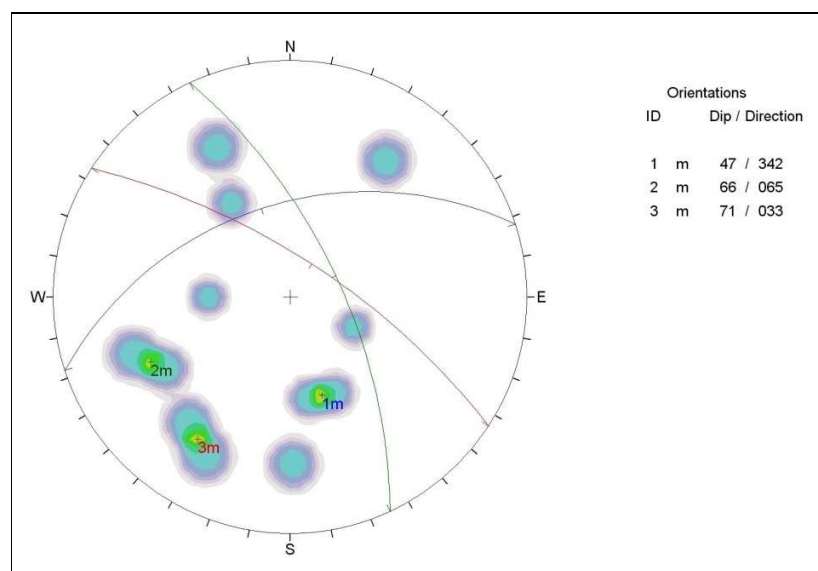


FIGURA 4.9. Determinación estadística de taludes para la Unidad Chiguinda

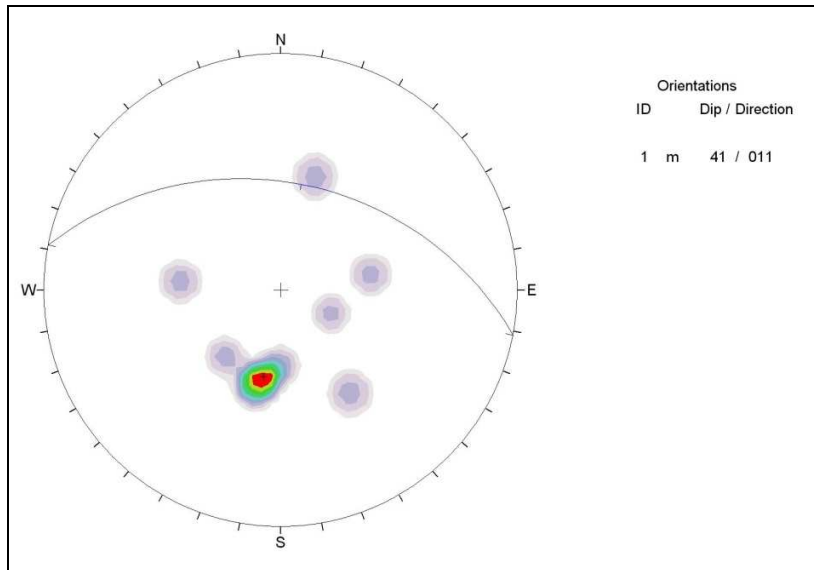


FIGURA 4.10. Determinación estadística de taludes para la Unidad Gneis de Sabanilla

Taludes	DBT	BT	Unidad
T1	342	47	Chiguinda
T2	065	66	Chiguinda
T3	033	71	Chiguinda
T4	011	41	Gneis de Sabanilla

TABLA 4.5. Taludes (promedio) determinados estadísticamente para las Unidades Chiguinda y Gneis de Sabanilla

FRACTURAS

Con respecto a las fracturas debe señalarse que se tiene una heterogeneidad de los valores recolectados. Se efectuó un análisis mediante la red estereográfica para determinar las mayores concentraciones de polos y de ese modo hallar las fracturas características para cada unidad (FIGURAS 4.11 y 4.12). Para la Unidad Chiguinda se utilizaron un total de 44 medidas estructurales (dirección de buzamiento y buzamiento), mientras que, para la Unidad Gneis de Sabanilla se utilizaron un total de 41 medidas.

Los resultados obtenidos se muestran en la TABLA 4.11.

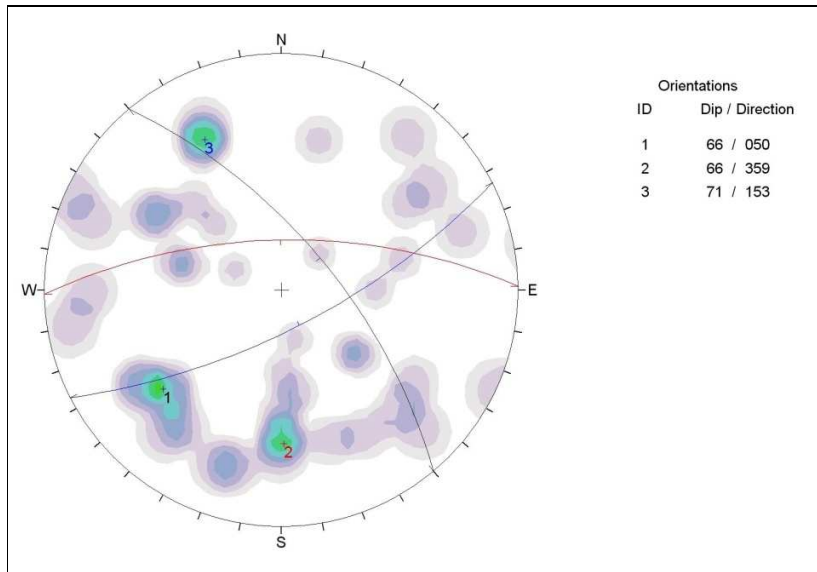


FIGURA 4.11. Determinación estadística de fracturas para la Unidad Chiguinda

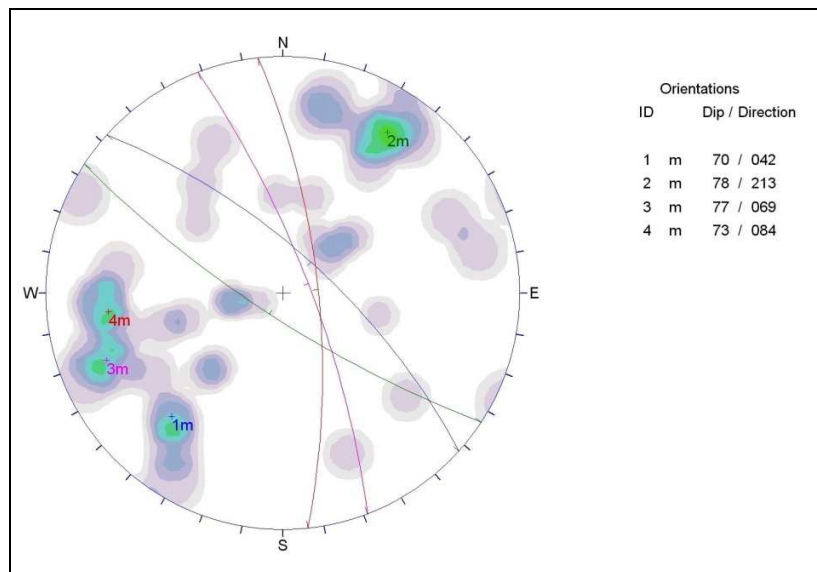


FIGURA 4.12. Determinación estadística de fracturas para la Unidad Gneis de Sabanilla

Fracturas	DBF	BF	Unidad
F1	050	66	Chiguinda
F2	359	66	Chiguinda
F3	153	71	Chiguinda
F4	042	70	Gneis de Sabanilla
F5	213	78	Gneis de Sabanilla
F6	069	77	Gneis de Sabanilla
F7	084	73	Gneis de Sabanilla

TABLA 4.6. Planos de fracturas (promedio) determinados estadísticamente para las Unidades Chiguinda y Gneis de Sabanilla

4.5.1 FALLA PLANAR

Una vez seleccionados los taludes y las fracturas características para las Unidades Chiguinda y Sabanilla se procede a realizar la evaluación de la estabilidad considerando las tres condiciones anteriormente citadas. En el caso del modelo de falla planar la evaluación se la efectúa con los taludes y fracturas de forma separada.

Unidad Chiguinda

T1: 342°/47°, $\phi = 30^\circ$

Fracturas	DBF	BF	Condiciones de Inestabilidad			Evaluación de Estabilidad
			BF > ϕ	DBF - DBT <= 20°	BF < BT	
F1	050	66	SI	NO	NO	ESTABLE
F2	359	66	SI	SI	NO	ESTABLE
F3	153	71	SI	NO	NO	ESTABLE

T2: 065°/66°, $\phi = 30^\circ$

Fracturas	DBF	BF	Condiciones de Inestabilidad			Evaluación de Estabilidad
			BF > ϕ	DBF - DBT <= 20°	BF < BT	
F1	050	66	SI	SI	NO	ESTABLE
F2	359	66	SI	NO	NO	ESTABLE
F3	153	71	SI	NO	NO	ESTABLE

T3: 033°/71°, $\phi = 30^\circ$

Fracturas	DBF	BF	Condiciones de Inestabilidad			Evaluación de Estabilidad
			BF > ϕ	DBF - DBT <= 20°	BF < BT	
F1	050	66	SI	SI	SI	INESTABLE
F2	359	66	SI	NO	SI	ESTABLE
F3	153	71	SI	NO	NO	ESTABLE

En la FIGURA 4.13 se representan el talud T3 (033°/71°) y la fractura F1 (050°/66°). Para esta última se cumplen las tres condiciones de inestabilidad, por lo tanto, el talud en cuestión es potencialmente inestable ante una falla planar en dirección de la fractura F1. El resto de fracturas no presenta problemas potenciales de inestabilidad

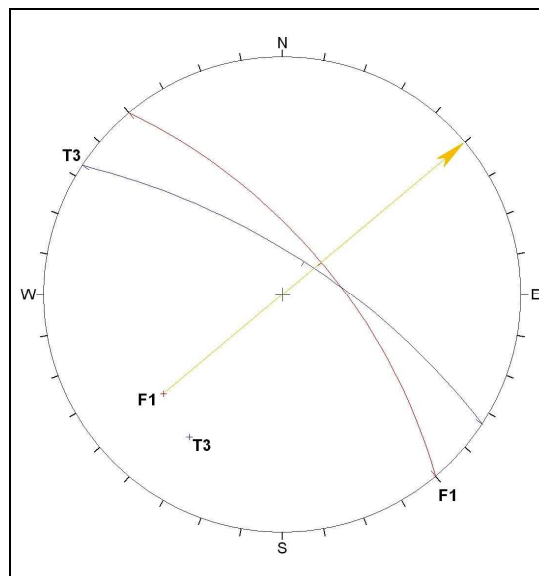


FIGURA 4.13. Representación estereográfica del talud T3 y la fractura F1 (Falla Planar)

Unidad Gneis de Sabanilla

T4: 342°/47°, $\phi = 30^\circ$

Fracturas	DBF	BF	Condiciones de Inestabilidad			Evaluación de Estabilidad
			BF > ϕ	DBF - DBT <= 20°	BF < BT	
F4	042	70	SI	NO	NO	ESTABLE
F5	213	78	SI	NO	NO	ESTABLE
F6	069	77	SI	NO	NO	ESTABLE
F7	084	73	SI	NO	NO	ESTABLE

4.5.2 FALLA EN CUÑA

Para el modelo de falla en cuña se consideran pares de fracturas y las direcciones de buzamiento, el buzamiento que se considera es de la línea que se forma como resultado de la intersección de los planos de las fracturas.

Unidad Chiguinda

T1: 342°/47°, $\phi = 30^\circ$

Fracturas	DBF	BF	Condiciones de Inestabilidad			Evaluación de Estabilidad
			BF > ϕ	DBF - DBT <= 20°	BF < BT	
F1-F2	025	65	SI	NO	NO	ESTABLE
F1-F3	095	57	SI	NO	NO	ESTABLE
F2-F3	074	30	NO	NO	SI	ESTABLE

T2: 065°/66°, $\phi = 30^\circ$

Fracturas	DBF	BF	Condiciones de Inestabilidad			Evaluación de Estabilidad
			BF > ϕ	DBF - DBT <= 20°	BF < BT	
F1-F2	025	65	SI	NO	SI	ESTABLE
F1-F3	095	57	SI	NO	SI	ESTABLE
F2-F3	074	30	NO	SI	SI	ESTABLE

T3: 033°/71°, $\phi = 30^\circ$

Fracturas	DBF	BF	Condiciones de Inestabilidad			Evaluación de Estabilidad
			BF > ϕ	DBF - DBT <= 20°	BF < BT	
F1-F2	025	65	SI	SI	SI	INESTABLE
F1-F3	095	57	SI	NO	SI	ESTABLE
F2-F3	074	30	NO	NO	SI	ESTABLE

En la FIGURA 4.14 se representan el talud T3 y el juego de fracturas F1-F2. De acuerdo al análisis efectuado el talud es potencialmente inestable ante una falla en cuña formada por la intersección del juego de fracturas F1-F2 (025°/65°).

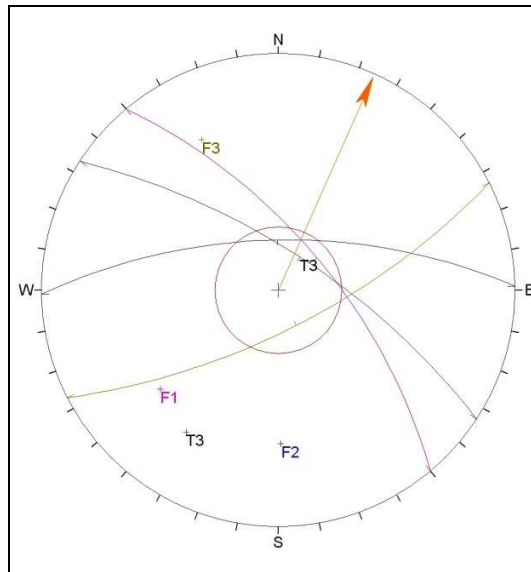


FIGURA 4.14. Representación estereográfica del talud T3 y el juego de fracturas F1-F2.

Unidad Gneis de Sabanilla

T4: $342^{\circ}/47^{\circ}$, $\phi = 30^{\circ}$

Fracturas	DBF	BF	Condiciones de Inestabilidad			Evaluación de Estabilidad
			BF > ϕ	DBF - DBT <= 20°	BF < BT	
F4-F5	126	15	NO	NO	SI	ESTABLE
F4-F6	012	68	SI	NO	NO	ESTABLE
F4-F7	050	70	SI	NO	NO	ESTABLE
F5-F6	140	55	SI	NO	NO	ESTABLE
F5-F7	144	59	SI	NO	NO	ESTABLE
F6-F7	120	70	SI	NO	NO	ESTABLE

Como se indicó al inicio, no se consideraron todos los taludes y fracturas sino solamente un grupo determinado a partir de un análisis estadístico mediante el uso de la proyección estereográfica.

La Unidad Chiguinda, de acuerdo al análisis realizado, presentaría fallas planares y en cuña. En el caso de la Unidad Gneis de Sabanilla, según los datos utilizados, no se tendrían problemas potenciales de inestabilidad.

En las FOTOGRAFÍAS 4.1 y 4.2 se indican modelos de falla planar y en cuña encontradas en rocas de la Unidad Chiguinda.



FOTOGRAFÍA 4.1. Deslizamiento en cuña. Unidad Chiguinda. Vista SO (UTM: 713074-9561087)



FOTOGRAFÍA 4.2. Deslizamiento traslacional (LZ 44). Unidad Chiguinda. (UTM: 713904-9561296)

El análisis de fracturamiento se hizo con taludes y fracturas promedio. Un análisis más en detalle deberá centrarse en aquellos taludes a lo largo de la carretera que

presentan evidencias de inestabilidad con el propósito de identificar las fracturas o juegos de fracturas o juegos de fracturas involucradas.

En el caso de las rocas metamórficas pertenecientes a la Unidad Chiguinda, los resultados son concordantes con el reconocimiento visual en el terreno. Se reconocieron un total de veinte y cinco deslizamientos traslacionales. Estas rocas se encuentran muy fracturadas y deformadas lo que hace que los taludes que se han formado a lo largo de la carretera sean potencialmente inestables ante una falla planar y, en menor grado, en cuña.

Los taludes que se encuentran en rocas pertenecientes a la Unidad Gneis de Sabanilla no presentan, según el análisis de fracturamiento, problemas de inestabilidad. Las rocas de esta unidad se encuentran poco fracturadas y por esta razón los taludes son estables lo que se confirmó durante el trabajo de campo.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. - CONCLUSIONES

En las Formaciones San Cayetano y Quillollaco son comunes los deslizamientos rotacionales y traslacionales. De los que se pudo apreciar un factor desencadenante para la ocurrencia de deslizamientos es la presencia de agua por un inadecuado sistema de drenaje en algunos tramos de la carretera. Morfológicamente, estas formaciones se caracterizan por lomas redondeadas con pequeños valles. Adicionalmente, se aprecian procesos de reptación en varios sitios cerca de la carretera. Para esta secuencia la ausencia de cobertura vegetal en los taludes que se han conformado por la construcción de la carretera propicia la ocurrencia de caídas de rocas y pequeños flujos de tierra por acción de la escorrentía superficial.

En la Unidad Chiguinda se presentan principalmente flujos y avalanchas de detritos (análisis de las fotografías aéreas) y deslizamientos. El grado de meteorización y el fracturamiento de las rocas en algunos tramos de esta unidad también influyen en la generación de estos fenómenos. En la Unidad Gneis de Sabanilla se tienen flujos de detritos, deslizamientos traslacionales y rotacionales. La morfología de esta secuencia se caracteriza por montañas con crestas alargadas y pendientes abruptas.

Varios de los fenómenos de remoción en masa, principalmente flujos, se inician por procesos superficiales como deslizamientos traslacionales sucesivos, reptación o procesos de erosión en zonas escarpadas y por presencia de agua.

El área en la cual está funcionando actualmente la carretera Loja-Zamora atraviesa algunos depósitos coluviales antiguos (Unidad Gneis de Sabanilla, kilómetros 38 a 40 aproximadamente) que dadas sus características geológicas son susceptibles a fenómenos de remoción en masa.

Según la información verbal proporcionada por pobladores que viven cerca de la carretera es durante la etapa invernal cuando ocurre gran cantidad de fenómenos de

remoción en masa e inestabilidad de taludes. Es indudable, por lo tanto, que las precipitaciones son un factor desencadenante en la zona de estudio.

La dirección de flujo de algunos de los fenómenos de remoción en masa (flujos y deslizamientos) en y alrededor de la carretera tienen un rumbo preferencial hacia las quebradas y ríos principales del área de estudio (NO-SE). Es importante considerar estas zonas como susceptibles a este tipo de fenómenos y por tanto tomar las precauciones del caso, especialmente en periodos lluviosos.

El método de Brabb, considerando un mapa de inventario de fenómenos de remoción en masa compilados de los años 1976 y 1989, presenta un panorama bastante apegado a la condición que presenta el trazado y los alrededores de la carretera Loja-Zamora. El uso de los bordes de las cuencas hidrográficas para la aplicación del método permitió delimitar un área de influencia de la carretera con resultados que están acorde con la situación actual en la carretera. Las Unidades Chiguinda y Gneis de Sabanilla presentan los valores de susceptibilidad (absoluta) más alta. Seguidamente está el Batolito de Zamora, Formación Quillollaco y Formación San Cayetano.

Las relaciones área deslizada y frecuencia de fenómenos de remoción en masa para el área de la cuenca hidrográfica permiten obtener una primera idea de zonas o área con una alta incidencia de tales fenómenos. En este trabajo este análisis complementó el análisis de la susceptibilidad mediante el método de Brabb. En general, los análisis de densidad de fenómenos de remoción en masa deben complementarse con metodologías que involucren la determinación de factores que influyen en la aparición de los mismos. La mayor densidad de flujos y avalanchas de detritos se presenta en las cuencas pertenecientes a la Unidad Gneis de Chiguinda (moderada a muy alta). El resto de cuencas presentan una susceptibilidad baja.

El estudio multitemporal de fotografías aéreas contribuye a tener una noción bastante clara de la evolución de fenómenos de remoción en masa permitiendo cubrir un área

importante. El estudio en detalle de los depósitos generados por estos fenómenos de remoción en masa es requerido con el propósito de verificar el grado de certeza que tiene el uso de los parámetros longitud de la cuenca y el índice de Melton para la diferenciación entre flujos de detritos e inundación de detritos.

En la zona de estudio parece que las cuencas ubicadas dentro de la Unidad Chiguinda son más susceptibles a generar flujos de detritos, mientras que, las cuencas de la Unidad Gneis de Sabanilla podrían generar crecidas con detritos. La utilización de parámetros morfométricos puede ayudar notablemente a la discriminación de fenómenos de remoción en masa lo que se constituye en una herramienta valiosa en trabajos de planificación territorial y en aquellos casos donde se requiera una evaluación para la implementación de estrategias de prevención y mitigación.

El mapa de inventario de los fenómenos de remoción es una herramienta que posibilita realizar una evaluación de las condiciones de inestabilidad en el trazado de la carretera. La principal utilidad es contar con una base de información respecto a la presencia de fenómenos de remoción en masa su tipología, área de afectación, daños provocados, grado de actividad entre otros que permiten priorizar zonas que requieran medidas de mitigación y prevención urgentes.

La observación en el terreno permite identificar que:

- Los fenómenos de remoción en masa con mayor frecuencia a lo largo del trazado de la carretera son los deslizamientos Rotacionales (35.3%)
- En las formaciones sedimentarias San Cayetano y Quillollaco y en el Batolito de Zamora se observan solamente deslizamientos traslacionales y rotacionales con predominio de estos últimos.
- La Unidad Gneis de Sabanilla presentan flujos de detritos (10), deslizamientos rotacionales (3), deslizamientos Traslacionales (3) y desprendimientos (1).
- En la Unidad Chiguinda es donde se desarrollan la mayor cantidad de fenómenos de remoción en masa que incluyen deslizamientos traslacionales

(19), flujos de detritos (10), deslizamientos rotacionales (8), desprendimientos (6) y caídas de rocas (1).

Se tienen 67 fenómenos de remoción en masa activos, 11 inactivos y 4 estabilizados.

El ensayo de estabilidad de taludes que se presenta en este trabajo permite identificar que las rocas pertenecientes a la Unidad Chiguinda son potencialmente inestables a fallar según un modelo planar y también en cuña. De otro lado, la Unidad Gneis de Sabanilla no presentaría taludes potencialmente inestables.

5.2. – RECOMENDACIONES

El mapa de inventario que se realizó a lo largo de la carretera debe ser actualizado de forma permanente con el propósito de observar la evolución de los fenómenos de remoción en masa con el tiempo. De manera general, se han propuesto cinco recomendaciones encaminadas a la prevención y mitigación de los fenómenos de remoción en masa existentes a lo largo del trazado actual de la carretera Loja-Zamora:

- Estudio geotécnico para diseñar las obras de estabilización del sitio a mediano plazo
- Control de la escorrentía superficial y drenaje a corto plazo
- Señalización en el sitio a corto plazo
- Re-vegetación del talud/ladera
- Observación visual del movimiento (Deslizamientos, Flujos) / Observación y limpieza del canal de circulación de material (Flujos)

Es importante la generación de un inventario de las redes de drenaje que actualmente funcionan en la carretera con el propósito de verificar su funcionamiento y si requiere o no de reparación alguna.

Posterior a periodos de lluvias es necesario realizar un control de los sistemas de drenaje o daños en la carretera por efecto de flujos deslizamientos, avalanchas, etc.

y llevar un control escrito de estos eventos con el propósito de contar con una base que permita evaluar la evolución de los fenómenos de remoción en masa en y alrededor de la carretera.

Se requieren de regulaciones específicas en cuanto al uso de la tierra cerca de la carretera con el propósito de evitar la ocurrencia de nuevos fenómenos de remoción en masa por acción antrópica. Del mismo modo se requieren códigos o normas técnicos en cuanto al manejo de taludes de forma el mantenimiento que se realice garantice su estabilidad.

Interpretación de fotografías aéreas de la zona a escala 1:20.000, para obtener un inventario detallado de áreas inestables y generación de un mapa topográfico a escala 1:10.000.

Para futuros trabajos es recomendable priorizar cuencas dentro de las cuales a su vez se efectúa un trabajo a detalle considerando sus límites y los depósitos dejados por flujos y avalanchas anteriores.

Respecto a las fotografías aéreas se deben procurar juegos de fotos de diferentes periodos con una diferencia no mayor a los 2 o 3 años que garantizará un análisis multitemporal de mejor calidad y que debe ser complementado con el reconocimiento visual en la carretera.

Análisis morfológico detallado para entender los procesos geodinámicos que ocurren en la zona.

Revisión de los impactos de represamiento que podrían causar deslizamientos tomando en cuenta la infraestructura a lo largo de los drenajes y las zonas que podrían impactar en forma directa, incluida la carretera.

Identificar y caracterizar los canales por donde se producirían posibles flujos de escombros.

Realizar un mapeo en detalle (Escala 1:1.000 o 1:2.000 por ejemplo) de depósitos coluviales antiguos y recientes para prever futuros problemas que pudieran afectar la carretera puesto que este tipo de depósitos son susceptibles a deslizamientos como se pudo comprobar durante el trabajo de campo.

Trabajo de campo para confirmar la interpretación de las fotografías aéreas, coleccionar información del macizo rocoso y datos de geología estructural además de la ejecución de un reconocimiento de campo completo a lo largo del eje central de dos o tres deslizamientos representativos.

Evaluar el impacto potencial que produce en el pie del talud la erosión de los ríos y los cambios en la elevación del nivel freático en la zona de estudio.

Es necesario realizar un estudio de la estabilidad de taludes para de esta forma tener modelos de falla y el factor de seguridad correspondiente para aquellos deslizamientos que requieran atención de forma inmediata donde se debe incluir a la Formación San Cayetano.

Los límites para los diferentes procesos hidrogeomorfológicos obtenidos por Wilford D. J. et al. (2004) deben ser determinados para regiones que tengan diferentes condiciones de las zonas donde se hicieron dichos estudios.

BIBLIOGRAFÍA

Abad K. F., 2006. Ensayo metodológico para la evaluación y zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa, Cuenca de Loja. Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Carrera de Ingeniería Geológica. Quito, Ecuador.

Almeida E., 2006. Diseño del sostenimiento para el túnel de carga del Proyecto Hidroeléctrico Sabanilla. Caminosca. Sextas Jornadas en Ciencias de la Tierra. Escuela Politécnica Nacional. Departamento de Geología. Quito-Ecuador.

Arguello C., 1996. Mapa Geológico de Zamora. Escala 1:100.000. Hoja 77. CODIGEM. Quito-Ecuador.

Asociación de carreteras de Japón, 1984. Manual de protección de taludes. Serie de Trabajos de Tierras en Carreteras. Masonic 39 mori building. Tokio, Japón.

Aspden, J.A. y Litherland, M., 1992. The geology and Mesozoic collisional/accretionary history of the Cordillera Real, Ecuador. Tectonophysics, 205, 187-204.

Baldock J.W., 1982. Geología del Ecuador: Boletín de la explicación del Mapa Geológico de la República del Ecuador, Escala 1: 1,000.000., Min. Rec. Nat. Ener., Quito, 70p.

Bonnard, C., 1994. Microzonificación en función de los Riesgos Geodinámicos, Escuela Politécnica Federal de Lausana, Suiza, 10pp

Brabb, E., 1984. Innovative Approaches to Landslides Hazard and Risk Mapping, USGS, IV International Symposium on Landslides. Toronto, Canadá. Vol. I, pp. 307-324.

British Geological Survey and Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico Minero-Metalúrgica, 1993. Geological and Metal occurrence Maps of The Southern Cordillera Real Metamorphic Belt, Ecuador, 1994. Escala 1:500.000.

British Geological Survey and Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico Minero-Metalúrgica, 1993. Mapa Geológico de la República del Ecuador. Escala 1:1000.000.

Correa, C.; Hinojosa, D.; Taibe, M., 2003. Sismicidad Histórica del Ecuador, Cálculo de Aceleraciones Máximas, Energía Sísmica Liberada y estimación del Peligro Sísmico, Instituto Geofísico-Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

Duque P., 2000. Breve léxico Estratigráfico del Ecuador. UCP PRODEMINDA, Quito–Ecuador. Primera edición. 75pp.

Egüez, A., y Aspden, J.A., 1993. The Mesozoic-Cenozoic evolution of the Ecuadorian Andes, in Andean Geodynamics, Symposium International: Oxford, United Kingdom. ORSTOM/Universté d'Oxford, p. 215-218.

Egüez, A., Alvarado, A., Yepes, H., Machette, M., Costa, C. y Dart, R., 2003. Database and Map of Quaternary faults and folds of Ecuador and its offshore regions, Open-File report 03-289. Sp. pub. USGS- International Lithosphere program.

Groupe d'Études des Falaises (GEF), 1978. Eboulements et chutes de pierres sur les routes. Méthode de cartographie. Rapport de recherche LPC N° 80. Ministère de L'environnement et du cadre de vie- Ministère des Transports., 68pp.

González de Vallejo, I., 2002. Ingeniería Geológica, Capítulo. 11: Prevención de Riesgos Geológicos, pp. 607-620 y Capítulo. 14.6: Prevención de riesgos por movimientos de terreno, pp. 656-664. Pearson Educación. Madrid, España.

Hungerbühler, D., 1997. Tertiary basins in the Andes of southern Ecuador (3°00–4°20'): sedimentary evolution, deformation and regional tectonic implications. PhD Thesis, Institute of Geology ETH Zürich, Switzerland, 182 pp.

Hungerbühler, D., Steinmann, M., Winkler, W., Seward, D., Egüez, A., Peterson, D.A., Helg, U. y Hammer, C., 2002. Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador. Earth-Science Reviews, 57, 75-124.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), 2005. Datos Meteorológicos de Precipitaciones Medias Mensuales, Temperaturas Medias Mensuales y Precipitaciones Máximas en 24 horas. Quito, Ecuador.

Ingeominas, 2001. Evaluación del Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa, Guía Metodológica, Primera Edición. Bogotá, Colombia.

Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) ,1987. Estudio Integral de la Cuenca del Río Zamora – Fase 1.

Izquierdo O., 1991. Estudio Geodinámico de la Cuenca Intramontañosa Cenozoica de Loja (Sur del Ecuador). Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Geología, Minas y Petróleos. Quito, Ecuador.

Jackson L. E., Jr., Kostaschuk R.A., MacDonald G.M., 1987. Identification of debris flow hazard on alluvial fans in the Canadian Rocky Mountains. Geological Society of America. Reviews in Engineering Geology, Volume VII.

Kennerley J.B.,1973. Geology of Loja Province, southern Ecuador. Inst. Geological Science of London. Overseas Geology and Mineral Resources. Photogeological Unit, No. 23,34 pp .GGS, Nottingham.

Kennerley J.B., y Almeida L., 1975. Mapa Geológico de Loja. Escala 1:100.000. Hoja 56. DGGM. Quito-Ecuador.

Klinedinst G. et al., 1986. Guidelines for slope maintenance and slide restoration. Federal Highway Administration. McLean Virginia. Final Report.

Lavenue A. Noblet Ch. 1989. Synsedimentary Tectonic Control of Andean Intermontane Strike-Slip basins of South Ecuador. International Symposium on Intermontane Basins: Geology Resources. Chiang Mai-Thailand.

Litherland, M., Aspden, J.A. y Jemielita, R.A. ,1994. The metamorphic belts of Ecuador. Overseas Memoir of the British Geological Survey 11, 147 pp. 488.

Lonsdale, P., 1978. The Ecuadorian subduction system, Am. Ass. Petrol. Geol. Bull., 62, 2454-2477.

Ministerio de Obras Públicas (MOP) ,2001., Estudios de Factibilidad, Evaluación y Mitigación de Impactos Ambientales e Ingeniería definitivos para la rehabilitación de la Carretera Loja-El Tiro-San Francisco.

Pazos V., Vinueza, W., 1990. Contribución al estudio sobre deslizamientos en el Ecuador. Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Geología, Minas y Petróleos. Quito, Ecuador.

Plaza G. 1996. La Amenaza y Vulnerabilidad por Deslizamientos en la Región Andina del Ecuador. 7mo Congreso Ecuatoriano de Geología, Minas, Petróleos y Medio Ambiente, Tomo II, 21-24 de Octubre. Quito, Ecuador.

Plaza G. 2001. Experiencias de Evaluación y Cartografía del Peligro por Deslizamientos en las regiones costera y andina del Ecuador. Simposio Internacional de Movimientos en Masa, Cuenca-Ecuador.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, PMA: GCA, 2005a. Evaluación preliminar de áreas inestables, Zona I, Provincias de Loja, Zamora Chinchipe y El Oro. DINAGE, PREDESUR, UTPL. Mayo 2005.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, PMA: GCA, 2005b. Movimientos en Masa en la Región Andina, una Guía para la Evaluación de Amenazas. Documento Borrador, Colombia.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, PMA: GCA, 2005c. Geología de la región sur de Ecuador entre 3°30' Sur y 5° Sur. DINAGE, Mayo 2005.

Steinmann, M., et al, 1999. Neogene tectonic evolution and exhumation of the southern Ecuadorian Andes: a combined stratigraphy and fisi3n track approach, Tecnonophysics, 21pp.

Su3rez D. J., 1998. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosi3n y Deslizamientos. Publicaciones UIS, Bucaramanga, Colombia. Pp. 548.

Technical comimitee for earthquake geotechnical engineering, tc4, issmfe, 1993. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards, The Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering. Tokyo, Japan, 149pp.

Varnes, D., 1984. Landslide Hazard zonation: a review of principles and practice. UNESCO.


Wilford D. J., Sakals M. E., Innes J.L. Sidle R. C., Bergerud W. A., 2004. Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics. Landslides 1:61-66. Springer-Verlag.

Winckell A., Zebrowski C. & Sourdat M., 1997. Los paisajes naturales del Ecuador, Geografía básica del Ecuador, t.IV – Geografía física, Vol. 2, CEDIG-IRD-IPGH-IGM, 417 p.

Yugsi, F. 2004. Caracterización de los Fenómenos de Remoción en Masa producidos en las laderas sur orientales del Complejo Volcánico Pichincha. Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 118pp.

ANEXOS

ANEXO 1
REFERENCIAS PARA EL LLENADO DE LAS
FICHAS DE CAMPO

PROYECTO: ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE LOS FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA DE LA CARRETERA LOJA-ZAMORA							
FICHA Nº	FECHA	LATITUD	LONGITUD	COTA	HOJA TOPG.	PROVINCIA	CASERIO / LUGAR
3	2004-11-22	701238 O	9559467 S	2150m	Loja Norte	Loja	San Cayetano
ELABORADO: CRISTIAN CORREA		CODIGO: LZ 3		TIPOLOGIA: Deslizamiento Rotacional			
EVIDENCIAS VISUALES DEL FENOMENO				EVENTOS / PROCESOS RECONOCIDOS O INFERIDOS			
Ladera con pendiente de 10° eskarpe principal 1 a 1.50m Un eskarpe secundario Deposito coluvial con forma escalonada(2 a 3m de espesor) Cobertura vegetal total Entrampamiento de aguas en el deposito coluvial Asentamiento de la vía (40m de longitud) Pie del deslizamiento localizado ladera a bajo de la vía				Construcción de la vía Deslizamiento rotacional superficial Superficie de ruptura por debajo de la vía Entrampamiento de agua en el cuerpo de la masa movida Desplazamiento continuo de la vía			
ESTADO: ACTIVO		ÁREA (m²): 3.500					
TIPO DE MATERIAL: Rocas Sedimentarias				CAUSAS			
Limolitas intercaladas con areniscas Capa de suelo de 10cm Estratificación N15°E / 70°NO				1 Construcción de la vía 2 Naturaleza del material 3 Precipitaciones pluviales intensas 4 Uso inadecuado de agua (acequias, desfuegos)			
GRADO DE ALTERACIÓN				5			
W1	W2	W3	W4	W5	W6	6	
	X					7	
DISCONTINUIDADES EN LAS ROCAS		SI	X	A favor de la pendiente		8	
		NO		En contra de la pendiente		9	
Tipo: Estratificación				DAÑOS OCASIONADOS			
GRADO DE FRACTURAMIENTO				Desplazamiento continuo de 40 m de la vía			
F1	F2	F3	F4	F5			
RECOMENDACIONES							
Señalización en el sitio a corto plazo Control de la escorrentia superficial y drenaje a corto plazo Estudio geotécnico para diseñar las obras de estabilización del sitio a mediano plazo							
FOTOGRAFIA							
							

FICHA DE CAMPO

REFERENCIAS PARA EL LLENADO DE LA FICHA DE CAMPO

Para la ficha que se utilizó en el campo se determinaron un total de 22 ítems los cuales se detallan a continuación:

Número de la fecha de inventario: indica el número total de fichas efectuadas en el recorrido a lo largo de la carretera.

Fecha: se indica el año, mes y día en que se realizó la toma de datos

Coordenadas Geográficas: Latitud (UTM). Sistema WGS 84, zona 17S

Coordenadas Geográficas: Longitud (UTM). Sistema WGS 84, zona 17S

Cota (Altitud): expresada en metros sobre el nivel del mar (msnm)

Hoja topográfica: tomando en consideración el catalogo de mapas a escala 1: 50.000 que presenta el Instituto Geográfico Militar (IGM) se coloca el nombre de la hoja topográfica utilizada.

Provincia: en la primera etapa Loja y se concluye Zamora

Caserío / lugar: si se cuenta con un lugar de referencia adicional se lo coloca para tener una mejor ubicación del área inestable.

Elaborado por: Cristian Correa

Código: para este proyecto se utilizó las iniciales LZ que indican que se partió desde la ciudad de Loja y se terminó en Zamora de tal modo que el primer fenómeno de remoción en masa tiene el código LZ1

Tipología: considera la Clasificación de Varnes: 1) Caídas 2) Vuelcos 3) Deslizamientos 4) Esparcimiento lateral 5) Flujos, 6) Movimientos complejos, 7) Otras amenazas geológicas tales como solifluxión, hundimientos, erosión de laderas, erosión fluvial, inundaciones (fluvial, costera, lacustre), aludes o avalanchas.

Evidencias visuales del fenómeno: se detallan los rasgos principales que caracterizan al fenómenos de remoción en masa entre los que se puede citar: altura del talud, pendiente de la ladera, tipos de escarpes presentes, características del depósito, tipo de drenaje, presencia o no de vegetación, longitud estimada de los

canales de circulación del material, tipo de estructuras de contención presentes, daños ocasionados a estructuras.

Eventos / procesos reconocidos o inferidos: en este ítem se reconstruye en base a la observación de campo la secuencia de eventos que acompaña la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa. Se presenta un diagnóstico de la situación actual donde se ha producido el fenómeno de remoción en masa.

Estado: Activos: son deslizamientos que presentan movimientos en el tiempo presente o han presentado movimientos en el último ciclo estacional. Son generalmente frescos; esto es, sus rasgos morfológicos tales como escarpes y colinas, son fácilmente reconocibles debido a su movimiento gravitacional y no han sido modificados significativamente por procesos superficiales de meteorización y erosión. **Inactivos:** se refiere a aquellos deslizamientos para los cuales no hay evidencia de movimientos dentro del último ciclo estacional; por lo tanto se los denomina también “durmientes”. En ellos las huellas de sus últimos movimientos no son fácilmente reconocibles debido a la cobertura vegetal, disturbación por erosión, etc. Estos deslizamientos pueden ser reactivados si se dan las condiciones necesarias para ello. **Estabilizados:** son los deslizamientos durmientes, en los cuales han sido removidos sea natural o artificialmente, los factores esenciales de movimiento.

Aspecto morfológico general (Área): como rasgo importante se consideró el área estimada de afectación del fenómeno de remoción en masa.

Tipo de material: Rocas sedimentarias, ígneas o metamórficas.

Discontinuidades en las rocas: se indica la presencia o no de discontinuidades en las rocas y si éstas se encuentran a favor o en contra de la pendiente y el tipo de discontinuidad de que se trata (foliación, estratificación, fracturamiento).

Grado de fracturamiento de las rocas: Según espaciamiento de las discontinuidades (**F1:** ligeramente fracturada >2m), (**F2:** fracturada 2-0.6m), (**F3:** muy fracturada 0.6-0.2m), (**F4:** extremadamente fracturada 0.2-0.06m), (**F5:** fragmentada <0.06m)

Grado de alteración de las rocas: **W1:** Roca fresca (no hay signos visibles de meteorización), **W2:** Ligeramente meteorizada (decoloración en la roca y en superficies de discontinuidades), **W3:** Moderadamente meteorizada (menos de la mitad del material rocoso está descompuesto o desintegrado a suelo), **W4:** Altamente meteorizada (más del 50% está descompuesta o desintegrada a suelo), **W5:** Completamente meteorizada (todo el material rocoso está descompuesto o meteorizado), **W6:** Suelo residual (todo el material rocoso está convertido en suelo; la estructura y textura están destruidas, sin transporte significativo alguno)

Daños ocasionados: se detallan los daños ocasionados por el fenómeno de remoción en masa entre los que se pueden citar:

Tramo de carretera o puente: se indica la longitud de la obra de infraestructura destruida o afectada.

Número de viviendas: se indica el número de viviendas afectadas, destruidas o comprometidas

Número de muertos / desaparecidos: se indica el número de personas muertas o desaparecidas

Número de heridos: se indica el número de personas heridas o damnificadas

Causas: en base a las observaciones de campo se citan posibles causas involucradas en la ocurrencia de los fenómenos de remoción en masa entre las cuales se citan: precipitaciones pluviales intensas, discontinuidades en las rocas, naturaleza del material, pendiente, uso inadecuado del agua (acequias, desfuegos), construcción de la vía.

Recomendaciones: Medidas de prevención o corrección que pueden tomarse a corto, mediano y/o largo plazo. Descripción somera de algunas medidas de prevención y/o mitigación tomadas; características técnicas e ingenieriles.

ANEXO 2
FICHAS DE CAMPO DE LOS FENÓMENOS DE
REMOCIÓN EN MASA

ANEXO 3
PARÁMETROS PARA DETERMINACIÓN DE LA
SUSCEPTIBILIDAD PARCIAL (RELATIVA) A
PARTIR DE LAS RELACIONES ADZ/ÁREA
CUENCA Y NFRM/ÁREA CUENCA

CUENCA	AREA(m2)	ADZ	NFRM	%DZ	%NFRM	SP_DZ	SP_NFRM
C1	449283,45	0,00	0	0,00	0,00	I	I
C2	483313,00	23387,00	6	4,84	1,24	I	I
C3	476857,50	13777,28	1	2,89	0,21	I	I
C4	857014,50	39368,69	7	4,59	0,82	I	I
C5	506194,50	8244,63	1	1,63	0,20	I	I
C6	509452,00	29736,63	5	5,84	0,98	I	I
C7	838203,00	4780,98	1	0,57	0,12	I	I
C8	394456,00	23281,56	2	5,90	0,51	I	I
C9	1398506,50	45616,20	6	3,26	0,43	I	I
C10	597147,50	57377,98	10	9,61	1,67	II	II
C11	608500,50	21213,44	6	3,49	0,99	I	I
C12	1036598,50	199009,82	29	19,20	2,80	III	III
C13	1153406,00	112434,66	16	9,75	1,39	II	II
C14	846277,00	200295,05	36	23,67	4,25	III	IV
C15	876152,50	257095,47	58	29,34	6,62	IV	V
C16	1340463,00	224317,99	42	16,73	3,13	II	III
C17	507878,50	123917,18	18	24,40	3,54	III	III
C18	1101658,00	199016,59	18	18,07	1,63	II	II
C19	316442,00	118654,57	12	37,50	3,79	V	III
C20	886853,00	148667,08	27	16,76	3,04	II	III
C21	301163,50	9455,43	2	3,14	0,66	I	I
C22	789572,50	39818,47	5	5,04	0,63	I	I
C23	1328431,00	19112,66	5	1,44	0,38	I	I
C24	743831,50	11314,76	1	1,52	0,13	I	I
C25	1432521,00	40355,70	7	2,82	0,49	I	I
C26	2291409,50	211999,58	31	9,25	1,35	II	II
C27	2496897,00	84478,97	12	3,38	0,48	I	I
C28	843405,50	10150,47	2	1,20	0,24	I	I
C29	744816,50	33222,98	4	4,46	0,54	I	I
C30	2072523,00	122218,46	9	5,90	0,43	I	I
C31	704468,00	24924,09	4	3,54	0,57	I	I
C32	1518666,00	71842,98	6	4,73	0,40	I	I
C33	565452,00	261132,22	14	46,18	2,48	V	II
C34	1841296,50	222544,66	5	12,09	0,27	II	I
C35	998014,00	27994,44	3	2,81	0,30	I	I
C36	1032085,00	24069,41	3	2,33	0,29	I	I
C37	1151063,00	31550,08	3	2,74	0,26	I	I
C38	1100908,50	34288,96	4	3,11	0,36	I	I
C39	495915,50	84242,85	16	16,99	3,23	II	III
C40	2273598,00	306486,72	40	13,48	1,76	II	II
C41	458916,50	44323,19	6	9,66	1,31	II	I
C42	877841,00	9648,96	1	1,10	0,11	I	I
C43	2263893,50	132673,25	6	5,86	0,27	I	I
C44	1966419,00	91382,14	2	4,65	0,10	I	I
C45	1706526,50	146057,09	8	8,56	0,47	I	I
C46	1604302,00	20098,21	2	1,25	0,12	I	I

C47	996528,00	36096,59	7	3,62	0,70	I	I
-----	-----------	----------	---	------	------	---	---

CUENCA	AREA(m2)	ADZ	NFRM	%DZ	%NFRM	SP_DZ	SP_NFRM
C48	1051411,50	18314,07	1	1,74	0,10	I	I
C49	1750011,00	78972,16	3	4,51	0,17	I	I
C50	1106430,00	17990,16	2	1,63	0,18	I	I
C51	458375,50	13377,37	2	2,92	0,44	I	I
C52	931726,00	11658,37	1	1,25	0,11	I	I
C53	2384481,00	171351,30	8	7,19	0,34	I	I
C54	1306713,50	92937,94	8	7,11	0,61	I	I
C55	1100071,50	18687,86	1	1,70	0,09	I	I
C56	1189000,50	162495,62	15	13,67	1,26	II	I
C57	727603,50	191175,11	27	26,27	3,71	III	III
C58	412450,00	62137,29	10	15,07	2,42	II	II
C59	611377,00	43300,62	2	7,08	0,33	I	I
C60	2386272,50	64268,53	5	2,69	0,21	I	I
C61	601086,00	43058,82	8	7,16	1,33	I	II
C62	2634971,00	17374,43	2	0,66	0,08	I	I
C63	1616044,00	18116,54	1	1,12	0,06	I	I
C64	825431,00	40341,16	3	4,89	0,36	I	I
C65	2108821,00	68475,26	6	3,25	0,28	I	I
C66	1074629,75	0,00	0	0,00	0,00	I	I
C67	1316673,88	0,00	0	0,00	0,00	I	I
C68	1997560,30	0,00	0	0,00	0,00	I	I
C69	314286,00	0,00	0	0,00	0,00	I	I
C70	154487,06	0,00	0	0,00	0,00	I	I
C71	444076,00	0,00	0	0,00	0,00	I	I
C72	438291,96	0,00	0	0,00	0,00	I	I
C73	666206,66	0,00	0	0,00	0,00	I	I
C74	241396,68	0,00	0	0,00	0,00	I	I
C75	263269,93	0,00	0	0,00	0,00	I	I
C76	949674,08	0,00	0	0,00	0,00	I	I
C77	308365,24	0,00	0	0,00	0,00	I	I
C78	575499,97	9711,49	3	1,69	0,52	I	I
C79	430936,06	0,00	0	0,00	0,00	I	I
C80	410829,10	0,00	0	0,00	0,00	I	I
C81	1084156,70	0,00	0	0,00	0,00	I	I
C82	213557,65	0,00	0	0,00	0,00	I	I

AREA: área de la cuenca (m²). **ADZ:** área deslizada en cada cuenca (m²). **NFRM:** número de fenómenos de remoción en masa en cada cuenca. **%DZ:** relación entre ADZ y AREA. **%NFRM:** relación entre NFRM y AREA. **SP_DZ:** Susceptibilidad Parcial considerando áreas de FRM. **SP_NFRM:** Susceptibilidad Parcial considerando el número (frecuencia) de FRM.

ANEXO 4
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS PARA LA
IDENTIFICACION DE CUENCAS
SUSCEPTIBLES A GENERAR FLUJOS DE
DETRITOS, CRECIDAS Y CRECIDAS CON
DETRITOS. INDICE DE MELTON

CUENCA	AREA(Km2)	RAIZ(Km)	alto	bajo	diferencia	DIF(Km)	LONG(Km)	MELTON	TIPOLOGIA
C1	0,57	0,76	2720	2240	480	0,48	1,3	0,6	Debris Flows
C2	0,47	0,69	2240	2080	160	0,16	0,9	0,2	Floods
C3	0,39	0,62	2280	2080	200	0,2	0,9	0,3	Debris Flood
C4	0,48	0,70	2560	2160	400	0,4	1,3	0,6	Debris Flows
C5	0,48	0,69	2640	2240	400	0,4	1,3	0,6	Debris Flows
C6	0,85	0,92	2400	1800	600	0,6	1,8	0,7	Debris Flows
C7	0,50	0,70	2320	2080	240	0,24	1,5	0,3	Debris Flood
C8	0,51	0,71	2560	2120	440	0,44	1,8	0,6	Debris Flows
C9	0,51	0,71	2280	2120	160	0,16	1,1	0,2	Floods
C10	0,83	0,91	2720	1920	800	0,8	1,7	0,9	Debris Flows
C11	0,39	0,63	2720	2320	400	0,4	1,3	0,6	Debris Flows
C12	1,40	1,18	3000	2320	680	0,68	2,2	0,6	Debris Flows
C13	0,60	0,77	2760	2360	400	0,4	1,6	0,5	Debris Flood
C14	0,96	0,98	2960	2280	680	0,68	2,3	0,7	Debris Flows
C15	0,68	0,82	2920	2280	640	0,64	1,8	0,8	Debris Flows
C16	0,60	0,77	2920	2280	640	0,64	1,6	0,8	Debris Flows
C17	1,12	1,06	3000	2360	640	0,64	1,5	0,6	Debris Flows
C18	0,89	0,94	2880	2280	600	0,6	1,9	0,6	Debris Flows
C19	0,72	0,85	2960	2440	520	0,52	2,0	0,6	Debris Flows
C20	0,70	0,84	2960	2600	360	0,36	2,0	0,4	Debris Flood
C21	0,89	0,94	2480	1840	640	0,64	1,5	0,7	Debris Flows
C22	0,12	0,34	2520	2280	240	0,24	0,7	0,7	Debris Flows
C23	0,44	0,66	2760	2320	440	0,44	1,2	0,7	Debris Flows
C24	0,56	0,75	2840	2320	520	0,52	1,0	0,7	Debris Flows
C25	0,44	0,66	2800	2440	360	0,36	1,6	0,5	Debris Flood
C26	0,29	0,54	2800	2480	320	0,32	1,2	0,6	Debris Flows
C27	0,36	0,60	2880	2520	360	0,36	1,1	0,6	Debris Flows
C28	0,61	0,78	2840	2440	400	0,4	2,0	0,5	Debris Flood
C29	1,03	1,02	2720	1480	1240	1,24	2,7	1,2	Debris Flows
C30	1,76	1,33	2960	2080	880	0,88	3,2	0,7	Debris Flood
C31	1,15	1,07	2720	2040	680	0,68	1,4	0,6	Debris Flows
C32	0,84	0,92	2360	1560	800	0,8	1,5	0,9	Debris Flows
C33	0,87	0,93	2760	2040	720	0,72	2,6	0,8	Debris Flows
C34	0,30	0,55	2960	2520	440	0,44	1,1	0,8	Debris Flows
C35	0,49	0,70	2800	2320	480	0,48	1,8	0,7	Debris Flows
C36	1,34	1,16	3000	2440	560	0,56	2,3	0,5	Debris Flood
C37	0,51	0,71	2920	2400	520	0,52	1,5	0,7	Debris Flows
C38	0,39	0,62	2760	2240	520	0,52	1,3	0,8	Debris Flows
C39	0,65	0,81	2920	2560	360	0,36	1,3	0,4	Debris Flood
C40	1,33	1,15	2840	2240	600	0,6	2,1	0,5	Debris Flood
C41	0,45	0,67	2760	2200	560	0,56	1,6	0,8	Debris Flows
C42	1,67	1,29	2840	2080	760	0,76	2,0	0,6	Debris Flows
C43	0,42	0,65	2840	2240	600	0,6	1,2	0,9	Debris Flows
C44	1,10	1,05	2560	1960	600	0,6	1,7	0,6	Debris Flows
C45	0,32	0,56	2480	1840	640	0,64	1,8	1,1	Debris Flows
C46	0,88	0,94	2840	1880	960	0,96	2,6	1,0	Debris Flows

C47	0,30	0,55	2840	2240	600	0,6	1,3	1,1	Debris Flows
C48	0,79	0,89	3080	2360	720	0,72	1,7	0,8	Debris Flows
CUENCA	AREA(Km2)	RAIZ(Km)	alto	bajo	diferencia	DIF(Km)	LONG(Km)	MELTON	TIPOLOGIA
C49	1,33	1,15	2720	1800	920	0,92	2,4	0,8	Debris Flows
C50	0,74	0,86	2480	1920	560	0,56	2,4	0,7	Debris Flows
C51	1,43	1,20	2920	1800	1120	1,12	3,6	0,9	Debris Flood
C52	2,29	1,51	2920	1800	1120	1,12	3,9	0,7	Debris Flood
C53	0,38	0,62	2560	2000	560	0,56	1,2	0,9	Debris Flows
C54	0,45	0,67	2840	2240	600	0,6	1,4	0,9	Debris Flows
C55	0,39	0,63	2800	1920	880	0,88	1,6	1,4	Debris Flows
C56	0,83	0,91	1880	1040	840	0,84	1,6	0,9	Debris Flows
C57	0,65	0,80	2680	1600	1080	1,08	2,4	1,3	Debris Flows
C58	0,72	0,85	2120	1600	520	0,52	0,9	0,6	Debris Flows
C59	1,12	1,06	2440	1600	840	0,84	1,8	0,8	Debris Flows
C60	2,50	1,58	2400	1600	800	0,8	1,4	0,5	Debris Flood
C61	1,77	1,33	2200	1520	680	0,68	2,4	0,5	Debris Flood
C62	0,74	0,86	2160	1520	640	0,64	1,2	0,7	Debris Flows
C63	1,60	1,26	2440	1560	880	0,88	2,6	0,7	Debris Flows
C64	1,30	1,14	2440	1560	880	0,88	1,5	0,8	Debris Flows
C65	0,84	0,92	2320	2080	240	0,24	1,3	0,3	Floods
C66	0,74	0,86	2480	1800	680	0,68	1,6	0,8	Debris Flows
C67	2,07	1,44	2600	1600	1000	1	2,8	0,7	Debris Flood
C68	0,70	0,84	2320	1680	640	0,64	1,4	0,8	Debris Flows
C69	1,52	1,23	2600	1560	1040	1,04	2,0	0,8	Debris Flows
C70	1,63	1,28	2200	1520	680	0,68	2,3	0,5	Debris Flood
C71	0,68	0,83	1920	1480	440	0,44	1,3	0,5	Debris Flood
C72	0,57	0,75	1920	1520	400	0,4	1,0	0,5	Debris Flood
C73	1,84	1,36	2680	1480	1200	1,2	2,5	0,9	Debris Flows
C74	1,00	1,00	1600	960	640	0,64	2,2	0,6	Debris Flows
C75	1,03	1,01	3000	1880	1120	1,12	3,6	1,1	Debris Flood
C76	1,15	1,07	2760	1480	1280	1,28	2,9	1,2	Debris Flood
C77	1,10	1,05	2800	1680	1120	1,12	2,4	1,1	Debris Flows
C78	0,27	0,52	2120	1720	400	0,4	0,7	0,8	Debris Flows
C79	1,00	1,00	2440	1480	960	0,96	2,3	1,0	Debris Flows
C80	0,23	0,48	2400	1720	680	0,68	1,7	1,4	Debris Flows
C81	0,38	0,62	2360	1720	640	0,64	1,6	1,0	Debris Flows
C82	0,69	0,83	2240	1720	520	0,52	1,3	0,6	Debris Flows
C83	0,30	0,54	2200	1840	360	0,36	0,8	0,7	Debris Flows
C84	0,85	0,92	2440	2040	400	0,4	0,8	0,4	Debris Flood
C85	1,22	1,11	2640	1720	920	0,92	2,8	0,8	Debris Flood
C86	1,73	1,32	2840	1720	1120	1,12	2,5	0,9	Debris Flows
C87	0,90	0,95	3000	2400	600	0,6	2,1	0,6	Debris Flows
C88	0,65	0,81	3080	2160	920	0,92	2,0	1,1	Debris Flows
C89	0,96	0,98	2840	2360	480	0,48	1,5	0,5	Debris Flood
C90	0,53	0,73	2440	1840	600	0,6	1,8	0,8	Debris Flows
C91	1,52	1,23	2720	1880	840	0,84	2,6	0,7	Debris Flows
C92	0,50	0,70	2440	1960	480	0,48	1,1	0,7	Debris Flows
C93	2,27	1,51	2800	1960	840	0,84	2,8	0,6	Debris Flood

C94	0,46	0,68	2320	1880	440	0,44	0,9	0,6	Debris Flows
C95	0,64	0,80	2560	1920	640	0,64	1,5	0,8	Debris Flows
C96	0,51	0,71	2520	1960	560	0,56	1,4	0,8	Debris Flows
CUENCA	AREA(Km2)	RAIZ(Km)	alto	bajo	diferencia	DIF(Km)	LONG(Km)	MELTON	TIPOLOGIA
C97	0,18	0,42	2280	2040	240	0,24	0,6	0,6	Debris Flows
C98	0,20	0,45	2480	2040	440	0,44	1,0	1,0	Debris Flows
C99	0,30	0,55	2520	2040	480	0,48	1,4	0,9	Debris Flows
C100	0,21	0,46	2600	2040	560	0,56	1,3	1,2	Debris Flows
C101	0,37	0,61	2680	2200	480	0,48	1,1	0,8	Debris Flows
C102	0,21	0,46	2840	2360	480	0,48	1,2	1,1	Debris Flows
C103	0,78	0,88	3080	2360	720	0,72	1,8	0,8	Debris Flows
C104	0,93	0,97	2880	1240	1640	1,64	3,7	1,7	Debris Flood
C105	0,46	0,68	2760	2080	680	0,68	1,8	1,0	Debris Flows
C106	0,49	0,70	2640	2080	560	0,56	1,4	0,8	Debris Flows
C107	0,68	0,83	3120	2560	560	0,56	1,6	0,7	Debris Flows
C108	0,48	0,70	2960	2560	400	0,4	1,9	0,6	Debris Flows
C109	0,88	0,94	2600	2080	520	0,52	0,6	0,6	Debris Flows
C110	0,45	0,67	2880	2080	800	0,8	2,2	1,2	Debris Flows
C111	0,32	0,57	2360	1760	600	0,6	1,6	1,1	Debris Flows
C112	1,65	1,28	2360	1480	880	0,88	2,9	0,7	Debris Flood
C113	2,19	1,48	2520	1360	1160	1,16	3,6	0,8	Debris Flood
C114	1,30	1,14	2200	1400	800	0,8	2,2	0,7	Debris Flows
C115	0,81	0,90	1680	960	720	0,72	2,4	0,8	Debris Flows
C116	2,06	1,44	2520	1160	1360	1,36	4,1	0,9	Debris Flood
C117	1,21	1,10	2200	1160	1040	1,04	2,5	0,9	Debris Flows
C118	2,26	1,50	2600	1080	1520	1,52	3,8	1,0	Debris Flood
C119	1,97	1,40	2600	1200	1400	1,4	3,8	1,0	Debris Flood
C120	1,71	1,31	2160	1240	920	0,92	2,1	0,7	Debris Flows
C121	1,60	1,27	2840	1200	1640	1,64	3,3	1,3	Debris Flood
C122	2,69	1,64	2360	1000	1360	1,36	3,9	0,8	Debris Flood
C123	2,29	1,51	2440	1040	1400	1,4	4,3	0,9	Debris Flood
C124	2,44	1,56	2520	1080	1440	1,44	4,5	0,9	Debris Flood
C125	0,79	0,89	2800	2000	800	0,8	1,9	0,9	Debris Flows
C126	1,17	1,08	1920	1000	920	0,92	2,7	0,9	Debris Flows
C127	1,14	1,07	1880	1000	880	0,88	2,2	0,8	Debris Flows
C128	0,99	0,99	3120	1960	1160	1,16	3,0	1,2	Debris Flood
C129	1,04	1,02	2840	2360	480	0,48	0,7	0,5	Debris Flood
C130	1,75	1,32	2280	1080	1200	1,2	3,0	0,9	Debris Flood
C131	0,30	0,55	1240	920	320	0,32	1,3	0,6	Debris Flows
C132	1,11	1,05	1560	920	640	0,64	3,3	0,6	Debris Flood
C133	0,46	0,68	1320	920	400	0,4	0,9	0,6	Debris Flows
C134	0,70	0,84	1560	1000	560	0,56	1,8	0,7	Debris Flows
C135	0,23	0,48	2520	1960	560	0,56	0,9	1,2	Debris Flows
C136	1,13	1,06	2840	1920	920	0,92	2,2	0,9	Debris Flows
C137	0,50	0,71	2920	2160	760	0,76	2,1	1,1	Debris Flows
C138	0,90	0,95	2880	2040	840	0,84	1,7	0,9	Debris Flows
C139	1,05	1,03	2040	960	1080	1,08	2,7	1,1	Debris Flows
C140	0,92	0,96	2920	2240	680	0,68	1,2	0,7	Debris Flows

C141	2,38	1,54	2760	1440	1320	1,32	3,1	0,9	Debris Flood
C142	1,31	1,14	2800	1400	1400	1,4	3,5	1,2	Debris Flood
C143	1,05	1,03	2800	2080	720	0,72	1,9	0,7	Debris Flows
C144	0,37	0,61	2600	2200	400	0,4	1,5	0,7	Debris Flows
CUENCA	AREA(Km2)	RAIZ(Km)	alto	bajo	diferencia	DIF(Km)	LONG(Km)	MELTON	TIPOLOGIA
C145	0,86	0,93	2650	2080	570	0,57	2,9	0,6	Debris Flood
C146	0,92	0,96	2320	1400	920	0,92	1,9	1,0	Debris Flows
C147	1,19	1,09	2760	2000	760	0,76	2,6	0,7	Debris Flows
C148	0,73	0,85	2360	1840	520	0,52	1,7	0,6	Debris Flows
C149	0,41	0,64	2240	1800	440	0,44	1,1	0,7	Debris Flows
C150	1,02	1,01	2680	1680	1000	1	2,3	1,0	Debris Flows
C151	1,77	1,33	2040	1200	840	0,84	1,7	0,6	Debris Flows
C152	1,61	1,27	2080	1440	640	0,64	1,8	0,5	Debris Flood
C153	0,61	0,78	1640	1080	560	0,56	1,6	0,7	Debris Flows
C154	2,39	1,54	2320	1120	1200	1,2	2,9	0,8	Debris Flood
C155	2,05	1,43	2040	1120	920	0,92	2,3	0,6	Debris Flows
C156	0,60	0,77	2880	2320	560	0,56	1,9	0,7	Debris Flows
C157	0,36	0,60	2760	2520	240	0,24	1,2	0,4	Debris Flood
C158	0,19	0,44	2520	2280	240	0,24	0,9	0,6	Debris Flows
C159	0,37	0,61	2760	2360	400	0,4	1,2	0,7	Debris Flows
C160	0,76	0,87	2200	1800	400	0,4	1,1	0,5	Debris Flood
C161	0,31	0,55	2640	1960	680	0,68	1,4	1,2	Debris Flows
C162	0,77	0,88	2640	1600	1040	1,04	2,2	1,2	Debris Flows
C163	2,64	1,62	2280	1040	1240	1,24	3,0	0,8	Debris Flood
C164	1,39	1,18	2280	1080	1200	1,2	3,6	1,0	Debris Flood
C165	0,92	0,96	3040	2160	880	0,88	2,7	0,9	Debris Flows
C166	1,45	1,20	2280	1080	1200	1,2	2,9	1,0	Debris Flood
C167	0,46	0,68	2320	2040	280	0,28	1,5	0,4	Debris Flood
C168	1,62	1,27	2120	920	1200	1,2	3,9	0,9	Debris Flood
C169	0,82	0,90	2520	1920	600	0,6	1,8	0,7	Debris Flows
C170	2,11	1,45	2280	1040	1240	1,24	3,7	0,9	Debris Flood

Resultados obtenidos en las cuencas dentro del área de estudio. **AREA (m²)**: área de la cuenca.

RAIZ: raíz cuadrada del área de la cuenca. **DIFERENCIA (DIF)**: diferencia entre el punto más alto y mas bajo de la cuenca. **LONG**: longitud de la cuenca.

ANEXO 5
DATOS ESTRUCTURALES TOMADOS A LO
LARGO DE LA CARRETERA LOJA-ZAMORA

Dirección de Buzamiento	Buzamiento	X	Y	TIPO	UNIDAD
069	80	700740	9559010	Estratificación	San Cayetano
090	60	701190	9559072	Estratificación	San Cayetano
090	65	701882	9559157	Estratificación	San Cayetano
105	15	701890	9558474	Estratificación	San Cayetano
184	20	702721	9558650	Estratificación	Quillollaco
287	35	702954	9559225	Estratificación	Quillollaco
233	35	703350	9559643	Estratificación	Quillollaco
239	50	703389	9558949	Foliación	U. Chiguinda
252	80	703781	9558617	Foliación	U. Chiguinda
145	30	705422	9558493	Foliación	U. Chiguinda
126	54	705885	9558960	Foliación	U. Chiguinda
140	50	706397	9558404	Foliación	U. Chiguinda
117	44	707160	9558705	Foliación	U. Chiguinda
223	54	708371	9558790	Foliación	U. Chiguinda
118	85	708880	9558695	Foliación	U. Chiguinda
118	21	709398	9559509	Foliación	U. Chiguinda
254	80	710063	9559137	Foliación	U. Chiguinda
267	68	709796	9558744	Foliación	U. Chiguinda
140	40	710462	9558863	Foliación	U. Chiguinda
085	84	711014	9560424	Foliación	U. Chiguinda
270	50	711788	9560279	Foliación	U. Chiguinda
266	60	712062	9560252	Foliación	U. Chiguinda
264	60	712545	9560546	Foliación	U. Chiguinda
280	60	712805	9560627	Foliación	U. Chiguinda
270	52	713165	9561201	Foliación	U. Chiguinda
270	72	716028	9561681	Foliación	U. Chiguinda
096	80	716477	9562313	Foliación	U. Chiguinda
270	66	716834	9562770	Foliación	U. Chiguinda
096	65	716907	9563046	Foliación	U. Chiguinda
288	85	717310	9563484	Foliación	U. Chiguinda
254	80	717658	9563254	Foliación	U. Chiguinda
286	70	718027	9563189	Foliación	U. Chiguinda
270	80	718473	9562977	Foliación	U. Chiguinda
316	81	718844	9562924	Foliación	U. Chiguinda
283	76	719755	9562481	Foliación	G. de Sabanilla
270	85	720105	9562255	Foliación	G. de Sabanilla
281	75	720321	9561848	Foliación	G. de Sabanilla
320	34	720288	9561679	Foliación	G. de Sabanilla
322	70	720094	9560960	Foliación	G. de Sabanilla
296	57	720022	9560620	Foliación	G. de Sabanilla
116	80	720090	9560269	Foliación	G. de Sabanilla
298	42	720230	9559927	Foliación	G. de Sabanilla
290	87	720223	9559501	Foliación	G. de Sabanilla
279	80	720130	9559173	Foliación	G. de Sabanilla
117	85	720353	9558854	Foliación	G. de Sabanilla
287	82	720046	9557995	Foliación	G. de Sabanilla

317	70	720035	9557431	Foliación	G. de Sabanilla
276	85	719938	9556317	Foliación	G. de Sabanilla
Dirección de Buzamiento	Buzamiento	X	Y	TIPO	UNIDAD
278	75	719950	9555975	Foliación	G. de Sabanilla
294	70	720270	9555248	Foliación	G. de Sabanilla
286	87	720797	9554663	Foliación	G. de Sabanilla
287	80	720986	9554516	Foliación	G. de Sabanilla
270	75	721141	9554111	Foliación	G. de Sabanilla
097	84	720944	9553605	Foliación	G. de Sabanilla
096	75	721339	9553484	Foliación	G. de Sabanilla
111	84	721776	9553658	Foliación	G. de Sabanilla
056	80	722135	9553215	Foliación	G. de Sabanilla
285	74	722653	9553216	Foliación	G. de Sabanilla
300	60	724437	9552662	Foliación	G. de Sabanilla
270	80	724515	9552369	Foliación	G. de Sabanilla
265	60	724906	9552641	Foliación	G. de Sabanilla
286	80	726035	9551424	Foliación	G. de Sabanilla
270	25	705259	9559431	Foliación	G. de Sabanilla
131	49	706311	9559375	Foliación	G. de Sabanilla
143	40	706431	9559993	Foliación	G. de Sabanilla
148	30	706156	9560298	Foliación	G. de Sabanilla
279	50	706729	9560530	Foliación	G. de Sabanilla
099	40	707041	9560354	Foliación	G. de Sabanilla
083	40	707583	9560077	Foliación	G. de Sabanilla
090	36	707772	9560109	Foliación	G. de Sabanilla
242	28	708233	9560377	Foliación	G. de Sabanilla
090	46	708308	9560838	Foliación	G. de Sabanilla
110	57	708828	9560556	Foliación	G. de Sabanilla
270	62	709600	9560495	Foliación	G. de Sabanilla
090	72	709536	9560928	Foliación	G. de Sabanilla
294	72	709331	9560996	Foliación	G. de Sabanilla
090	73	710455	9561661	Foliación	G. de Sabanilla
109	72	710853	9561256	Foliación	G. de Sabanilla
286	60	711381	9561043	Foliación	G. de Sabanilla
110	60	711653	9560851	Foliación	G. de Sabanilla
090	44	712011	9560807	Foliación	G. de Sabanilla
108	80	712185	9560986	Foliación	G. de Sabanilla
090	29	712367	9561225	Foliación	G. de Sabanilla
263	40	712772	9560943	Foliación	G. de Sabanilla
270	52	713165	9561100	Foliación	G. de Sabanilla
253	58	714656	9561752	Foliación	G. de Sabanilla
301	86	715224	9561773	Foliación	G. de Sabanilla
108	73	720676	9561411	Foliación	G. de Sabanilla
293	70	720692	9560432	Foliación	G. de Sabanilla
340	70	720952	9558726	Foliación	G. de Sabanilla
090	85	720897	9555480	Foliación	G. de Sabanilla
100	80	721392	9554939	Foliación	G. de Sabanilla
090	82	722425	9553764	Foliación	G. de Sabanilla

090	82	722093	9554160	Foliación	G. de Sabanilla
280	70	722980	9553725	Foliación	G. de Sabanilla

Dirección de Buzamiento	Buzamiento	TIPO	UNIDAD
057	70	Fractura	U. Chiguinda
219	80	Fractura	U. Chiguinda
039	76	Fractura	U. Chiguinda
120	65	Fractura	U. Chiguinda
110	80	Fractura	U. Chiguinda
046	65	Fractura	U. Chiguinda
252	77	Fractura	U. Chiguinda
055	72	Fractura	U. Chiguinda
255	55	Fractura	U. Chiguinda
000	62	Fractura	U. Chiguinda
000	65	Fractura	U. Chiguinda
152	70	Fractura	U. Chiguinda
000	70	Fractura	U. Chiguinda
315	80	Fractura	U. Chiguinda
295	90	Fractura	U. Chiguinda
080	84	Fractura	U. Chiguinda
135	55	Fractura	U. Chiguinda
304	68	Fractura	U. Chiguinda
194	66	Fractura	U. Chiguinda
344	24	Fractura	U. Chiguinda
310	47	Fractura	U. Chiguinda
155	75	Fractura	U. Chiguinda
015	75	Fractura	U. Chiguinda
330	70	Fractura	U. Chiguinda
315	70	Fractura	U. Chiguinda
135	42	Fractura	U. Chiguinda
235	65	Fractura	U. Chiguinda
050	62	Fractura	U. Chiguinda
122	62	Fractura	U. Chiguinda
235	75	Fractura	U. Chiguinda
152	70	Fractura	U. Chiguinda
270	43	Fractura	U. Chiguinda
020	76	Fractura	U. Chiguinda
105	44	Fractura	U. Chiguinda
090	77	Fractura	U. Chiguinda
342	67	Fractura	U. Chiguinda
000	53	Fractura	U. Chiguinda
350	47	Fractura	U. Chiguinda
312	42	Fractura	U. Chiguinda
000	38	Fractura	U. Chiguinda
226	25	Fractura	U. Chiguinda
105	50	Fractura	U. Chiguinda
036	70	Fractura	U. Chiguinda

114	24	Fractura	U. Chiguinda
-----	----	----------	--------------

Dirección de Buzamiento	Buzamiento	TIPO	UNIDAD
258	80	Fractura	G. de Sabanilla
116	87	Fractura	G. de Sabanilla
210	30	Fractura	G. de Sabanilla
245	75	Fractura	G. de Sabanilla
310	68	Fractura	G. de Sabanilla
066	85	Fractura	G. de Sabanilla
283	45	Fractura	G. de Sabanilla
075	55	Fractura	G. de Sabanilla
080	25	Fractura	G. de Sabanilla
077	70	Fractura	G. de Sabanilla
082	25	Fractura	G. de Sabanilla
087	75	Fractura	G. de Sabanilla
214	65	Fractura	G. de Sabanilla
229	35	Fractura	G. de Sabanilla
099	70	Fractura	G. de Sabanilla
066	75	Fractura	G. de Sabanilla
075	45	Fractura	G. de Sabanilla
043	70	Fractura	G. de Sabanilla
156	70	Fractura	G. de Sabanilla
030	85	Fractura	G. de Sabanilla
191	75	Fractura	G. de Sabanilla
143	60	Fractura	G. de Sabanilla
212	75	Fractura	G. de Sabanilla
234	25	Fractura	G. de Sabanilla
044	50	Fractura	G. de Sabanilla
040	70	Fractura	G. de Sabanilla
042	45	Fractura	G. de Sabanilla
130	50	Fractura	G. de Sabanilla
058	65	Fractura	G. de Sabanilla
068	12	Fractura	G. de Sabanilla
035	77	Fractura	G. de Sabanilla
176	45	Fractura	G. de Sabanilla
220	80	Fractura	G. de Sabanilla
072	79	Fractura	G. de Sabanilla
197	46	Fractura	G. de Sabanilla
193	80	Fractura	G. de Sabanilla
214	82	Fractura	G. de Sabanilla
231	42	Fractura	G. de Sabanilla
338	72	Fractura	G. de Sabanilla
087	75	Fractura	G. de Sabanilla
207	74	Fractura	G. de Sabanilla