

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Postgrados

**Análisis de la Susceptibilidad a Procesos de Remoción en Masa en
Estructuras Lineales mediante la utilización de Sistemas de Información
Geográfica**

Cristian José Correa Campués

Richard Resl, Ph.D.c., Director de Tesis

Tesis de Grado presentada como requisito para la obtención del título de Magíster en
Sistemas de Información Geográfica

Quito, noviembre de 2013

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Posgrados

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

Análisis de la Susceptibilidad a Procesos de Remoción en Masa en Estructuras Lineales mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica

CRISTIAN JOSÉ CORREA CAMPUÉS

Richard Resl, Ph.D.c.

Director de Tesis

Pablo Cabrera, Ms.

Miembro de Comité de Tesis

Richard Resl, Ph.D.c.

Director del Programa en Maestría en
Sistemas de Información Geográfica

Stella de la Torre, Ph.D.

Decana de Colegio de Ciencias
Biológicas y Ambientales

Víctor Viteri, Ph.D.

Decano del Colegio de Postgrados

Quito, noviembre de 2013

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

Nombre: Cristian José Correa Campués

CI: 171263251-0

Quito, noviembre de 2013

DEDICATORIA

A Alejandra por todo su amor y paciencia...por estar conmigo en todo tiempo y en toda circunstancia.

AGRADECIMIENTOS

A Pablo Cabrera por el tiempo invertido para el desarrollo del presente trabajo. Por todas sus sugerencias y por su ayuda durante mis estudios de maestría.

Al personal del UNIGIS por la oportunidad que nos ofrece para formarnos y capacitarnos de una manera técnica con el objetivo de brindar soluciones a la sociedad y contribuir con el desarrollo de nuestro Ecuador.

A mis amigos y colegas de trabajo por compartir sus conocimientos y experiencia en el campo de los SIG. Por su perseverancia y constancia en hacer siempre lo mejor y trabajar con honradez y ética.

A mi familia, mis padres y hermano por estar cerca, por apoyarme en mis estudios, Dios les pague.

A mi Padre por estar a mi lado, por su eterna fidelidad...gracias Señor.

“Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en dondequiera que vayas” (Josué 1:9)

RESUMEN

Desde la aparición e implementación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) su uso se ha incrementado de manera gradual llegando a alcanzar una importante relevancia en los análisis de tipo cartográfico principalmente, posibilitando al mismo tiempo un manejo mucho más sencillo de las variables geográficas. La evaluación de la susceptibilidad a procesos de remoción en masa mediante las herramientas disponibles hoy en día en los SIG ha permitido desarrollar diferentes metodologías encaminadas a evaluar los factores condicionantes y desencadenantes (detonantes) y su incidencia en la generación de procesos de remoción en masa con el objetivo de zonificar el terreno en función de su mayor o menor predisposición a este tipo de procesos.

Como caso de estudio se ha evaluado la situación que se suscita en la vía Loja-Zamora ubicada al sur del Ecuador. Con una longitud aproximada de 55 kilómetros, la vía anualmente es afectada por procesos de remoción en masa entre los cuales se tienen flujos de detritos y escombros, avalanchas de escombros, deslizamientos rotacional y traslacionales y caídas de rocas principalmente.

La información disponible en el medio para este tipo de evaluaciones por lo general procede de diferentes fuentes, en diferentes escalas, no siempre son actualizadas, están en formato impreso, etc. El procesamiento de la geoinformación disponible se constituye en un primer reto para el especialista mediante el uso de las herramientas existentes en el SIG.

Con la información recopilada se generaron mapas temáticos en los cuales se hizo un análisis general y que se encaminó a obtener datos o conclusiones preliminares respecto a la susceptibilidad del terreno a procesos de remoción en masa mediante el uso de los SIG.

La metodología de evaluación de la susceptibilidad se orienta de acuerdo al tipo de información existente y el tipo de análisis que se pretende desarrollar. Actualmente existen varias metodologías en las cuales el uso del SIG no solamente mejora la presentación de los productos cartográficos finales sino que facilita efectuar trabajar con datos espaciales así como efectuar variaciones a los métodos propuestos en función de las condiciones de cada caso de estudio.

En el presente trabajo se utilizaron las metodologías propuestas por el INGEOMINAS, el método de BRABB y la metodología establecida por DOTOR. Aunque los métodos difieren en cuanto a su forma de evaluación, los tres toman en cuenta factores condicionantes y detonantes de procesos de remoción en masa. En lo relacionado a la ponderación de los factores que intervienen en este análisis se utilizó el análisis jerárquico propuesto por SAATY. En todos los caso se procuró mantener la metodología original en cuanto a su desarrollo se refiere. Las variaciones hechas a los métodos sugeridos para este trabajo se realizaron con el objetivo de comparar los resultados entre las metodologías y analizar sus ventajas y desventajas.

ABSTRACT

Since the advent and implementation of Geographic Information Systems (GIS), its uses has increased gradually reaching a significant relevance in a cartographic analysis mainly, and allowing, at the same time, to work with geographical variables. The susceptibility evaluation to mass moving processes using tools available today in GIS has allowed to develop different methodologies to evaluate the contributing and triggers factors and their impact on the generation of mass movement processes in order to zoning the land according to their greater or less predisposed to generate this type of process .

As a case study has evaluated the situation that occurs in the Loja -Zamora road located south of Ecuador. With an approximate length of 55 kilometers, the route each year is affected by mass moving processes among which are detritus and debris flows, debris avalanches, rotational and translational slides and rock falls mainly.

The information available for this type of evaluation usually comes from different sources, at different scales, is not always updated, is in print, etc. The available geo-information processing constitutes a first challenge for the specialist by using existing tools in the GIS.

With this information thematic maps were generated which became a general analysis and headed to obtain preliminary data or conclusions regarding the susceptibility of the land to mass movement processes using GIS.

The methodology for assessing the susceptibility is oriented according to the type of information available and the type of analysis to be developed. Nowadays there are several methods in which the use of GIS not only improves the presentation of the final map products but also helps make working with spatial data and the methods proposed variations depending on the conditions of each case study.

In this study we used the methodologies proposed by the INGEOMINAS, BRABB method and the methodology established by DOTOR. Although the methods differ in their form of assessment, these taking into account contributing and triggers factors of mass movement processes. In regard to the weighting of the factors involved in this analysis we used the analytic hierarchy process proposed by SAATY. In every case tried to maintain the original methodology in their development is concerned. Changes made to the methods suggested for this work were performed with the object of comparing the results between methodologies and analyze their advantages and disadvantages.

CONTENIDO

RESUMEN	7
ABSTRACT.....	8
CONTENIDO.....	9
INDICE DE FIGURAS	12
INDICE DE FOTOGRAFÍAS	15
INDICE DE TABLAS	16
CAPITULO I: GENERALIDADES.....	17
1.1 INTRODUCCIÓN	17
1.2 OBJETIVO GENERAL	18
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.4 METODOLOGÍA	18
1.5 ALCANCE.....	20
CAPITULO II: CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	21
2.1 UBICACIÓN Y ACCESOS.....	21
2.2 MORFOLOGÍA	22
2.3 HIDROGRAFÍA	24
2.4 HIDROGEOLOGÍA	25
2.5 COBERTURA VEGETAL (USO DEL SUELO).....	26
2.6 CLIMA, TEMPERATURA Y PRECIPITACIONES.....	27
2.6.1 CLIMA.....	27
2.6.2 TEMPERATURA.....	28
2.6.3 PRECIPITACIONES	29
2.7 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN TEMÁTICA RECOPIADA.....	30
2.8 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	31
2.8.1 UNIDADES SEDIMENTARIAS	32
2.8.2 UNIDADES DEL BASAMENTO.....	34

	10
2.9 MARCO SISMO-TECTÓNICO REGIONAL	35
2.10 MARCO GEOLÓGICO LOCAL	36
2.10.1 ROCAS SEDIMENTARIAS	36
2.10.2 ROCAS METAMÓRFICAS.....	37
2.11 ROCAS INTRUSIVAS	38
2.10.1 BATOLITO DE ZAMORA	38
CAPITULO III: EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD MEDIANTE	
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).....	
39	
3.1 GENERALIDADES	39
3.2 MÉTODOS DE ANÁLISIS MEDIANTE SIG (GENERALIDADES).....	40
3.3 EVALUACIÓN DE INFORMACIÓN MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).....	41
3.3.1 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES	42
3.3.2 ANÁLISIS DE ASPECTO	51
3.3.3 ANÁLISIS DE PENDIENTE	53
3.4 GENERACIÓN DE MAPAS TEMÁTICOS ESPECÍFICOS	55
3.4.1 GENERACIÓN DE MAPAS DE INVENTARIO DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA	55
3.4.2 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.....	56
3.5 EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA MEDIANTE EL USO DE SIG	59
3.5.1 MÉTODO PROPUESTO POR INGEOMINAS.....	59
3.5.1.1 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	59
3.5.1.2 SUSCEPTIBILIDAD: GEOLOGÍA	60
3.5.1.2 SUSCEPTIBILIDAD: RANGO DE PENDIENTES	63
3.5.1.3 SUSCEPTIBILIDAD: USO DEL SUELO	68
3.5.1.4 MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD SEGÚN METODO DE INGEOMINAS	72
3.5.2 MÉTODO DE BRABB.....	75
3.5.3 MÉTODO PROPUESTO POR DOTOR	86

	11
3.5.4 DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE PONDERACIÓN MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE SAATY	98
3.6 EVALUACIÓN GENERAL DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	100
3.6.1 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO.....	100
3.6.2 METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS	100
3.6.3 RANGOS DE SUSCEPTIBILIDAD UTILIZADOS PARA EL PRESENTE ESTUDIO	101
3.6.4 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	102
CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	110
4.1 CONCLUSIONES	110
4.2 RECOMENDACIONES.....	113
CAPITULO V: BIBLIOGRAFÍA	115
ANEXOS.....	117

INDICE DE FIGURAS

Figura No. 1: Ubicación del área de estudio (MED generado a partir de curvas de nivel a escala 1:50.000, IGM).....	21
Figura No. 2: Mapa de Elevación del área de estudio (MED generado a partir de curvas de nivel a escala 1:50.000, IGM). Las líneas en amarillo representan el trazado antiguo de la vía.....	23
Figura No. 3: Mapa Geomorfológico del área de estudio (MED generado a partir de curvas de nivel a escala 1:50.000, IGM). Las líneas en color rojo representan el trazado antiguo de la vía.....	24
Figura No. 4: Mapa Hídrico de la zona de estudio (nombres de las microcuencas tomadas de INFOPLAN, 2012)	25
Figura No. 5: Mapa Hidrogeológico de la zona de estudio (nombres de las microcuencas tomadas de INFOPLAN, 2005)	26
Figura No. 6: Cobertura vegetal de la zona de estudio (INFOPLAN, 2012).....	27
Figura No. 7: Tipos de clima de la zona de estudio (INFOPLAN, 2012)	28
Figura No. 8: Rangos de temperatura media de la zona de estudio (INFOPLAN, 2012)	29
Figura No. 9: Rangos de precipitaciones de la zona de estudio (INFOPLAN, 2012).....	30
Figura No. 10: Contexto Geológico regional de la zona de estudio	32
Figura No. 11: Contexto sismo-tectónico regional de la zona de estudio (Imagen SRTM, 90m de resolución).....	35
Figura No. 12: Mapa de inventario procesos de remoción en masa existentes dentro del área de estudio	43
Figura No. 13: Imagen Satelital utilizada para el proceso de clasificación supervisada	44
Figura No. 14: Determinación de clases sobre la imagen satelital. Las estrellas en color negro representan los puntos levantados mediante GPS a lo largo de la vía Loja-Zamora. Los círculos en colores representan las clases seleccionadas mediante el SIG para la correspondiente supervisión clasificada.	45
Figura No. 15: Resultado de la clasificación supervisada	46
Figura No. 16: Resultado de la clasificación no supervisada	49
Figura No. 17: Mapa de aspecto en los alrededores del área de estudio	52
Figura No. 18: Mapa de pendientes en los alrededores del área de estudio	54

Figura No. 19: Mapa de Inventario de Procesos de Remoción en Masa. Carretera Loja-Zamora.....	56
Figura No. 20: Mapa de Cuencas Hidrográficas del área de estudio obtenidas mediante el uso de SIG.....	57
Figura No. 21: Mapa de delimitación del área de estudio a partir de Cuencas Hidrográficas.....	58
Figura No. 22: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Unidades Geológicas). Año 1976.....	61
Figura No. 23: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Unidades Geológicas). Año 1989.....	61
Figura No. 24: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Unidades Geológicas). Año 1998.....	62
Figura No. 25: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Pendientes). Año 1976.....	64
Figura No. 26: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Pendientes). Año 1989.....	65
Figura No. 27: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Pendientes). Año 1998.....	65
Figura No. 28: Mapa de Uso de Suelo en los alrededores de la vía Loja-Zamora.....	68
Figura No. 29: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Uso del Suelo). Año 1976.....	69
Figura No. 30: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Uso del Suelo). Año 1989.....	70
Figura No. 31: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Uso del Suelo). Año 1998.....	70
Figura No. 32: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora (1976) según método modificado de INGEOMINAS.....	73
Figura No. 33: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora (1989) según método modificado de INGEOMINAS.....	74
Figura No. 34: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora (1998) según método modificado de INGEOMINAS.....	75
Figura No. 35: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora (1976) según método modificado de BRABB.....	84

Figura No. 36: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora (1989) según método modificado de BRABB.....	85
Figura No. 37: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora (1998) según método modificado de BRABB.....	86
Figura No. 38: Esquema General de Análisis (DOTOR, 2004)	88
Figura No. 39: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora según método modificado de DOTOR.....	97
Figura No. 40: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora según método modificado de DOTOR. Las variables que se utilizaron se ponderaron según el criterio de Saaty (1980).	99
Figura No. 41: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora (1989) según método INGEOMINAS.....	103
Figura No. 42: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora (1989) según método de BRABB.....	104
Figura No. 43: Detalle de los rangos de susceptibilidad para la vía Loja-Zamora, sector Sabanilla según el método de INGEOMINAS para el año 1989. Las estrellas en color verde representan puntos GPS que indican la ocurrencia de procesos de remoción en masa activos.	105
Figura No. 44: Detalle de los rangos de susceptibilidad para la vía Loja-Zamora, sector Sabanilla según el método de BRABB para el año 1989. Las estrellas en color verde representan puntos GPS que indican la ocurrencia de procesos de remoción en masa activos.	106
Figura No. 45: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora según el método de DOTOR.	107
Figura No. 46: Detalle de los rangos de susceptibilidad para la vía Loja-Zamora, sector Sabanilla según el método de DOTOR. Las estrellas en color verde representan puntos GPS que indican la ocurrencia de procesos de remoción en masa activos.	108

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía No. 1: Detalle talud a un costado de la vía. El material aflorante pertenece a la Formación Sedimentaria Quillollaco (conglomerados y areniscas). UTM: 702894-9559050	123
Fotografía No. 2: Detalle de deslizamiento traslacional a un costado de la vía. El material aflorante pertenece a la Formación Sedimentaria Quillollaco (conglomerados y areniscas). UTM: 703531-9559930	123
Fotografía No. 3: Detalle de flujos de detritos y escombros a un costado de la vía. El material aflorante pertenece a la Formación Chigüinda. UTM: 7069633-9558586	124
Fotografía No. 4: Detalle de flujos de escombros a un costado de la vía. El material aflorante pertenece a la Formación Chigüinda. UTM: 712102-9560014	124
Fotografía No. 5: Detalle de deslizamiento planar a un costado de la vía. El material aflorante pertenece a la Formación Chigüinda. UTM: 716835-9562764	125
Fotografía No. 6: Detalle flujos de detritos y avalanchas de escombros a un costado de la vía. El material aflorante pertenece a la Formación Chigüinda. UTM: 716014-9561614	125
Fotografía No. 7: Detalle de talud inestable afectado por caída de tierra y escombros. El material aflorante pertenece a la Unidad Gneis de Sabanilla. UTM: 719958-9561814	126
Fotografía No. 8: Detalle de flujos de detritos talud debajo de la vía. El material aflorante pertenece a la Unidad Gneis de Sabanilla. UTM: 719686-9556348	126
Fotografía No. 9: Detalle de ladera afectada por caída de tierra y localmente flujos de detritos. El material aflorante pertenece a la Unidad Metamórficos indiferenciados. UTM: 725502-9551458	127
Fotografía No. 10: Detalle de deslizamiento rotacional en material perteneciente a la Unidad Batolito de Zamora. El material aflorante pertenece a la Unidad Metamórficos indiferenciados. UTM: 725357-9551514.....	127
Fotografía No. 11: Detalle procesos de remoción en masa en la entrada a la ciudad de Zamora. El material aflorante pertenece a la Unidad Metamórficos indiferenciados. UTM: 725502-9551458. (Foto Cortesía Ing. Diego Altamirano).....	128
Fotografía No. 12: Detalle de la ocurrencia de flujos de detritos en los alrededores de la vía Loja Zamora. UTM: 712452-9560274.	128

INDICE DE TABLAS

Tabla No. 1: Hojas Topográficas utilizadas para este estudio	19
Tabla No. 2: Fotografías aéreas utilizadas para este estudio	19
Tabla No. 3: Fallas cuaternarias existentes en los alrededores del área de estudio (Egüez, 2003)	35
Tabla No. 4: Rangos de pendientes utilizados para la evaluación de la susceptibilidad	53
Tabla No. 5: Categorías de Susceptibilidad (INGEOMINAS, 2001)	60
Tabla No. 6: Determinación de la Susceptibilidad Relativa a partir de relaciones de áreas (1978)	77
Tabla No. 7: Determinación de la Susceptibilidad Relativa a partir de relaciones de áreas (1989)	77
Tabla No. 8: Determinación de la Susceptibilidad Relativa a partir de relaciones de áreas (1998)	78
Tabla No. 9: Determinación de frecuencia de procesos de remoción en masa por unidad litológica y por rango de pendiente (1978)	78
Tabla No. 10: Determinación de frecuencia de procesos de remoción en masa por unidad litológica y por rango de pendiente (1989)	79
Tabla No. 11: Determinación de frecuencia de procesos de remoción en masa por unidad litológica y por rango de pendiente (1998)	79
Tabla No. 12: Determinación de la Susceptibilidad Absoluta (1978)	81
Tabla No. 13: Determinación de la Susceptibilidad Absoluta (1989)	82
Tabla No. 14: Determinación de la Susceptibilidad Absoluta (1998)	83
Tabla No. 15: Rangos de susceptibilidad considerados para el presente estudio	83
Tabla No. 16: Valores de ponderación (según DOTOR, 2004)	89
Tabla No. 17: Variables utilizadas para la determinación de la susceptibilidad	90
Tabla No. 18: Ponderación para los rangos de pendientes	91
Tabla No. 19: Ponderación para las unidades litológicas	93
Tabla No. 20: Ponderación de los rangos de precipitaciones	94
Tabla No. 21: Ponderación para la cobertura vegetal	96
Tabla No. 22: Rangos de importancia considerador por Saaty (1980)	98
Tabla No. 23: Resultados de la ponderación para este estudio según la metodología propuesta por Saaty (1980)	98

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años en el Ecuador se reporta un número importante de procesos de remoción en masa que han afectado todo tipo de infraestructura, entre ellas, carreteras y vías. Estos procesos se producen esencialmente por la combinación de los así denominados factores condicionantes y desencadenantes (detonantes), entre los cuales se pueden citar: condiciones geológicas-estructurales, geomorfología y relieve, condiciones climáticas, entre otros.

Los avances que se han venido dando en el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) posibilitan el desarrollo de diferentes métodos de análisis de susceptibilidad a procesos de remoción en masa debido a la existencia de herramientas de tipo cartográficas con las cuales los técnicos a cargo de la evaluación de peligros naturales pueden modelar y categorizar de mejor manera zonas con mayor o menor susceptibilidad, en este caso, a los diferentes procesos de remoción en masa característicos en nuestro país.

Probablemente entre las dificultades que se presentan en el desarrollo de metodologías de determinación de la susceptibilidad son la variabilidad en la escala de los mapas base que se requieren utilizar, alto costo de imágenes o fotografías aéreas actualizadas, información desactualizada o inexistente que evidencie el grado de actividad de los procesos de remoción en masa y en general toda la información que permita evaluar la evolución de estos procesos en función de espacio y también del tiempo.

En términos cotidianos los deslizamientos (procesos de remoción en masa) son conocidos como en nuestro país como derrumbes, deslaves, aluviones, avalanchas, hundimientos, entre otros y se encuentran distribuidos principalmente en la zona andina del Ecuador (Plaza, 1996).

El presente trabajo ha escogido como zona de estudio a la carretera Loja-Zamora en donde se reporta la ocurrencia de procesos de remoción en masa desde su construcción hasta la actualidad. Los eventos sucedidos no solamente han causado daños en las vías sino que además han causado la pérdida de vidas. Los estudios llevados a cabo dentro del área dan cuenta que entre los factores causantes de estos procesos se tiene a la geología, la morfología y las precipitaciones.

Los procesos de remoción en masa que se reportan a lo largo y en los alrededores de la vía son (en orden decreciente de importancia): flujos y avalanchas de escombros, deslizamientos traslacionales, deslizamientos rotacionales y caídas de roca (Correa, 2007).

Una vez analizada la información disponible mediante las herramientas disponibles Sistemas de Información Geográfica (SIG) se procede a seleccionar metodologías de análisis aplicables a la zona de estudio en función del tipo y calidad de la información existente. Los resultados obtenidos a partir del análisis son evaluados mediante el mapa de inventario de procesos de remoción en masa efectuado mediante la fotointerpretación de fotos áreas de diferentes años (análisis multitemporal).

1.2 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la susceptibilidad a procesos de remoción en masa existentes a lo largo de la carretera Loja-Zamora mediante la utilización de un SIG.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la susceptibilidad a procesos de remoción en masa mediante las aplicaciones disponibles en un SIG.
- En función de la información temática disponible, proponer una metodología (metodologías) aplicable (aplicables) a la carretera Loja-Zamora y verificar los resultados obtenidos.
- Determinar las bondades y limitaciones que presentan los SIG dentro de la determinación de la susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

1.4 METODOLOGÍA

La información con la que se cuenta para realizar el análisis de la susceptibilidad a procesos de remoción en masa en la carretera Loja-Zamora es la que se detalla a continuación:

- 📍 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.
- 📍 Hojas topográficas 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

Tabla No. 1: Hojas Topográficas utilizadas para este estudio

Fotografías aéreas

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
R21	5285-5288	1:60.000	1998
R22	5361-5362	1:60.000	1998
R22	5406-5407	1:60.000	1998

Tabla No. 2: Fotografías aéreas utilizadas para este estudio

Imágenes Satelitales de diferentes fuentes, años y resolución espacial

La información detallada anteriormente es procesada mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) con el objetivo final de obtener un mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa a lo largo y en los alrededores de la vía actual que una las poblaciones de Loja y Zamora.

Mediante la recopilación de información se investigan y evalúan diferentes métodos utilizados para este tipo de análisis. Con esto procedimiento metodológico se pretende evaluar las experiencias o logros mediante el uso de SIG en este tipo de evaluaciones. Si bien

es cierto cada caso resulta particular, es importante tomar en consideración los detalles en cuanto al tratamiento de la información digital de entrada y generar entonces modelos que representen de la mejor manera posible las condiciones reales de una zona susceptible a procesos de remoción en masa.

Para el tratamiento de la información se utilizaron: ArcMap 10.1, Quantum GIS 1.8.0 y Global Mapper 13.2.

1.5 ALCANCE

Evaluar metodologías de análisis de la susceptibilidad a procesos de remoción en masa existente y aplicarlas en estructuras lineales que atraviesen zonas susceptibles a este tipo de procesos mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El área de estudio corresponde a la carretera Loja-Zamora y su área de influencia. Esta última será determinada tomando en consideración las recomendaciones hechas por Correa (2007) en cuyo trabajo se sugiere utilizar como límite “natural” los bordes de las subcuencas por las cuales cruza el trazado actual de la carretera que une las ciudades de Loja y Zamora. La obtención de las subcuencas se la efectuará con la ayuda de herramientas disponibles en los Sistemas de Información Geográfica.

En una primera etapa se pretende generar información temática obtenida de diferentes fuentes. Esta información representa básicamente los factores determinantes y condicionantes a la ocurrencia de procesos de remoción en masa. Estos mapas temáticos son generados y diseñados a través Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Una vez que se ha generado la información base se procede a evaluar la susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la carretera. Para ello será necesario investigar y evaluar las diferentes metodologías existentes y validar su aplicación para el caso de estudio objeto de esta tesis.

CAPITULO II: CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 UBICACIÓN Y ACCESOS

La carretera atraviesa las provincias de Loja y Zamora, tiene una longitud aproximada de 55 kilómetros y une las parroquias de Loja, Sabanilla, Ibana (la Victoria de Ibana) y Zamora (*Figura No. 1*). El trazado original de la vía fue modificado debido a la ocurrencia de procesos de remoción en masa.

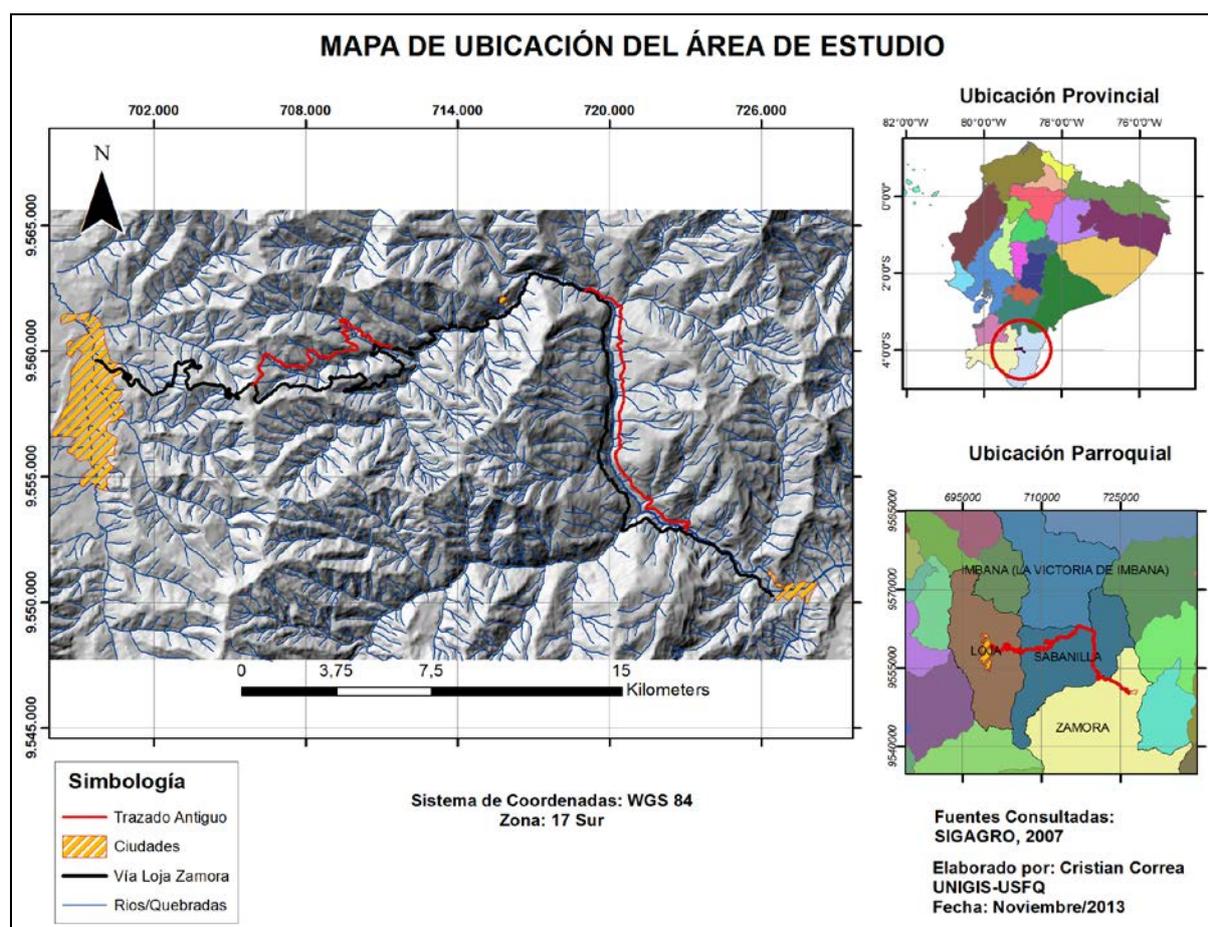


Figura No. 1: Ubicación del área de estudio (MED generado a partir de curvas de nivel a escala 1:50.000, IGM).

En la *Figura No.1*, las líneas en color rojo representan el trazado antiguo de la carretera. Actualmente el trazado antiguo que se encuentra en la provincia de Zamora suele ser usado como vía alterna cuando por la ocurrencia de procesos en remoción en masa se obstaculiza la vía principal que une ambas poblaciones.

2.2 MORFOLOGÍA

La carretera Loja-Zamora en su inicio atraviesa por la parte más oriental de la Cuenca de Loja. A medida que se avanza hacia el este, la morfología cambia a una zona de premontana que se constituye en el límite oriental de la cuenca sedimentaria y que se caracteriza por relieves con pendientes suaves, muestran localmente desfiladeros en contrapendiente originados por una combinación de procesos endógenos y exógenos (Abad, 2006).

Gradualmente, manteniendo el mismo rumbo, se produce un nuevo cambio morfológico a una zona de montaña que constituye las estribaciones de la Cordillera Real con alturas de hasta 3400 m.s.n.m. La mayor parte de las quebradas que nacen en esta zona alimentan los ríos principales existentes dentro del área de estudio. A medida que se avanza con dirección a la ciudad de Zamora, el relieve abrupto cambia a un relieve más bien moderado con elevaciones que alcanzan los 2.850 m.s.n.m.

Cabe señalar que en la zona de contacto entre rocas sedimentarias de la Cuenca de Loja y rocas metamórficas de la Cordillera Real (UTM: 703127-9559503, kilómetros 6.5 aproximadamente) se produce un notorio cambio morfológico (*Figura No. 2*) que se manifiesta en un relieve con pendientes fuertes y lomas orientadas en sentido N-S (Correa, 2007).

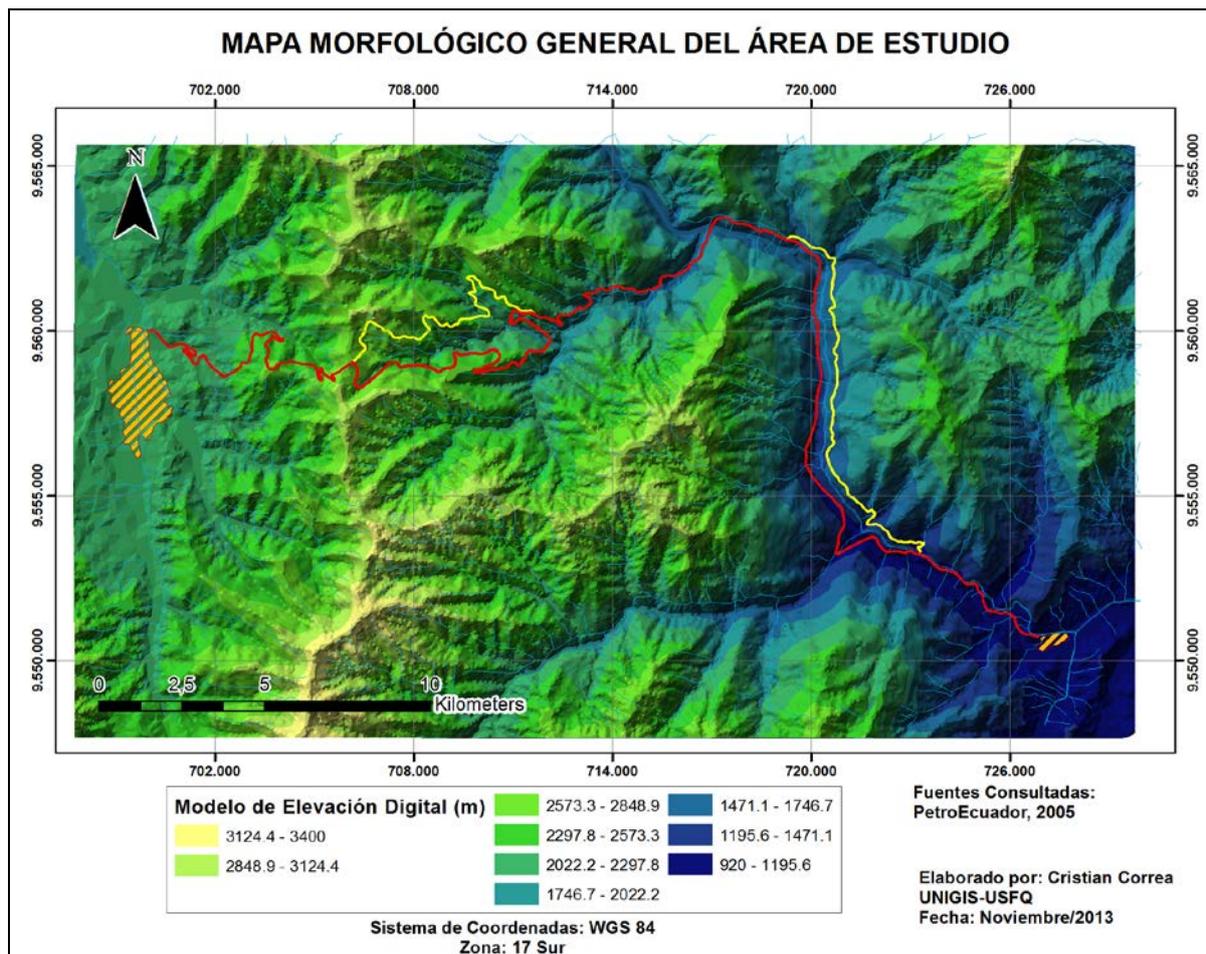


Figura No. 2: Mapa de Elevación del área de estudio (MED generado a partir de curvas de nivel a escala 1:50.000, IGM). Las líneas en amarillo representan el trazado antiguo de la vía.

Según la información recopilada, se destaca una geomorfología compuesta por relieves montañosos y escarpados, colinas, terrazas, vertientes, taludes de derrubios y laderas coluviales (INFOPLAN, 2005). En la unidad geomorfológica correspondiente a relieves escarpados y montañosos es donde se ubica la mayor parte del trazado actual de la carretera Loja-Zamora (**Figura No. 3**).

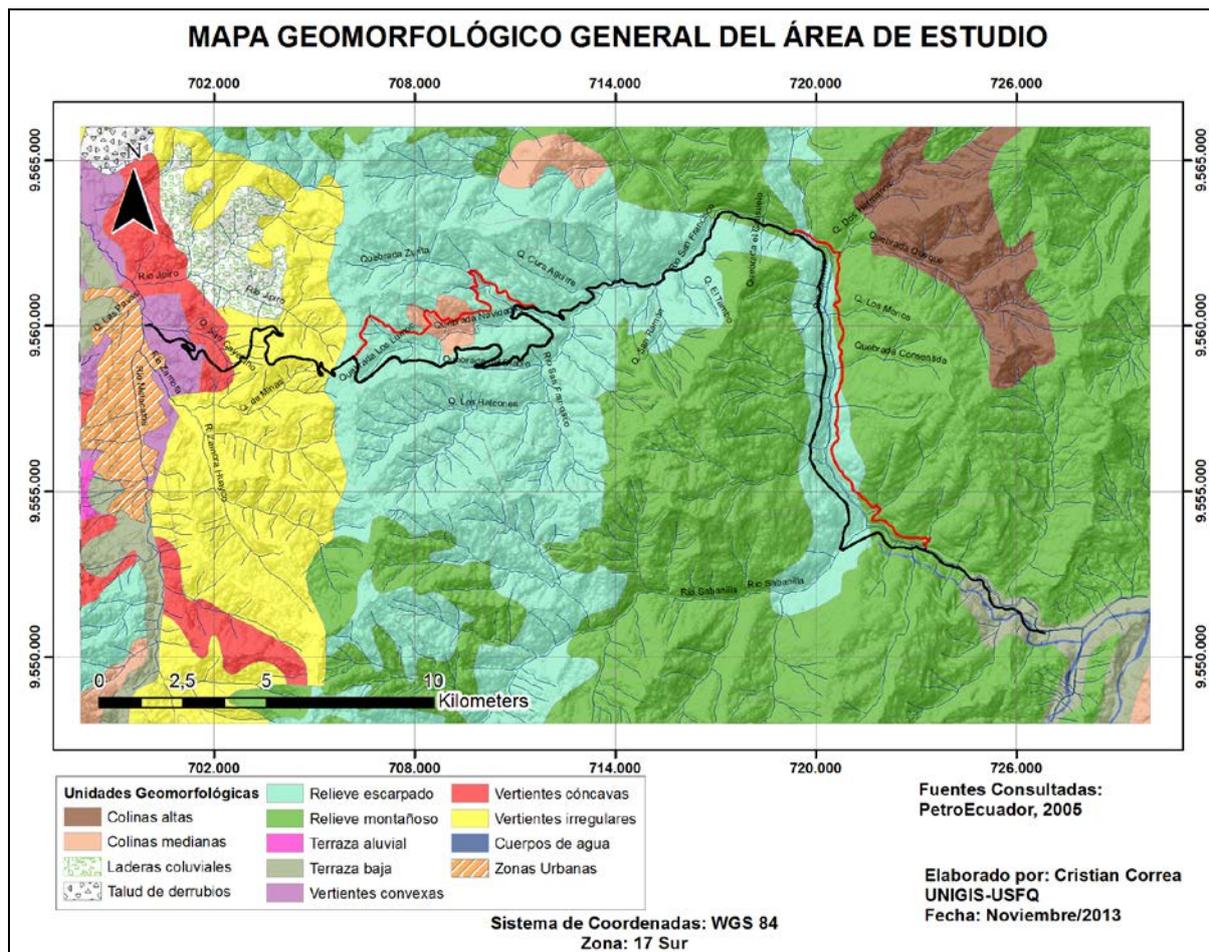


Figura No. 3: Mapa Geomorfológico del área de estudio (MED generado a partir de curvas de nivel a escala 1:50.000, IGM). Las líneas en color rojo representan el trazado antiguo de la vía.

2.3 HIDROGRAFÍA

Los afluentes hídricos principales dentro del área de estudio son los ríos Malacatos y Zamora. La red hídrica de la Cuenca de Loja, donde se incluyen las microcuencas de los ríos Jipiro y Malacatos, presenta gradientes variables entre 6° a 24° aproximadamente configurando en conjunto una red de tipo rectangular con direcciones S-N y SE-NO. El gradiente aumenta paulatinamente a medida que nos acercamos a las estribaciones de la cordillera. En el límite de la Cuenca de Loja, hacia el este, se han desarrollado microcuencas pertenecientes a los ríos San Francisco, Sabanilla, Zamora entre otros (**Figura No. 4**).

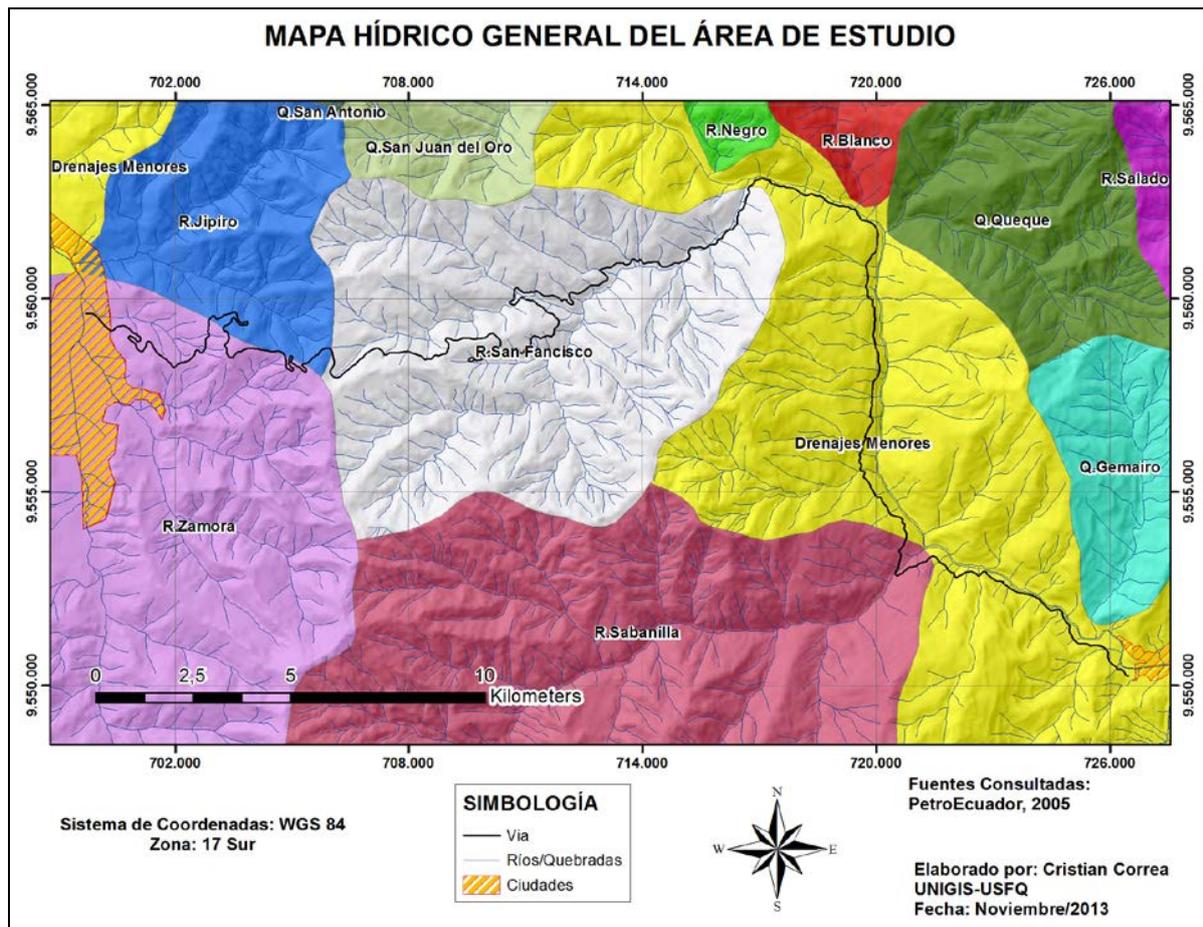


Figura No. 4: Mapa Hídrico de la zona de estudio (nombres de las microcuencas tomadas de INFOPLAN, 2012)

2.4 HIDROGEOLOGÍA

La hidrogeología de la zona de estudio, según las fuentes consultadas, caracteriza al área de estudio con permeabilidades entre medias a altas (*Figura No. 5*). La mayor parte de la zona por donde cruza la carretera objeto del presente estudio se caracteriza por afloramientos rocosos, en su mayor parte impermeables. Debe señalarse, sin embargo, que debido al grado de fracturamiento de las rocas se puede encontrar rocas con permeabilidades media debida principalmente a la fisuración.

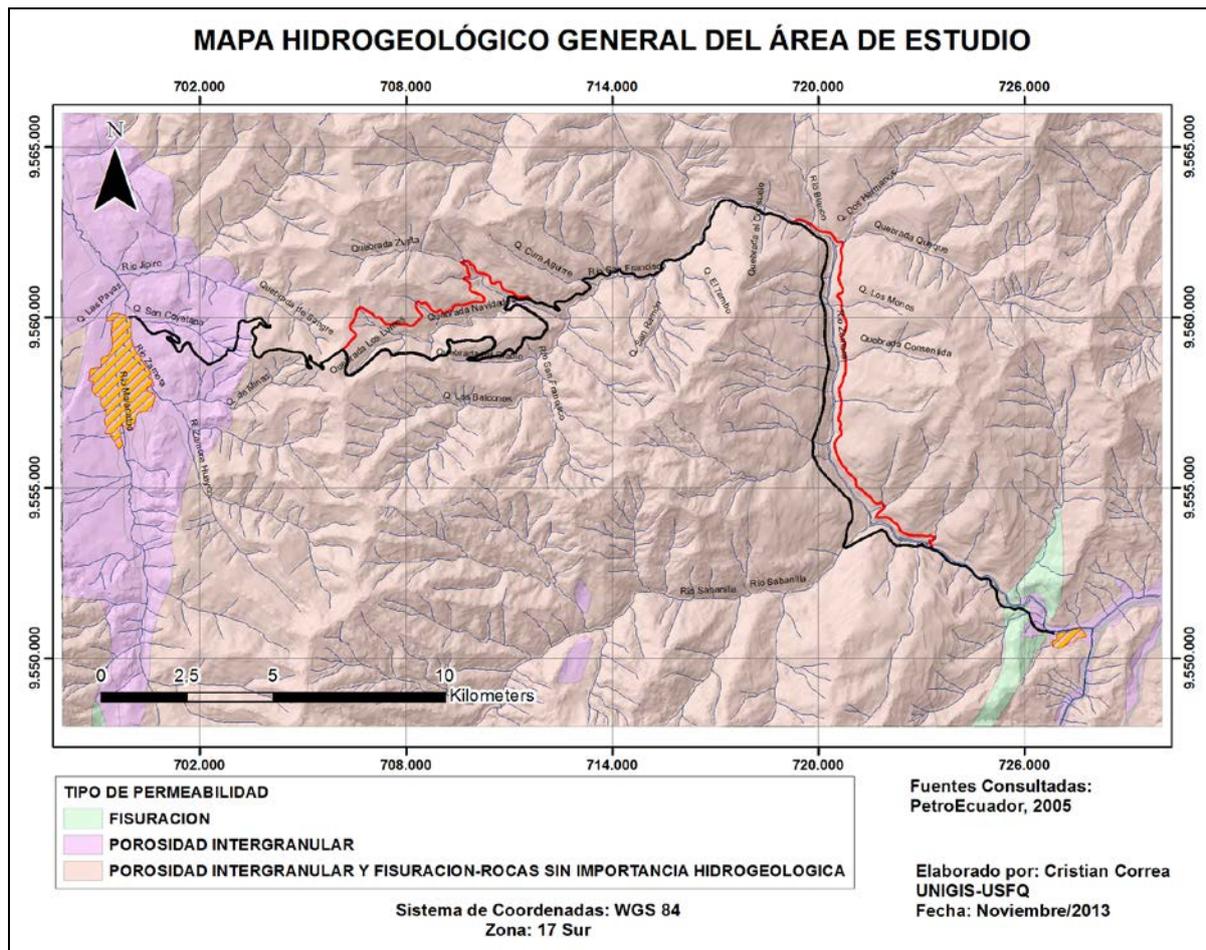


Figura No. 5: Mapa Hidrogeológico de la zona de estudio (nombres de las microcuencas tomadas de INFOPLAN, 2005)

2.5 COBERTURA VEGETAL (USO DEL SUELO)

La mayor parte del área que cruza la carretera atraviesa zonas con bosque natural perteneciente al Parque Nacional Podocarpus. Un porcentaje importante de suelo es utilizado como pastos naturales en las cercanías de la carretera. La zona correspondiente a la Cuenca de Loja se identifica cultivos indiferenciados principalmente (*Figura No. 6*).

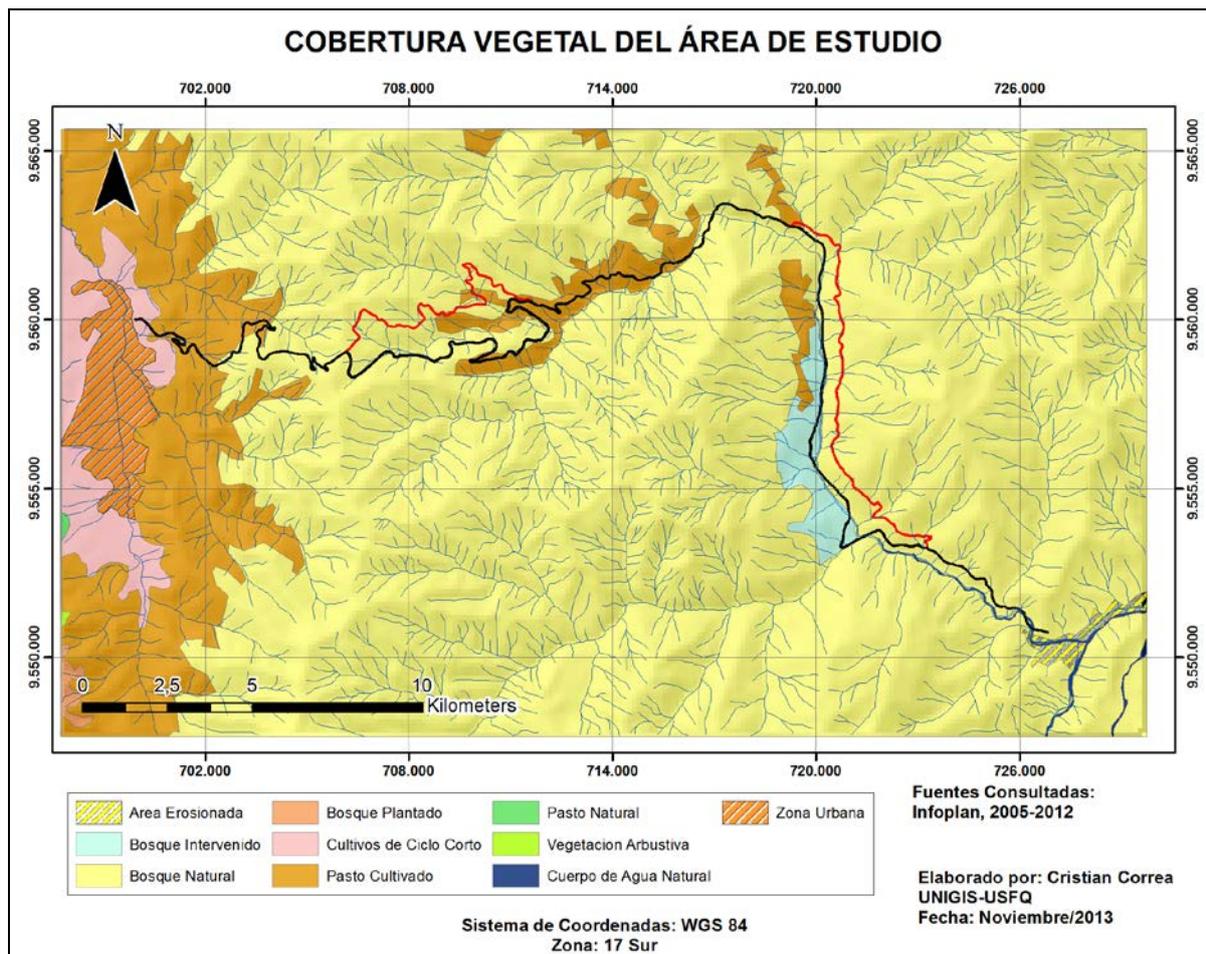


Figura No. 6: Cobertura vegetal de la zona de estudio (INFOPLAN, 2012)

2.6 CLIMA, TEMPERATURA Y PRECIPITACIONES

2.6.1 CLIMA

En el área donde se ubica actualmente la carretera Loja-Zamora tiene esencialmente dos tipos de climas: Ecuatorial Mesotérmico Semi-húmedo y Tropical Megatérmico Húmedo. Se debe indicar que hacia el Sur de la zona de estudio se tiene un clima clasificado como Ecuatorial de Alta Montaña (*Figura No.7*).

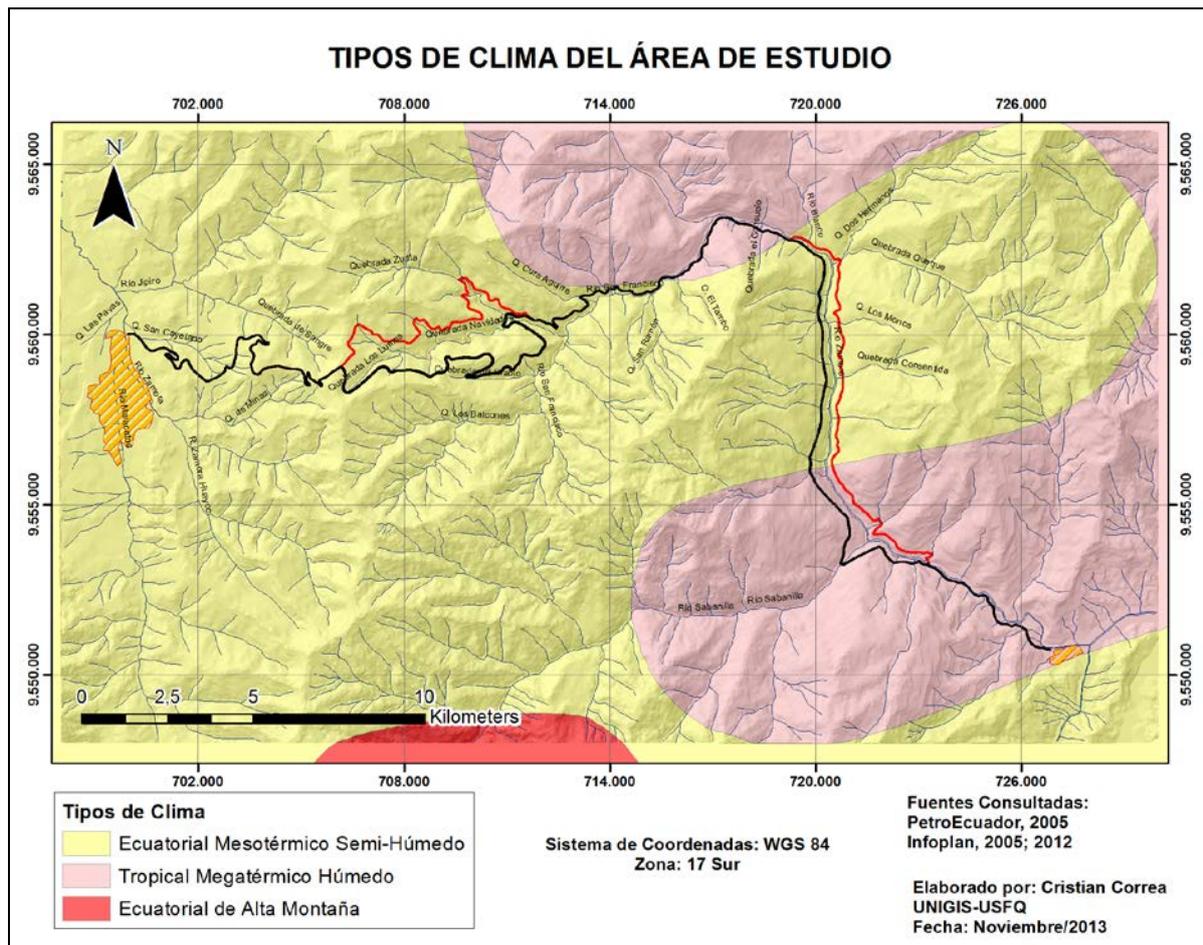


Figura No. 7: Tipos de clima de la zona de estudio (INFOPLAN, 2012)

2.6.2 TEMPERATURA

La temperatura que se reporta para el área de estudio tiene rangos que van desde 12°C a 20°C (Figura No. 8). Las temperaturas más bajas se presentan en los alrededores de la Cuenca de Loja, mientras que, las más altas se reportan en las cerca de la ciudad de Zamora.

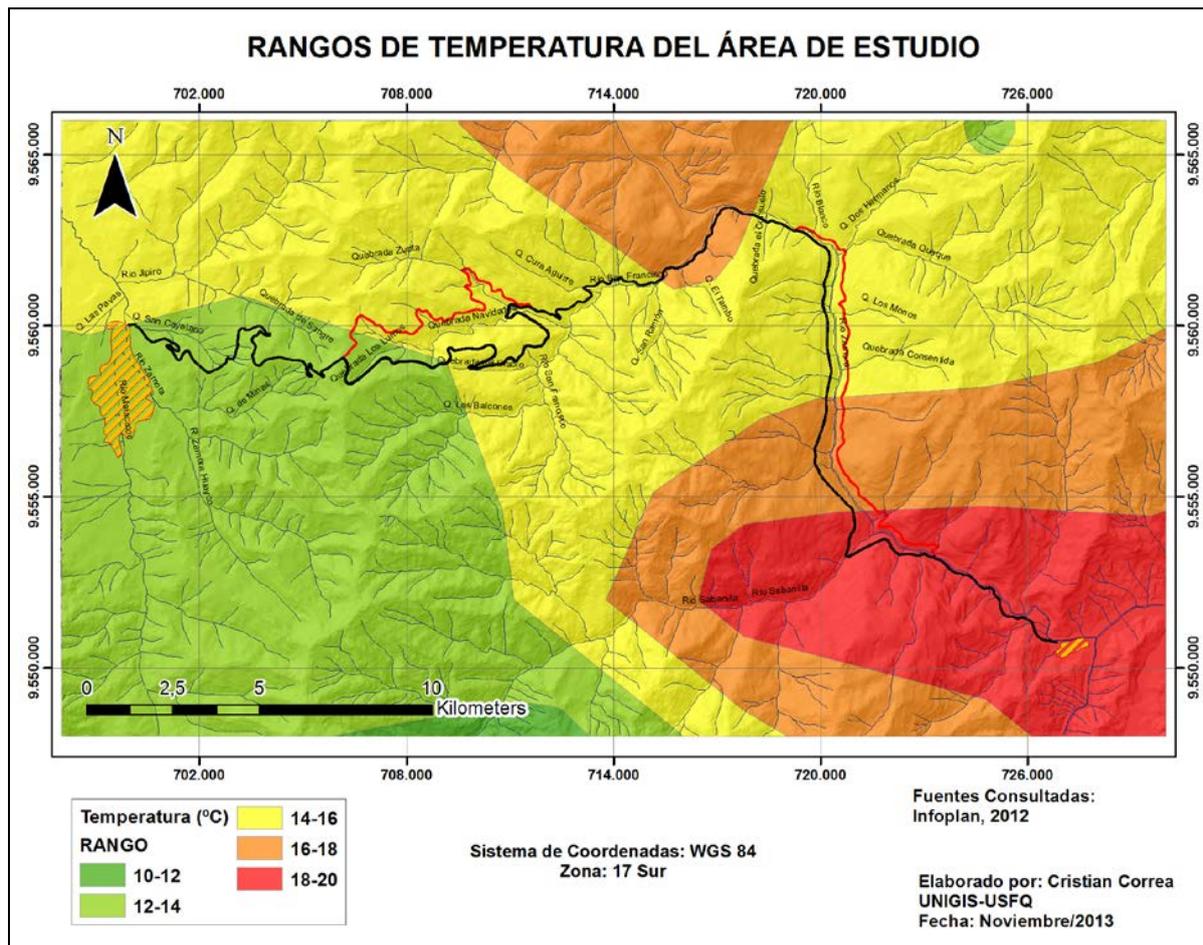


Figura No. 8: Rangos de temperatura media de la zona de estudio (INFOPLAN, 2012)

2.6.3 PRECIPITACIONES

Al igual que en el caso de la temperatura, el área de estudio presenta un rango variado en cuanto a precipitaciones se refiere; éstos rangos van desde 1000 a 3000 mm (*Figura No. 9*). Los valores de precipitación, según se observa, aumentan gradualmente de Este a Oeste.

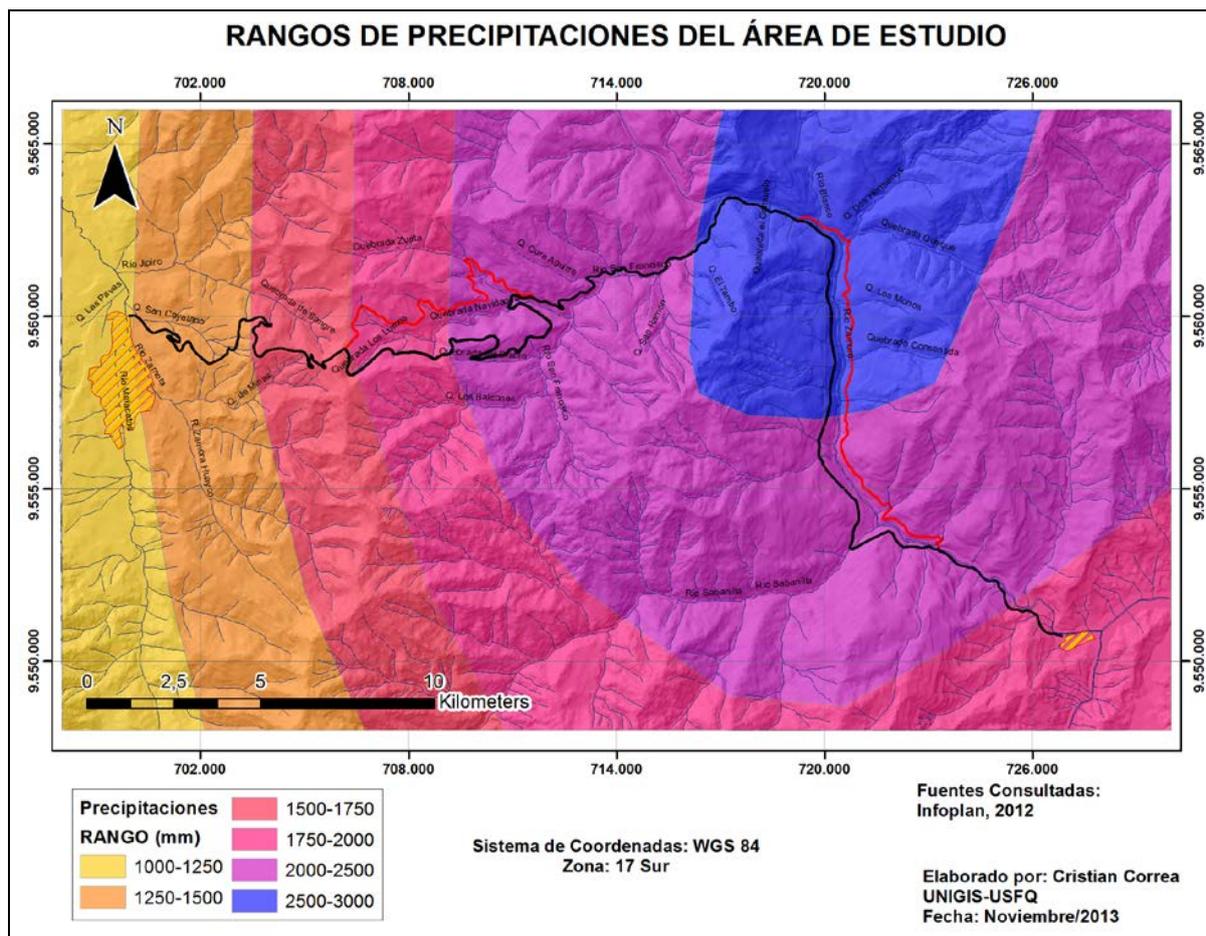


Figura No. 9: Rangos de precipitaciones de la zona de estudio (INFOPLAN, 2012)

2.7 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN TEMÁTICA RECOPIADA

Al efectuar un breve análisis de ocurrencia de procesos de remoción en masa a lo largo de la vía y relacionarlo con la información recopilada en esta etapa del estudio se pueden generar las siguientes conclusiones:

- La mayor parte de los procesos de remoción en masa se ubican en la unidad geomorfológica correspondiente a relieves escarpados
- En la cuenca del Río San Francisco es donde se observa una importante ocurrencia de procesos de remoción en masa
- Desde el punto de vista hidrogeológico la mayor parte de la vía se ubica en material con porosidad intergranular y porosidad por fisuración. Esta última se produce debido al factores de tipo geológico-estructural

- El trazado actual de la vía atraviesa bosques naturales. Una parte de la vía en donde se presentan de manera continua procesos de remoción en masa se ubica en una zona donde se presentan pastos cultivados.
- Finalmente, al considerar el mapa de precipitaciones y relacionarlo a la presencia de procesos de remoción en masa, se puede inferir la existencia de una relación entre la cantidad de precipitación y la generación de este tipo de procesos, es así que en la cuenca de Loja, en los primeros kilómetros de la vía se tiene una baja incidencia de deslizamientos y es aquí donde se reportan rangos de precipitaciones inferiores a los 1500 milímetros. De otro lado, avanzando con dirección a Zamora se incrementan los valores de precipitación y así mismo la ocurrencia de flujos y avalanchas de detritos aumenta.

El uso de los SIG para el procesamiento y presentación de la información recopilada permite llevar a cabo un análisis general del tipo de información con el que se cuenta y en el caso de la evaluación de la susceptibilidad, permite tener una primera noción de qué factores deberían ser considerados para la obtención de la susceptibilidad. Para este trabajo queda establecido que entre los factores que necesariamente deben ser incluidos para la zonificación del área de estudio son el relieve, la cobertura vegetal y precipitaciones.

A continuación se presenta la caracterización geológica regional y local de la vía Loja-Zamora y sus alrededores. Como se verá más adelante la geología se constituye en un factor condicionante frente a la generación de procesos de remoción en masa por lo cual su ponderación para el análisis de susceptibilidad debe efectuarse con una metodología apropiada tomando en consideración las observaciones obtenidas a partir de un trabajo de campo dentro del área de interés.

2.8 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

En lo que hace referencia al marco geológico regional, la información recopilada permite establecer básicamente dos secuencias de rocas sedimentarias y metamórficas aflorando a lo largo del trazado de la vía. Las rocas sedimentarias afloran aproximadamente hasta los 6.5 kilómetros y posteriormente se tienen rocas metamórficas e intrusivas (*Figura No.10*).

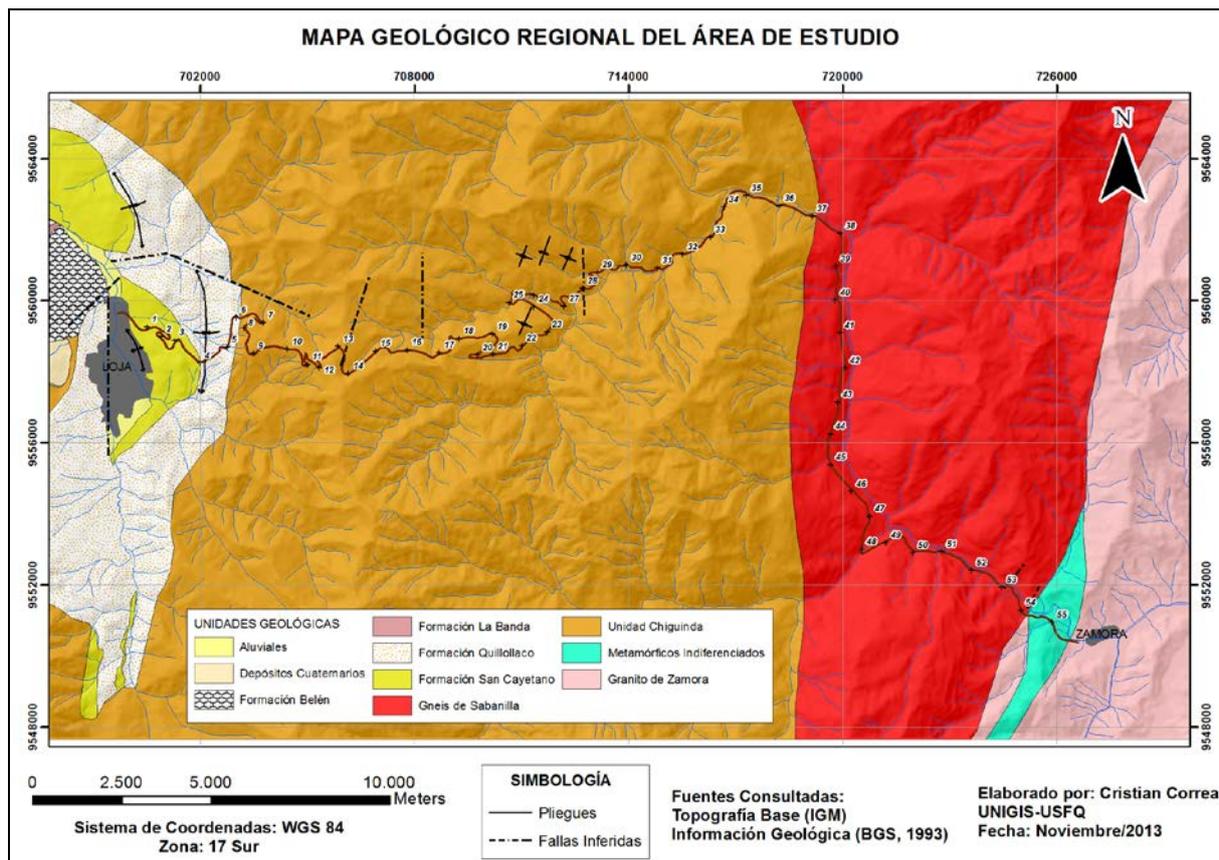


Figura No. 10: Contexto Geológico regional de la zona de estudio

2.8.1 UNIDADES SEDIMENTARIAS

Las formaciones aflorantes al inicio del trazado de la carretera Loja-Zamora corresponden a las unidades sedimentarias pertenecientes a las formaciones San Cayetano y Quillolaco mismas que están conformadas por rocas de ambiente fluvio-lacustre y abanicos aluviales respectivamente, pertenecientes a la Cuenca de Loja.

2.8.1.1 FORMACIÓN SAN CAYETANO (Kennerley J.B., 1973; Hungerbühler et. al., 2002)

Esta formación recibe su nombre del Pueblo de San Cayetano ubicada aproximadamente al Este del Río Zamora, en la Ciudad de Loja. Su litología define esencialmente un ambiente de fluvial a lacustre. La Formación San Cayetano se encuentra bastante plegada (deformada) y descansa discordantemente sobre rocas metamórficas de la Unidad Chigüinda y esta sobreyacida en discordancia angular por la Formación Quillolaco. Se estima un espesor de al menor 800 metros.

Litológicamente se compone de areniscas de grano fino, lutitas calcáreas y silíceas, brechas, intercalaciones de diatomitas, conglomerados y carbón. La presencia de estratificación cruzada y los denominados “ripples” en las areniscas permiten establecer que la depositación de esta formación se produjo en un ambiente con presencia de agua agitada de poca profundidad. Estratos de lutitas silíceas, blanquecinas forman varios escarpes visibles en la parte media y hacia el Norte de la Cuenca de Loja. El carbón existente es clasificado como sub-bituminoso a lignito.

Estudios recientes (Hungerbühler et. al., 2002) detallan la presencia de tres miembros que conforman a esta formación:

- Miembro Arenisca Inferior: este miembro se compone de areniscas gruesas, conglomerados del tipo canalizados y en menor cantidad lutitas y varias vetas de carbón.
- Miembro Limolita: este miembro se compone de lutitas canalizadas laminadas de color café, gris, y blanco, capas de diatomitas y algunos horizontes piroclásticos. Se reportan además capas (dos) de brechas con potencias entre 3 a 5 metros.
- Miembro Limolita Superior: compuesta de areniscas de grano mucho más fino que el Miembro Arenisca Inferior y muestra una tendencia grano creciente.

Estratos de conglomerados ocurren a la base de la formación San Cayetano y forman crestas paralelas muy prominentes que han sido fuertemente inclinados debido al plegamiento.

2.8.1.2 FORMACIÓN QUILLOLLACO (Kennerley J.B., 1973; Hungerbühler et. al., 2002)

Aflora principalmente en el lado oriental de la Cuenca de Loja y se extiende hacia el Sur de ésta. Se compone de conglomerados soportados por clastos bien redondeados de hasta 30 centímetros de filita, cuarcita, esquisto sercítico, riolitas, cuarzo de vetas dentro de una matriz de arena. Hacia el sur de la cuenca forma una topografía muy irregular siendo muy llamativo el color amarillo-naranja de los pilares de erosión que se forman.

La Formación Quillollaco se conforma por secuencias gruesas de abanicos aluviales con varias intercalaciones de brechas. La dirección de transporte del material se asume de Este a Oeste debido a lo abrupto de material fuente proveniente de la Cordillera Oriental (Real).

2.8.2 UNIDADES DEL BASAMENTO

2.8.2.1 UNIDAD CHIGÜINDA

Esta unidad cubre la mayor parte del trazado actual de la vía Loja-Zamora. Su litología característica la componen cuarcitas de grano medio a fino, filitas negras, pizarras y esquistos, principalmente. Se desconoce su espesor pero se estima que podría medir algunos kilómetros. Regionalmente esta unidad forma un cinturón de hasta 30 kilómetros de ancho en la parte sur de la Cordillera Real y se encuentra en contacto tectónico con la Unidad Gneis de Sabanilla.

La unidad se encuentra deformada por lo que es común la presencia de pliegues (tipo isoclinales) suavemente inclinados y horizontales. En algunos sitios es posible ver también crenulaciones. Se le ha asignado una edad Paleozoica (Aspden y Litherland, 1992). Estas rocas conforman el basamento de las Cuencas de Loja y Malacatos.

2.8.2.2 UNIDAD GNEIS DE SABANILLA

Se compone de un grupo de gneises de edad Paleozoica-Triásica que conforman regionalmente un cinturón de hasta 10 km de ancho desde el límite fronterizo con el Perú hasta 150 km hacia el norte. La localidad tipo está cerca de Sabanillas, justamente en la ruta Loja-Zamora. Se encuentra en contacto tectónico con la Unidad Chigüinda e Isimanchi (Litherland, 1994)

2.9 MARCO SISMO-TECTÓNICO REGIONAL

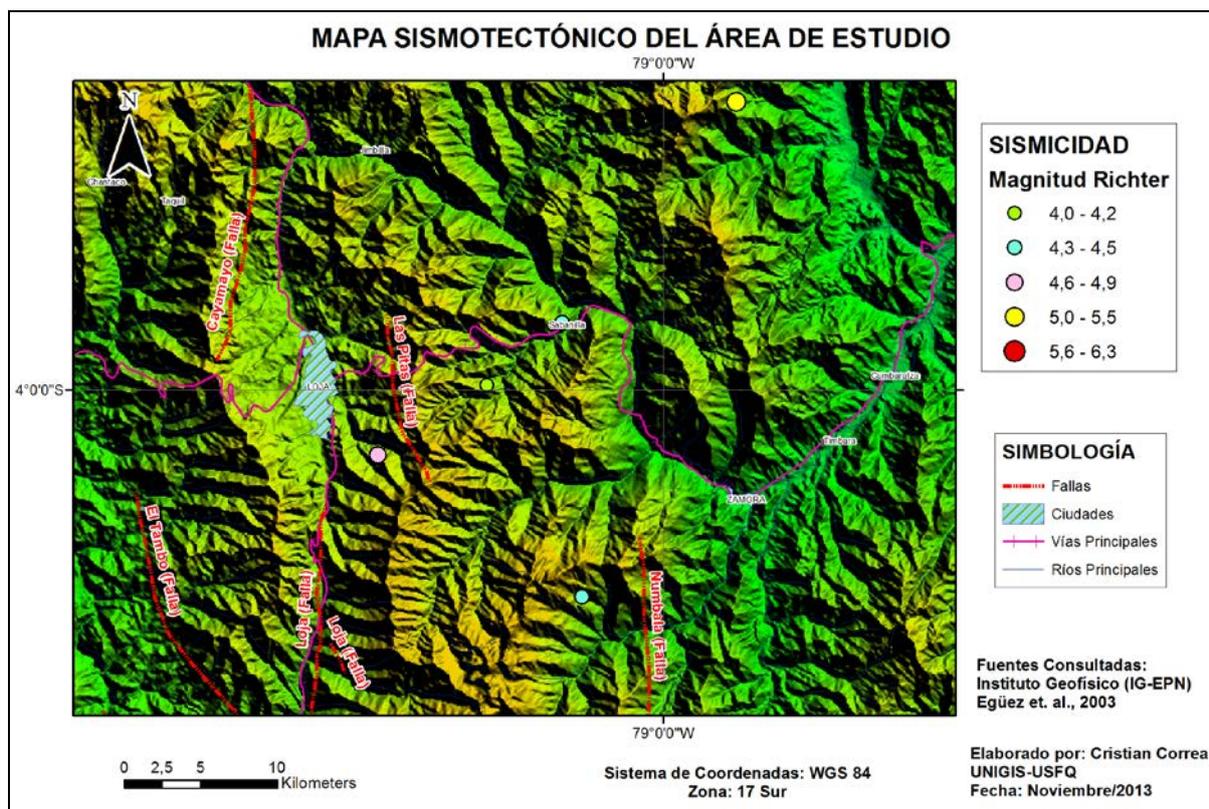


Figura No. 11: Contexto sismo-tectónico regional de la zona de estudio (Imagen SRTM, 90m de resolución)

En cuanto al contexto sismo-tectónico se puede indicar que en función de la información recolectada la zona de estudio tiene una actividad sísmica moderada conformada por un sistema transcurrente dextral normal austral (DNDC-ESPE, 1991). Lo que tiene relación a sistemas de fallas, la mayor parte tienen direcciones preferenciales N-S (Egüez, 2003). Los principales sistemas identificados de Oeste a Este son los que se detallan en la tabla siguiente:

CODIGO	NOMBRE	OBSERVACION
EC-84	Catamayo	Falla Inversa
EC-85	Las Pitas	-
EC-86	El Tambo	Falla Inversa
EC-87	Loja	Falla Inversa
EC-90	Numbala	Falla Inversa, Tiene dos secciones

Tabla No. 3: Fallas cuaternarias existentes en los alrededores del área de estudio (Egüez, 2003)

Lo que se puede señalar además es que históricamente se reportan para la zona de estudio sismos con magnitudes entre 4,3 a 4,9 en la escala de Richter (*Figura No. 11*).

2.10 MARCO GEOLÓGICO LOCAL

La descripción de la geología local se la hace en base al trabajo realizado por Correa (2007) y que corresponde al trabajo de campo llevado a cabo a lo largo de la carretera Loja-Zamora.

2.10.1 ROCAS SEDIMENTARIAS

2.10.1.1 FORMACIÓN SAN CAYETANO

En función de la clasificación realizada por Hungerbühler (2002), en la carretera afloran los tres miembros propuestos hasta el kilómetro 4.5 aproximadamente. Al inicio de la vía se aprecia son areniscas de grano grueso en donde son visibles clastos de rocas metamórficas y cuarzo de veta subredondeados con tamaño promedio de 4mm. Aproximadamente en el kilómetro dos y medio se tienen afloramientos compuestos por lutitas color crema y café oscuro (oxidación y meteorización); se caracterizan por presentar plegamientos y fracturamientos. Los taludes de corte que se tienen a lo largo de la vía presentan localmente caídas de fragmentos de roca (Correa, 2007). Esta litología corresponde al denominado Miembro Limolita (Hungerbühler, 2002).

Datos estructurados presentados por Correa (2007) indican estratificaciones con direcciones preferenciales N-S buzando 63° al Este. En este mismo trabajo se establece que los procesos de remoción en masa característicos para esta formación son deslizamientos de tipo rotacional. Los taludes en los costados de la vía presentan caídas de fragmentos de roca (lutitas/limolitas) principalmente por acción del agua de escorrentía. Se reporta la formación de suelos con potencias variables entre 25 a 40 centímetros aproximadamente.

2.10.1.2 FORMACIÓN QUILLOLLACO

La información recopilada señala que esta formación aflora desde el kilómetro 4 hasta el 6 de la vía Loja-Zamora (*Fotografía No. 1*). La característica en el relieve de esta formación es la ocurrencia de cuchillas de dirección preferencial N-S. Estas unidades morfológicas se componen por alternancias entre estratos de conglomerados y areniscas gruesas con potencias promedio de 2 metros. En el caso de los conglomerados se tienen clastos de composición metamórfica y con diámetros promedio de 30 centímetros incluidos dentro de una matriz

compacta de composición arcillo-limosa. Las areniscas se presentan compactas y son de grano grueso con espesores de hasta un metro aproximadamente.

En lo que respecta a datos estructurales, Correa (2007), señala estratificaciones con rumbos NE y NO buzando al NO y SO, respectivamente con ángulos no mayores a 30° grados. De igual manera, se señala que esta formación, para la vía Loja-Zamora, se encuentra afectada por fallas regionales.

En lo que concierne al tema de procesos de remoción en masa (*Fotografía No. 2*) en esta formación se indica la ocurrencia de deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales y localmente caídas de detritos provenientes de los estratos de conglomerados (Correa, 2007).

2.10.2 ROCAS METAMÓRFICAS

2.10.2.1 UNIDAD CHIGÜINDA

Afloramientos de esta unidad se reportan desde el kilómetro 6.5 a 37 de la vía Loja-Zamora. La Unidad Chigüinda se sobrepone en contacto discordante para el área de estudio.

Litológicamente esta unidad se compone de alternancia de rocas metamórficas entre las cuales se puede incluir esquistos, filitas grafiticas y cuarcitas. Muchas de estas secuencias se encuentran plegadas y localmente falladas. Una de las principales características en esta unidad es la formación de suelos residuales de espesores que pueden llegar hasta los 25 metros; los suelos son poco consistentes y en algunos casos con altos contenidos de humedad (MOP, 2001; Correa, 2007).

Los datos estructurales para esta unidad indican foliaciones con rumbos preferenciales N-S buzando 63° al Oeste. Se reportan de igual manera fallas regionales afectando a esta unidad con rumbo preferencial N-S buzando al Este con ángulos variables. Los procesos de remoción en masa (*Fotografías No. 4, 5, 6 y 12*) que se reportan para esta unidad son caídas de rocas, deslizamientos en cuña, deslizamientos rotacionales y traslacionales, flujos y avalanchas de detritos (Correa, 2007).

2.10.2.2 UNIDAD GNEIS DE SABANILLA

La información recopilada (Correa, 2007) para esta unidad señala que aflora desde el kilómetro 37 hasta el kilómetro 54. La Unidad Gneis de Sabanilla forma taludes verticales a

los costados de la vía en donde se pueden observar localmente caídas de bloques de roca. Una de las características litológicas que se pueden indicar para esta unidad es la presencia importante de escombros de pie de talud y suelos de tipo residual. En este tipo de litologías se reportan deslizamientos de tipo rotacional (*Fotografías No. 7 y 8*).

Las rocas pertenecientes a esta unidad se encuentran fracturadas (N64°E/69°SE, E-O/69°N, N49°O/68°NE, N28°O/69°NE) y falladas. Muchas de estas fracturas están rellenas por vetas de cuarzo.

Respecto a las características estructurales la foliación de las rocas pertenecientes a esta unidad se muestran direcciones preferenciales N13°E buzando 79° al NO.

Según Almeida (2006) la foliación no constituye una discontinuidad estructural que afecte la estabilidad del macizo rocoso; se indica además que las rocas de esta unidad expuestas en superficie se presentan poco fracturadas y por esta razón los escarpes rocosos son estables.

2.10.2.3 ROCAS METAMÓRFICAS INDIFERENCIADAS

En los afloramientos que se encuentran a un costado de la vía a unos pocos kilómetros antes de la ciudad de Zamora se observa una zona inestable en donde se tienen lutitas con un alto grado de fracturamiento. Las lutitas son de colores verdosos y grises. Algunos fragmentos de lutitas se encuentran meteorizados tornándose anaranjadas. Debido al grado dureza se infiere que estas rocas han sufrido cierto grado de metamorfismo (*Fotografías No. 9 y 11*).

2.11 ROCAS INTRUSIVAS

2.10.1 BATOLITO DE ZAMORA

Esta unidad se reporta aflorando desde el kilómetro 54 en adelante hasta llegar a la ciudad de Zamora (*Fotografía No. 10*). Para el trazado de la vía lo que se puede observar son esencialmente suelos residuales con espesores entre 3 a 6 metros aproximadamente. Los suelos se caracterizan por sus coloraciones rojizas y tamaños de grano medio a grueso, en algunos casos con fragmentos de roca. En lo que respecta a las condiciones estructurales, datos de foliación obtenidos en algunas rocas pertenecientes al Batolito de Zamora señalan foliaciones con rumbos NO y NE con buzamientos entre 25° a 75° hacia el NE y NO, respectivamente (Correa, 2007).

CAPITULO III: EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

3.1 GENERALIDADES

Al considerar el punto de vista físico se podría concluir que los procesos de remoción en masa se generan como una consecuencia de los “desequilibrios” existentes entre las fuerzas actuantes sobre una masa o superficie de terreno. Todas las fuerzas involucradas actúan de manera simultánea. Algunos autores proponen esencialmente dos tipos de factores que generan procesos de remoción en masa: factores internos y factores externos.

Entre los *factores internos* se deben a su vez considerar características *intrínsecas* y *extrínsecas* del terreno. Las primeras se relacionan a aspectos tales como la litología, granulometría, consolidación y parámetros estructurales como la existencia de discontinuidades. De otro lado, las características extrínsecas hacen referencia a aspectos morfológicos del terreno entre los cuales se pueden señalar cambios en la cobertura vegetal y cambios estacionales de temperatura, por ejemplo. Dentro de los aspectos morfológicos del terreno la pendiente constituye un factor condicionante previo y a partir del cual el resto de factores interactúan y se combinan influyendo en la estabilidad de terreno.

Los *factores externos* básicamente modifican las condiciones naturales del terreno. Es posible incluir tres tipos de acciones: *presencia (infiltración) de agua en el terreno*, *vibraciones* y *modificaciones antrópicas*. Con referencia a la acción de agua es bien conocida la generación de procesos de remoción en masa cuando existen variaciones de los niveles del agua subterránea o se suscitan precipitaciones intensas. Las vibraciones de su parte ocasionan aceleraciones favoreciendo a la rotura del suelo, y dependiendo de las características del terreno pueden provocar procesos de licuefacción. Los sismos, por ejemplo, pueden generar aceleraciones capaces de desencadenar procesos de remoción en masa. Finalmente, la actividad antrópica puede ocasionar el desequilibrio de terrenos y que tienen relación a cambios en la morfología por la introducción de obras civil y procesos que alteran la cobertura vegetal. Se pueden incluir además actividades específicas como la minería que pueden generar procesos de remoción en masa tanto por los cambios morfológicos y el uso de explosivos.

En el presente estudio se utilizó una clasificación más general en la cual los factores que se involucran en la generación de procesos en masa son los factores condicionantes y desencadenantes o detonantes. Los factores condicionantes se definen como aquellos factores naturales o antrópicos que condicionan o contribuyen a la inestabilidad de una ladera (talud), pero que no constituyen el evento detonante del movimiento. Un factor desencadenante o detonante es una acción o evento natural o antrópico, que es la causa directa e inmediata de un movimiento en masa; entre ellos se puede citar sismos, lluvias, excavación o sobrecarga de una ladera o talud (PMA, 2007).

Actualmente, el uso de mapas de zonificación de peligro (amenaza) se orienta principalmente para el ordenamiento territorial y la gestión de emergencias. En este sentido se hace necesaria la utilización de métodos estándares y reproducibles para la evaluación y zonificación de peligros naturales de tal manera que los productos resultantes puedan ser comprobables.

La evaluación de la susceptibilidad se expresa de manera cartográfica resultando en mapas de susceptibilidad mediante la zonificación del terreno. La zonificación no es más que la división del terreno en áreas homogéneas según distintos rangos de susceptibilidad actual o potencial ocasionada por procesos de remoción en masa.

3.2 MÉTODOS DE ANÁLISIS MEDIANTE SIG (GENERALIDADES)

En un inicio, la evaluación de la susceptibilidad mediante SIG utilizaba principalmente técnicas basadas en la superposición de mapas que permite básicamente comparar cada valor de un mapa en una misma posición espacial (pixel o celda). Actualmente con la aparición de operaciones denominadas de vecindad, que consideran las relaciones espaciales del entorno, y con la ayuda de los denominados Modelos Digitales de Elevación (MDE) es posible extraer características morfométricas como pendiente, orientación, líneas de cumbre, divisorias de agua, orden de la red de drenaje, entre otras.

De manera general, se reconocen cuatro métodos utilizados en la evaluación y elaboración de mapas de susceptibilidad a procesos de remoción en masa:

- a) *Métodos Determinísticos*: estos métodos se centran en la determinación de la estabilidad de una ladera (talud) utilizando como información de entrada ensayos de laboratorio (suelos-roca) los cuales son utilizados para el cálculo del factor de seguridad (FS) de la ladera o talud. El fundamento de estos métodos son la evaluación del así denominado

Equilibrio Límite y se lo resuelve mediante la utilización de Métodos Numéricos. Se trata de métodos con un grado alto de fiabilidad con el inconveniente de su poca practicidad para zonificaciones rápidas y en áreas relativamente extensas.

- b) *Métodos Heurísticos*: este tipo de métodos se basa en la identificación de aquellos factores que producen la inestabilidad en el terreno (área) objeto de la investigación. Una vez establecidos los factores condicionantes y desencadenantes de inestabilidad, se los pondera (categoriza) según su importancia para la generación de procesos de remoción en masa. Dependiendo de la experiencia del equipo encargado de efectuar el proceso de ponderación los resultados obtenidos puede tener cierto grado de subjetividad y en ocasiones el resultado puede ser distinto en función de la experiencia del técnico que se encuentre al frente.
- c) *Métodos Probabilísticos*: los métodos probabilísticos se basan en las relaciones observadas entre cada factor que interviene en la ocurrencia de procesos de remoción en masa y su distribución presente-pasada. Su utilización implica información tanto cuantitativa como cualitativa en un volumen importante y en donde es factible aplicar métodos univariantes y multivariantes. Como se puede evidenciar en este caso la principal ventaja es la objetividad del método. Los resultados que se puedan obtener están en función de la cantidad y la calidad de los datos adquiridos siendo un inconveniente el costo de la obtención y generación de datos.
- d) *Métodos Geomorfológicos*: estos métodos se basan en la determinación de la inestabilidad de laderas y taludes utilizando técnicas geomorfológicas, cartográficas y por zonificación. El producto resultante tiene validez dependiendo de la experiencia del geomorfólogo (geólogo) por lo que siempre existirá cierto grado de subjetividad en los resultados generados.

3.3 EVALUACIÓN DE INFORMACIÓN MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

En este capítulo se presentan un análisis general de la información disponible para la evaluación de la susceptibilidad utilizando las funciones y aplicaciones existentes en el ESRI®ArcMap 10.1, entre otros. Se muestran los productos generados a partir de las herramientas existentes y su utilidad al momento de llevar a cabo un análisis de

susceptibilidad a procesos de remoción en masa con la información usualmente disponible en el medio.

3.3.1 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES

La utilización de fotografías aéreas y en la actualidad el fácil acceso a imágenes satelitales permite al usuario obtener una primera aproximación de las condiciones morfológicas regionales/locales de una zona en particular. Las herramientas SIG facilitan el procesamiento de esta información por lo que es posible contar con un conocimiento de las condiciones de cobertura vegetal, aspecto geológicos-estructurales y en general cambios por actividades de tipo antrópica.

3.3.1.1 CLASIFICACION SUPERVISADA

En una fase de evaluación de las herramientas SIG disponibles se decidió efectuar una clasificación supervisada con el objetivo de contar con una primera discriminación o zonificación indirecta del área de estudio, haciendo énfasis en aquellos sitios donde se reportan procesos de remoción en masa. Para esta última tarea se consideraron los mapas de inventario de procesos de remoción en masa generados a partir de la interpretación de fotografías aéreas de los años 1976, 1989 y 1998 a escala 1:60.000 (IGM).

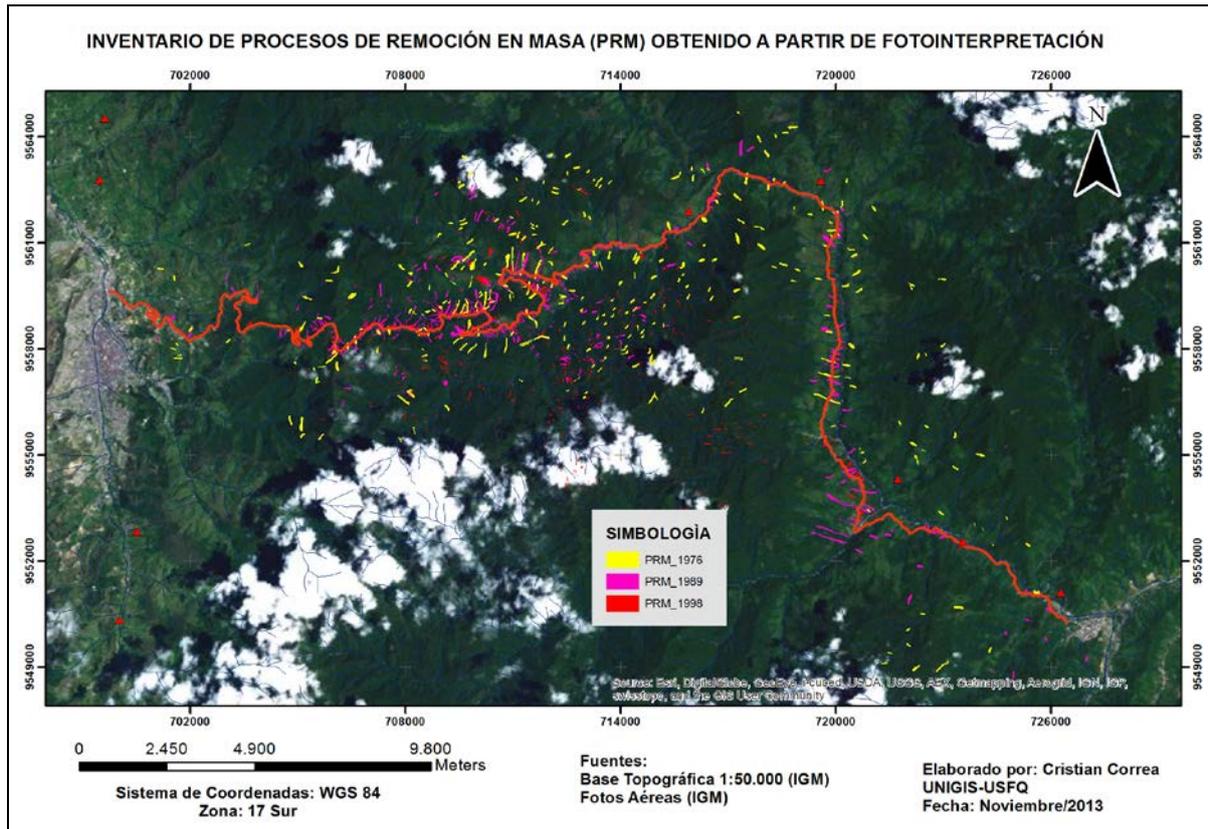


Figura No. 12: Mapa de inventario procesos de remoción en masa existentes dentro del área de estudio

En un primer ensayo se optó por utilizar imágenes de tipo Landsat la cual se obtuvo mediante el software Global Mapper (v 13.2.2).

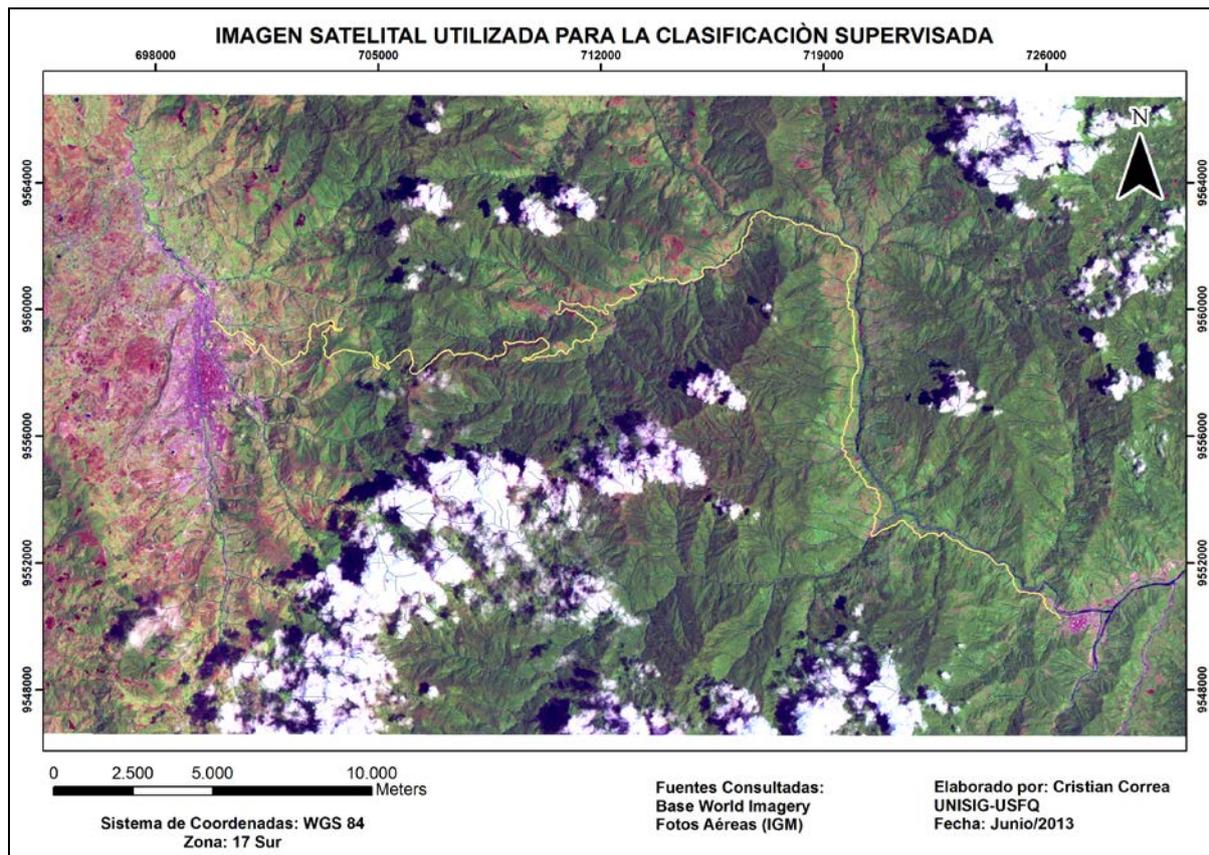


Figura No. 13: Imagen Satelital utilizada para el proceso de clasificación supervisada

Una vez seleccionada el área de trabajo se procedió de la siguiente forma:

- A. Selección de Imagen Satelital: Landsat7 Global Imagery Mosaic (Pseudo-Color, Pan-Sharpned), 15 metros de resolución espacial.
 - B. Clasificación Supervisada: mediante el Arc Toolbox se procede a efectuar el proceso de clasificación supervisada
- 📌 Creación de tabla tomando en consideración 6 clases que se pueden observar en la imagen:
1. Obras Civiles.- incluyen vías, edificaciones, etc.
 2. Ríos/Quebrada.- fuentes hídricas
 3. Vegetación Primaria.- Arboles principalmente
 4. Pastos.- sitios usualmente utilizados para ganadería y que han perdido la cobertura vegetal primaria
 5. Zonas susceptibles a procesos de remoción en masa
 6. Nubes
- 📌 Spatial Analyst Tools→Multivariate→Create Signatures

Mediante este procedimiento se genera una firma de las diferentes clases existentes. En este caso como se señaló en el punto anterior se crearon seis (6) diferentes clases. En la siguiente **Figura No. 14** se aprecia los diferentes puntos seleccionados. Se contabilizaron un total de 436 puntos para la creación de las firmas correspondientes.

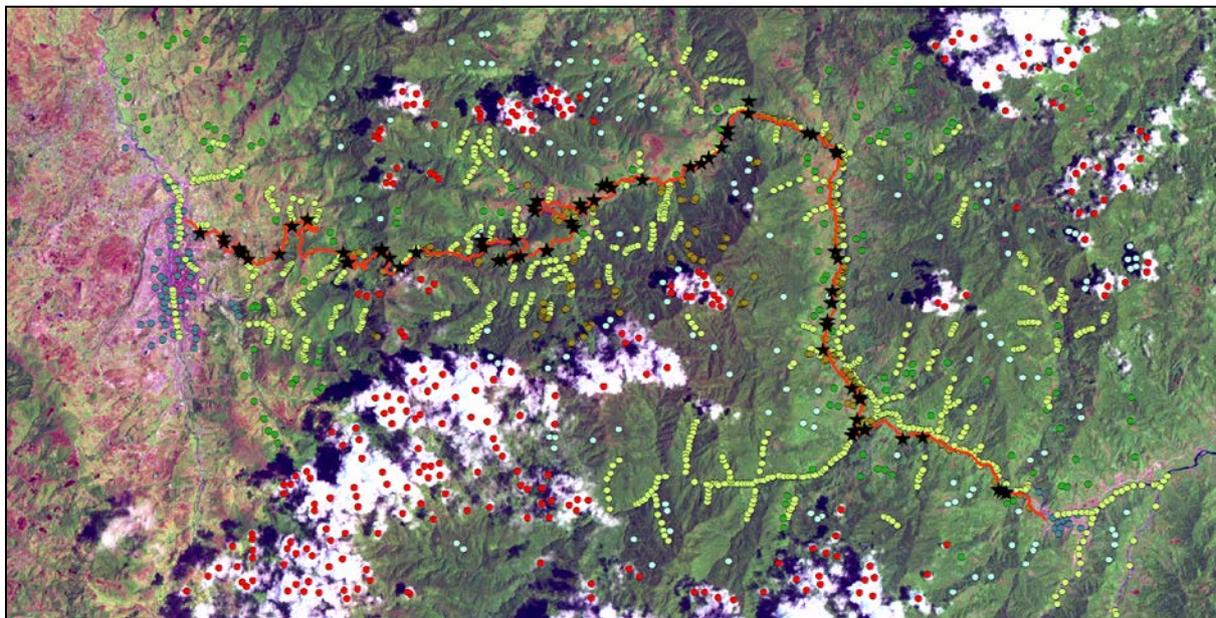


Figura No. 14: Determinación de clases sobre la imagen satelital. Las estrellas en color negro representan los puntos levantados mediante GPS a lo largo de la vía Loja-Zamora. Los círculos en colores representan las clases seleccionadas mediante el SIG para la correspondiente supervisión clasificada.

A través de un trabajo de campo a lo largo de la vía en donde se hizo énfasis a la identificación de procesos de remoción en masa y cuya información fue incorporada a la clasificación supervisada.

📍 Spatial Analyst Tools→Multivariate→Maximum Likelihood Classification

Una vez que se han obtenido las firmas para cada clase es posible entonces generar el mapa de clasificación supervisada según se muestra en la **Figura No. 15**.

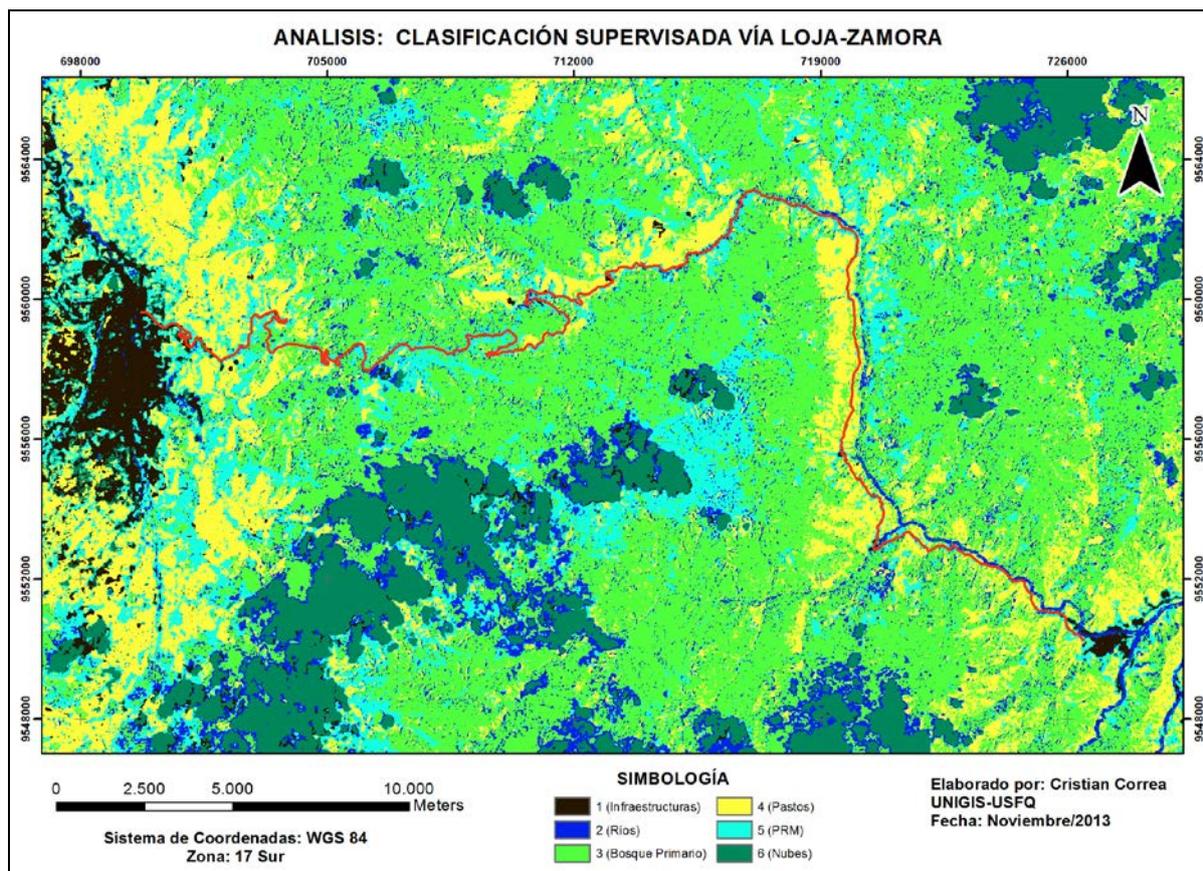
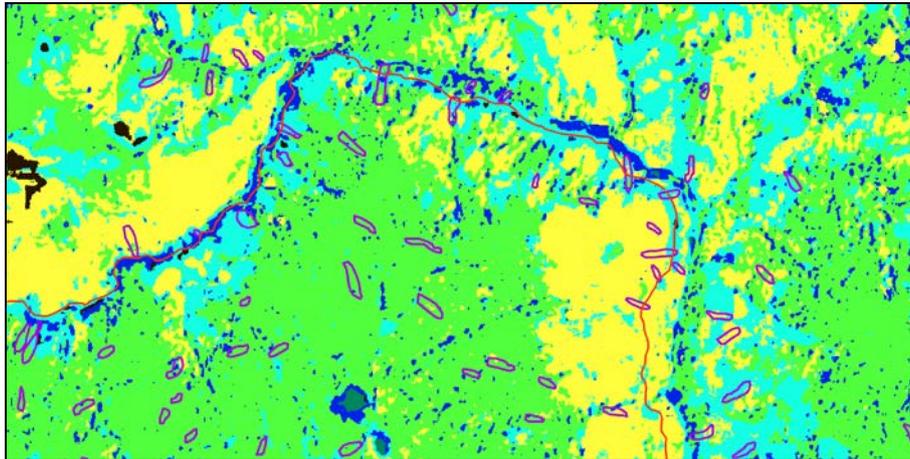


Figura No. 15: Resultado de la clasificación supervisada

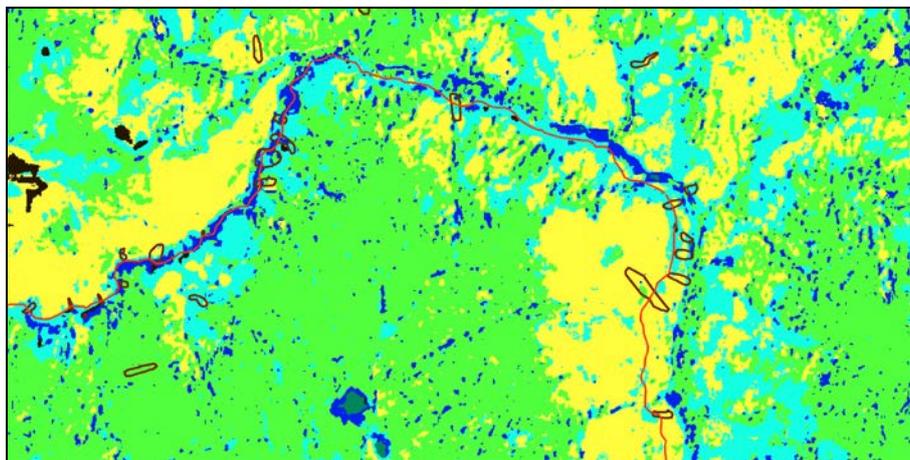
3.2.1.2 EVALUACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN SUPERVISADA

En color celeste se señalan aquellas zonas susceptibles a procesos de remoción en masa (*Figura No.15*). Al efectuar una evaluación sobreponiendo la información proveniente de la fointerpretación se aprecia que en ciertos sectores es necesario aún efectuar algunos ajustes.

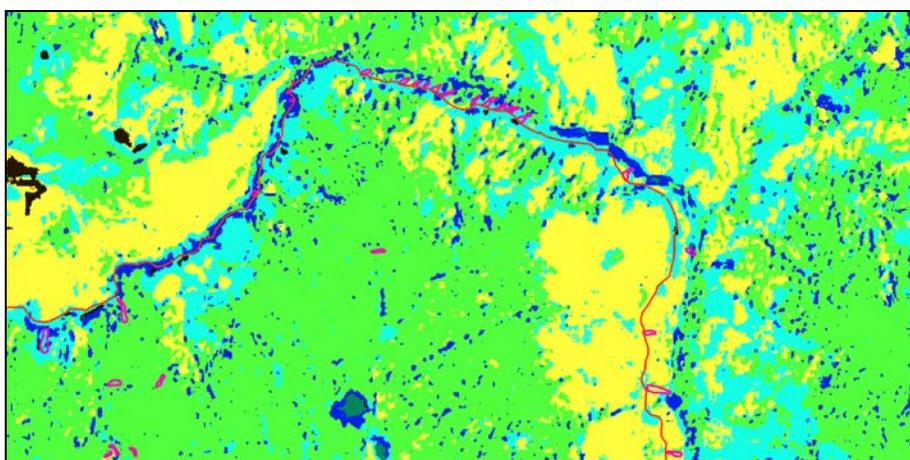
a. Procesos de remoción en masa fotos aéreas año 1976 (IGM)



b. Procesos de remoción en masa fotos aéreas año 1989 (IGM)



c. Procesos de remoción en masa fotos aéreas año 1998 (IGM)



Es importante señalar que esta primera clasificación se hizo sobre una imagen satelital de un año diferente a la fecha de toma de las fotos aéreas utilizadas para la generación de los mapas de inventario de procesos de remoción en masa. Esta condición hace que posiblemente varios de los procesos de remoción en masa representados no sean efectivamente identificados por el simple hecho de que para el año de la imagen satelital no se producían flujos y/o avalanchas de escombros.

Con esta observación se puede concluir finalmente que la clasificación supervisada establece una primera noción de las condiciones del terreno frente a la ocurrencia de procesos de remoción en masa. Adicionalmente, debe destacarse que en cuanto al análisis de cobertura vegetal se tiene una importante aproximación a las condiciones reales de la zona de influencia de la vía Loja-Zamora.

3.3.1.3 CLASIFICACION NO SUPERVISADA

Como un segundo paso y para evaluar los resultados obtenidos en la clasificación supervisada resulta de utilidad, mediante las herramientas del SIG, llevar a cabo una nueva clasificación pero de tipo no supervisada. Para ello se utiliza la herramienta denominada *Iso Cluster Unsupervised Classification* siguiendo el procedimiento siguiente:

 ArcToolbox → Multivariate → Iso Cluster Unsupervised Classification.

Se debe ingresar la imagen a utilizarse y se establece número de clases.

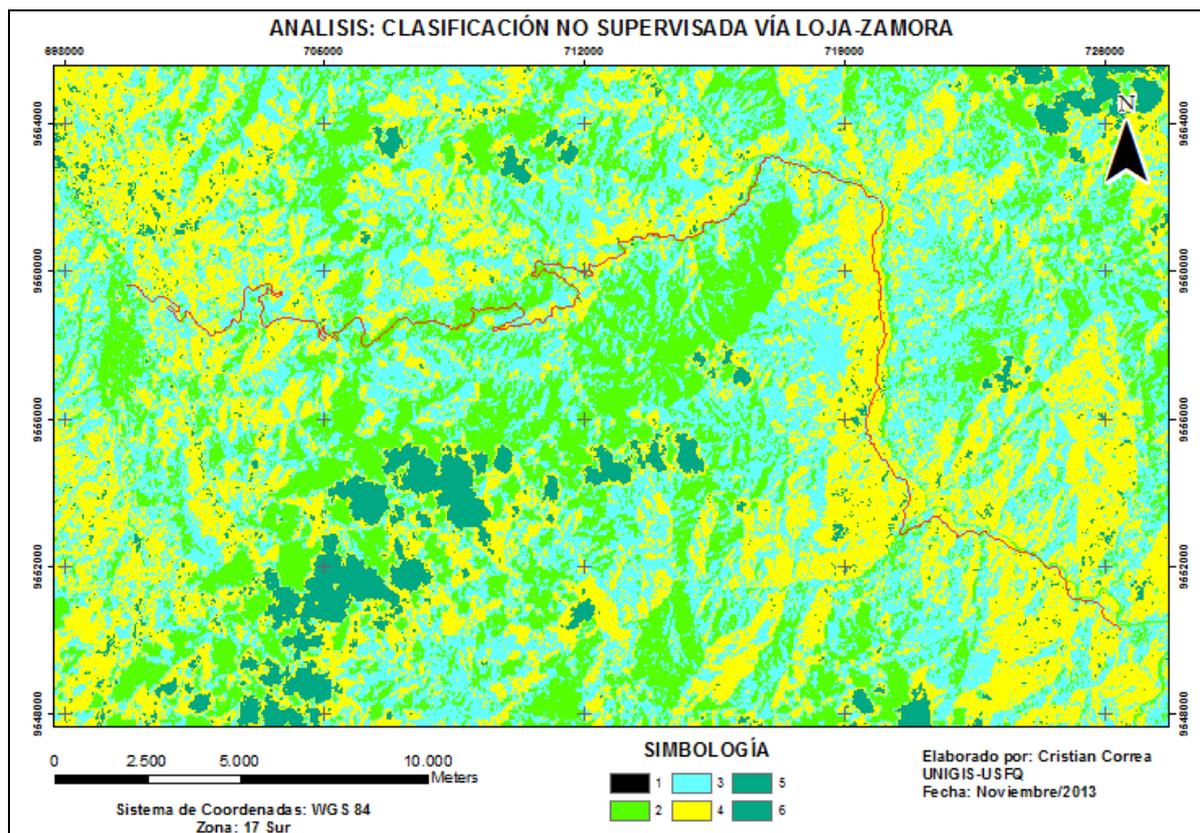


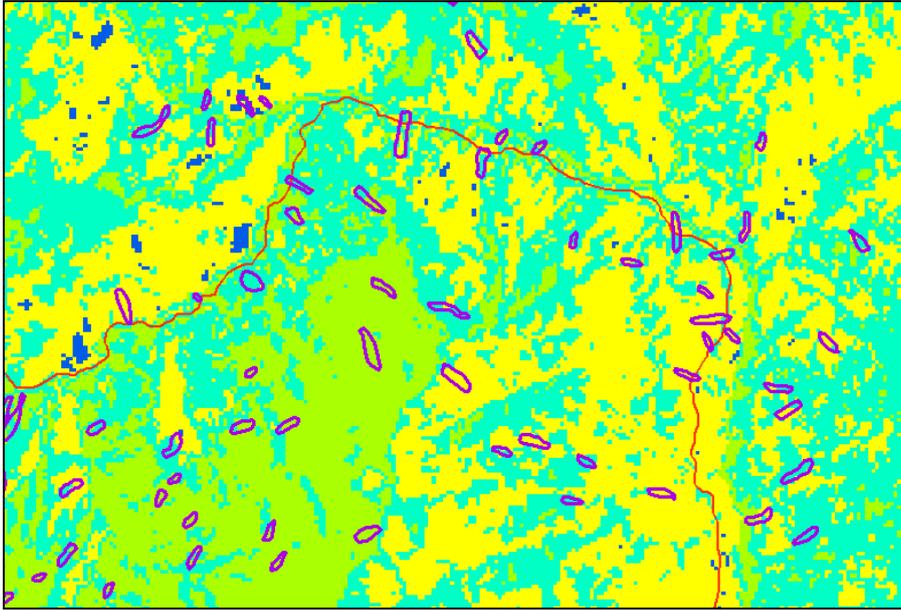
Figura No. 16: Resultado de la clasificación no supervisada

3.2.1.4 EVALUACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN NO SUPERVISADA

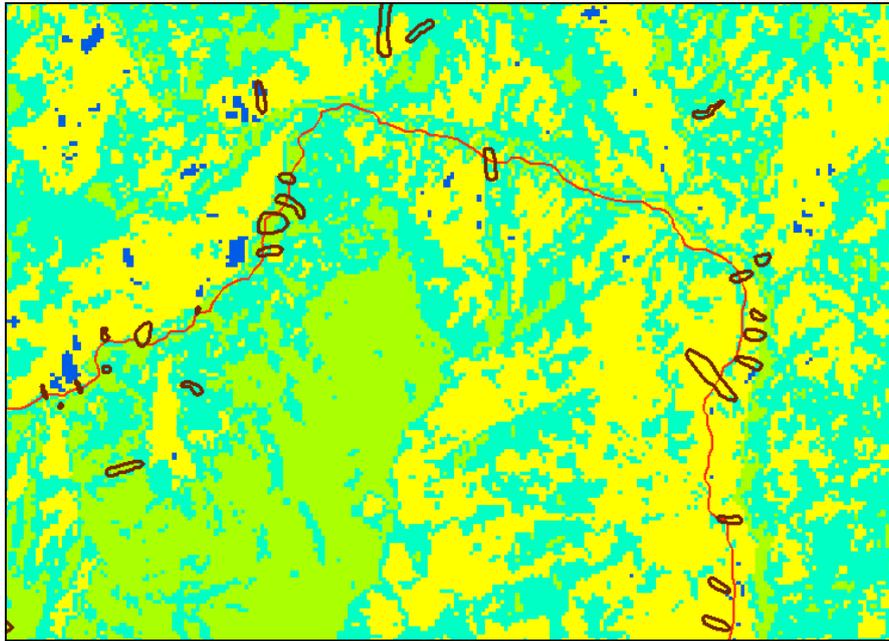
Se seleccionaron 6 clases para la clasificación no supervisada tomando en cuenta los resultados obtenidos de la clasificación supervisada de la misma imagen. Al efectuar un contraste entre ambas imágenes lo que destaca a primera vista es una mejora en el procesamiento de las nubes. En la clasificación no supervisada éstas disminuyen en cuanto a área se refiere. Es posible observar además que existe una buena aproximación respecto a la zonificación de la cobertura vegetal. Se pueden diferenciar aquellas zonas de pastos y cobertura arbórea.

De otro lado, en lo concerniente a infraestructuras en la imagen se aprecia que no ha sido lo suficientemente diferenciada del resto de clases existentes. Debe destacarse además que en el caso específico de zonas o áreas en donde se han producido procesos de remoción en masa no es posible definir una discriminación que pueda contribuir a su identificación y por consiguiente una zonificación como se demuestra en las figuras que se presentan a continuación:

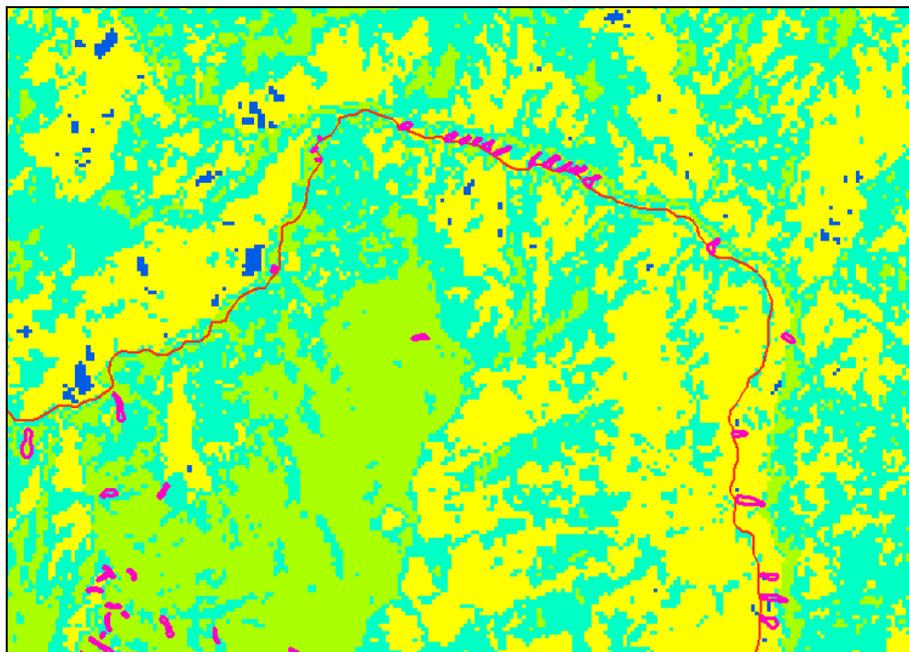
- a. Procesos de remoción en masa fotos aéreas año 1976 (IGM)



- b. Procesos de remoción en masa fotos aéreas año 1989 (IGM)



c. Procesos de remoción en masa fotos aéreas año 1989 (IGM)



3.3.2 ANÁLISIS DE ASPECTO

El mapa de aspecto es uno de los mapas que se pueden generar con relativa facilidad mediante el uso de SIG (*Figura No. 17*). Para el caso de evaluación de susceptibilidad a procesos de remoción en masa su uso permite al analista establecer en primera instancia direcciones preferenciales de estos procesos considerando aspectos netamente cartográficos.

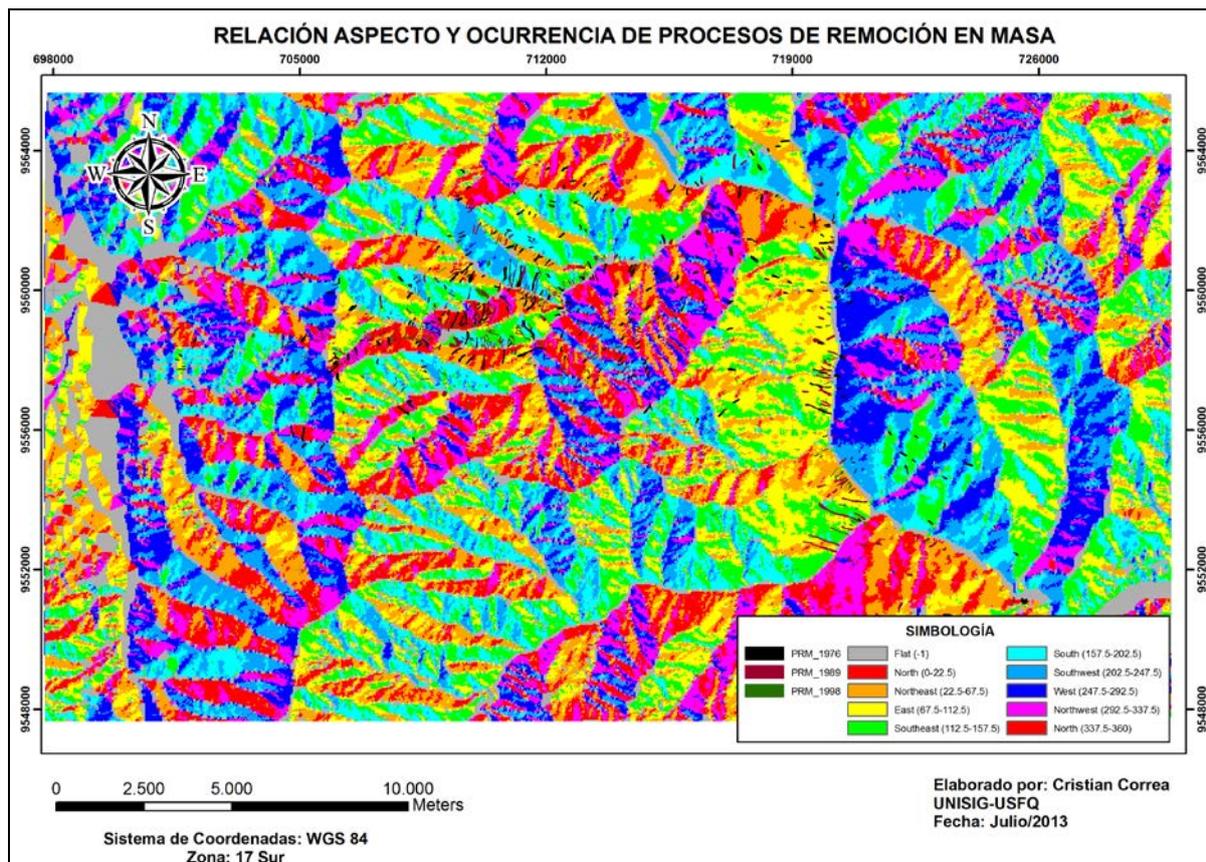
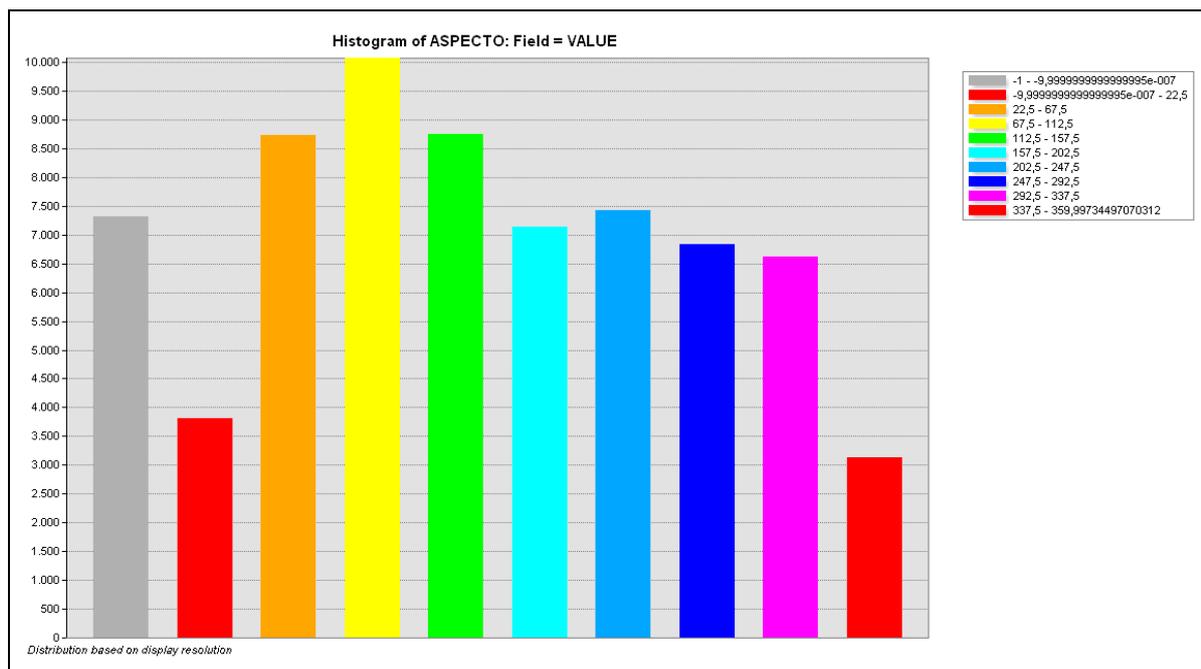


Figura No. 17: Mapa de aspecto en los alrededores del área de estudio

Efectuando un análisis general del mapa generado se tienen las siguientes observaciones:

- ✓ En el histograma se puede apreciar que se tienen esencialmente tres direcciones preferenciales NE, E y SE, siendo esta última la predominante.
- ✓ Al tomar en consideración los procesos de remoción en masa se observa que los mismos se producen prácticamente en todas las direcciones. Direcciones preferenciales de ocurrencia son NE y NO.



Histograma de frecuencias de las direcciones preferenciales para el área de influencia de la vía Loja-Zamora respecto a la Figura No. 17

3.3.3 ANÁLISIS DE PENDIENTE

Otro mapa que puede resultar de mucha utilidad dentro del análisis de la susceptibilidad a procesos de remoción en masa es el mapa de pendientes (**Figura No. 18**). Para el caso de la vía Loja-Zamora dadas las condiciones morfológicas que se tienen un análisis de las pendientes en las cuales se presentan con mayor frecuencia procesos de remoción en masa.

Nivel	Rango de Pendiente (°)
1	0.0-9.15
2	9.16-22.2
3	22.3-31.3
4	31.4-42.97
5	43.0-89.70

Tabla No. 4: Rangos de pendientes utilizados para la evaluación de la susceptibilidad

Al efectuar un breve análisis se la información generada se observa que si se consideran cinco clases de pendientes la correspondiente a un valor medio (22.3°-31.3°) es la que se presenta con mayor frecuencia dentro del área de estudio.

En lo que tiene relación con los procesos de remoción en masa se puede inferir que éstos se desarrollan con mayor frecuencia en pendientes medias y altas, principalmente.

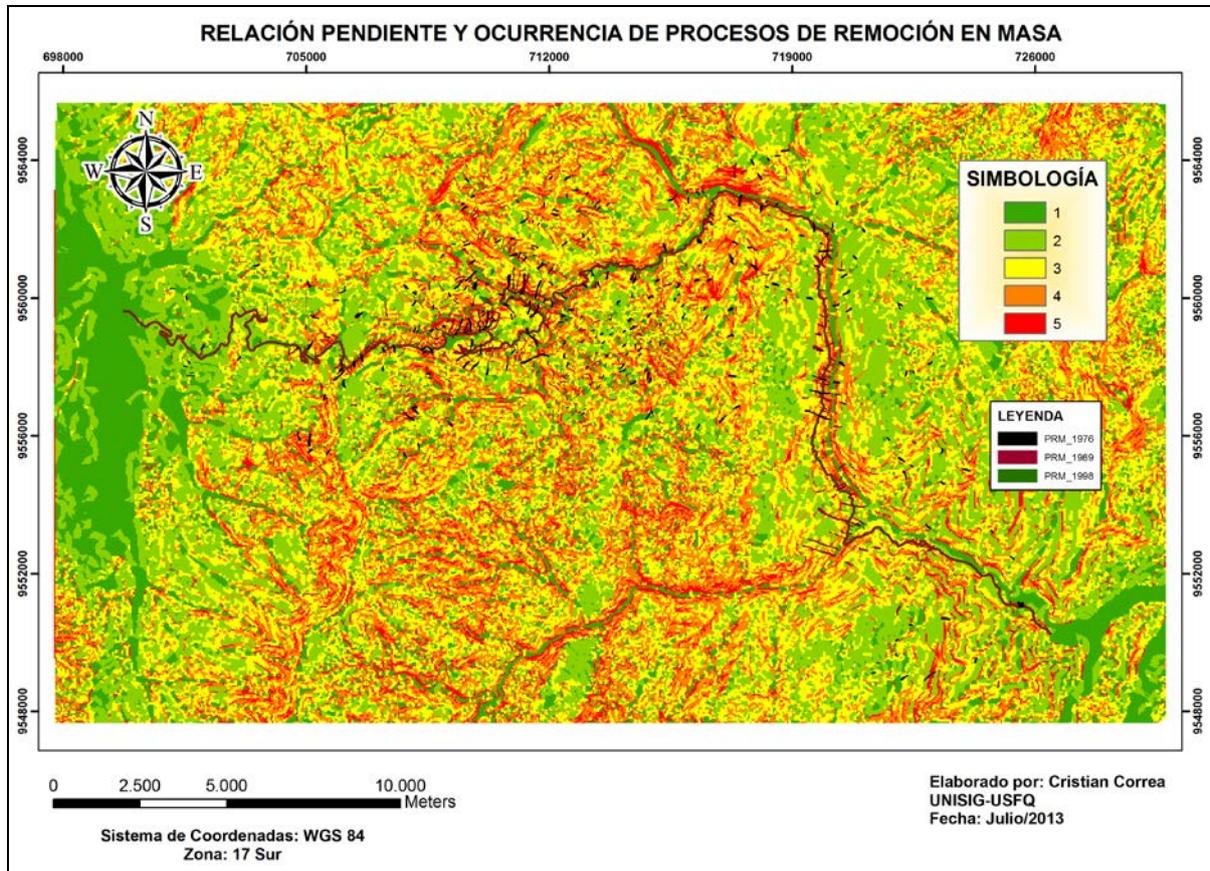
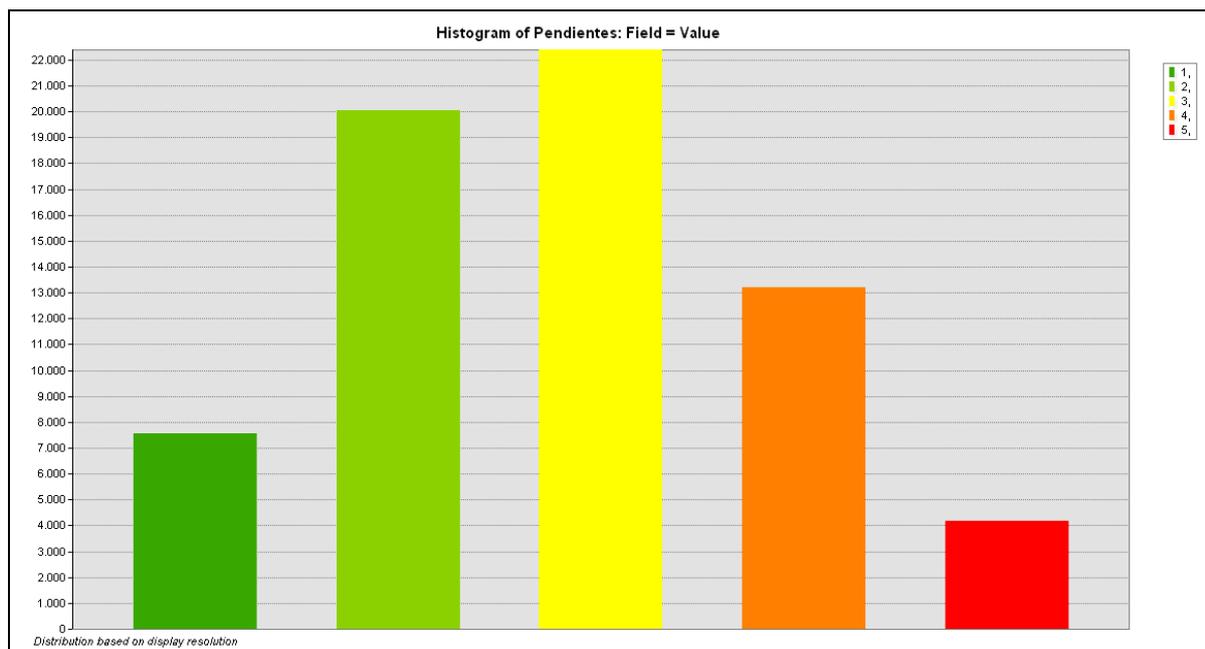


Figura No. 18: Mapa de pendientes en los alrededores del área de estudio



Histograma de rangos de pendiente preferenciales para el área de influencia de la vía Loja-Zamora respecto a la Figura No. 18.

3.4 GENERACIÓN DE MAPAS TEMÁTICOS ESPECÍFICOS

3.4.1 GENERACIÓN DE MAPAS DE INVENTARIO DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

La generación de estos mapas se la hizo a partir de la fotointerpretación de fotos aéreas de los años 1976, 1989 y 1998 a escala 1:60.000 (*Figura No. 19*). Los rasgos fotogeológicos dan cuenta de que los procesos de remoción en masa característicos del área del estudio son flujos y avalanchas de detritos (Correa, 2007). Dada la escala de trabajo evidentemente no se presenta una diferenciación entre uno y otro proceso.

La ubicación de los procesos de remoción en masa, una vez efectuada la fotointerpretación, se la hizo mediante digitalización para posteriormente a través del uso de herramientas SIG georreferenciarlos y colocarlos sobre la base cartográfica 1:50.000. Es importante señalar que la digitalización de los procesos de remoción en masa identificados contempla tanto la zona de inicio de evento y el cauce (canal) dejado hasta donde sea posible identificarlo sobre la fotografía aérea.

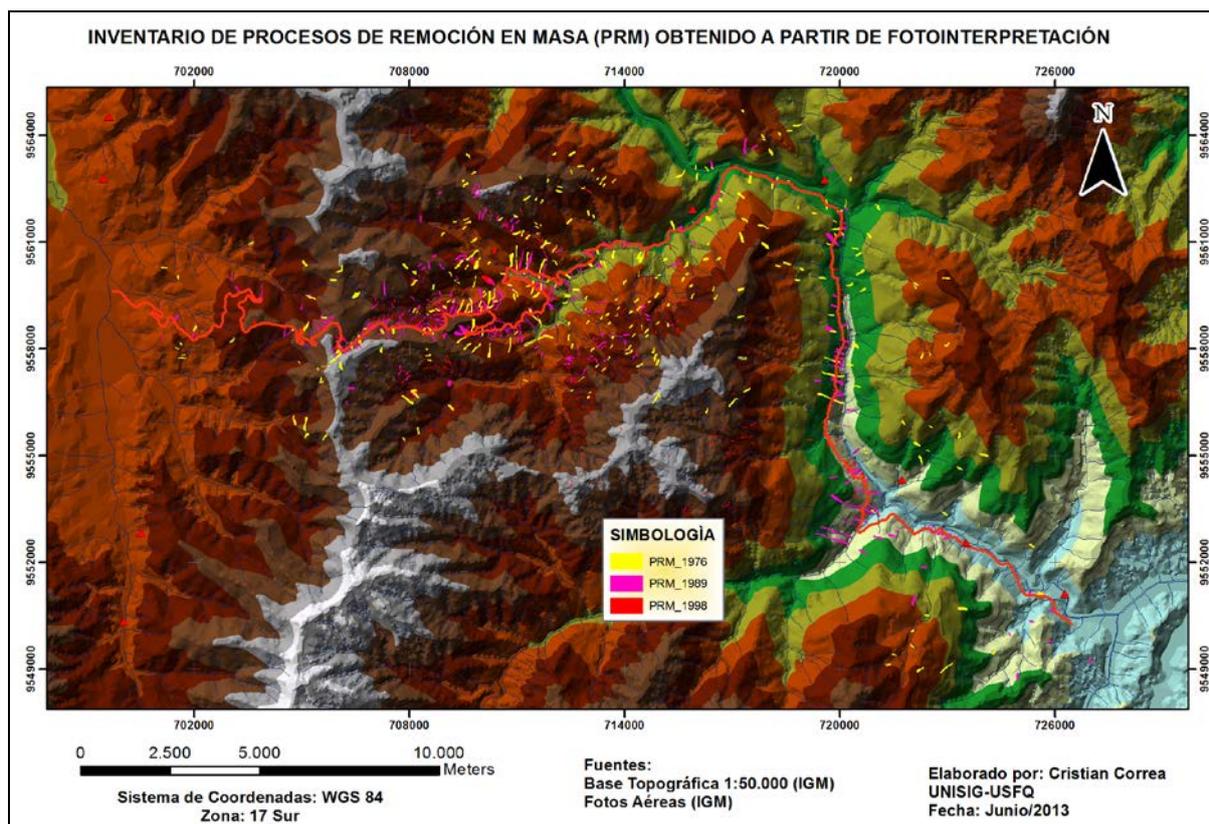


Figura No. 19: Mapa de Inventario de Procesos de Remoción en Masa. Carretera Loja-Zamora.

Una evaluación por simple inspección del trabajo de fotointerpretación determina que en los años 1989 y 1998 se observa una frecuencia importante de ocurrencia de procesos de remoción en masa dentro del área de estudio. Los sitios con mayor densidad de flujos (avalanchas) se ubican en áreas donde afloran las unidades Chigüinda y Gneis de Sabanilla.

3.4.2 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

Una de las primeras cuestiones que es necesario definir cuando se trata de evaluar la susceptibilidad a procesos de remoción en masa de un sitio determinado es definir el área de estudio. Realmente no se tiene ningún tipo de norma o procedimiento al respecto, generalmente esta decisión se deja a criterio del técnico o profesional encargado de la evaluación de la susceptibilidad a procesos de remoción en masa. Existen casos en los cuales se utilizar herramientas propias de los SIG con el buffer por ejemplo, el cual posibilita generar áreas alrededor de sitios específicos, especialmente estructuras lineales (vías, poliductos, ríos, etc.), en las que se desean efectuar un análisis de susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

En el trabajo realizado por Correa (2007) se propone como límite del análisis de susceptibilidad los bordes de las microcuencas por las cuales atraviesa la vía Loja-Zamora y en donde se produzcan procesos de remoción en masa. Tomando en cuenta esta propuesta metodológica y mediante las herramientas del SIG se elaboró un mapa de cuencas hídricas a partir del cual se establece posteriormente el límite del área de estudio (*Figura No. 20*).

La generación de cuencas se la lleva a cabo mediante las herramientas disponibles en el software Global Mapper versión 13.2 tomando como base una imagen ASTER de la zona de estudio con resolución de 90 metros. El procedimiento seguido se puede esquematizar de la siguiente manera:

File → Generated Watershed → Stream Cell Count: 1234 → Depression Fill Depth: 50. En la pestaña Watershed Bounds se selecciona Global Projection (UTM-meters).

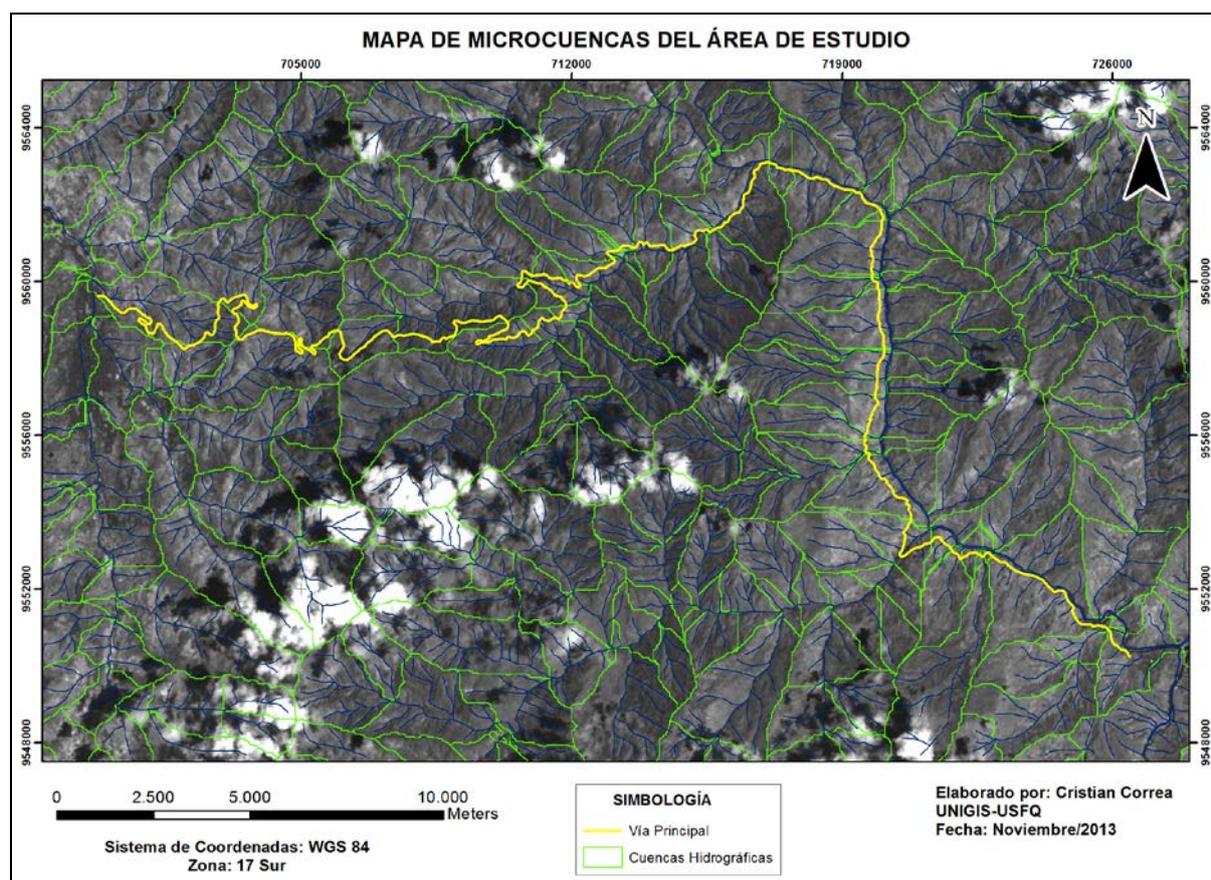


Figura No. 20: Mapa de Cuencas Hidrográficas del área de estudio obtenidas mediante el uso de SIG.

Considerando solamente aquellas cuencas (microcuencas) por las cuales atraviesa la actual carretera Loja-Zamora se puede establecer entonces un área de trabajo para el análisis de la susceptibilidad (*Figura No. 21*).

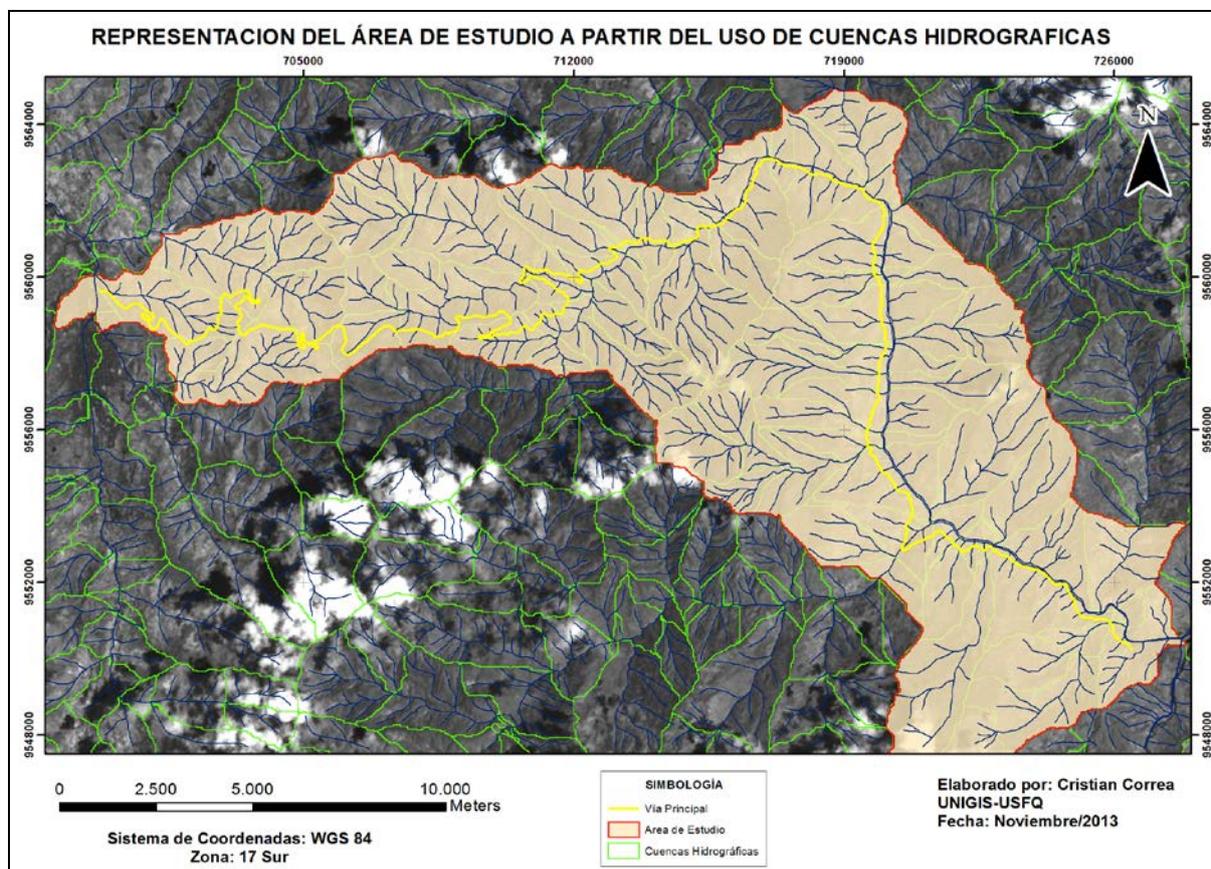


Figura No. 21: Mapa de delimitación del área de estudio a partir de Cuencas Hidrográficas

La generación de las microcuencas requiere la ejecución de varios ensayos hasta lograr los resultados esperados. La verificación de los límites obtenidos se lo realiza mediante el control topográfico.

La evaluación de la susceptibilidad para el área de influencia considerará entonces los procesos de remoción en masa que se encuentren dentro de la zona delimitada a partir del establecimiento de cuencas hidrográficas.

Este aspecto de limitar la zona de estudio no es considerado en la mayor parte de los trabajos consultados. En este trabajo se ha hecho un énfasis especial en este aspecto toda vez que en los análisis de susceptibilidad de estructuras lineales es importante delimitar adecuadamente el área de trabajo para garantizar un zonificación lo más ajustada a las condiciones reales. La

utilización de cuencas y subcuencas para propósitos de delimitación es un criterio válido desde el punto de vista cartográfico.

3.5 EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA MEDIANTE EL USO DE SIG

3.5.1 MÉTODO PROPUESTO POR INGEOMINAS

Este método utiliza relaciones de áreas para obtener índices de susceptibilidad de acuerdo a valores establecidos por los autores. La relación utilizada es: $(I) W\% = DZX * 100/S$, en donde W es la susceptibilidad de la Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP) respecto al movimiento en masa analizado, DZX es la superficie acumulada del movimiento en masa (Km^2 o hectáreas o m^2) presente en la UCP y S es la superficie total acumulada de la UCP.

Entre las UCP que mencionan los autores de esta metodología se pueden citar como mapas índices: ingeniería geológica, pendientes, geomorfología, conflictos de uso de suelo. El método se denomina estadístico univariado puesto que utiliza como variable independiente el mapa de inventario de procesos de remoción en masa. En este método lo que se hace es determinar la susceptibilidad (fragilidad o predisposición) de cada unidad de terreno a generar este tipo de procesos.

El procedimiento a seguir es efectuar un contraste cada uno de los mapas índices con el mapa de inventario de procesos de remoción en masa. Este cruce se fundamenta en el hecho de que el mecanismo de ruptura en una UCP es diferente para cada tipo de proceso de remoción en masa.

El grado de influencia de cada factor considerado se obtiene como producto de la sumatoria de la relación entre las áreas deslizadas para cada UCP de acuerdo a la expresión (I). Obtenido este cociente se efectúa una nueva reclasificación de los valores obtenidos en función de los rangos de susceptibilidad que se propone en esta metodología.

Finalmente los autores señalan que los rangos son ajustables en función de un trabajo de campo que complemente los resultados obtenidos.

3.5.1.1 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

En función de la información disponible se establecieron como Unidades Cartográficas de Parámetro (UCP): geología, pendiente y uso del suelo. Para este estudio en particular se ha

considerado solamente estos parámetros como resultado del análisis de la información recopilada y del trabajo de campo se infiere que dichos factores involucrados ocurren de procesos de remoción en masa.

La evaluación de los diferentes rangos de susceptibilidad se la hace tomando en cuenta el siguiente rango de susceptibilidad:

VALOR	INTERVALO	CATEGORIA DE SUSCEPTIBILIDAD
1	< 0,25	Nula a Muy Baja
2	0,26-0,5	Baja
3	0,51-1	Media Baja
4	1,01-2	Media Alta
5	2,01-4	Alta
6	> 4,01	Muy Alta

Tabla No. 5: Categorías de Susceptibilidad (INGEOMINAS, 2001)

En base a esta categorización se procede según la metodología presentada por los autores (INGEOMINAS, 2001).

El desarrollo de esta primera metodología permitirá obtener tres mapas de susceptibilidad tomando en cuenta los tres mapas de inventario de procesos de remoción en masa.

3.5.1.2 SUSCEPTIBILIDAD: GEOLOGÍA

Considerando la relación de la susceptibilidad de la UCP se inicia obteniendo un cociente entre el área del material deslizado para cada año (1976, 1989, 1998) para el área de cada unidad geológica. Se generan entonces tres mapas de susceptibilidad que se presentan a continuación:

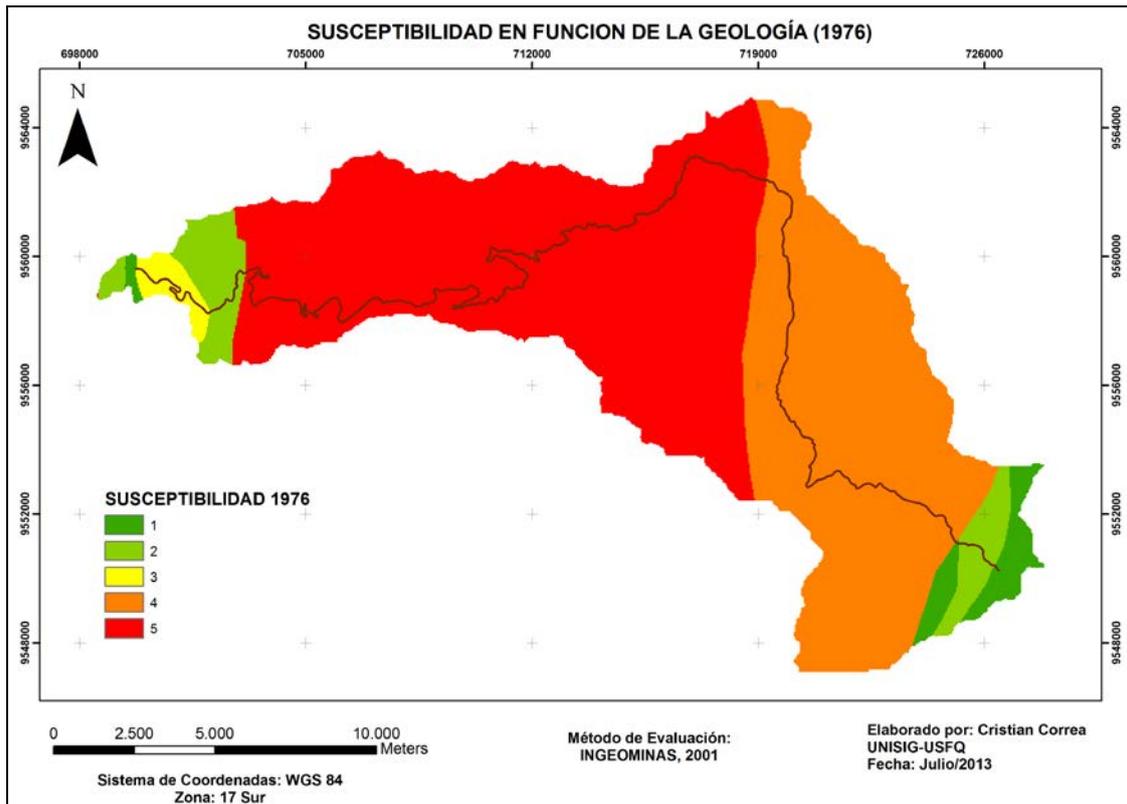


Figura No. 22: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Unidades Geológicas). Año 1976

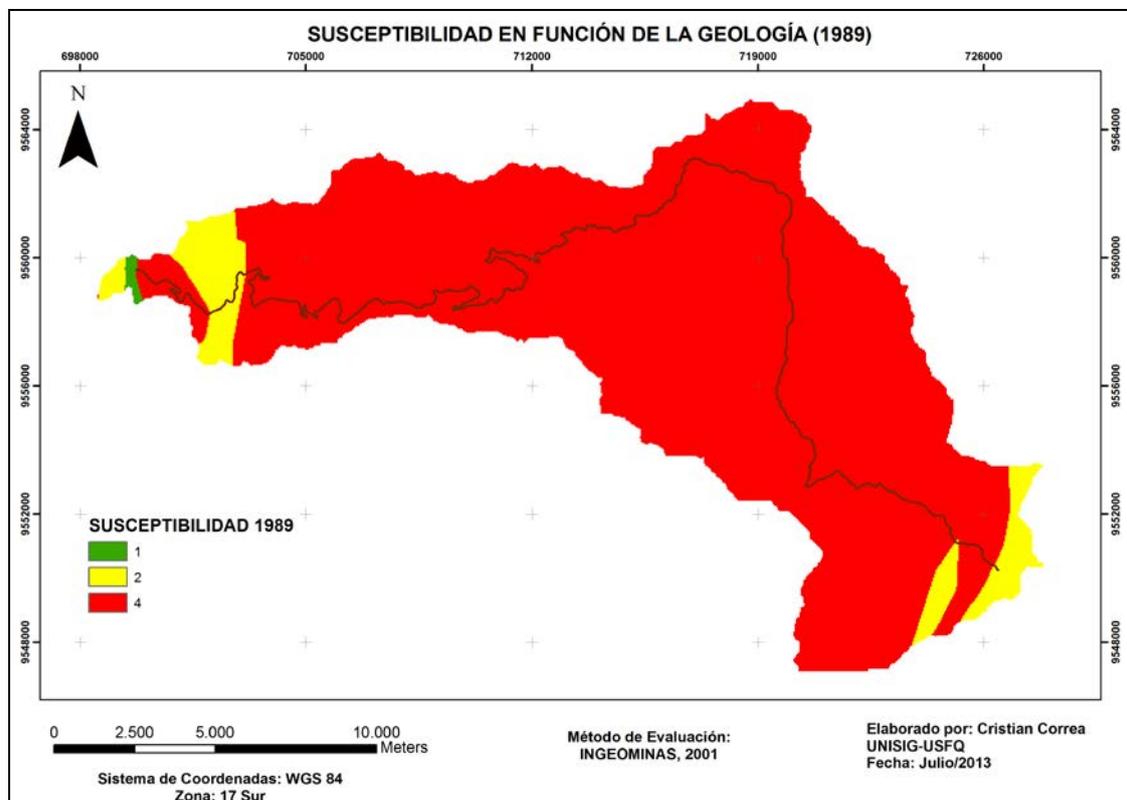


Figura No. 23: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Unidades Geológicas). Año 1989

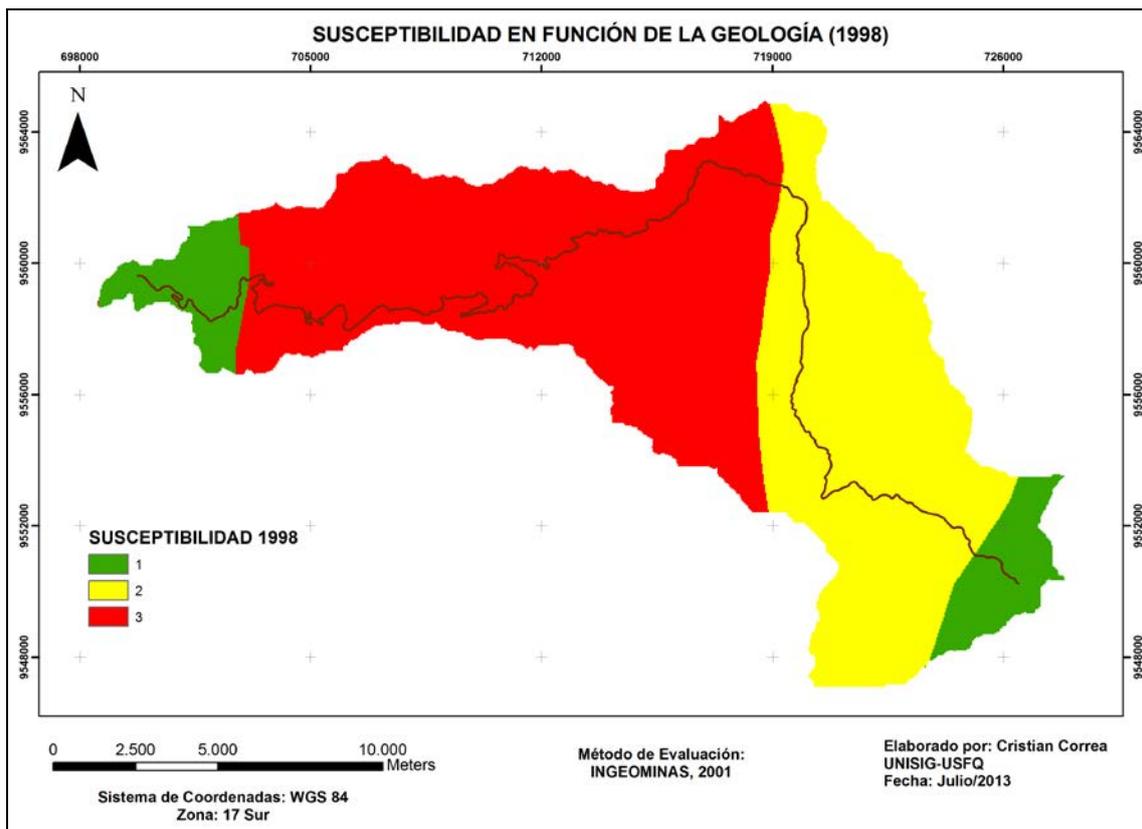


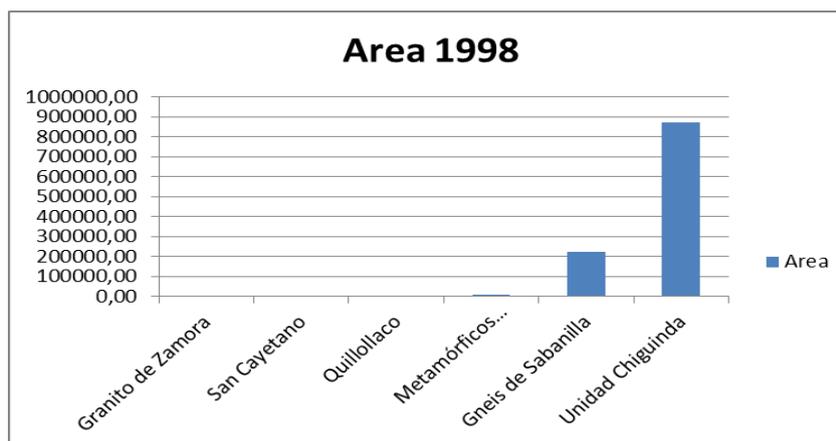
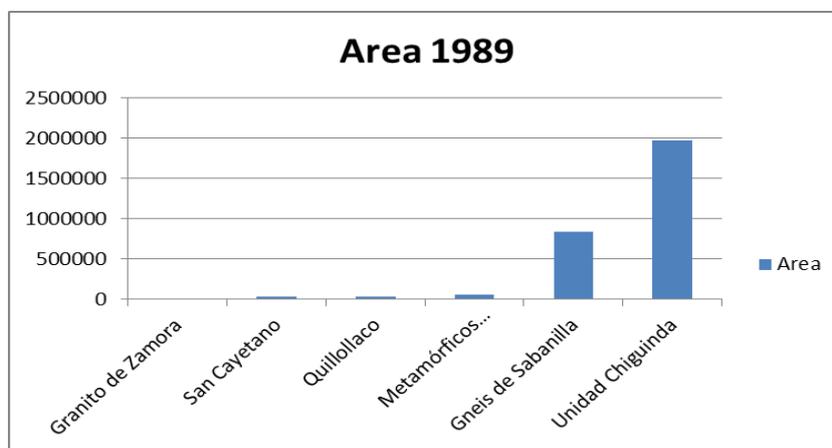
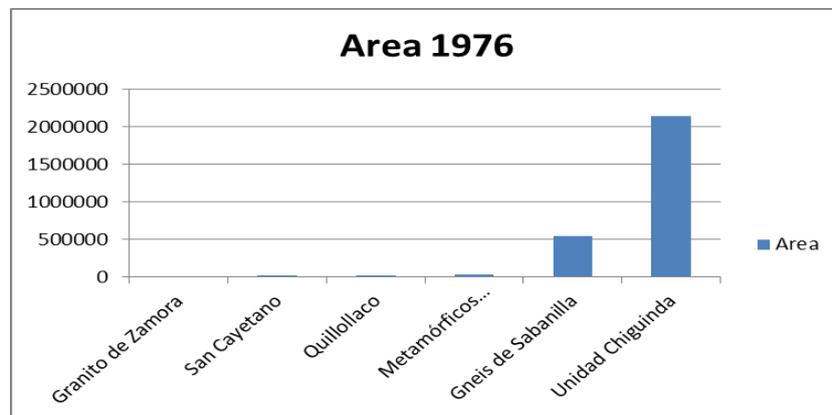
Figura No. 24: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Unidades Geológicas). Año 1998

En los mapas anteriores se observa que existe una notable diferencia de resultados entre un mapa y otro. Esto se explica ya que la relación utilizada para la determinación de la susceptibilidad por UCP relaciona la cantidad de eventos sucedidos por unidad litológica, es decir, se habla de una densidad relativa de procesos de remoción en masa por unidad litológica. Es así que para cada año se tiene un resultado diferente pues el análisis que se hace corresponde a la situación existente en cada fecha.

En esta etapa de la evaluación de la susceptibilidad se puede deducir que para el año 1989 se tiene una ocurrencia mayor de procesos de remoción en masa dentro del área de estudio.

Un análisis de la densidad de procesos de remoción en masa (metros cuadrados) por unidad litológica (metros cuadrados) nos indica una coherencia en cuanto al grado de susceptibilidad de las diferentes formaciones geológicas que se están considerando para el presente estudio. De este modo, en la Unidad Chigüinda ocurren la mayor parte de procesos de remoción en masa. Seguidamente se tiene las unidades Gneis de Sabanilla, Metamórficos indiferenciadas, Formación Quillollaco, Formación San Cayetano y Granito de Zamora, respectivamente. A continuación se resumen estas conclusiones en las figuras siguientes.

Representación Gráfica de material deslizado versus área de cada unidad litológica para los años 1976, 1989 y 1998. Las áreas están expresadas en metros cuadrados (m²)



3.5.1.2 SUSCEPTIBILIDAD: RANGO DE PENDIENTES

Los trabajos de campo efectuados dentro del área de estudio permiten establecer que un factor condicionante a procesos de remoción en masa es relieve que se lo puede calificar

cuantitativamente mediante rangos de pendiente. De este modo se han considerado esencialmente cinco rangos de pendiente.

Mediante las herramientas del SIG se determinaron las áreas donde se ubican procesos de remoción en masa en función de los diferentes rangos de pendiente generándose entonces los mapas que se presentan enseguida:

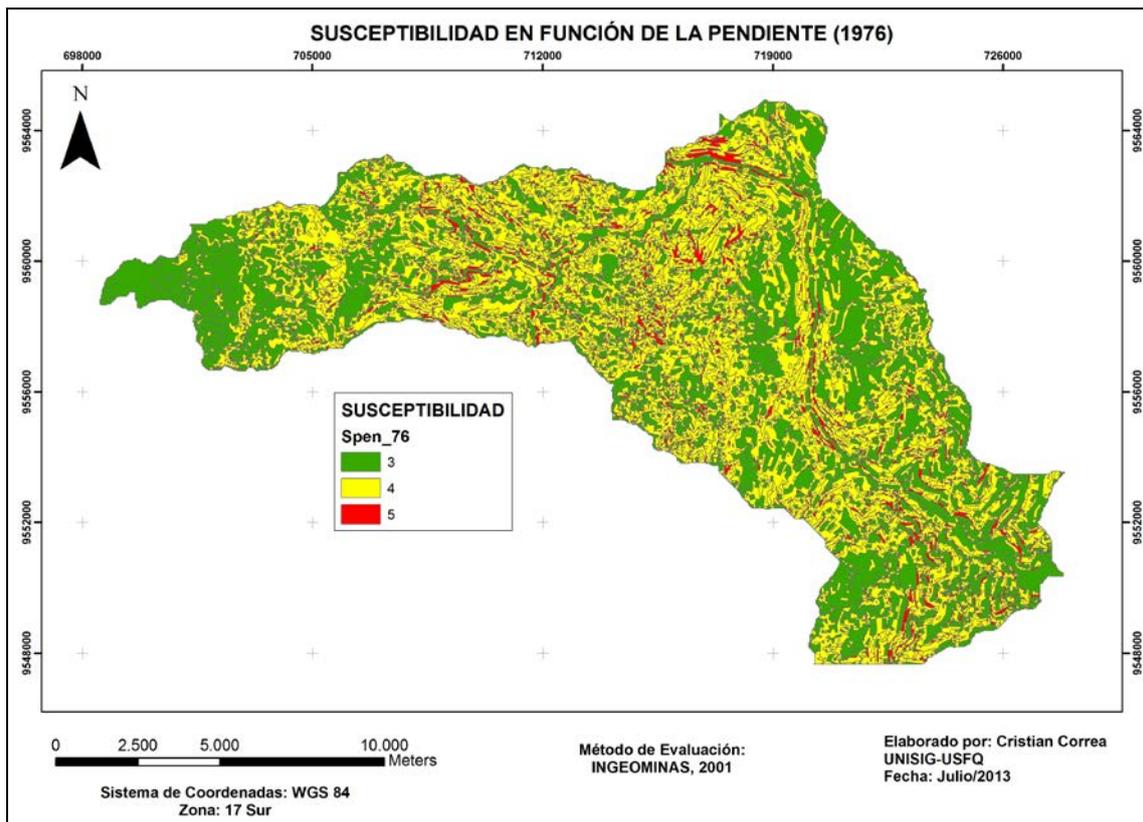


Figura No. 25: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Pendientes). Año 1976

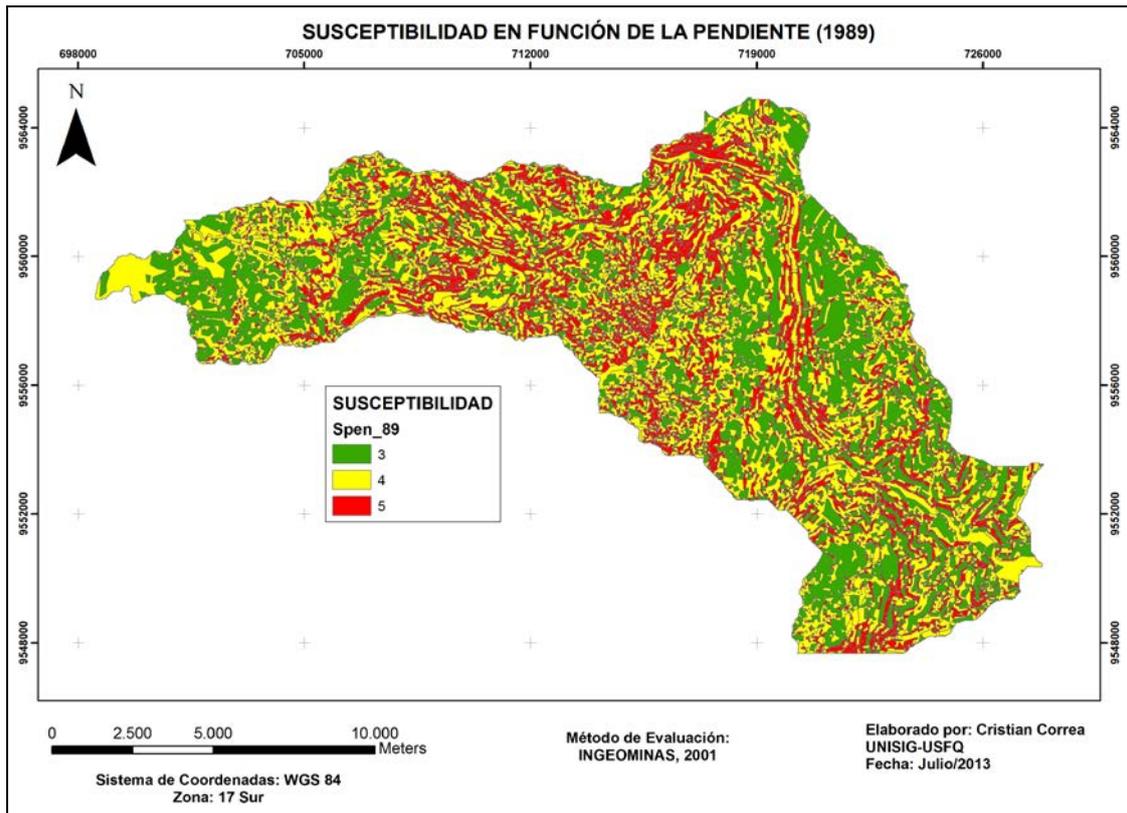


Figura No. 26: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Pendientes). Año 1989

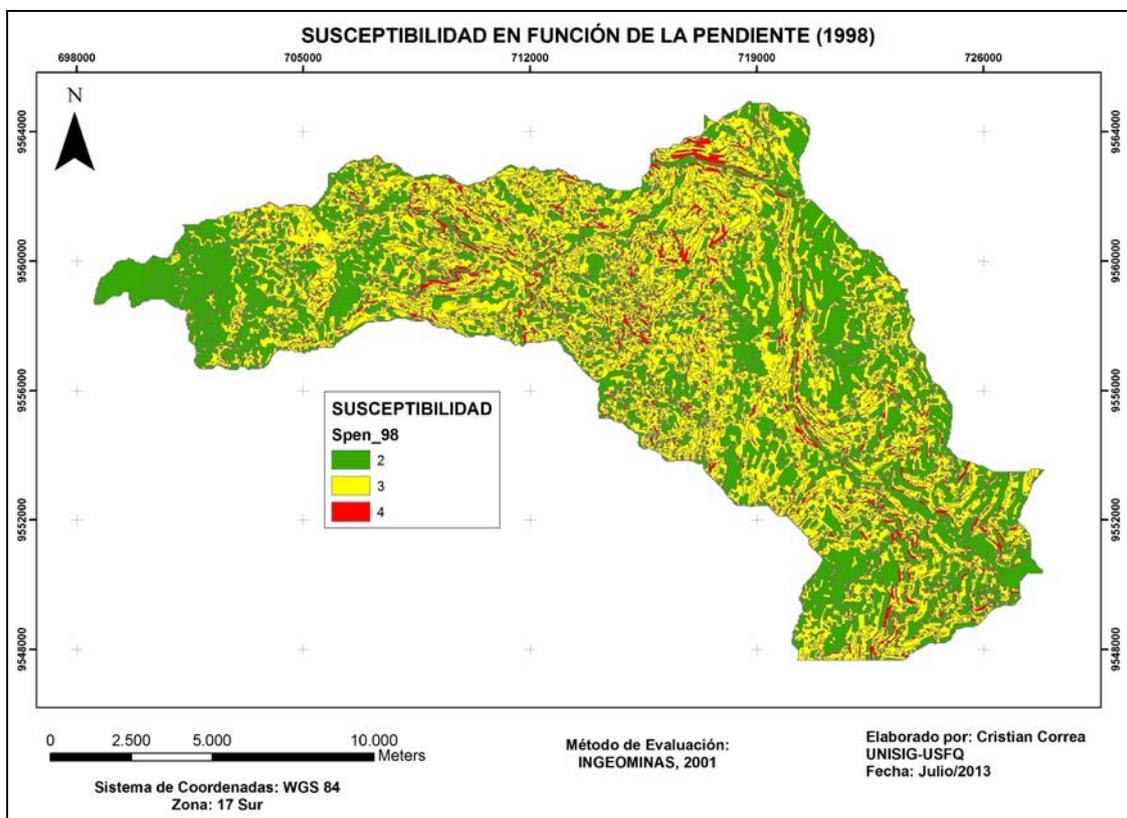
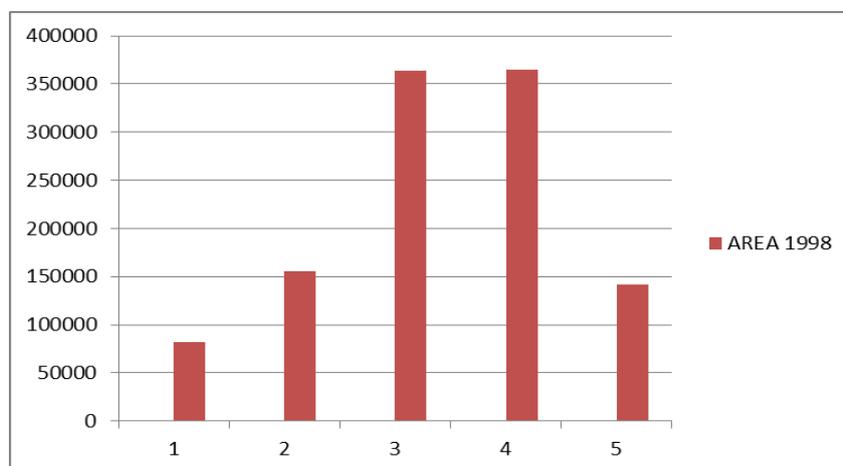
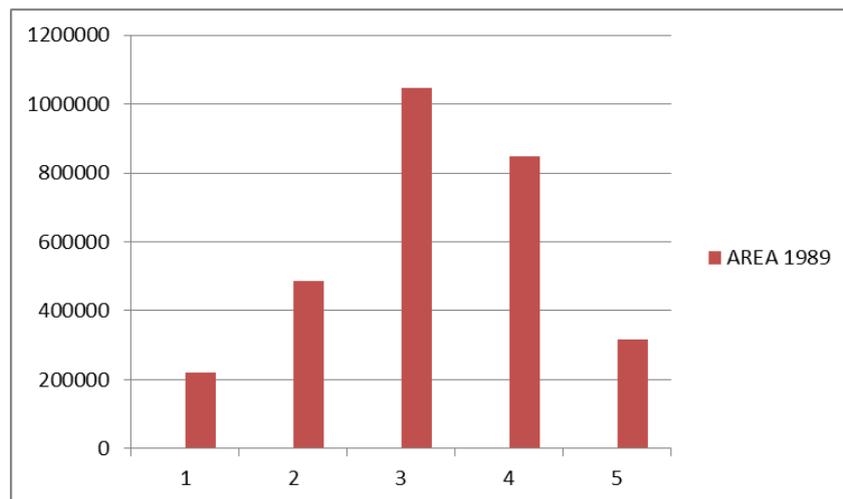
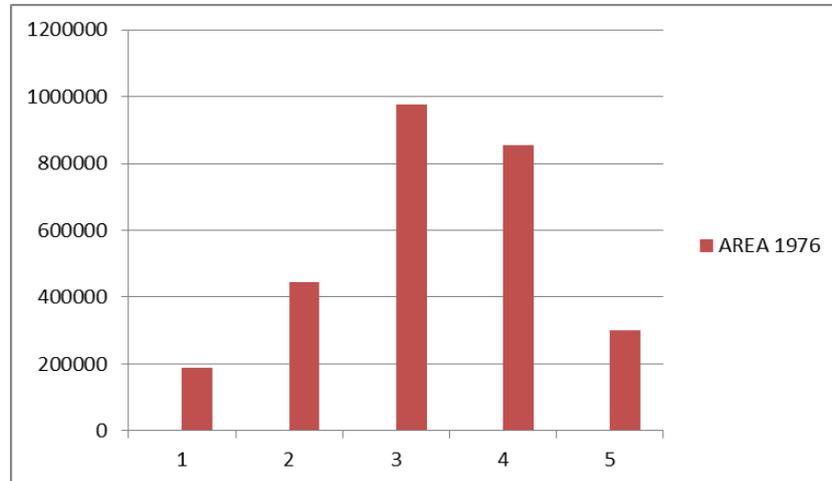


Figura No. 27: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Pendientes). Año 1998

Al efectuar una evaluación general de los resultados parciales obtenidos se establece que el rango de pendiente con mayor susceptibilidad a procesos de remoción en masa es de 22,3°-31,3°.

En las figuras que se presentan a continuación se resumen los resultados preliminares de este análisis parcial de la susceptibilidad considerando rangos de pendiente. El área está representada en metros cuadrados (m²).

Representación Gráfica de material deslizado versus rangos de pendiente para los años 1976, 1989 y 1998 (Base topográfica 1:50.000). Las áreas están representadas en metros cuadrados (m^2). Los cinco niveles presentados hacen referencia a la Tabla No. 4.



3.5.1.3 SUSCEPTIBILIDAD: USO DEL SUELO

Uno de los mapas que los autores proponen utilizar es el mapa de uso del suelo. La información recopilada (INFOPLAN, 2012) permite establecer esencialmente seis clases de usos: Zona Urbana, zona erosionada, bosque intervenido, bosque natural, cultivos de ciclo corto y pasto cultivado.



Figura No. 28: Mapa de Uso de Suelo en los alrededores de la vía Loja-Zamora.

Mediante las utilidades del SIG se procede a efectuar las relaciones de material deslizado sobre cada unidad de uso de suelo.

El inventario de procesos de remoción en masa efectuado es sobrepuesto al mapa de uso del suelo del área de estudio. El procedimiento se lo lleva a cabo mediante operaciones de álgebra de mapas. La opción para este caso es la intersección de capas (layers).

Una vez que se realiza la operación se genera una nueva capa (layer) en cuya tabla de atributos se encuentran las áreas deslizadas por unidad cartográfica, en este caso los diferentes uso del suelo para el área de interés.

En los mapas que se muestran a continuación se indica los resultados obtenidos para los diferentes años.

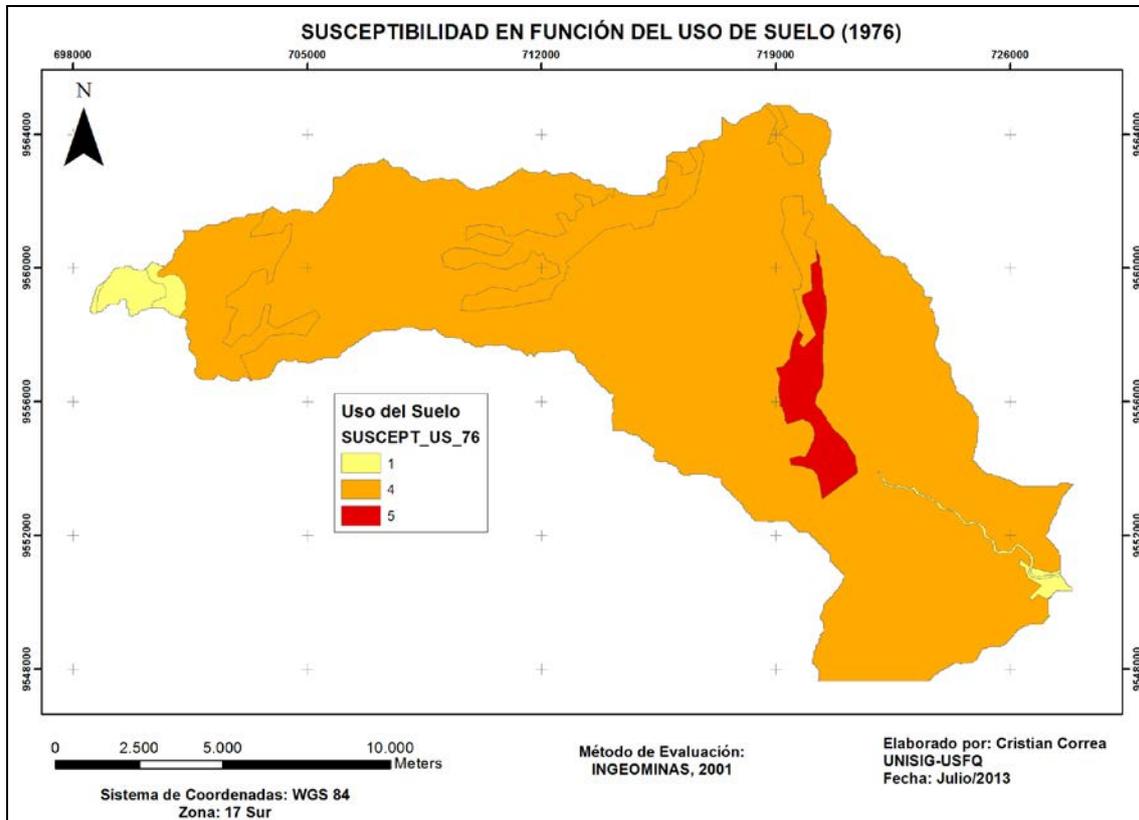


Figura No. 29: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Uso del Suelo). Año 1976

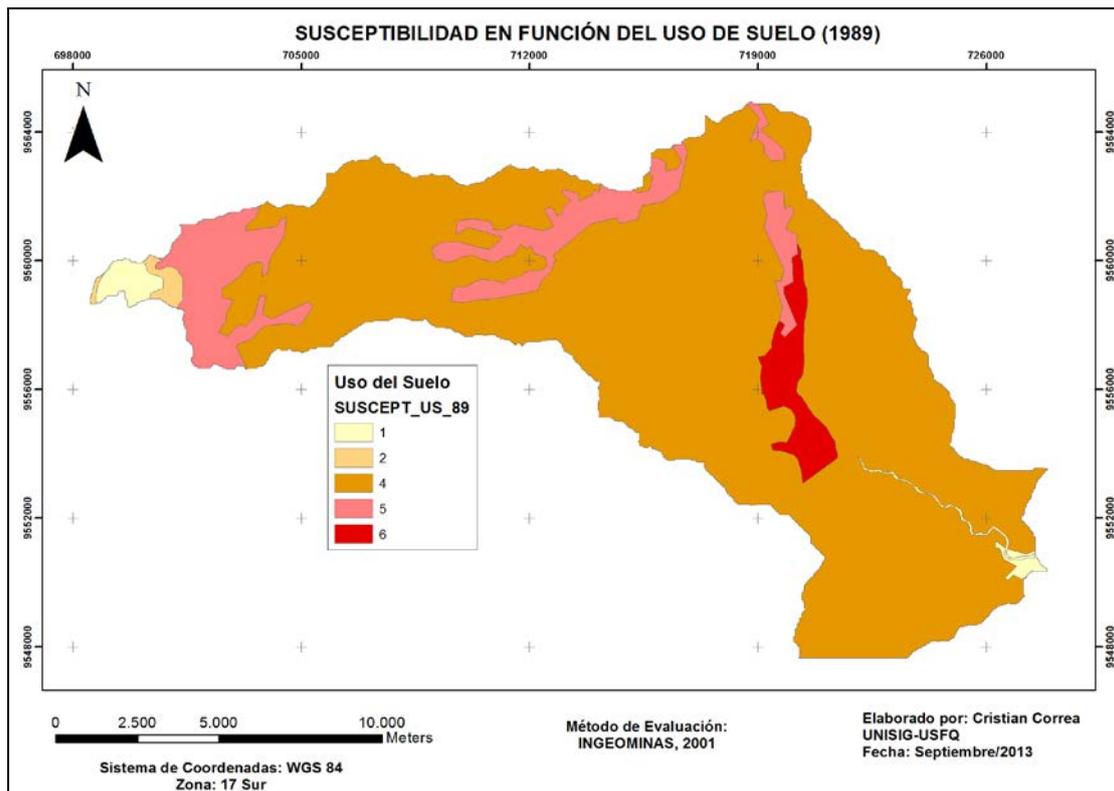


Figura No. 30: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Uso del Suelo). Año 1989

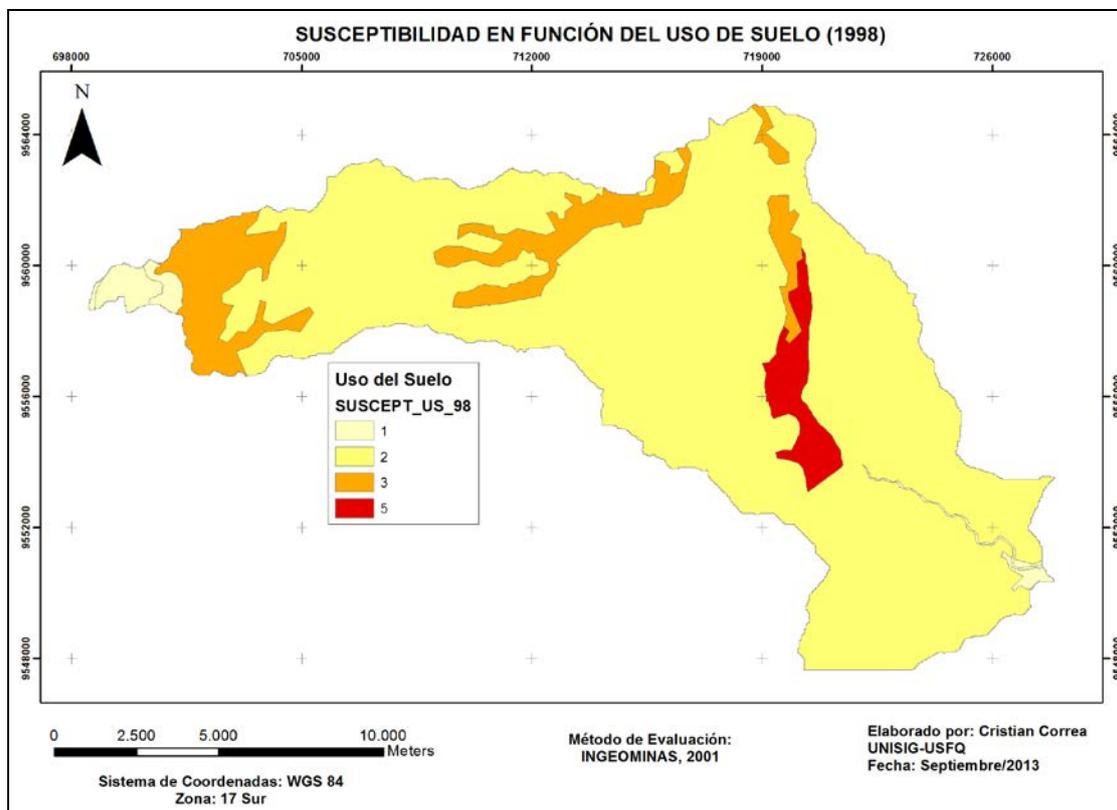
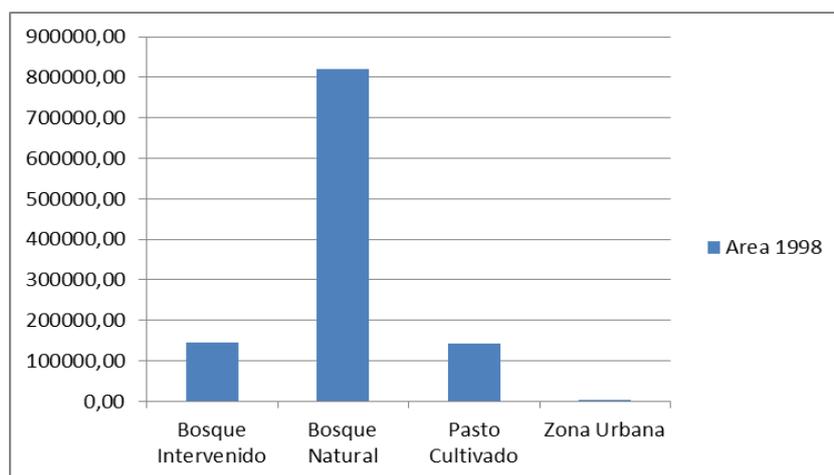
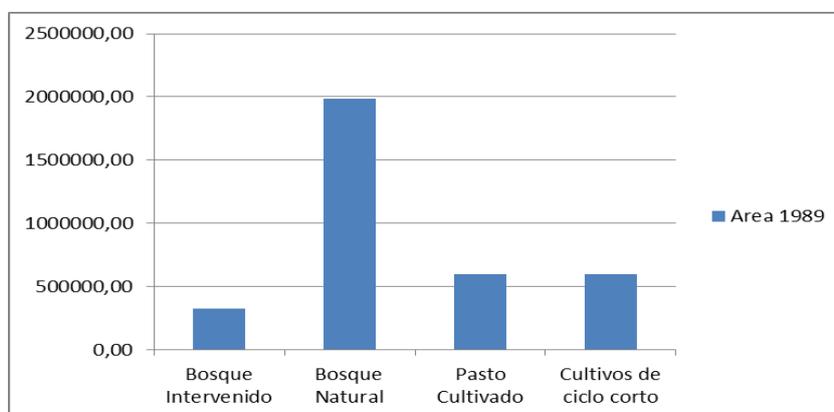
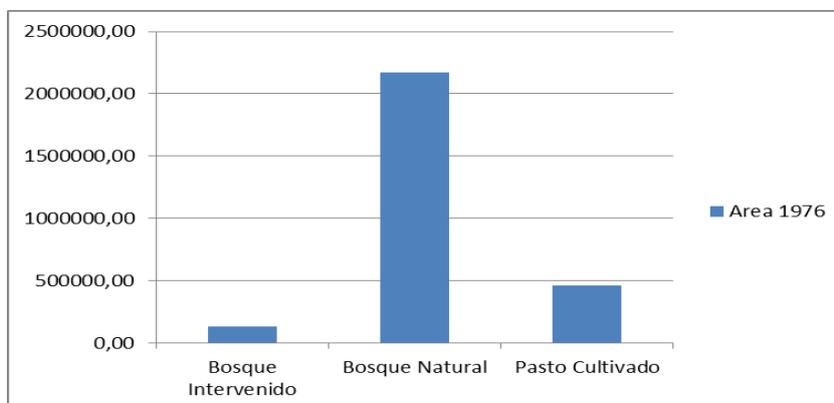


Figura No. 31: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Uso del Suelo). Año 1998

Representación Gráfica de material deslizado versus uso de suelo para los años 1976, 1989 y 1998 (Base topográfica 1:50.000). Las áreas están representadas en metros cuadrados (m²).



Las gráficas antes señaladas permiten establecer que la mayor parte de los procesos de remoción en masa ocurren en sitio donde se tiene bosque natural. En proporciones variables se presentan procesos de remoción en masa en áreas de Bosque Intervenido y Pasto Cultivado.

Se puede indicar además que para los años 1989 y 1998 se tiene una ocurrencia importante de flujos de detritos y deslizamiento en gran parte de la zona de estudio. Esto se refleja en la gráfica correspondiente para cada año.

3.5.1.4 MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD SEGÚN METODO DE INGEOMINAS

Resultado del metodo sugerido por INGEOMINAS, para nuestro caso de estudio se han obtenido nueve diferentes mapas con distintos grados de susceptibilidad en función de la litología, pendientes (rangos) y uso del suelo. La metodología utilizada establece reclasificar los valores de susceptibilidad obtenidos para cada caso. La obtención del mapa de susceptibilidad final se la efectúa sumando los valores de susceptibilidad de cada unidad cartográfica principal (UCP).

A. Rangos de Susceptibilidad

Como criterio para la valoración de los resultados se ha adoptado considerar basicamente tres rangos de susceptibilidad: bajo, medio y alto. De este modo el proceso de reclasificación tomará en cuenta solamente tres rangos.

B. Generación de Mapas de Susceptibilidad

Establecido el número de rangos de susceptibilidad se procede a la generación de los diferentes mapas de acuerdo a las tres unidades cartográficas principales que se han seleccionado para el presente estudio: Litología, Uso de Suelo y Rangos de pendientes.

La utilización de las herramientas SIG permite efectuar la reclasificación de los diferentes valores de susceptibilidad para cada año. Se establecen entonces los tres rangos y se selecciona el método Natural Break para la obtención de los mapas.

Una vez que se ha logrado efectuar la reclasificación de los diferentes mapas generados para cada año y para cada UCP, lo que resta es llevar a efecto un algebra de mapas para obtener el mapa de susceptibilidad establecido en el método sugerido por INGEOMINAS.

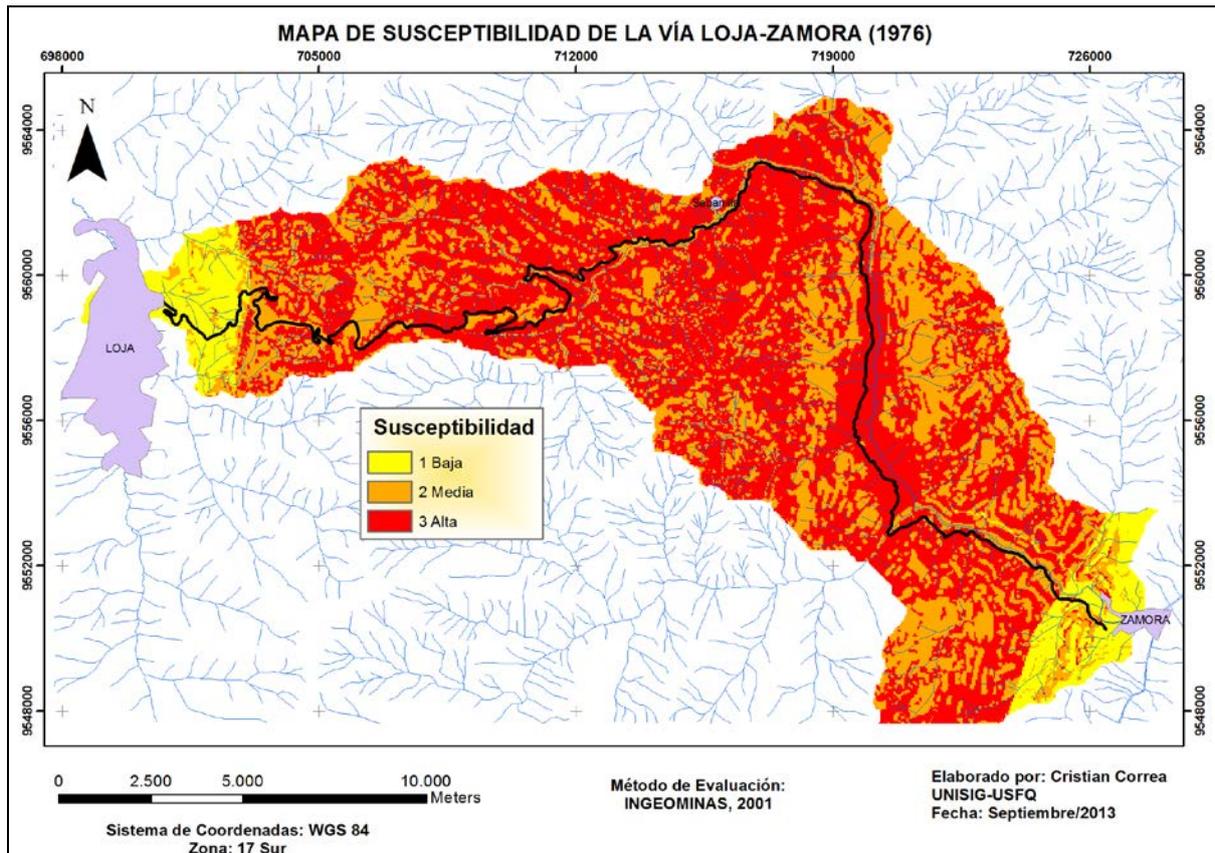
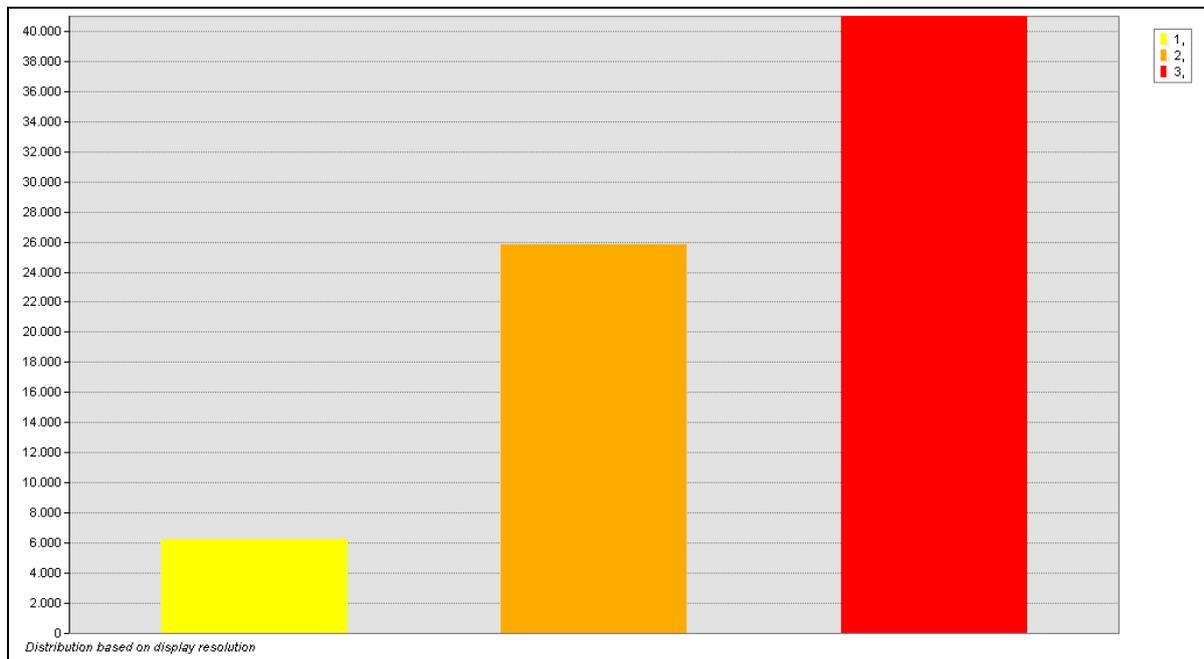


Figura No. 32: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora (1976) según método modificado de INGEOMINAS.



Frecuencia de rangos de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la Figura No. 32

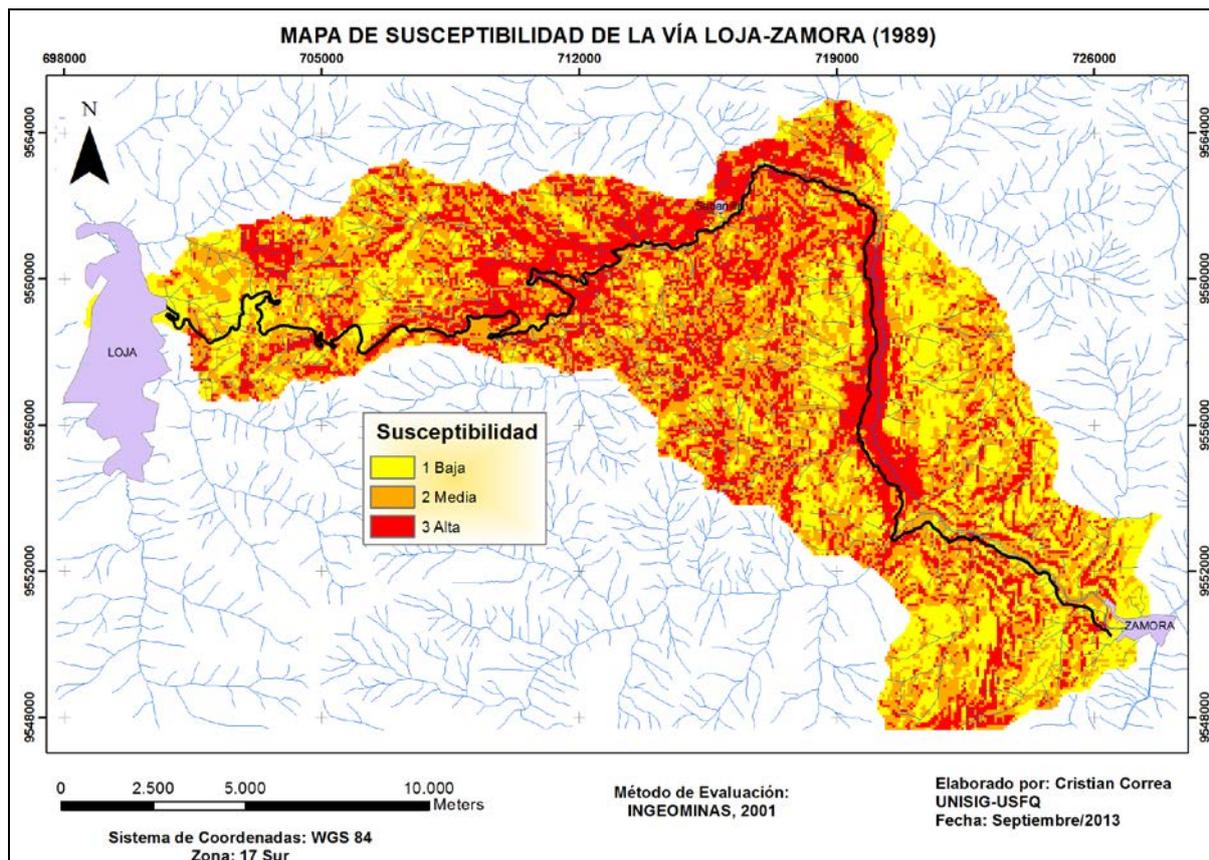


Figura No. 33: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora (1989) según método modificado de INGEOMINAS.

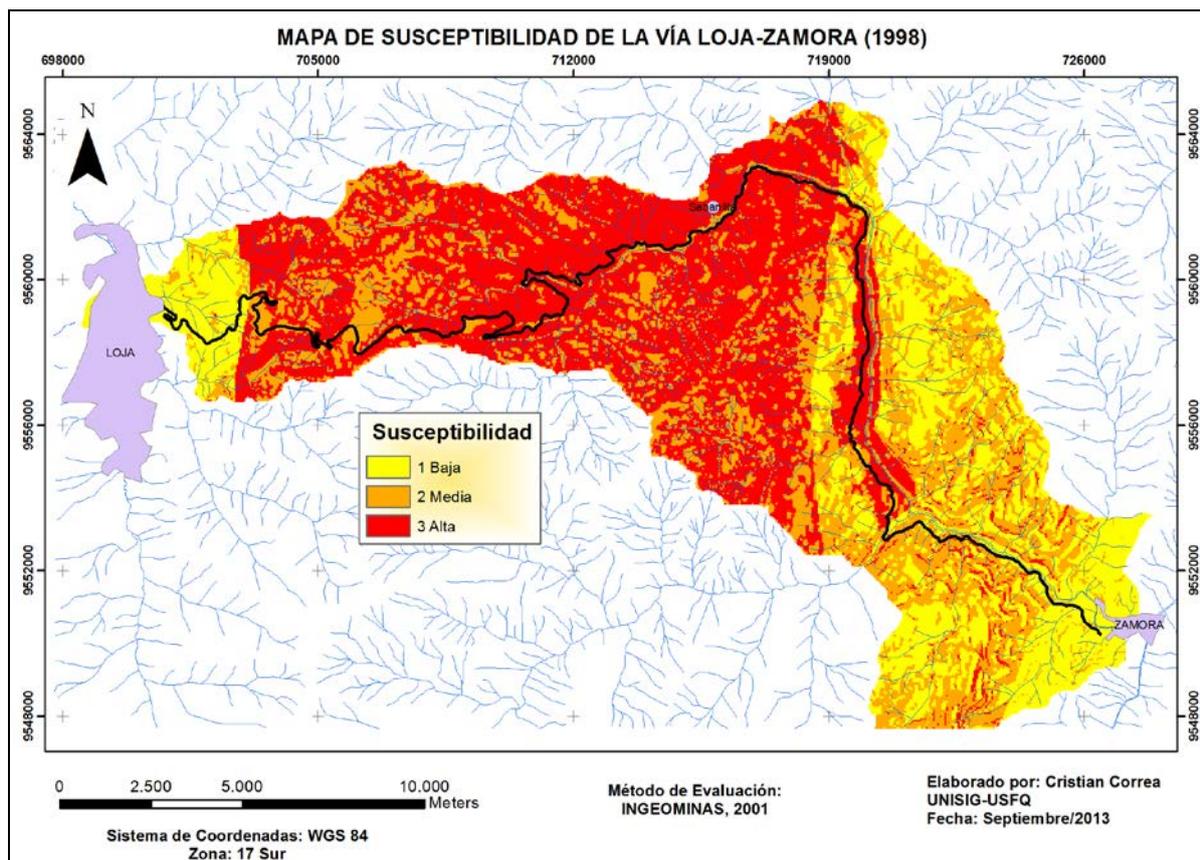


Figura No. 34: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora (1998) según método modificado de INGEOMINAS.

3.5.2 MÉTODO DE BRABB

El método ha sido detallado para ser utilizado en forma cartográfica por Varnes (1984). Este método utiliza fundamentalmente tres factores representados en mapas para evaluar la susceptibilidad por procesos de remoción en masa: un mapa de inventario de los procesos de remoción en masa (PRM), un mapa de unidades litológicas y un mapa de pendientes. El procedimiento original descrito es el siguiente: 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). El Mapa Inventario de Procesos de Remoción en Masa se superpone al Mapa de Unidades Litológicas para identificar las unidades en las cuales ocurren fenómenos de remoción en masa; y, se calculan las áreas movilizadas (deslizadas) en cada una de las unidades litológicas usando la malla. 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. La clase más alta de susceptibilidad (L) se asigna a los depósitos de procesos de remoción en masa, porque contienen mucha más área deslizada (100%) que las litologías de las cuales ellos provienen. Así, los depósitos de los procesos de remoción en masa se consideran como una unidad litológica.

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.).

El mapa de pendientes se sobrepone al Mapa Litológico y al Mapa Inventario de los procesos de remoción en masa combinados; y, se examinan sistemáticamente para determinar los intervalos de pendiente que muestran la máxima frecuencia de los procesos 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).

Para el presente estudio se considera la variación al método de BRABB presentado en el trabajo llevado a cabo en la Cuenca de Loja por Abad (2006) en el cual se establecen cinco rangos de pendiente y se determinan cinco rangos de susceptibilidad. Por motivos de comparación de los resultados obtenidos con los otros dos métodos se efectuó una reclasificación de los rangos de susceptibilidad para dejarlos solamente en tres: baja, media y alta.

3.5.2.1 Determinación de la Susceptibilidad Relativa (SR)

La metodología propuesta por BRABB inicia con la determinación de las relaciones de área movida (deslizada) en cada unidad litológica. Esta relación multiplicada por 100 permite establecer un porcentaje. Tomando los valores más altos y más bajos se efectúa una resta y se divide para el número de rangos que se desea obtener. De esta manera se obtienen los rangos que permiten establecer los valores de susceptibilidad relativa para cada año y que se muestran a continuación:

Obtención del rango (1976)
$2,11 - 0 = 2,11$
$2,11 / 3 = 0,70$

Unidades Litológicas	Área (m ²)	Área deslizada (m ²) 1976	Porcentaje deslizado (%)	Susceptibilidad Relativa (SR)
Aluviales	487388,89	0,00	0,00	I
Granito de Zamora	5691911,41	6587,14	0,12	I
Formación Quillollaco	7156358,09	23386,67	0,33	I
Metamórficos Indiferenciados	4687442,31	25675,85	0,55	I
Gneis de Sabanilla	73584375,76	545124,50	0,74	II
Formación San Cayetano	2780332,25	21109,48	0,76	II
Unidad Chigüinda	101431000,00	2139317,34	2,11	III
Depósitos Deslizados	L	L	L	L

Tabla No. 6: Determinación de la Susceptibilidad Relativa a partir de relaciones de áreas (1978).

Obtención del rango (1989)
$1,94 - 0 = 2,11$
$1,94 / 3 = 0,65$

Unidades Litológicas	Área (m ²)	Área deslizada (m ²) 1989	Porcentaje deslizado (%)	Susceptibilidad Relativa (SR)
Aluviales	487388,89	0,00	0,00	I
Granito de Zamora	5691911,41	4948,73	0,09	I
Formación Quillollaco	7156358,09	26023,66	0,36	I
Gneis de Sabanilla	73584375,76	831425,72	1,13	II
Formación San Cayetano	2780332,25	31927,62	1,15	II
Metamórficos Indiferenciados	4687442,31	57127,50	1,22	II
Unidad Chigüinda	101431000,00	1971235,40	1,94	III
Depósitos Deslizados	L	L	L	L

Tabla No. 7: Determinación de la Susceptibilidad Relativa a partir de relaciones de áreas (1989).

Obtención del rango (1998)
$0,86 - 0 = 2,11$
$0,86 / 3 = 0,29$

Unidades Litológicas	Área (m ²)	Área deslizada (m ²) 1998	Porcentaje deslizado (%)	Susceptibilidad Relativa (SR)
Aluviales	487388,89	0,00	0,00	I
Granito de Zamora	5691911,41	0,00	0,00	I
Formación Quillollaco	7156358,09	4113,60	0,06	I
Formación San Cayetano	2780332,25	3420,62	0,12	I
Metamórficos Indiferenciados	4687442,31	7425,78	0,16	I
Gneis de Sabanilla	73584375,76	221561,95	0,30	II
Unidad Chigüinda	101431000,00	872534,56	0,86	III
Depósitos Deslizados	L	L	L	L

Tabla No. 8: Determinación de la Susceptibilidad Relativa a partir de relaciones de áreas (1998).

3.5.2.2 Determinación de la Susceptibilidad Absoluta (SA)

Seguidamente se elabora otra matriz considerando las unidades litológicas y su susceptibilidad parcial, los rangos de pendientes y el número de procesos de remoción en masa (frecuencia) en cada rango de pendientes y en cada unidad litológica. Se debe indicar que los valores representan el número (frecuencia) de procesos de remoción en masa por rango de susceptibilidad y por unidad litológica. Debido al tema escala, un mismo deslizamiento puede ubicarse dentro de más de una celda (pixel) motivo por el cual no se considera el área que se ubica dentro de las celdas sino mas bien se ha considerado como un diferente proceso de remoción en masa aún cuando de trata de una misma área.

UNIDAD LITOLÓGICA	RANGOS DE PENDIENTES (°). 1976				
	0-9,15	9,16-22,2	22,3-31,3	31,4-42,97	43,0-89,70
Aluviales	0	0	0	0	0
Fm. San Cayetano	2	4	2	1	0
Fm. Quillollaco	3	4	4	1	2
Granito de Zamora	0	0	0	0	0
Gneis de Sabanilla	0	1	62	54	30
Unidad Chigüinda	121	98	256	259	182
Metamórficos Indiferen.	2	1	1	1	1
Depósitos Deslizados	L	L	L	L	L

Tabla No. 9: Determinación de frecuencia de procesos de remoción en masa por unidad litológica y por rango de pendiente (1978).

UNIDAD LITOLÓGICA	RANGOS DE PENDIENTES (°). 1989				
	0-9,15	9,16-22,2	22,3-31,3	31,4-42,97	43,0-89,70
Aluviales	0	0	0	0	0
Fm. San Cayetano	2	5	0	1	0
Fm. Quillollaco	5	6	4	0	0
Granito de Zamora	0	1	2	1	1
Gneis de Sabanilla	25	36	79	73	61
Unidad Chigüinda	150	108	293	282	190
Metamórficos Indiferen.	3	8	3	3	6
Depósitos Deslizados	L	L	L	L	L

Tabla No. 10: Determinación de frecuencia de procesos de remoción en masa por unidad litológica y por rango de pendiente (1989).

UNIDAD LITOLÓGICA	RANGOS DE PENDIENTES (°). 1998				
	0-9,15	9,16-22,2	22,3-31,3	31,4-42,97	43,0-89,70
Aluviales	0	0	0	0	0
Fm. San Cayetano	2	1	0	0	0
Fm. Quillollaco	1	2	0	0	0
Granito de Zamora	0	0	0	0	0
Gneis de Sabanilla	16	12	37	37	36
Unidad Chigüinda	107	118	248	244	145
Metamórficos Indiferen.	2	2	1	1	0
Depósitos Deslizados	L	L	L	L	L

Tabla No. 11: Determinación de frecuencia de procesos de remoción en masa por unidad litológica y por rango de pendiente (1998).

Con las matrices obtenidas para cada unidad litológica por pendiente y por año es posible entonces determinar la Susceptibilidad Absoluta (SA). El establecimiento de los rangos de susceptibilidad se la realiza de la misma manera que para el establecimiento de la Susceptibilidad Relativa (SR). En cuanto a los rangos de susceptibilidad absoluta se debe aclarar que los valores que se obtengan tendrán como valor máximo el obtenido en el análisis de susceptibilidad relativa como se muestra a continuación:

Obtención del rango (1976)
$4-0 = 4$
$4 / 3 = 1,33$

RANGOS	Susceptibilidad Absoluta (Fm. San Cayetano)
0-1,33	I
1,33-2,66	II
2,66-4	III

Obtención del rango (1976)
$4-1 = 3$
$3 / 3 = 1$

RANGOS	Susceptibilidad Absoluta (Fm. Quillolaco)
1-2	I
2-3	II
3-4	III

Obtención del rango (1976)
$62-0 = 62$
$62 / 3 = 20,66$

RANGOS	Susceptibilidad Absoluta (U. Gneis de Sabanilla)
0-20,66	I
20,66-41,33	II
41,33-62	III

Obtención del rango (1976)
$259-98 = 161$
$161 / 3 = 53,67$

RANGOS	Susceptibilidad Absoluta (U. Chigüinda)
121-174,67	I
174,67-228,33	II
228,33-282	III

Obtención del rango (1976)
$2-1 = 1$
$1 / 3 = 0,33$

RANGOS	Susceptibilidad Absoluta (Metamórficos Indiferen.)
1-1,33	I
1,33-1,67	II
1,67-2	III

UNIDAD LITOLÓGICA	RANGOS DE PENDIENTES (°). 1976				
	0-9,15	9,16-22,2	22,3-31,3	31,4-42,97	43,0-89,70
Aluviales	I	I	I	I	I
Fm. San Cayetano	II	II	II	I	I
Fm. Quillollaco	I	I	I	I	I
Granito de Zamora	I	I	I	I	I
Gneis de Sabanilla	I	I	II	II	II
Unidad Chigüinda	I	I	III	III	II
Metamórficos Indiferen.	I	I	I	I	I
Depósitos Deslizados	L	L	L	L	L

Tabla No. 12: Determinación de la Susceptibilidad Absoluta (1978).

Obtención del rango (1989)
$5-0 = 5$
$5 / 3 = 1,67$

RANGOS	Susceptibilidad Absoluta (San Cayetano)
0-1,67	I
1,67-3,33	II
3,33-5	III

Obtención del rango (1989)
$6-0 = 6$
$6 / 3 = 2$

RANGOS	Susceptibilidad Absoluta (Quillollaco)
0-2	I
2-4	II
4-6	III

Obtención del rango (1989)
$2-0 = 2$
$2 / 3 = 0,67$

RANGOS	Susceptibilidad Absoluta (Granito de Zamora)
0-0,67	I
0,67-1,33	II
1,33-2	III

Obtención del rango (1989)
$79-25 = 54$
$54 / 3 = 18$

RANGOS	Susceptibilidad Absoluta (Sabanilla)
25-43	I
43-61	II
61-79	III

Obtención del rango (1989)
$293-108 = 185$
$185 / 3 = \mathbf{61,67}$

RANGOS	Susceptibilidad Absoluta (Chigüinda)
108-169,67	I
169,67-231,33	II
231,33-293	III

Obtención del rango (1989)
$8-3 = 5$
$5 / 3 = \mathbf{1,67}$

RANGOS	Susceptibilidad Absoluta (Metamórficos Indiferen.)
3-4,67	I
4,67-6,33	II
6,33-8	III

UNIDAD LITOLÓGICA	RANGOS DE PENDIENTES (°). 1989				
	0-9,15	9,16-22,2	22,3-31,3	31,4-42,97	43,0-89,70
Aluviales	I	I	I	I	I
Fm. San Cayetano	II	II	I	I	I
Fm. Quillollaco	I	I	I	I	I
Granito de Zamora	I	I	I	I	I
Gneis de Sabanilla	I	I	II	II	II
Unidad Chigüinda	I	I	III	III	II
Metamórficos Indiferen.	I	II	I	I	II
Depósitos Deslizados	L	L	L	L	L

Tabla No. 13: Determinación de la Susceptibilidad Absoluta (1989).

Obtención del rango (1998)
$2-0 = 2$
$2 / 3 = \mathbf{0,66}$

RANGOS	Susceptibilidad Absoluta (San Cayetano-Quillollaco- Metamórficos Indiferen.)
0-0,66	I
0,66-1,33	II
1,33-2	III

Obtención del rango (1998)
$248-107 = 141$
$141 / 3 = \mathbf{47}$

RANGOS	Susceptibilidad Absoluta (Unidad Chigüinda)
107-154	I
154-201	II
201-248	III

Obtención del rango (1998)
$37-12 = 25$
$25 / 3 = 8,33$

RANGOS	Susceptibilidad Absoluta (Gneis de Sabanilla)
12 – 20,33	I
20,33-28,66	II
28,66-37	III

UNIDAD LITOLÓGICA	RANGOS DE PENDIENTES (°). 1998				
	0-9,15	9,16-22,2	22,3-31,3	31,4-42,97	43,0-89,70
Aluviales	I	I	I	I	I
Fm. San Cayetano	I	I	I	I	I
Fm. Quillollaco	I	I	I	I	I
Granito de Zamora	I	I	I	I	I
Gneis de Sabanilla	I	I	II	II	II
Unidad Chigüinda	I	I	III	III	I
Metamórficos Indiferen.	II	II	II	II	I
Depósitos Deslizados	L	L	L	L	L

Tabla No. 14: Determinación de la Susceptibilidad Absoluta (1998).

Finalmente, mediante los valores obtenidos y con la ayuda del SIG se elaboran los mapas de susceptibilidad para los diferentes años motivo del presente estudio. El procedimiento consiste en asignar a cada pixel (celda), una vez que se ha convertido el formato raster al mapa de unidades geológicas, los valores de susceptibilidad absoluta obtenidas y presentadas en las tablas anteriores. Mediante las herramientas de selección por atributos se escogen las celdas deseadas y se procede a asignarles los valores de susceptibilidad según sea el caso.

Para la representación cartográfica se toma en consideración los siguientes valores de susceptibilidad:

Valor de Susceptibilidad Absoluta	Susceptibilidad
I	Baja
II	Media
III	Alta
L	Muy Alta

Tabla No. 15: Rangos de susceptibilidad considerados para el presente estudio

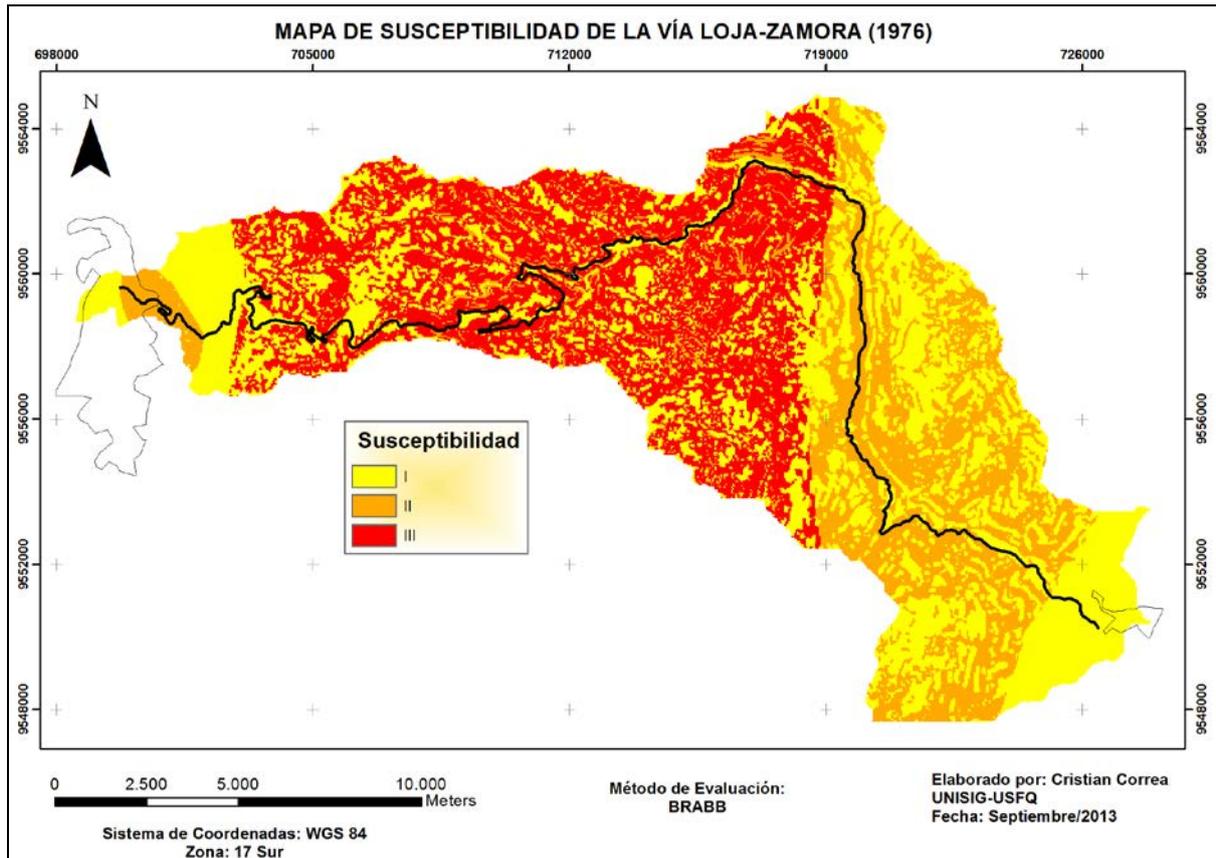
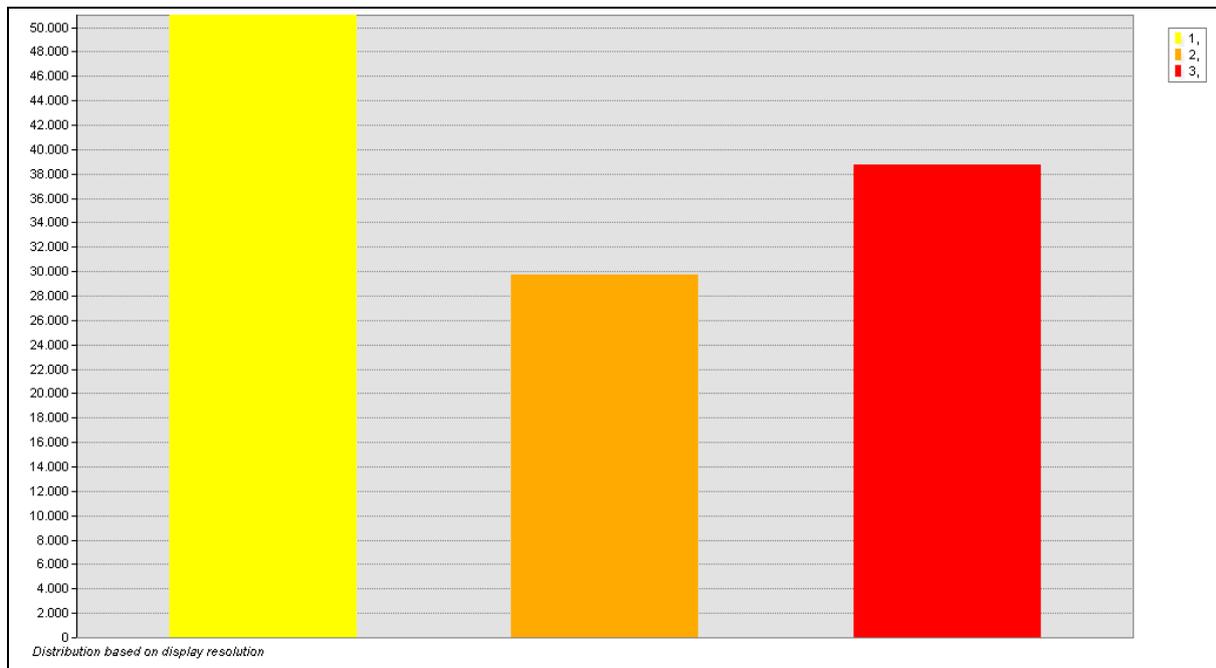


Figura No. 35: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora (1976) según método modificado de BRABB.



Frecuencia de rangos de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la Figura No. 35

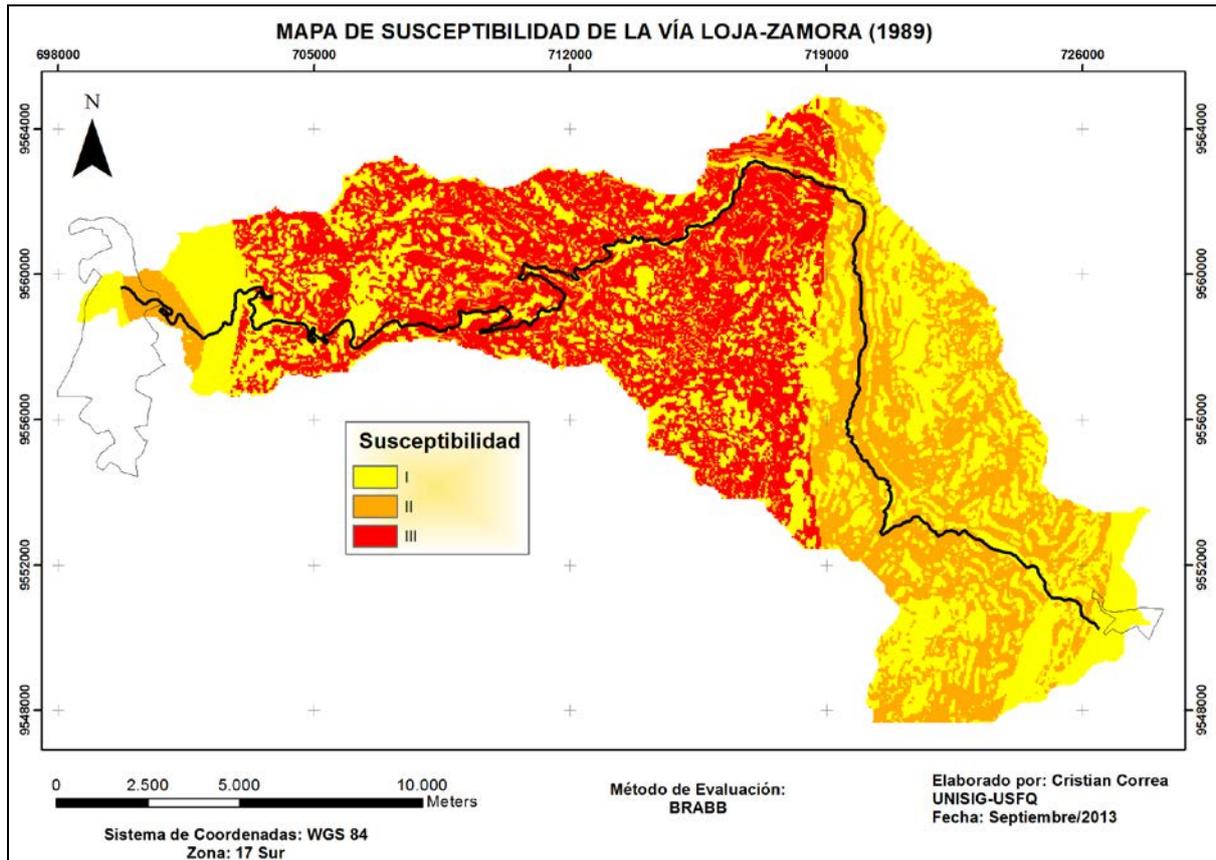


Figura No. 36: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora (1989) según método modificado de BRABB.

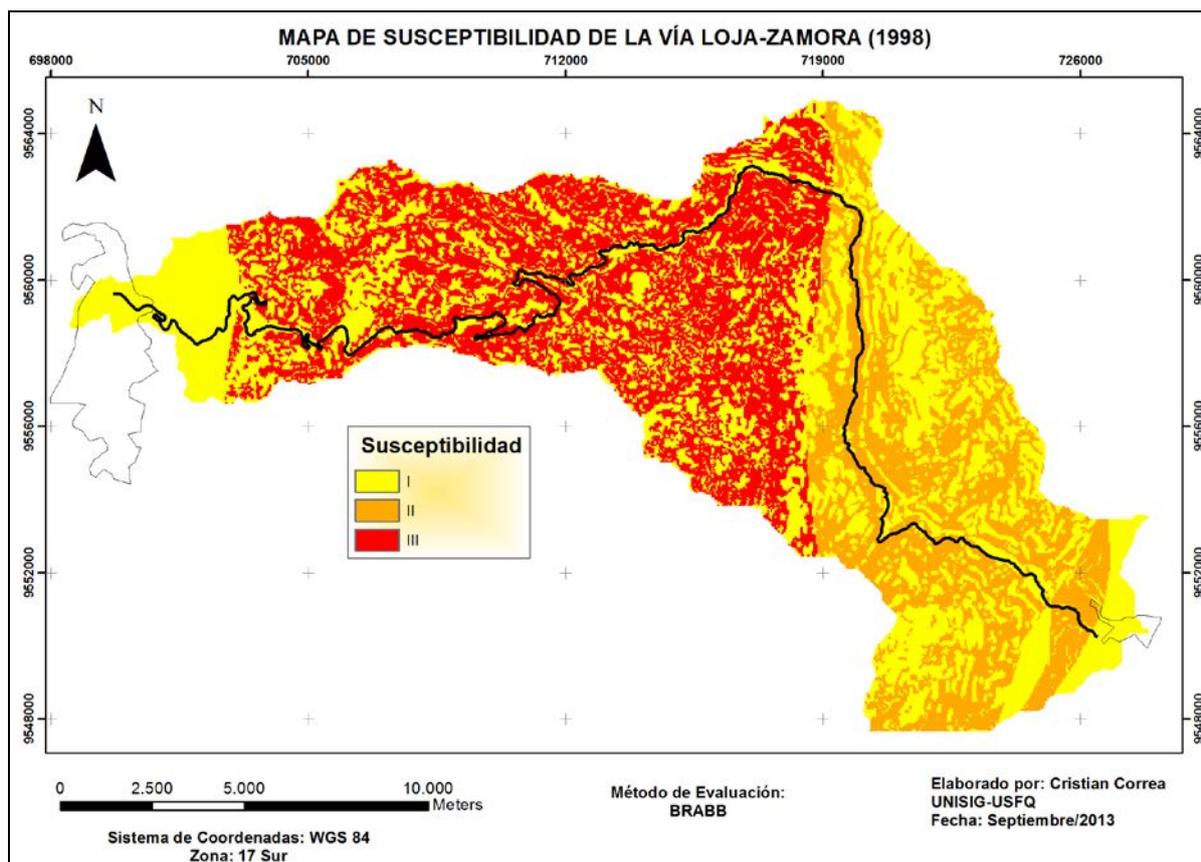


Figura No. 37: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora (1998) según método modificado de BRABB.

3.5.3 MÉTODO PROPUESTO POR DOTOR

Este método sugiere un proceso de análisis de los factores que condicionan la susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

A las variables que el autor propone para el mencionado análisis se les asigna un valor numérico en función de su importancia en la probabilidad de ocurrencia de procesos de remoción en masa. Es evidente que la cuantificación de todos los factores considerados se presta a la subjetividad.

De la variedad de metodologías existentes se ha seleccionado esta propuesta considerando primeramente que se tiene un conocimiento previo de campo de las condiciones en las cuales se desarrollan procesos de remoción en masa a lo largo de la vía Loja-Zamora. También se tomó en consideración la información de entrada existente y las diferentes escalas a las que dicha información se encuentra disponible.

En su trabajo Doctor menciona seis variables requeridas para la determinación de la susceptibilidad a procesos de remoción en masa y evaluación del riesgo. A saber estas variables son: pendiente, litología, vegetación, precipitaciones, red hidrológica, vías de comunicación y tendido eléctrico y núcleos de población.

- **Pendiente:** El ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal. Su valor viene expresado de 0° a 90°. La pendiente es el factor que más condiciona la ocurrencia o generación de procesos de remoción en masa.
- **Litología:** Se estima la estabilidad del terreno en función sus características geológicas. La valoración se realiza de forma semicuantitativa, asignándole un valor numérico en función de los tipos de rocas y de suelos existente en la zona de estudio, dependiendo del grado de estabilidad que a priori presentan los suelos y rocas según su clasificación geológica.
- **Vegetación:** Hace referencia a los diferentes tipos de vegetación existentes en la zona de estudio. Se valora de forma semicuantitativa, teniendo en cuenta la presencia o ausencia de vegetación y el tipo de vegetación. La presencia de vegetación disminuye la probabilidad de inestabilidad del terreno y la pérdida de cobertera vegetal aumenta la posibilidad de ocurrencia de procesos de remoción en masa.
- **Precipitaciones:** Indica la cantidad de precipitaciones en el área de estudio, factor que influye considerablemente en la estabilidad de laderas (taludes), ya que después de épocas de grandes lluvias se suelen producir , en determinadas circunsatncias, eventos de magnitudes considerables, esto es debido a que la infiltración de agua en terreno, puede ocasionar un incremento de las fuerzas que tienden a inestabilizar el terreno.
- **Red Hidrológica:** La proximidad de una zona a una red hidrológica implica un aumento de la posibilidad de ocurrencia de un proceso de remoción en masa. Esto se debe a que la presencia de agua en el terreno reduce la resistencia al corte de los materiales.
- **Vías de comunicación y tendido eléctrico:** La afectación de procesos de remoción en masa a las vías de comunicación y tendido implica grandes riesgos tanto económicos, como de pérdidas de vidas humanas.
- **Núcleos de población:** La proximidad a zonas urbanas con alto índice de población implica un mayor riesgo de peligrosidad de zonas susceptibles a procesos de remoción.

Una vez que se han obtenido las variables que serán consideradas para la determinación de la susceptibilidad de procesos de remoción en masa el autor propone el siguiente análisis:

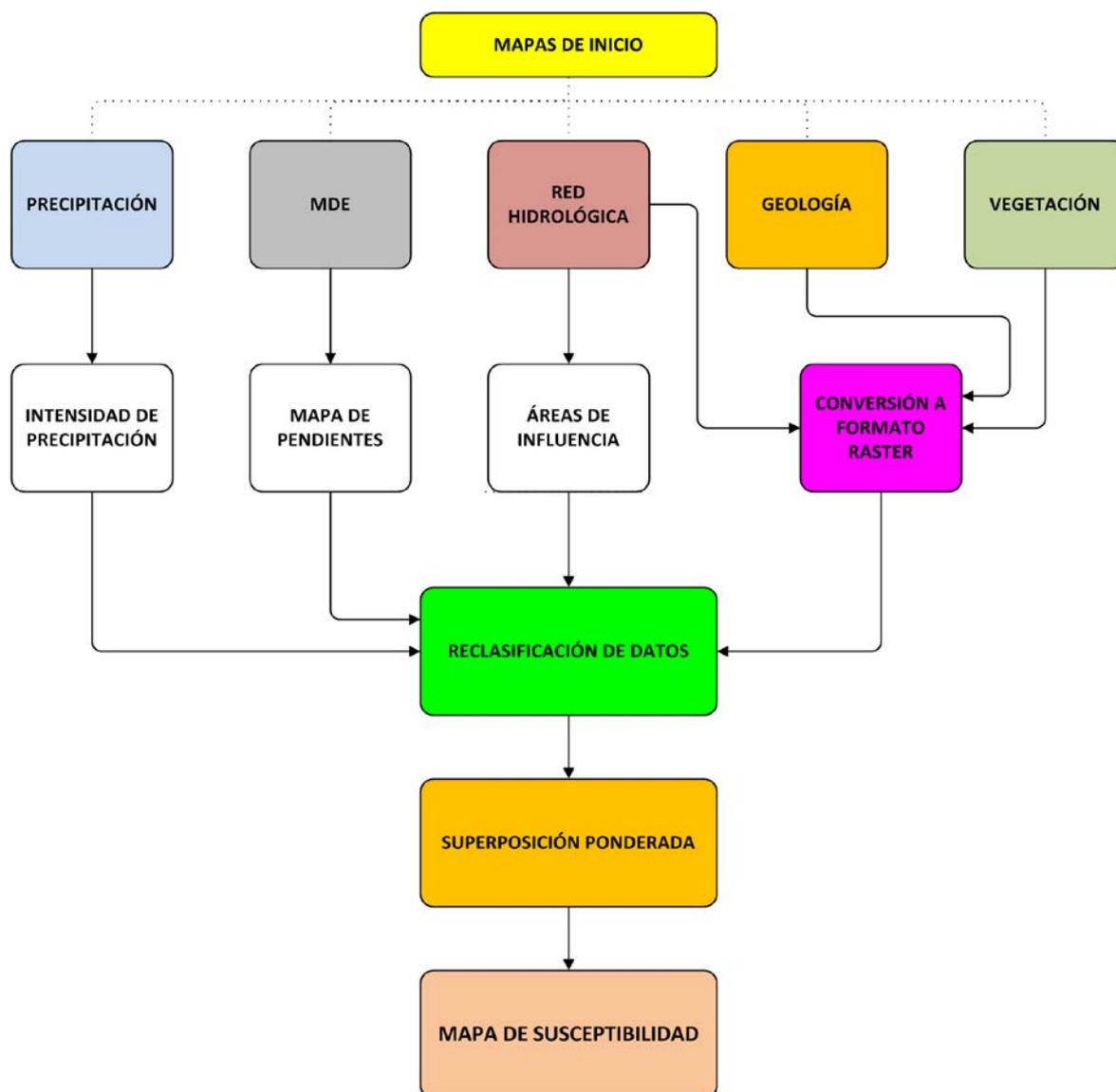


Figura No. 38: Esquema General de Análisis (DOTOR, 2004)

Establecidos los parámetros de entrada para la evaluación de la susceptibilidad a procesos de remoción en masa se procede con la superposición ponderada. El autor propone un porcentaje para cada factor involucrado en la ocurrencia de un proceso de remoción en masa. En la **Tabla No. 16** se presenta la ponderación de cada variable.

Variable	Valores de Ponderación
Pendiente	50%
Geología	30%
Precipitación	10%
Vegetación	5%
Hidrología	5%

Tabla No. 16: Valores de ponderación (según DOTOR, 2004)

Una vez realizada la superposición, el área de la zona de estudio se clasifica en cinco clases de susceptibilidad de acuerdo a la ponderación efectuada.

3.5.3.1 Consideraciones Realizadas

La selección del método para este trabajo se basó en el tipo de variables con las que se cuenta y considerando las diferentes escalas que cada variable presenta.

El mapa geológico del área de estudio corresponde a una hoja geológica regional de escala 1:500.000. Algunos detalles con respecto a las unidades litológicas se los hizo mediante la utilización de mapas geológicos locales a escala 1:100.000.

El mapa de pendientes se lo generó a partir de una base topográfica 1:50.000

En el caso de los mapas de cobertura vegetal y de precipitaciones los datos utilizados corresponden a bases con escala 1:250.000.

La calificación o ponderación está en función de las observaciones de campo llevadas a cabo dentro del área de estudio. Además no se consideraron todas las variables sugeridas por el autor debido principalmente a que no todas, para este caso en particular, intervendrían en la ocurrencia de flujos de detritos o avalanchas.

3.5.3.2 Aplicación del Método de DOTOR para el área de estudio

En la tabla que viene a continuación se señalan los factores y la ponderación seleccionada para la evaluación de la susceptibilidad a procesos de remoción en masa a lo largo de la vía Loja-Zamora:

Variable	Valores de Ponderación	Observaciones
Pendiente	20%	Se obtiene a partir de la topografía de la zona a escala 1:50.000
Geología	45%	Se obtiene a partir de una hoja geológica escala 1:500.000 y 1:100000
Precipitación	25%	Se obtiene a partir de información regional digital a escala 1:250.000
Vegetación	10%	Se obtiene a partir de información regional digital a escala 1:250.000

Tabla No. 17: Variables utilizadas para la determinación de la susceptibilidad

Según las observaciones realizadas en campo, se establece que la geología junto con la pendiente y la precipitación son los valores determinantes para la generación de procesos de remoción en masa dentro del área de estudio. Una variable adicional que se evaluó fue la cobertura vegetal que sin duda alguna es un factor que se debe incorporar al proceso de análisis. En cuanto a la red hidrológica mencionada, sí se considera la manera como se delimitó el área de estudio se podría decir que este factor fue de alguna manera incorporado al modelo de análisis.

En este sentido, los valores de ponderación dados en el método original propuesto por Dotor (2004) son modificados y/u omitidos en función de la información disponible y especialmente de las observaciones y conclusiones preliminares establecidas en el análisis presentado en el capítulo tres y corroborados en parte durante el trabajo de campo dentro del área de interés.

La información se transforma en formato raster para poder realizar la ponderación mediante la herramienta Weighted Overlay del ArcMap 10.1® y generar así el mapa requerido.

3.5.3.3 Mapa de Pendientes

El mapa de pendientes se generó a partir de una base topográfica 1:50 000. Se utilizaron 5 rangos pendientes para el análisis. Se seleccionó el método de clasificación Natural Breaks (Jenks) toda vez que al superponer en mapa de inventario de procesos de remoción en masa sobre el mapa de pendientes generado se observa que la mayor parte de los flujos y

avalanchas ocurren en las zonas con valores de pendientes aproximadamente entre 20° a 82°. Localmente se tienen deslizamientos de tipo rotacional y traslacional principalmente a los costados de la vía. Esta tipificación se hizo en función de un trabajo de campo, puesto que, mediante la fotointerpretación no es factible, dada la escala de trabajo, clasificar los procesos inventariados en el mapa correspondiente.

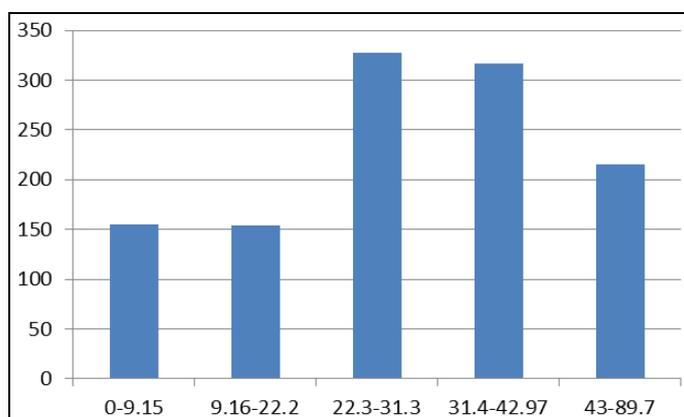
3.5.3.4 Ponderación de los rangos de pendiente

Para el tratamiento del mapa se utilizaron cinco (5) rangos de pendientes con la ponderación que se muestra a continuación:

Rango de pendiente (°)	Valores de Ponderación
0°-9.15°	1
9.16°-22.2°	2
22.3°-31.3°	5
31.4°-42.97°	4
43°-89.7°	3

Tabla No. 18: Ponderación para los rangos de pendientes

La valoración que se indica en la *Tabla No. 18* se basa esencialmente en la frecuencia de procesos de remoción en masa observados a partir de la fotointerpretación y del análisis realizado mediante SIG.



Frecuencia de procesos de remoción en masa por rango de pendiente (1976)

En el análisis presentado en el ítem 3.3.3 se puede apreciar que la mayor frecuencia de procesos de remoción en masa suceden con pendiente superiores a los 22.2°.

Según la metodología propuesta por Brabb la mayor frecuencia de procesos de remoción en masa por litología se estima que ocurran en rangos de pendientes que excedan el 30%, esto es, aproximadamente 17°. Este valor de pendiente se ubica en el rango entre 9.16° a 22.2° motivo por el cual se lo ponderado con un valor de 2 según se observa en la **Tabla No. 18**.

En el análisis realizado para el desarrollo del método de evaluación sugerido por INGEOMINAS se puede establecer de forma gráfica los valores de ponderación más adecuados en función de los rangos de pendiente en donde se tiene mayor frecuencia de procesos de remoción en masa.

Nótese que en este caso la clasificación de las pendientes a través del método de *Natural Breaks* generó resultados que reflejan las condiciones de terreno, sin embargo, dependiendo de las condiciones de la zona se deberán evaluar otros métodos de clasificación de acuerdo a cada situación en particular.

3.5.3.5 Mapa Geológico

Las unidades donde se presentan procesos de remoción en masa con mayor frecuencia son las Unidades y Gneis de Sabanilla.

Los procesos de remoción en masa fueron interpretados mediante fotografías aéreas como se explicó anteriormente. Para el presente trabajo se consideraron solamente las formaciones por las cuales cruza la vía Loja-Zamora.

3.5.3.6 Ponderación de las Unidades Litológicas

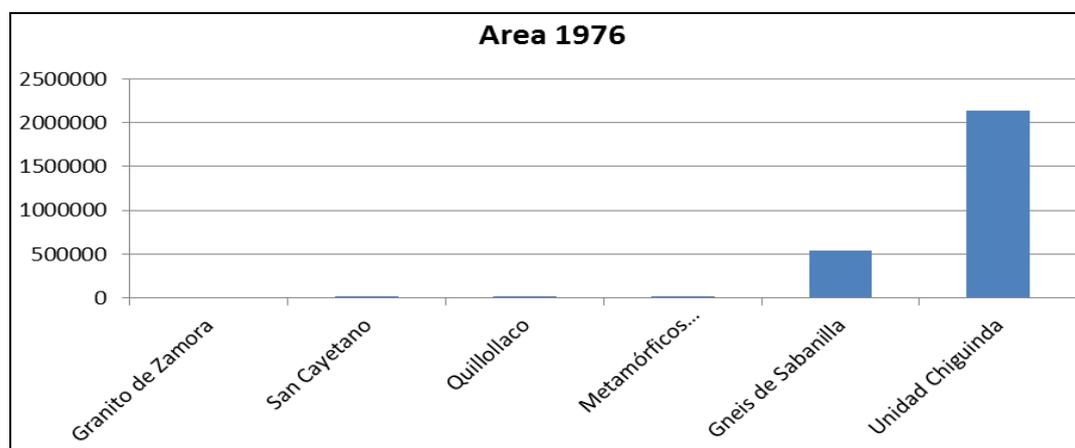
En la **Tabla N° 4**, en función de la presencia de procesos de remoción en masa (frecuencia), se muestra la ponderación efectuada para este trabajo:

Unidad Litológica	Valores de Ponderación
Aluviales	1
Metamórficos Indiferenciados	4
Unidad Granito de Zamora	1
Formación Quillollaco	3
Formación San Cayetano	2
Gneis de Sabanilla	5
Unidad Chigüinda	6

Tabla No. 19: Ponderación para las unidades litológicas

La ponderación que se muestra en la **Tabla No. 19** se la realizó en base a la frecuencia de procesos de remoción en masa presentes en cada formación o unidad litológica. Se debe aclarar que en la unidad geológica Aluviales, aflorante solamente en el tramo inicial de la vía Loja-Zamora, no se presentan procesos de remoción en masa. Se la consideró únicamente porque se encuentra dentro de la zona delimitada para el presente estudio.

La Unidad Chigüinda y el Gneis de Sabanilla tienen la ocurrencia más alta de procesos de remoción en masa, en su mayoría avalanchas, flujos de detritos, entre otros. Seguidamente se tienen la Unidad Metamórficos Indiferenciados y las Formaciones San Cayetano y Quillollaco y el Batolito de Zamora.



Frecuencia de procesos de remoción en masa por unidad litológica (1976)

3.5.3.7 Mapas de Precipitaciones y Vegetación (cobertura vegetal)

La información que se utilizó para el análisis de la susceptibilidad fue tomada del INFOPLAN de los años 2005 y 2012. Como se puede observar no se trata de información reciente, sin embargo, es útil como datos de inicio.

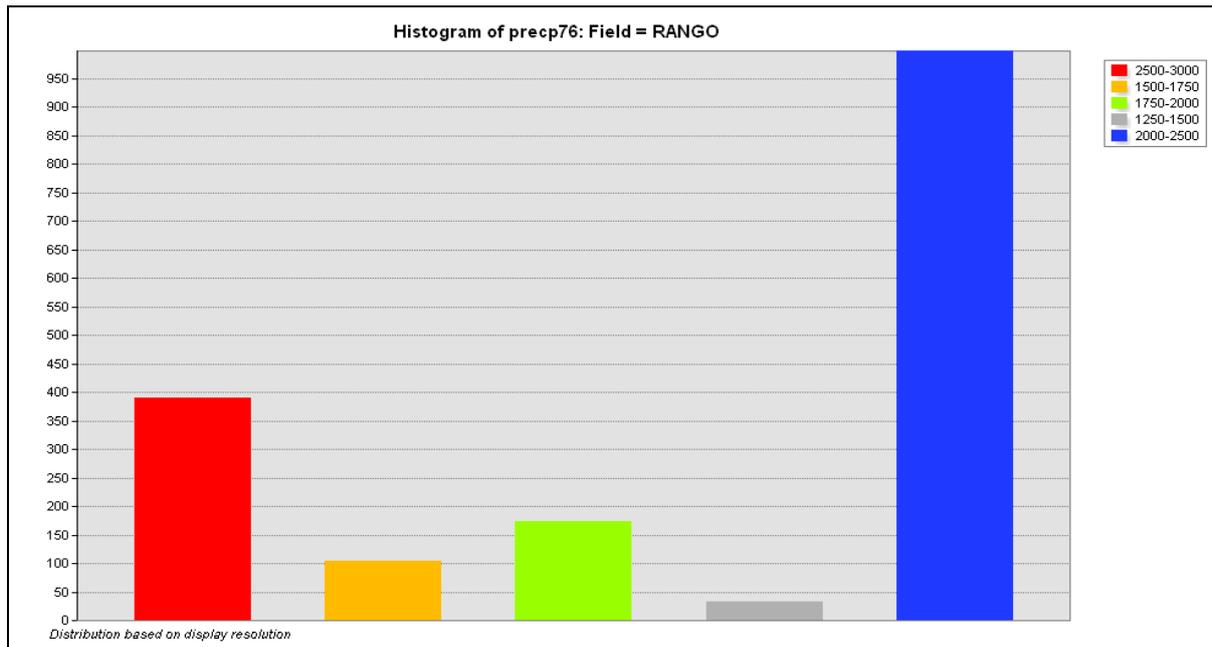
3.5.3.8 Ponderación de las Precipitaciones

Existe una relación directa entre la ocurrencia de procesos de remoción en masa y las precipitaciones. A esta conclusión se llega una vez efectuada la fotointerpretación y según las versiones de pobladores y usuarios de la carretera Loja-Zamora. En épocas lluviosas existe una notoria presencia de procesos de remoción en masa (Correa, 2007).

En la Tabla N° 5 se presentan los valores de ponderación dados a cada rango de precipitación.

Rango de Precipitación (mm)	Valores de Ponderación
1250-1500	1
1500-1750	2
1750-2000	4
2000-2500	5
2500-3000	3

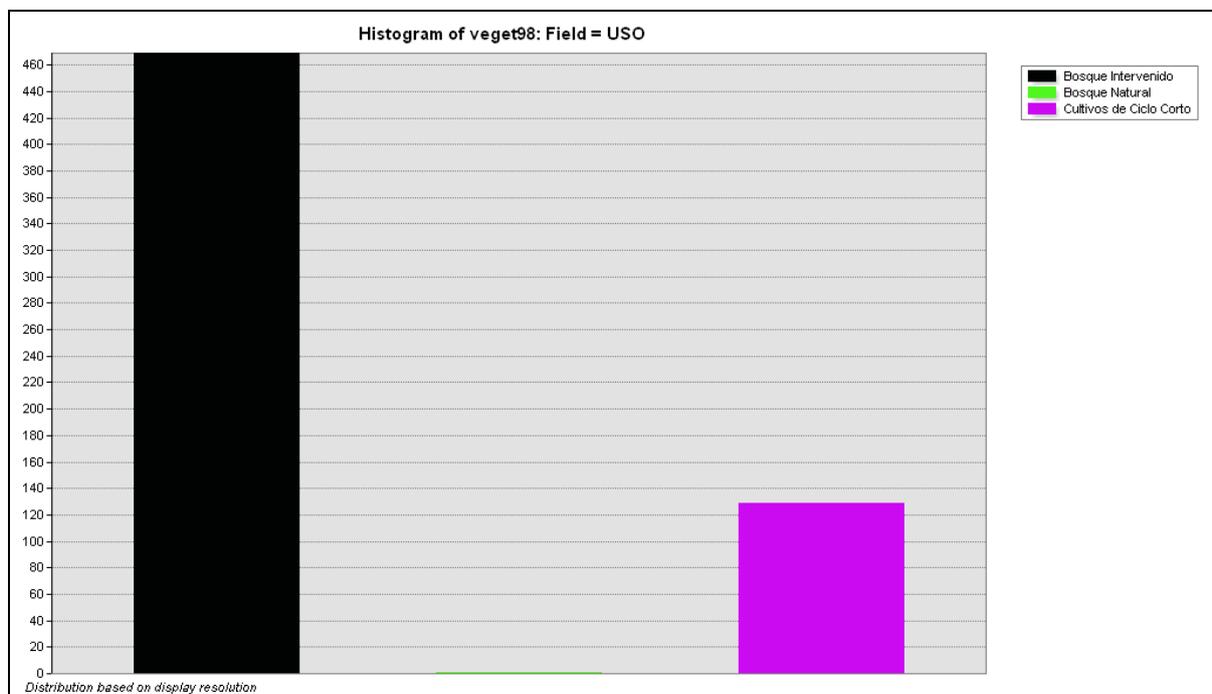
Tabla No. 20: Ponderación de los rangos de precipitaciones



Frecuencia de procesos de remoción en masa por unidad litológica (1976)

3.5.3.9 Ponderación de la Cobertura Vegetal

En el caso de la cobertura vegetal, el criterio que prevaleció es la presencia o no de procesos de remoción en masa en las diferentes coberturas vegetales. A cada una se le asignó un peso de acuerdo a la cantidad de procesos de remoción en masa (Tabla N° 6).



Frecuencia de procesos de remoción en masa por uso del suelo (1976)

Tipo de Cobertura Vegetal	Valores de Ponderación
Áreas erosionadas	1
Bosque Intervenido	3
Bosque Natural	1
Cultivos de Ciclo Corto	2
Pasto Cultivado	1

Tabla No. 21: Ponderación para la cobertura vegetal

3.5.3.10 Mapa de Susceptibilidad a Procesos de Remoción en Masa

Finalmente, una vez que se han seleccionado las variables se procede a efectuar el análisis de la susceptibilidad del área de estudio. Para ello se efectúa una reclasificación de los mapas de entrada y posteriormente la superposición ponderada. Todo esto se logra mediante las herramientas disponibles en el ArcMap-ArcInfo 10.1 ®. El procedimiento seguido utiliza como herramienta de trabajo la opción Weighted Overlay en donde es posible ingresar todos los factores involucrados en la ocurrencia de procesos de remoción en masa. Esta herramienta permite ejecutar la reclasificación y al mismo tiempo ponderar a cada factor de manera individual.

En la *Figura No. 39* se presenta el mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja Zamora y sus alrededores. La ponderación seguida para la obtención de este mapa fue la presentada en la *Tabla No. 17*.

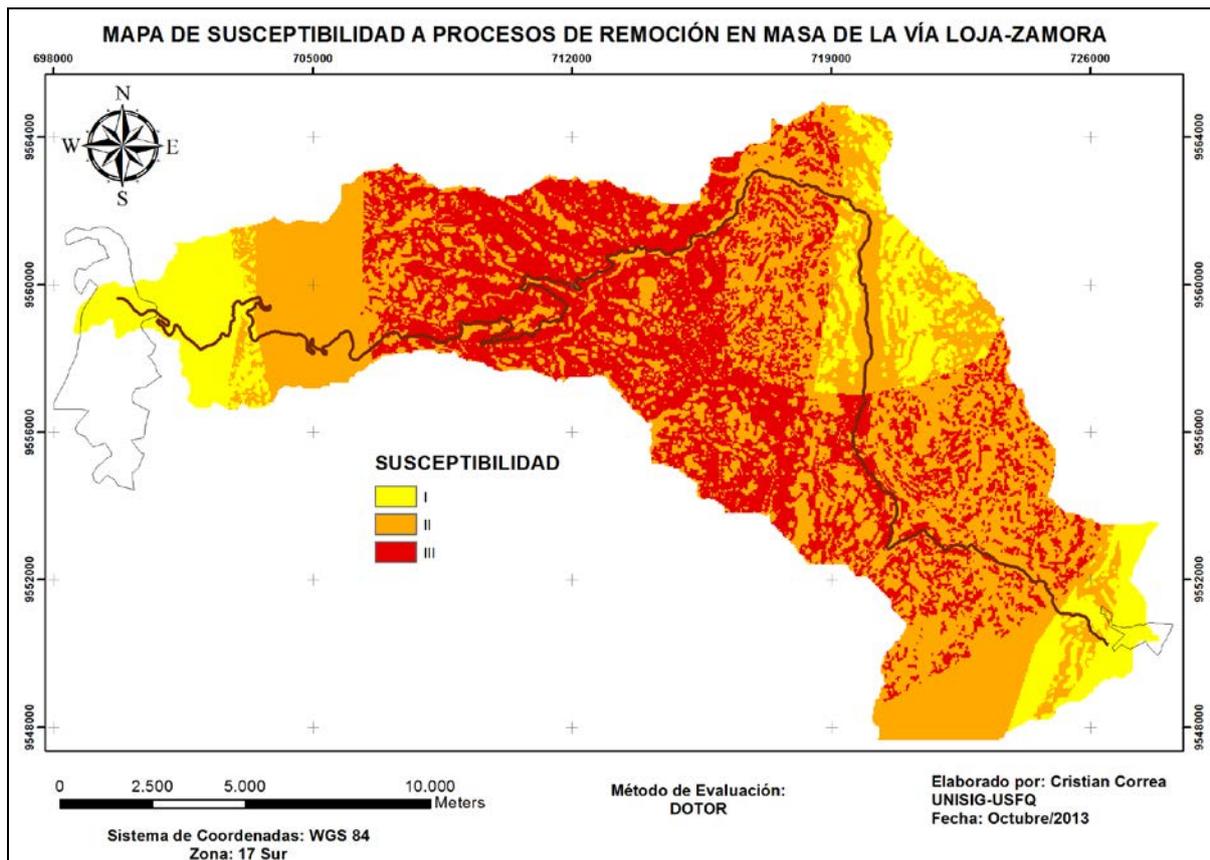
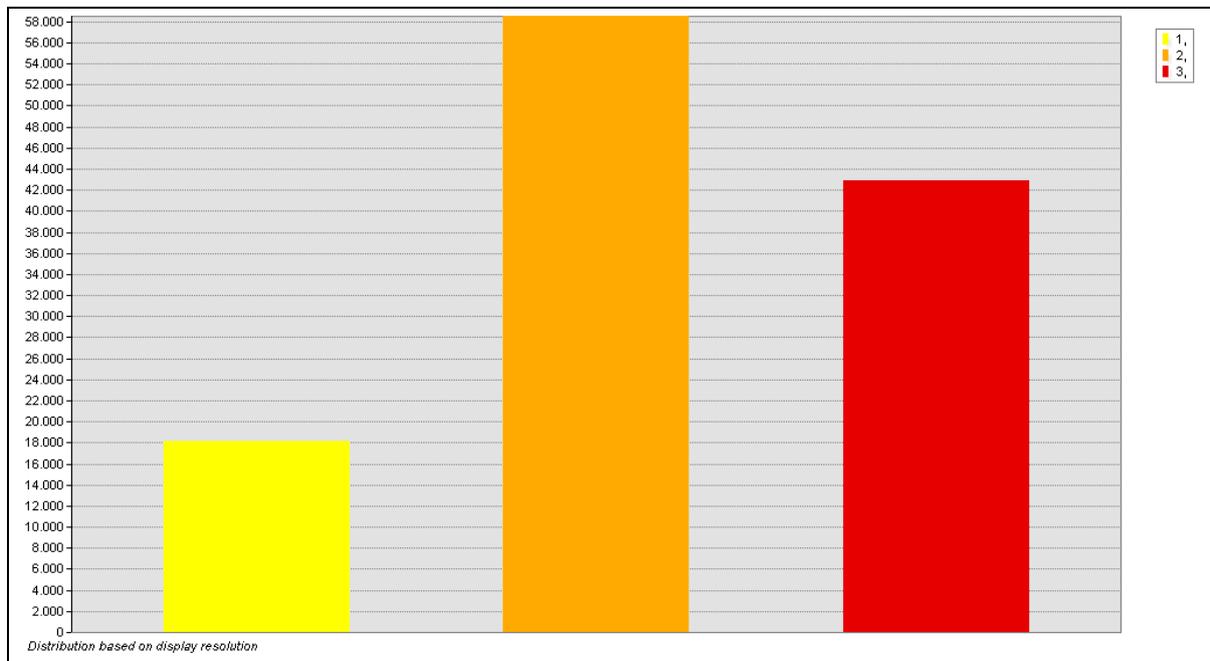


Figura No. 39: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora según método modificado de DOTOR.



Frecuencia de rangos de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la Figura No. 39

3.5.4 DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE PONDERACIÓN MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE SAATY

Mediante la metodología propuesta por Saaty (1980) es posible efectuar un análisis multicriterio que permite llevar a cabo una categorización jerárquica de las variables consideradas de acuerdo con un argumento matemático y, en este caso, concordante con la frecuencia de procesos de remoción en masa.

A.	Pendiente
B.	Geología
C.	Precipitación
D.	Vegetación

Tabla No. 22.- Variables consideradas para la ponderación

1 = Igual de Importante
3 = Ligeramente más importante (1/3 Ligeramente menos importante)
5 = Más importante (1/5 Menos importante)
7 = Bastante importante (1/7 Bastante menos importante)
9 = Mucho más importante (1/9 Mucho menos importante)

Tabla No. 22: Rangos de importancia considerador por Saaty (1980)

	A	B	C	D	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>Media</i>	Ponderación (%) según Saaty	Ponderación (%) según Tabla No.17
A	1	1/7	7/1	5/1	0,12	0,10	0,46	0,36	0,26	26	20
B	7/1	1/1	7/1	5/1	0,84	0,67	0,46	0,36	0,58	58	45
C	1/7	1/7	1/1	3/1	0,02	0,10	0,07	0,21	0,10	10	25
D	1/5	1/5	1/3	1/1	0,02	0,13	0,02	0,07	0,06	6	10
TOTAL	8,34	1,49	15,33	14,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	100,00	100,00

Tabla No. 23: Resultados de la ponderación para este estudio según la metodología propuesta por Saaty (1980)

Para el desarrollo de esta propuesta metodológica se evaluó la importancia que tiene por ejemplo la geología (A) sobre la precipitación (C). Basados en el conocimiento anterior del sitio de estudio se establece que la geología resulta “bastante importante” comparativamente con la precipitación por lo que en el casillero correspondiente (A/C) se coloca la relación 7/1.

Se procede de la misma manera con los casilleros inferiores restantes. En las columnas con las letras minúsculas se obtienen los porcentajes individuales tomando la sumatoria de los factores considerados para el análisis de susceptibilidad. De este modo se obtienen valores promedios que corresponden a los valores de ponderación (expresados en porcentaje) que serán utilizados para el presente análisis.

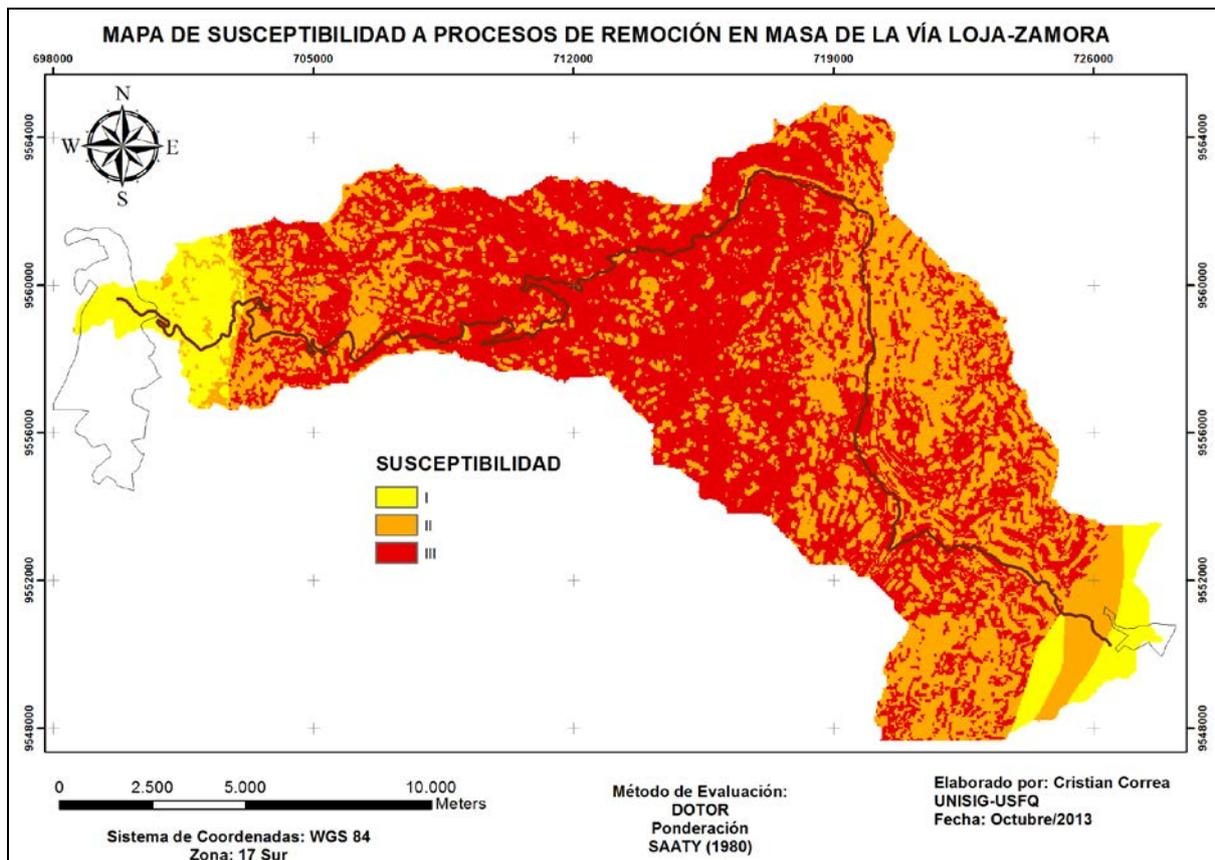
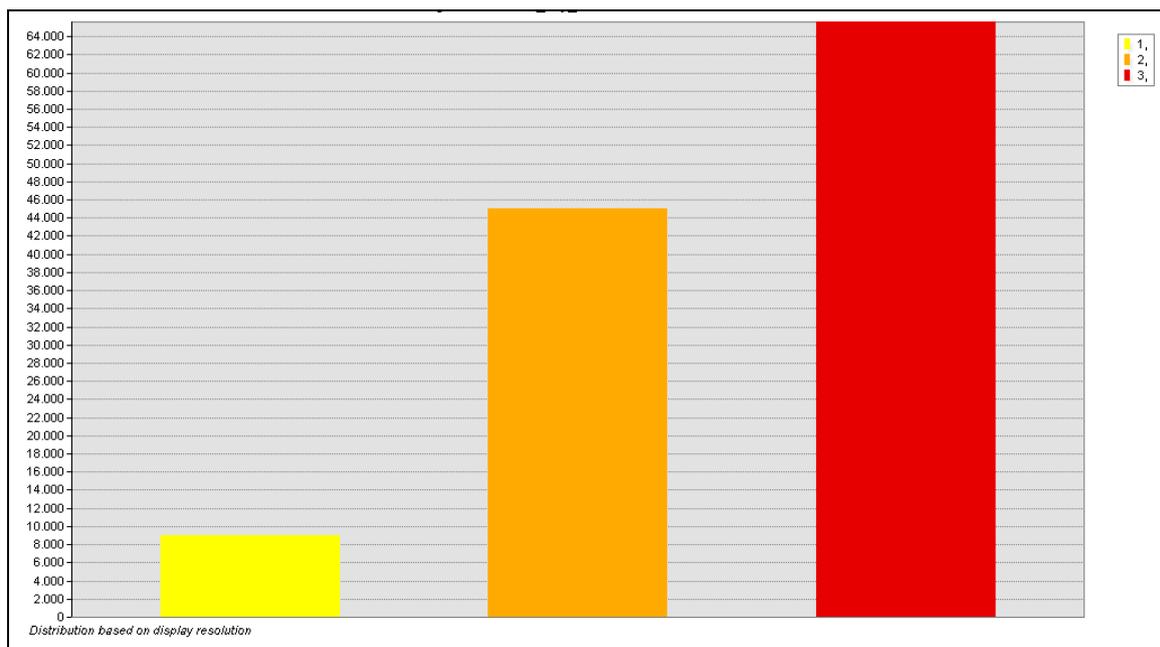


Figura No. 40: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora según método modificado de DOTOR. Las variables que se utilizaron se ponderaron según el criterio de Saaty (1980).



Frecuencia de rangos de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la Figura No. 38

3.6 EVALUACIÓN GENERAL DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

A diferencia de las metodologías de evaluación de susceptibilidad que se pueden encontrar de diferentes fuentes, el presente estudio se concentró en el análisis específicamente a estructuras líneas, tales como vías de comunicación utilizando las herramientas y procedimientos que son posibles mediante los SIG.

3.6.1 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

El criterio que más se ajusta a una delimitación “natural” es considerar los bordes de cuencas o microcuencas por donde atraviesa la vía Loja-Zamora. De esta manera se obtiene un área de trabajo que considera el tipo de relieve en donde efectivamente existen procesos de remoción en masa o donde hay mayor probabilidad de ocurrencia de éstos.

3.6.2 METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS

Tanto la metodología propuesta por INGEOMINAS y BRABB son del tipo univariado, en donde se efectúan relaciones de áreas deslizadas con mapas índices entre los cuales se puede citar: mapa geológico, mapa de uso de suelo, mapa de precipitaciones, mapa de pendientes. En el caso del método propuesto por INGEOMINAS se consideran factores condicionantes y desencadenantes para el análisis de susceptibilidad. En el caso del método de BRABB se utiliza dentro de su evaluación los rangos de pendientes y las unidades geológicas, es decir,

factores condicionantes. Ambas propuestas tienen como fundamento el uso del mapa de inventario de procesos de remoción en masa para obtener relaciones de área y cuantificar la frecuencia de estos procesos por cada factor usado por índice.

En el caso de la metodología de DOTOR tanto los factores condicionantes como desencadenantes son ponderados según su grado de incidencia en la generación de procesos de remoción en masa. La ponderación de las diferentes clases existentes en los mapas temáticos utilizados se la hizo en función de la información procesada para los dos métodos anteriores. Este análisis semi-estadístico facilitó la evaluación y posteriormente de reclasificación de los resultados.

Como una manera de unificar los criterios para posteriormente comparar y evaluar los resultados generados, se hicieron algunas modificaciones entre las que se puede señalar que se han contemplado solamente tres grados de susceptibilidad (baja, media y alta). Por lo tanto, los resultados parciales que se iban obteniendo en todos los casos fueron reclasificados para poder normalizar los resultados finales.

Finalmente, mediante una visita al área de interés se hizo una comprobación de la categorización de susceptibilidad obtenida. Este trabajo consistió en generar un levantamiento de los procesos de remoción en masa actualmente activos a lo largo de la vía Loja-Zamora mediante un GPS navegador. Se debe señalar además que en el trabajo efectuado por Correa (2007) se presenta un inventario de aquellos sitios a lo largo de la vía en donde para el año 2005 se reportaba la ocurrencia de procesos de remoción en masa. La recopilación de información también involucró la búsqueda de información en la prensa digital e impresa (*ANEXO No. 1*).

3.6.3 RANGOS DE SUSCEPTIBILIDAD UTILIZADOS PARA EL PRESENTE ESTUDIO

Como resultado del trabajo de campo llevado a cabo en la zona de estudio se determinan tres rangos de susceptibilidad a lo largo y en los alrededores del área de influencia. El levantamiento de procesos de remoción en masa catalogados como activos a lo largo de la vía proporcionan un punto de partida para establecer y proponer esencialmente tres rangos de susceptibilidad mismos que se detallan a continuación:

- **Susceptibilidad Baja** (): limitada ocurrencia de procesos de remoción en masa aún con la presencia de eventos detonantes (precipitaciones). Corresponde a la zona de menor pendiente (0° a $12,32^{\circ}$).
- **Susceptibilidad Media** (): zonas con probabilidad leve de ocurrencia de procesos de remoción en masa. Algunos flujos de detritos, y deslizamientos traslacionales y rotacionales se generarán bajo la influencia de eventos sísmicos o de precipitación extremos. Corresponde a una zona con pendiente media ($12,33^{\circ}$ a $30,61^{\circ}$).
- **Susceptibilidad Alta** (): Se esperan tener deslizamientos rotacionales y traslacionales, pero especialmente flujos de detritos y avalanchas de escombros. La zona tiene pendientes superiores a $30,62^{\circ}$.

3.6.4 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo tiene como objetivo principal el análisis de la susceptibilidad a procesos de remoción en masa a lo largo de la vía que una las poblaciones de Loja con Zamora. Una vez obtenidos los mapas temáticos respectivos para cada uno de los años evaluados resta solamente establecer la distribución de los tres rangos de susceptibilidad a lo largo de la vía basados en los resultados obtenidos al utilizar las tres metodologías presentadas.

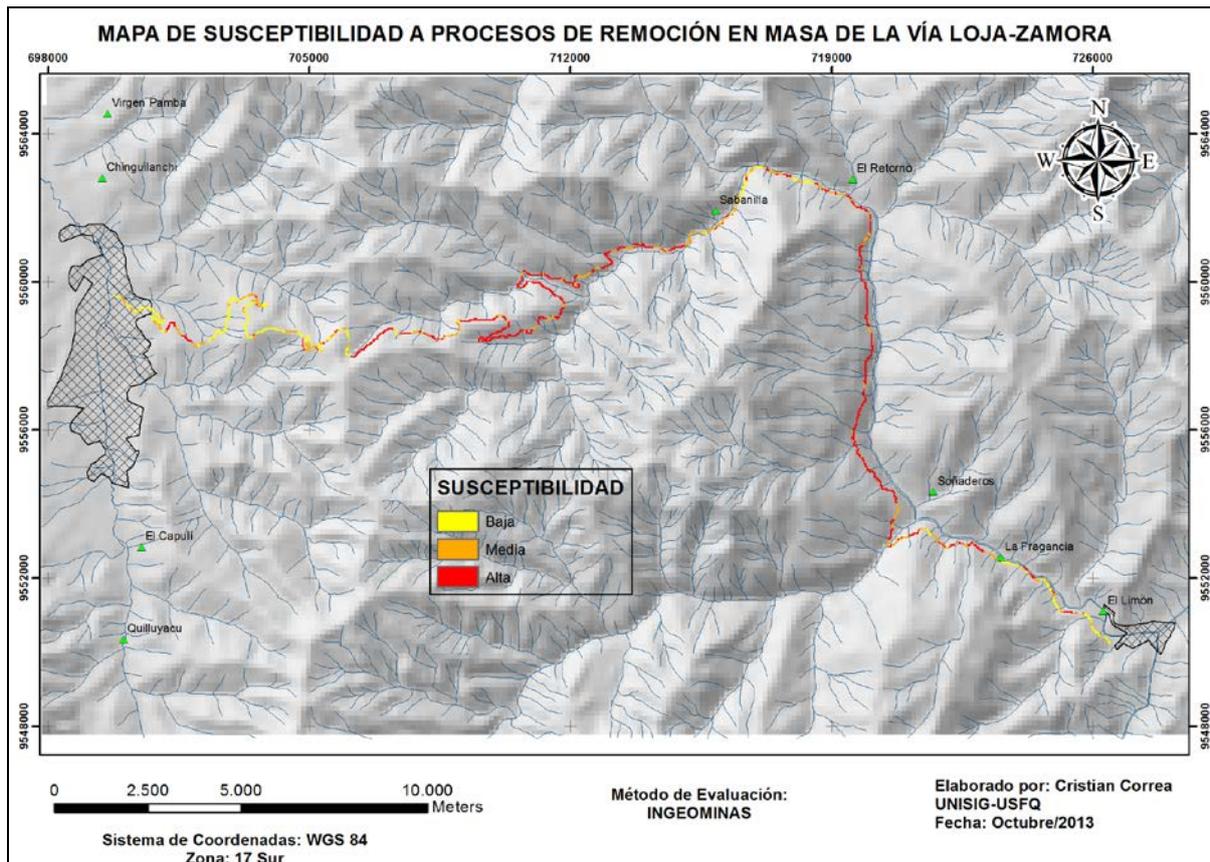
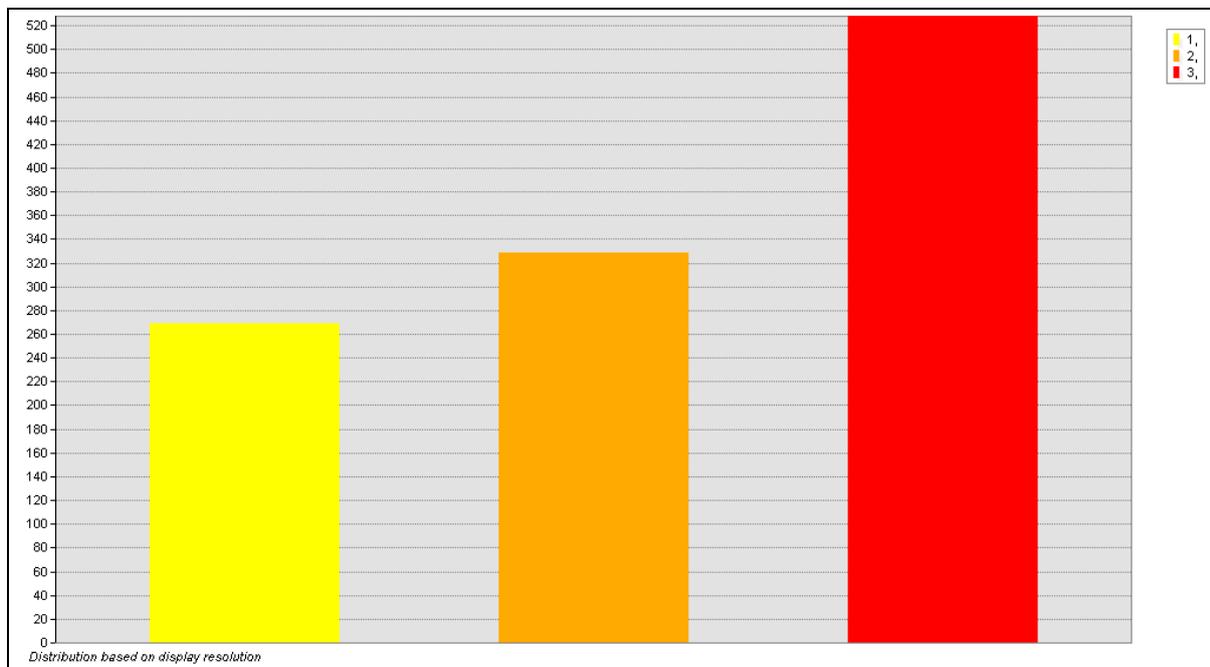


Figura No. 41: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora (1989) según método INGEOMINAS.



Frecuencia de rangos de susceptibilidad para la Figura No. 41

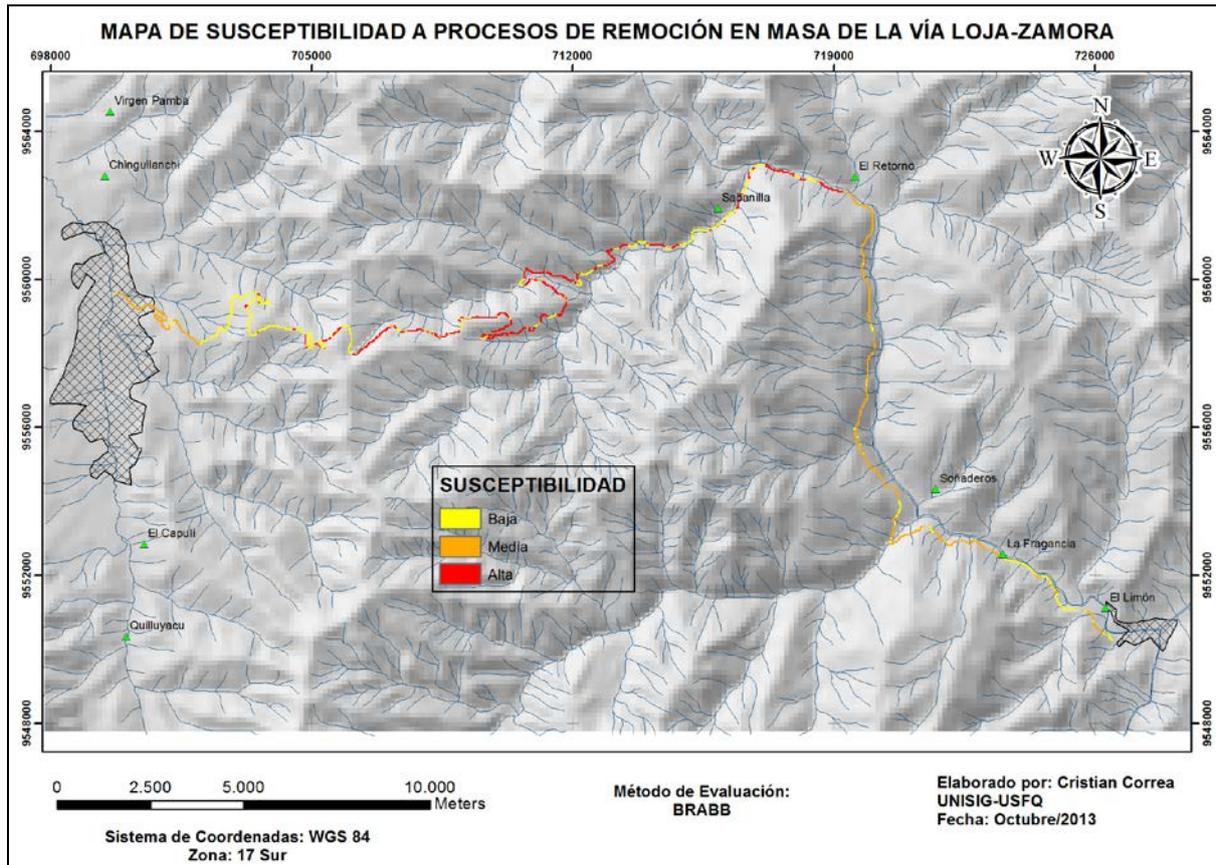
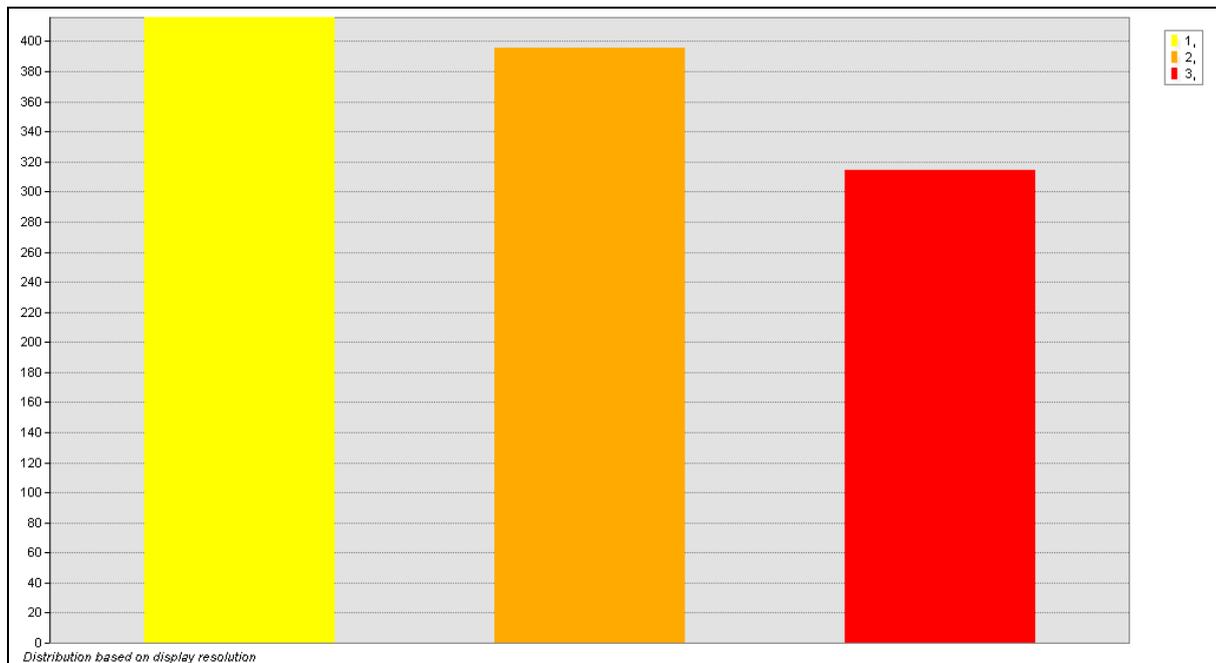


Figura No. 42: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora (1989) según método de BRABB.



Frecuencia de rangos de susceptibilidad para la Figura No. 42

En el caso de la metodología de BRABB, en el histograma de los rangos de susceptibilidad se observa que existe un cambio notorio de éstos rangos comparativamente con los resultados generados en el método sugerido por el INGEOMINAS y que se mostró en el histograma correspondiente.

En este caso resulta de utilidad el control de campo efectuado a lo largo de la vía. Mediante un equipo GPS navegador se efectuó un levantamiento de aquellos eventos que actualmente se encuentran activos. Al efectuar una sobre posición de esta información en el trazado de la vía una vez que se ha efectuado el análisis de susceptibilidad se pueden validar de manera aproximada los resultados obtenidos. Para el ejemplo que se muestra a continuación se utilizaron los resultados de susceptibilidad del método de BRABB para el año 1989 y seguidamente los resultados obtenidos por el método de DOTOR.

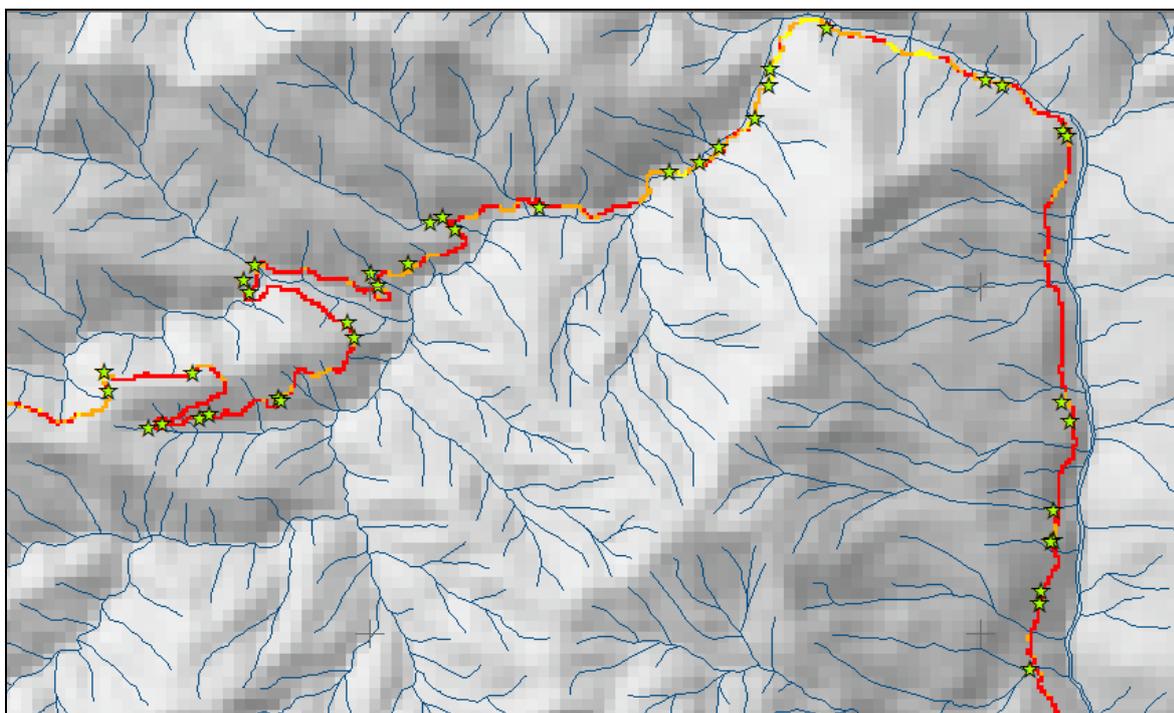


Figura No. 43: Detalle de los rangos de susceptibilidad para la vía Loja-Zamora, sector Sabanilla según el método de INGEOMINAS para el año 1989. Las estrellas en color verde representan puntos GPS que indican la ocurrencia de procesos de remoción en masa activos.

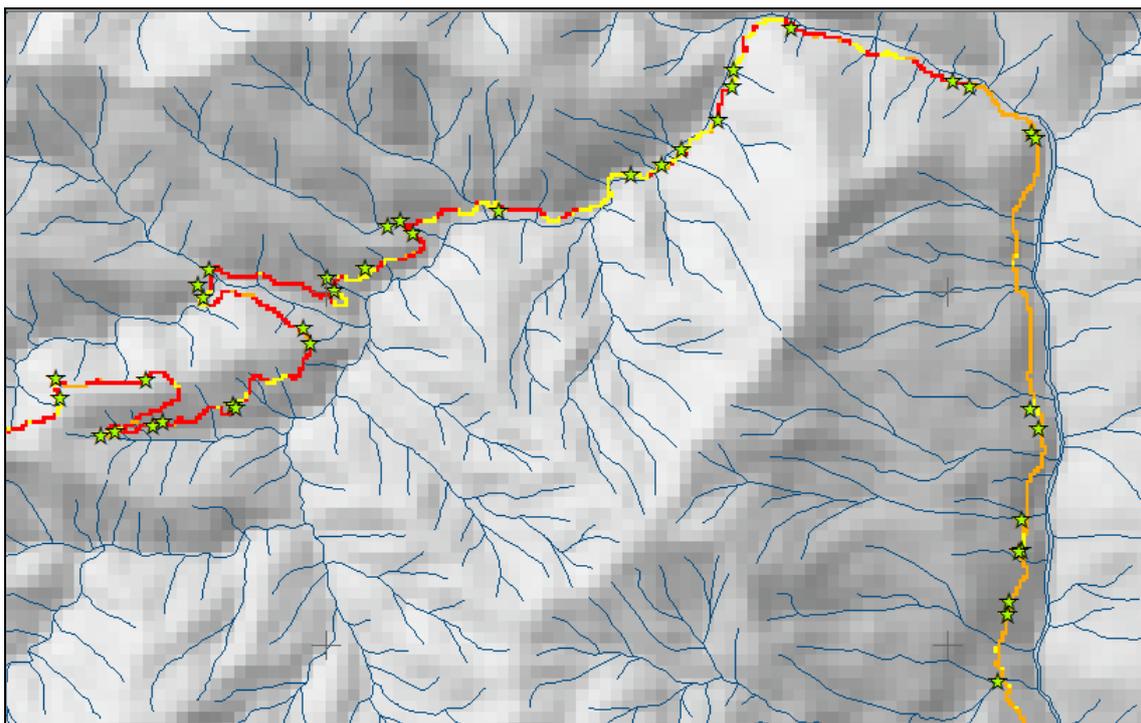


Figura No. 44: Detalle de los rangos de susceptibilidad para la vía Loja-Zamora, sector Sabanilla según el método de BRABB para el año 1989. Las estrellas en color verde representan puntos GPS que indican la ocurrencia de procesos de remoción en masa activos.

En el caso de la metodología propuesta por Dotor se llevó a cabo un ensayo de ponderación o valoración de factores que intervienen en la evaluación de susceptibilidad utilizando el criterio de Saaty. Los resultados para este estudio en particular indican que el criterio de jerarquización resulta práctico para este tipo de análisis. En la **Figura No. 45** se indican de manera gráfica los resultados obtenidos y que se asemejan a los obtenidos por el método propuesto por INGEOMINAS según se presenta en el histograma correspondiente.

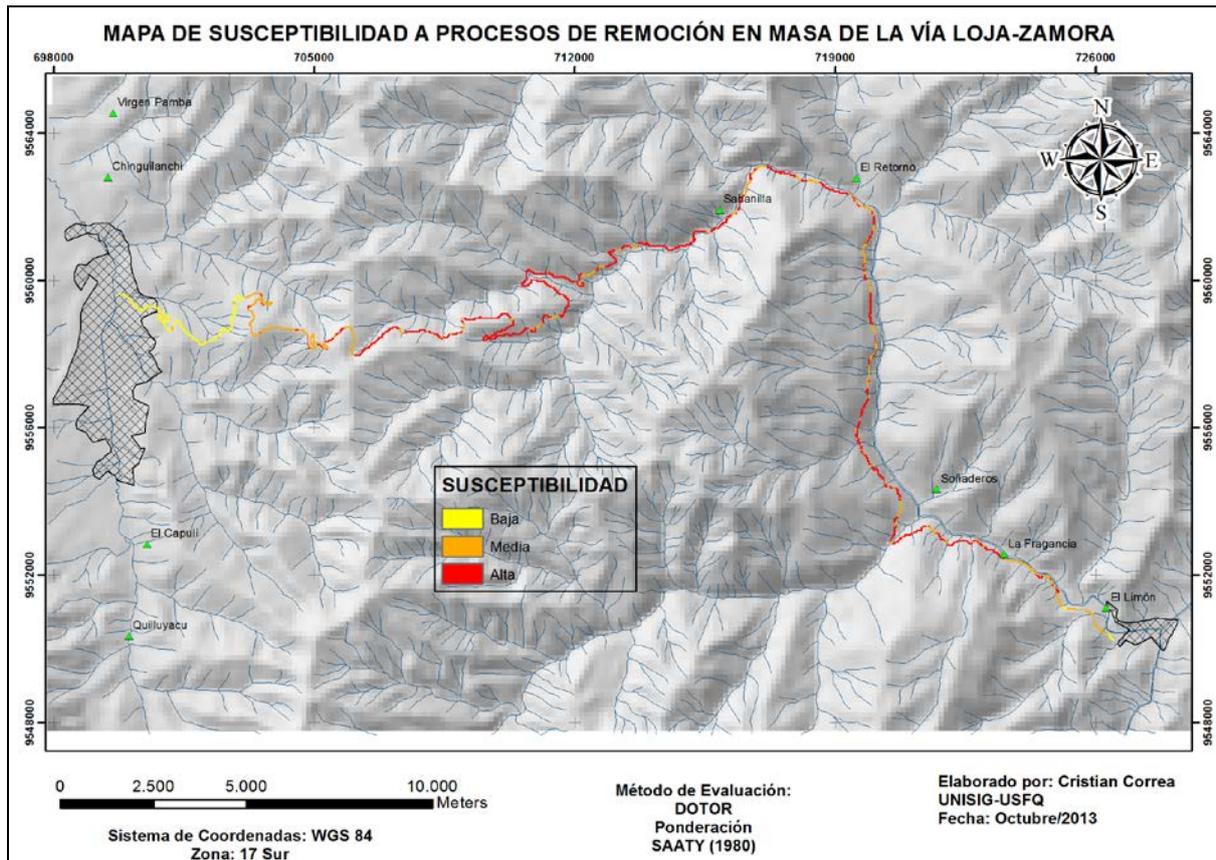
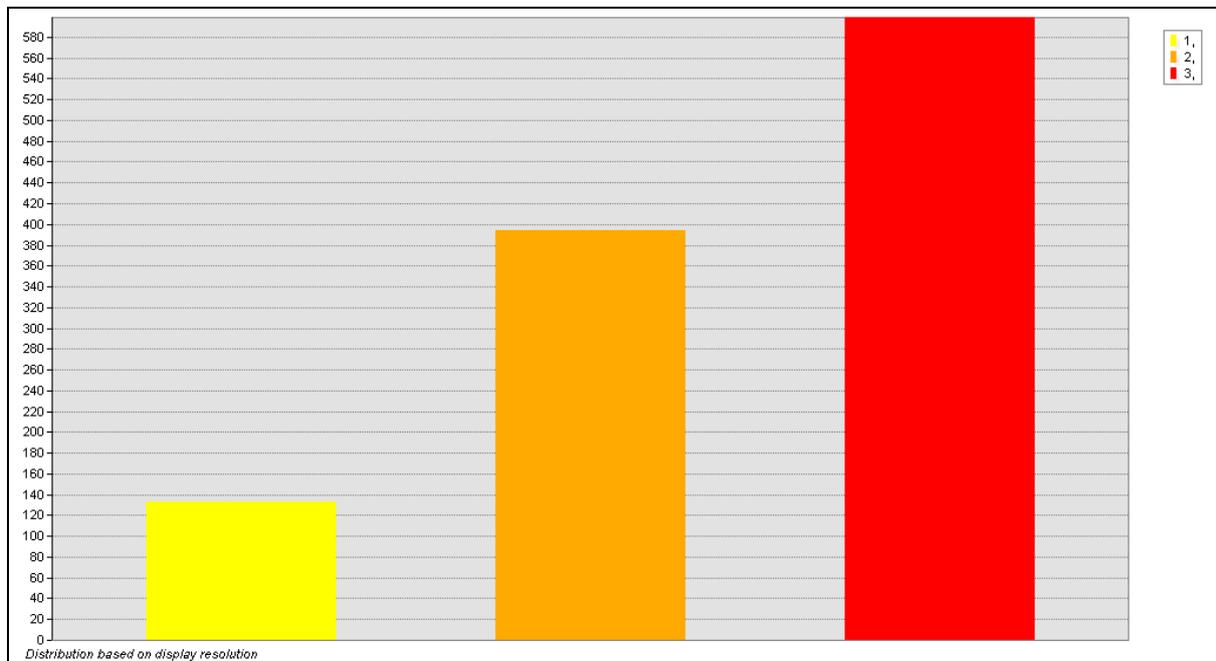


Figura No. 45: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora según el método de DOTOR.



Frecuencia de rangos de susceptibilidad para la Figura No. 45

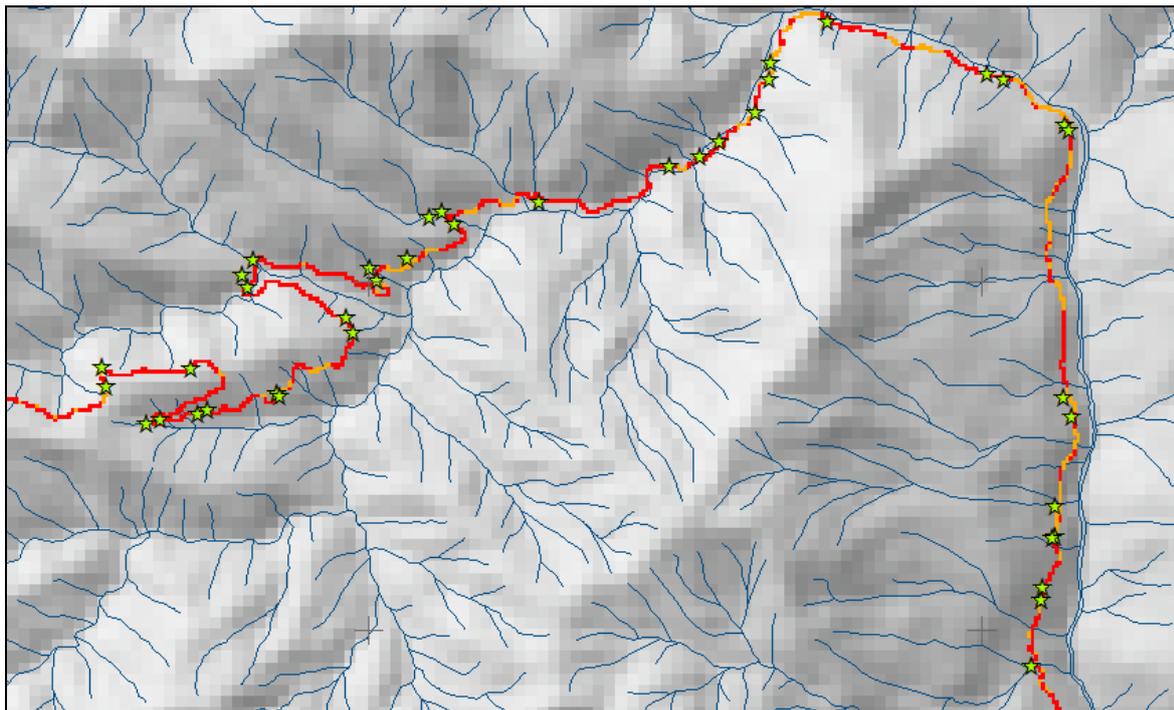


Figura No. 46: Detalle de los rangos de susceptibilidad para la vía Loja-Zamora, sector Sabanilla según el método de DOTOR. Las estrellas en color verde representan puntos GPS que indican la ocurrencia de procesos de remoción en masa activos.

Como resultado de la validación de campo, se tiene de manera preliminar que los métodos propuestos por INGEOMINAS y DOTOR reflejan de mejor forma las condiciones de susceptibilidad de la vía.

Se debe señalar que en el mapa de inventario de procesos de remoción en masa que utiliza el método del INGEOMINAS se hace una diferenciación de los diferentes tipos de procesos existentes en una zona determinada. En este estudio no fue posible efectuar una clasificación de los procesos debido a la escala de trabajo tanto de las fotos aéreas utilizadas como la escala topográfica que fue usada como base.

En el caso del método de BRABB se debe indicar que no se utilizaron los rangos de pendiente que considera el método original de este autor, puesto que, se tratan de rangos no uniformes y que no necesariamente representaban las condiciones del relieve de la zona de estudio. Por los motivos señalados al inicio de este capítulo tampoco se utilizaron los seis rangos de susceptibilidad se propone en este método. Estas variaciones hechas el método original son las que posiblemente afectan los resultados logrados. En el caso de la distribución de los tres rangos de susceptibilidad que se obtuvieron con este método, se

observa que existe una mayor frecuencia del rango de susceptibilidad baja, mientras que, el rango de susceptibilidad más alta tiene una muy baja frecuencia para el área de estudio.

La ponderación efectuada para el desarrollo del método de DOTOR se la hizo considerando las observaciones de campo y mediante el uso del método de la categorización desarrollado por Saaty (1980). Este último permitió generar una zonificación más mucho más representativa de las condiciones actuales de la vía Loja-Zamora mediante un análisis de tipo lógico.

En todos los casos, es importante señalar que se ha trabajado con información de diferente escala además la escala de la topografía hace que el resultado final tenga un nivel de detalle aceptable sí se considera el tamaño promedio de los procesos de remoción en masa generados a partir de la fotointerpretación.

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Litológicamente las formaciones donde se tiene mayor ocurrencia de flujos (avalanchas) son la Unidad Chigüinda y Gneis de Sabanilla. Adicionalmente en función de la información recolectada en estas mismas unidades se presentan relieves escarpados con precipitaciones que oscilan entre 1750 a 3000 mm y temperaturas entre 14° a 18°C. El clima predominante es el así denominado Mesotérmico Semi-húmedo con porosidades por fisuración e intergranular.
- El análisis de la fotointerpretación permite observar que para los años 1989 y 1998 se tiene una densidad mayor de procesos de remoción en masa. Este análisis permite establecer que la zona históricamente ha sido afectada por procesos de remoción en masa que incluyen flujos, avalanchas y deslizamientos (Correa, 2007).
- La delimitación del área de influencia mediante cuencas hidrográficas posibilita el priorizar de mejor forma el resultado final del análisis de susceptibilidad, especialmente cuando se trata de estructuras lineales, en este caso la vía Loja-Zamora.
- El desarrollo de las metodologías aquí presentadas tomó en cuenta la información que se encuentra disponible en el medio, esto es, información poco actualizada a diferente escala y de fuentes varias. El proceso de tratamiento de la información digital se la hizo en su totalidad con SIG. Uno de los propósitos de este trabajo es destacar las ventajas que tiene el uso de los SIG para la generación de mapas de susceptibilidad al usar para este objetivo información muy variada en cuanto a su origen y formato de presentación.
- Debido al tipo de información con el cual se contaba para el desarrollo del presente trabajo, el método heurístico proporcionó los mejores resultados.
- El tamaño final de la celda (pixel) de trabajo estará determinado por el detalle de la base topográfica a utilizarse. En este estudio se trabajó con una base topográfica 1:50.000, es decir, entre curva y curva de nivel se tiene una distancia ideal de 40 m, por lo tanto, el tamaño de cada celda durante el desarrollo de las diferentes metodologías fue de 40 por 40 metros.

- Contar con un mapa de inventario de procesos de remoción en masa y la realización de un trabajo de campo es fundamental no solamente para llevar a cabo el análisis de susceptibilidad sino que además posibilitan evaluar los resultados obtenidos mediante un trabajo de gabinete. En este trabajo se contó con fotos aéreas de diferentes años lo que permitió realizar una evaluación multitemporal.
- En cuanto a las metodologías presentadas se concluye que el método de BRABB presenta una alta sensibilidad a la manera como se obtienen los rangos de pendientes y especialmente a número de rangos de susceptibilidad finalmente utilizados.
- Los métodos propuestos por INGEOMINAS y DOTOR tienen un carácter subjetivo, sin embargo, los resultados obtenidos para este estudio fueron corroborados en campo y permiten sostener que su uso para estructuras lineales resulta adecuado y práctico para ser desarrollado mediante una plataforma SIG.
- En la metodología propuesta por DOTOR se realizaron dos ensayos en cuanto al tema de ponderación de los factores involucrados en el análisis de susceptibilidad. Una ponderación se hizo en función del conocimiento del área como resultado de la recopilación de información y la evaluación de campo. Otra valoración se la efectuó mediante el análisis jerárquico propuesto por Saaty. Los resultados nos indican que esta jerarquización posibilita reducir en gran manera el grado de subjetividad al momento de efectuar la categorización de los factores que intervienen en la generación de procesos de remoción en masa.
- La selección de cualquier método de análisis de susceptibilidad está en función de la información con la cual se dispone. Los métodos de análisis que se presentaron en este trabajo son adecuados para trabajos de tipo regional, esto es, escalas de entre 1:25.000 a 1:50.0000 debido a que en estas escalas es posible representar procesos de remoción en masa como polígonos y donde es adecuado efectuar relaciones de áreas como lo establecen los métodos de BRABB y el propuesto por INGEOMINAS. El método de DOTOR por otro lado tiene una mayor flexibilidad en cuanto a su uso a diferentes escalas.
- Las herramientas disponibles en los SIG facilitan el tratamiento y análisis de la información recopilada. Dichas herramientas no solamente son útiles para la presentación final de los mapas temáticos generados sino que además permiten

efectuar una serie ensayos y pruebas de los resultados que se van obteniendo en el desarrollo de cada método sugerido en este trabajo. Finalmente, las opciones disponibles para el formato raster permite evaluar los resultados obtenidos y sus diferentes variaciones desde un punto de vista semi estadístico.

- Todos los métodos aquí presentados se elaboraron con información de diferente naturaleza y origen. Esta heterogeneidad en cuanto a la escala por ejemplo pueden generar cierto grado de incertidumbre en los resultados finales. El uso de un SIG permite tener presente aquellas limitaciones existentes dentro del proceso de generación de los productos finales.
- El procesamiento de imágenes satelitales desarrollado en este estudio se lo hizo en su totalidad con las opciones actualmente disponibles en el ESRI®ArcMap 10.1. Dado el objetivo de este trabajo y tomando como referencia la información disponible se ha considerado suficiente el uso de los procedimientos aquí presentados para el tratamiento de las imágenes disponibles para este trabajo.

4.2 RECOMENDACIONES

- La evaluación de la susceptibilidad requiere de la utilización de al menos dos métodos distintos para comparar los resultados obtenidos. En la medida de lo posible es necesario efectuar un control de campo que permita evaluar la zonificación realizada en una zona determinada. La fotointerpretación de años diferentes permite realizar estudio de carácter multitemporal y junto al análisis de imágenes satelitales mediante SIG se puede efectuar una calibración de algunos factores que se requieren para el análisis de susceptibilidad (uso de suelo por ejemplo).
- Mediante las herramientas SIG es posible generar mapas de susceptibilidad a procesos de remoción en masa utilizando diferentes metodologías. Es recomendable, sin embargo, que durante el proceso se trabaje con un equipo multidisciplinario conformado entre otros técnicos por geólogos y geógrafos. Dependiendo de la información con la que se cuente se pueden incluir técnicos hidrogeólogos, agrónomos, especialista en clima, geotécnicos, por citar solo algunos. Es importante que más de un técnico participen en el proceso de evaluación, especialmente al momento de efectuar la ponderación de todos los factores considerados. El uso de un sistema de categorización resulta de mucha utilidad en estos casos para minimizar el grado de subjetividad que estas metodologías presentan.
- Es recomendable tener un conocimiento adecuado no solamente de las herramientas disponibles en un SIG sino que además es necesario tener una noción general de los procesos internos que desarrolla cada herramienta cartográfica para tener en consideración las ventajas y desventajas que implica su uso así como las respectivas limitaciones que se pueden esperar en los resultados.
- Como resultado de la búsqueda de información se encontró un sinnúmero de trabajos relacionadas a la generación de mapas de susceptibilidad a procesos de remoción en masa. Cada método difiere uno del otro dependiendo del tipo de información con la que se cuenta y del objetivo de cada estudio. Es importante tener presente que un análisis de este tipo evalúa las condiciones generales de un terreno frente a su mayor o menor facilidad de que en él se produzcan procesos de remoción en masa, considerando características tales como geología, precipitaciones, uso del suelo y en general características propias del lugar. Por ello será el usuario o técnico encargado

quien finalmente establezca la metodología a usar en función de su experiencia y especialmente de la disponibilidad de información existente para tal efecto.

CAPITULO V: BIBLIOGRAFÍA

Abad K., 2006. “*Ensayo Metodológico para la evaluación y zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa, Cuenca de Loja*”. Proyecto de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Geólogo. Escuela Politécnica Nacional. Escuela de Ingeniería. Quito-Ecuador.

Almeida E., 2006. “Diseño del Sostenimiento para el Túnel de Carga del Proyecto Hidroeléctrico Sabanilla”. Memorias de las Sextas Jornadas en Ciencias de la Tierra. Departamento de Geología. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.

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

Correa C., 2007. “*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. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos. Quito-Ecuador.

Dirección Nacional de Defensa Civil (DNDC)-ESPE, 1991. “*Mapa Sismotectónico del Ecuador*”. Dirección Nacional de Defensa Civil-Escuela Politécnica del Ejército. Quito-Ecuador.

Dotor E., 2004. “*Análisis de Susceptibilidad y Peligrosidad de Deslizamientos de Laderas*”. Tema: S.I.G. Cartesia. Este artículo es un resumen del Trabajo Fin de Máster del Programa UNIGIS de Postgrado y Máster Internacional a distancia en SIG, gestionado por la Universidad de Girona. La autora es Esther DOTOR Ruiz, Geóloga. España.

Infoplan, 2012.

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

Plaza G., 1996. “*La Amenaza y Vulnerabilidad por deslizamientos en la Región Andina del Ecuador*”. Séptimo Congreso Ecuatoriano de Geología, Minas y Petróleos y Medio Ambiente. Trabajos Técnicos. Tomo II. Petroproducción-Colegio de Ingenieros Geólogos, de Minas y Petróleos (CIGMYO). Quito-Ecuador.

Proyecto Multinacional Andino (PMA), 2007. "Movimientos en masa en la región Andina: una guía para la evaluación de amenazas". Proyecto Multinacional Andino (PMA): Geociencias para las comunidades andinas (GCA). Publicación Geológica Internacional No.4. Canadá

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.

Saaty T., 1980. "*The Analytic Hierarchy Process*". McGrawHill.

Varnes, D., 1984. "*Landslide Hazard zonation: a review of principles and practice*". International Association of Engineering Geology Commission on Landslides and Other Mass Movements on Slopes. UNESCO.

ANEXOS

ANEXO No. 1.- Noticias de prensa respecto a procesos de remoción en masa de la Carretera Loja-Zamora. Fuentes: Diario la Hora (16/03/2012), Diario La Razón (30/06/2012), Diario el Universo (16/03/2012), Diario El Extra (30/06/2012), Diario El Comercio (15/03/2012), Diario La Hora (13/03/2012).

NOTICIAS ZAMORA

Continúan derrumbes, pero ya existe paso

Viernes, 16 de Marzo de 2012



Son pequeños deslizamientos, pero desde ayer habilitaron del todo la vía Loja-Zamora.

Los deslizamientos que caen desde los taludes en la carretera Loja-Zamora son pequeños, pero en los kilómetros 21, 29 y 38, donde la noche del lunes se interrumpió el paso en la vía, existe maquinaria del Ministerio de Transporte (MTO) y el Cuerpo de Ingenieros del Ejército (CEE) para retirarlos.

Franz Romero director provincial del MTO-Zamora, dijo que ayer a las 10:00 la maquinaria del MTO, CEE, Gobierno Provincial y el Municipio de Zamora retiró del todo el material que cayó en el km 29, donde el derrumbe fue de magnitud. Hubo 2.500 metros cúbicos de tierra en la calzada.

TRÁNSITO, Desde ayer los dos carriles de la vía se habilitaron en la vía Loja-Zamora. Vigilarán el km 29.

Limpian en zonas álgidas

Romero aclaró que el material de los taludes se afloja a causa de las intensas lluvias que afectan a la provincia. Dijo que existe equipo caminero en las zonas álgidas para limpiar la vía, en caso de que un nuevo deslave interrumpa la circulación. Ayer los vehículos que transitaban esquivaron las piedras que aún caen de la montaña. Sin embargo, el tránsito circula ya por los dos carriles. Ayer desde las 08:00 hubo complicaciones para transitar. El equipo caminero cerró la vía para retirar el material. En la Terminal Terrestre de Zamora, los pasajeros sentían preocupación, pero dijeron que no pueden postergar sus actividades.

Rocío Ludeña, comerciante, explicó que en su actividad no puede postergar o dejar para otro día sus actividades comerciales. Romero aspira que la situación climática mejore para evitar un nuevo problema en la carretera.

El Director del MTO-Zamora agradeció a las instituciones por el apoyo que dieron. Romero insistió en que la maquinaria estará en la vía para limpiar el material. Los conductores de empresas de transporte de la provincia dicen que la solución tiene que ser definitiva, de lo contrario nuevos deslaves interrumpirán la circulación.

La maquinaria que apoyó

El Gobierno Provincial de Zamora y Municipio participaron en el retiro del material de la carretera. Romero reconoció que existen sectores inestables, pero anunció que atenderán estos problemas en la arteria.

PAIS**Tres derrumbes en la vía incomunican a Zamora con Loja**

14

Martes, 13 de Marzo de 2012

Son 2.500 metros cúbicos de tierra que obstaculizan el paso en la vía Loja-Zamora.

ZAMORA.

Tres derrumbes en la vía Loja-Zamora obstaculizan el paso entre esta dos provincias, desde ayer. Los derrumbes están en los kilómetros 21, 29 y 38 de los 56 km que tiene la carretera.

La maquinaria del Cuerpo de Ingenieros del Ejército (CEE) y del Ministerio de Transporte (MTO) retira el material. Sin embargo el derrumbe del km 29 es de magnitud. Son 2.500 metros cúbicos de tierra que impiden la circulación.

Hoy al medio día lograron habilitar la vía, pero el sector es inestable a causa de las lluvias y existen deslizamientos que complican inhabilitarla.

Fran Romero, director del MTO-Zamora dijo que los vehículos lograron pasar hoy luego de las 12:00.

No obstante, existe imprudencia de los conductores que pese a que hay un carril para la circulación, con los automotores hacen dobles carriles e impiden el trabajo de limpieza. Actualmente, la Policía dispuso de efectivos para controlar el tráfico.

Al momento no existe paso y los vehículos están en fila a la espera del retiro del deslave. En la Terminal Terrestre de la ciudad de Zamora los turnos de las empresas de transporte se suspendieron hasta que habiliten la carretera.

Son 21 horas las que llevan incomunicadas ambas provincias. En el sector existen tres retroexcavadoras, junto al volquete de lado y lado en el retiro de los deslizamientos. Romero anunció que hoy darán paso, aunque teme que por la inestabilidad del sector la situación se complique.

TOME NOTA

Existen conductores en la vía que esperan desde anoche. Grandes filas de vehículos se observa. Al momento que hubo paso no todos lograron circular.

Deslizamientos de tierra bloquean carreteras y destruyen viviendas en dos provincias ecuatorianas

Fuertes lluvias continúan azotando a poblaciones de Zamora y Manabí



El fuerte temporal continúa atentando contra dos provincias, manabí y zamora, quienes han sufrido los estragos por derrumbes e inundaciones que mantiene en pánico a los pobladores afectados.

En el km 35 de la vía Loja-Zamora, cerca de 4.000 metros cúbicos de lodo y piedra cayeron sobre la carretera, obstruyendo el paso.

Antes estos deslizamientos, miembros del Cuerpo de Ingenieros del Ejército trabajaron con dos excavadoras para descartar la presencia de víctimas mortales.

En Manabí sucede algo similar, dos familias fueron rescatadas en el cerro El Calvario, en la parroquia Picoazá, cuando un deslizamiento de tierra cayó sobre dos humildes viviendas destruyendo todo a su paso.

Existen 12 afectados por estos deslaves, en su mayoría mujeres y niños, quienes están siendo atendidos por entidades gubernamentales. Mientras la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos y el Miduvi planifican la reubicación de las viviendas.

En el km 60 de la vía El Carmen-Chone. En Portoviejo, un alud bloqueó una vía secundaria en el sitio Pata de Pájaro, lo que ha dejado incomunicadas a las poblaciones aledañas.

Vías lojanas y de Zamora, cerradas y con problemas

Las constantes lluvias registradas desde inicio de semana en la provincia de Zamora Chinchipe han provocado derrumbes en las carreteras Loja-Zamora y Zumba-Loja, lo que paralizó el tránsito vehicular entre lunes y martes pasados.

En la vía Loja-Zamora los derrumbes se localizaron en los kilómetros 21, 29 y 38.

Mientras, en la vía Zumba-Loja se produjo un deslave en el sector Bellavista. Los pasajeros, desesperados, deben hacer trasbordos por el fango.

© Copyright 2008. Todos los derechos reservados.

Grandes derrumbes taponan vía Loja-Zamora y Pallatanga-Bucay

Leído: 1783 veces Calificar

Me gusta

Calificación:

Maquinaria y personal del Cuerpo de Ingenieros del Ejército, contratista para los trabajos de rehabilitación, extreman esfuerzos para limpiar uno de los derrumbes que se presentó en el kilómetro 15 de la vía Loja-Zamora.

El derrumbe cubrió unos 100 metros de la carretera y se presentó debido a las lluvias que soporta la región, quedando decenas de carros de lado y lado, que no pueden continuar con el trayecto hacia Loja y Zamora. Las condiciones no son favorables para retirar el material deslizado, pues las lluvias continúan y se espera que calme el temporal para completar el retiro total de lodo y piedra. El Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP) informó que otros cuatro derrumbes de menor consideración se registraron a lo largo de la carretera Loja-El Tiro-San Francisco-Zamora.

Según el superintendente de la obra, Eugenio Hidalgo, los trabajos de limpieza finalizarán de acuerdo a las condiciones climáticas. Luis Chamorro, fiscalizador de la obra, señaló que se analiza la posibilidad de ejecutar una variante de 100 metros, y así restablecer la comunicación terrestre entre Loja y Zamora.

Vía a pallatanga

Un deslizamiento de tierra producto de las fuertes lluvias bloqueó por 9 horas la vía Bucay a Pallatanga, expresó el oficial Segundo Ticsi, de la Policía de Cumandá. Maquinaria pesada trabajó varias horas para rehabilitar un tramo de la carretera. El problema ocurrió a las 01:30 de ayer cuando parte de una montaña se vino abajo, y los conductores tuvieron que esperar varias horas para continuar hacia Bucay-Pallatanga y viceversa.

A las 10:30, en el sector Los Santiagos, ubicada a 5 minutos de Pallatanga, la vía fue habilitada en el 50% pese a que los deslizamientos continuaron a nivel del km 32. (JM-MUC)

Maquinaria limpia los derrumbes en la vía Loja-Zamora

Tiempo de lectura: 3' 41" | No. de palabras: 527

Redacción Loja

JUEVES 15/03/12

Desde las 10:00 de ayer se habilitó un carril de la vía Loja-Zamora, para el tránsito vehicular. Desde la noche del lunes pasado se registraron cinco derrumbes que cerraron el paso, en el sector de San Francisco de Zamora Chinchipe,

Pero el despeje del material seguirá en la vía. Hasta las 14:30 del martes, más de 100 vehículos, que quedaron atrapados desde la noche del lunes no podían pasar a Loja ni a Zamora. A esa hora se habilitó el paso, pero luego se cerró otra vez porque hubo más deslizamientos en el kilómetro 29.

La desestabilización del talud ocasionó el nuevo bloqueo. Según Franz Romero, director del Ministerio de Transporte en Zamora Chinchipe, los deslizamientos más grandes fueron en los kilómetros 21, 29 y 38, en dirección a Loja. La maquinaria del Cuerpo de Ingenieros del Ejército, del Ministerio y Municipio de Zamora realiza la limpieza.

Romero indicó que continúan con el trabajo de desalojo hasta que se establezcan los taludes. Además, la lluvia en la parte alta de la montaña hizo que se saturara de agua, causando los deslizamientos de lodo y rocas.

Por ello, la Policía restringió el paso en esta vía. En los controles de Loja, sector El Calvario, no se permitió el paso de vehículos pesados y de transporte de pasajeros durante el martes. Desde las 10:00 de ayer, la situación se normalizó. Una situación similar ocurrió en el control ubicado en el sector de Limón, en Zamora.

Las cooperativas de transporte limitaron la venta de pasajes. El martes pasado, por ejemplo, la Cooperativa Unión Yantzatza, que cubre unos 12 turnos al día en dirección a Zamora, solo despachó dos. Estas dos unidades no consiguieron pasar en uno de los sitios de derrumbe (kilómetro 38). Ayer se normalizó el servicio.

Francisco Gualán, taxista del servicio ejecutivo de Zamora, salió con una cámara hacia la capital lojana, con un paciente en estado crítico, pero no logró pasar.

"Desde el lunes a las 19:00 la situación se puso grave. Al mediodía (martes) logré pasar con cierta normalidad el sitio del derrumbe, que se ubica cerca de la Estación Científica San Francisco".

Romero solicitó a los conductores no transitar en esta vía en la noche para evitar accidentes. "A lo largo del camino hay espacios peligrosos y las lluvias aceleran el deslizamiento de roca y lodo. Los choferes tienen mayor visibilidad en el día para evitar problemas".

Bolívar Maza es comerciante de artículos de bazar. Él decidió quedarse en Loja para evitar complicaciones. Trae su mercadería desde Guayaquil y la distribuye en Loja y Zamora Chinchipe.

Aunque no se registraron víctimas ni daños materiales, los controles continuarán hasta que se establezcan los taludes.

Las lluvias son constantes en la zona de los deslizamientos. No son fuertes, pero sí permanentes, lo que causa una saturación del suelo en la montaña que está junto a la vía,

elcomercio.com/pais/Maquinaria-limpia-derrumbes-via-Loja-Zamora_0_963633763.html#p:1

Tres derrumbes incomunican Zamora con Loja

Martes, 13 de Marzo de 2012 18:20 Gaby Galindo Hits: 82



Tres derrumbes en la vía Loja-Zamora obstaculizan el paso entre esta dos provincias, en los kilómetros 21, 29 y 38 de los 56 km que tiene la carretera.

La maquinaria del Cuerpo de Ingenieros del Ejército (CEE) y del Ministerio de Transporte (MTO) retira el material.

El derrumbe del km 29 es de magnitud. Son 2.500 metros cúbicos de tierra que impiden la circulación, informó diario La Hora.

Hoy al medio día lograron habilitar la vía, pero el sector es inestable a causa de las lluvias y existen deslizamientos que complican la situación. Los vehículos lograron pasar hoy luego de las 12:00.

Son 21 horas las que llevan incomunicadas ambas provincias.

La vía, despejada

Ayer concluyó el retiro del material en la Loja-Zamora, pero el temor por deslizamientos persiste.

Los deslizamientos que caen desde los taludes en la carretera Loja-Zamora son pequeños, pero en los kilómetros 21, 29 y 38, donde la noche del lunes se interrumpió el paso en la vía, existe maquinaria del Ministerio de Transporte (MTO) y el Cuerpo de Ingenieros del Ejército (CEE) para retirarlos.

Franz Romero director provincial del MTO-Zamora, dijo que ayer a las 10:00 la maquinaria del MTO, CEE, Gobierno Provincial y el Municipio de Zamora retiró del todo el material que cayó en el km 29, donde el derrumbe fue de magnitud. Hubo 2.500 metros cúbicos de tierra en la calzada.

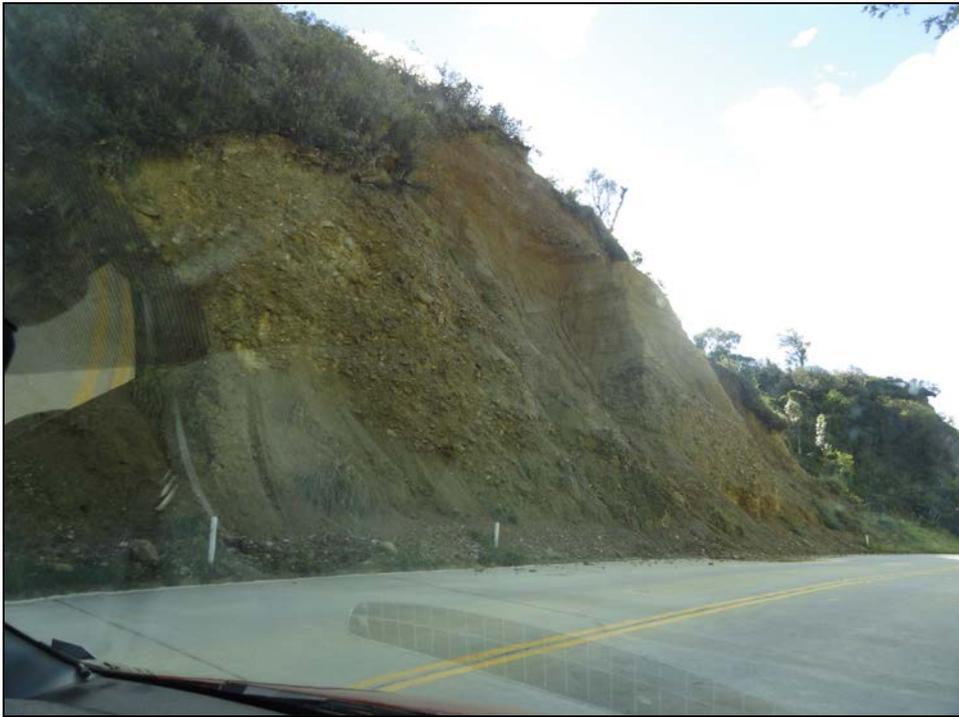
Romero aclaró que el material de los taludes se afloja a causa de las intensas lluvias que afectan a la provincia. Dijo que existe equipo en las zonas álgidas.



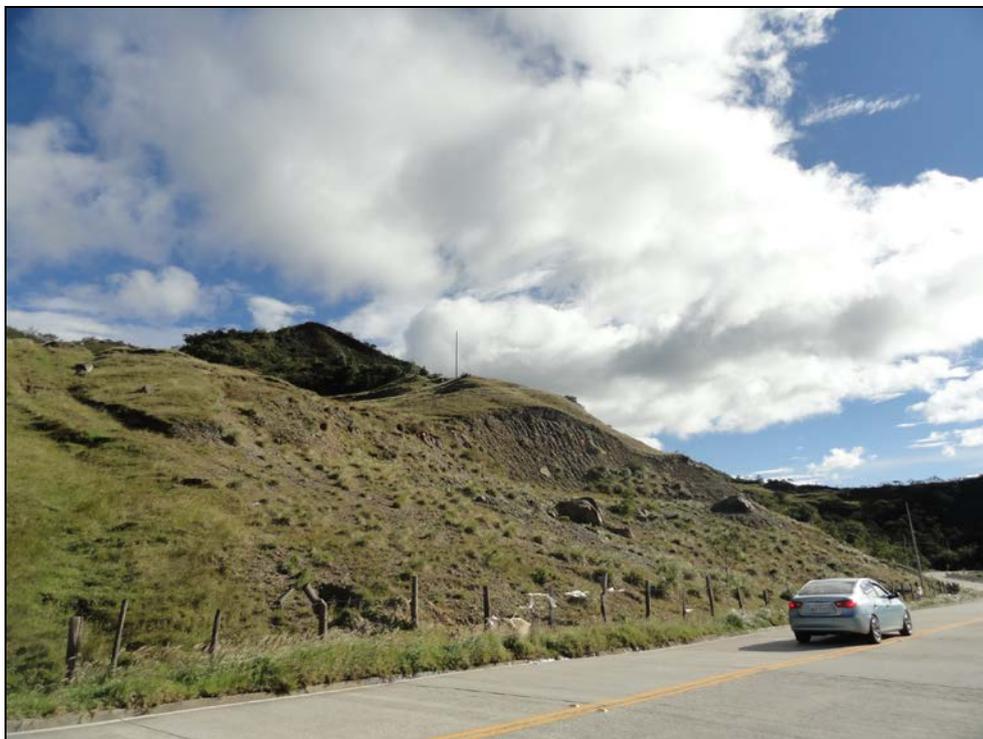
Página A3

CIRCULACIÓN. Desde ayer, el tránsito a Loja y Zamora es normal por esta arteria que tuvo problemas al iniciar la semana.

ANEXO No. 2.- Fotografías a lo largo del trazado de la vía Loja-Zamora.



Fotografía No. 1: Detalle talud a un costado de la vía. El material aflorante pertenece a la Formación Sedimentaria Quillollaco (conglomerados y areniscas). UTM: 702894-9559050



Fotografía No. 2: Detalle de deslizamiento traslacional a un costado de la vía. El material aflorante pertenece a la Formación Sedimentaria Quillollaco (conglomerados y areniscas). UTM: 703531-9559930



Fotografía No. 3: Detalle de flujos de detritos y escombros a un costado de la vía. El material aflorante pertenece a la Formación Chigüinda. UTM: 7069633-9558586



Fotografía No. 4: Detalle de flujos de escombros a un costado de la vía. El material aflorante pertenece a la Formación Chigüinda. UTM: 712102-9560014



Fotografía No. 5: Detalle de deslizamiento planar a un costado de la vía. El material aflorante pertenece a la Formación Chigüinda. UTM: 716835-9562764



Fotografía No. 6: Detalle flujos de detritos y avalanchas de escombros a un costado de la vía. El material aflorante pertenece a la Formación Chigüinda. UTM: 716014-9561614



Fotografía No. 7: Detalle de talud inestable afectado por caída de tierra y escombros. El material aflorante pertenece a la Unidad Gneis de Sabanilla. UTM: 719958-9561814



Fotografía No. 8: Detalle de flujos de detritos talud debajo de la vía. El material aflorante pertenece a la Unidad Gneis de Sabanilla. UTM: 719686-9556348



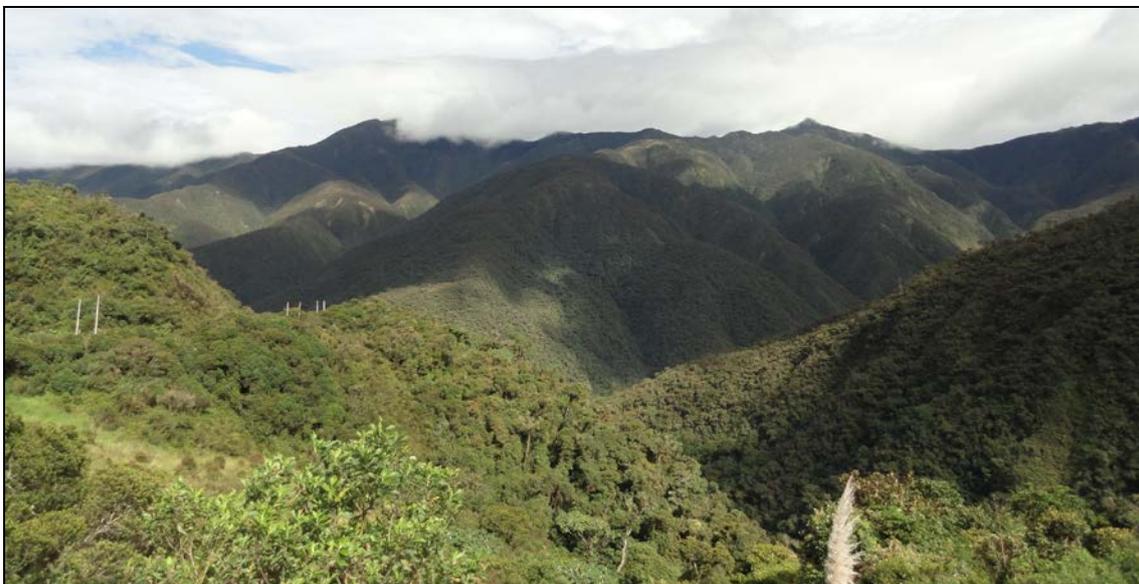
Fotografía No. 9: Detalle de ladera afectada por caída de tierra y localmente flujos de detritos. El material aflorante pertenece a la Unidad Metamórficos indiferenciados. UTM: 725502-9551458



Fotografía No. 10: Detalle de deslizamiento rotacional en material perteneciente a la Unidad Batolito de Zamora. El material aflorante pertenece a la Unidad Metamórficos indiferenciados. UTM: 725357-9551514



Fotografía No. 11: Detalle procesos de remoción en masa en la entrada a la ciudad de Zamora. El material aflorante pertenece a la Unidad Metamórficos indiferenciados. UTM: 725502-9551458. (Foto Cortesía Ing. Diego Altamirano)



Fotografía No. 12: Detalle de la ocurrencia de flujos de detritos en los alrededores de la vía Loja Zamora. UTM: 712452-9560274.

ANEXO No. 3.- Mapas de Susceptibilidad de la vía Loja Zamora

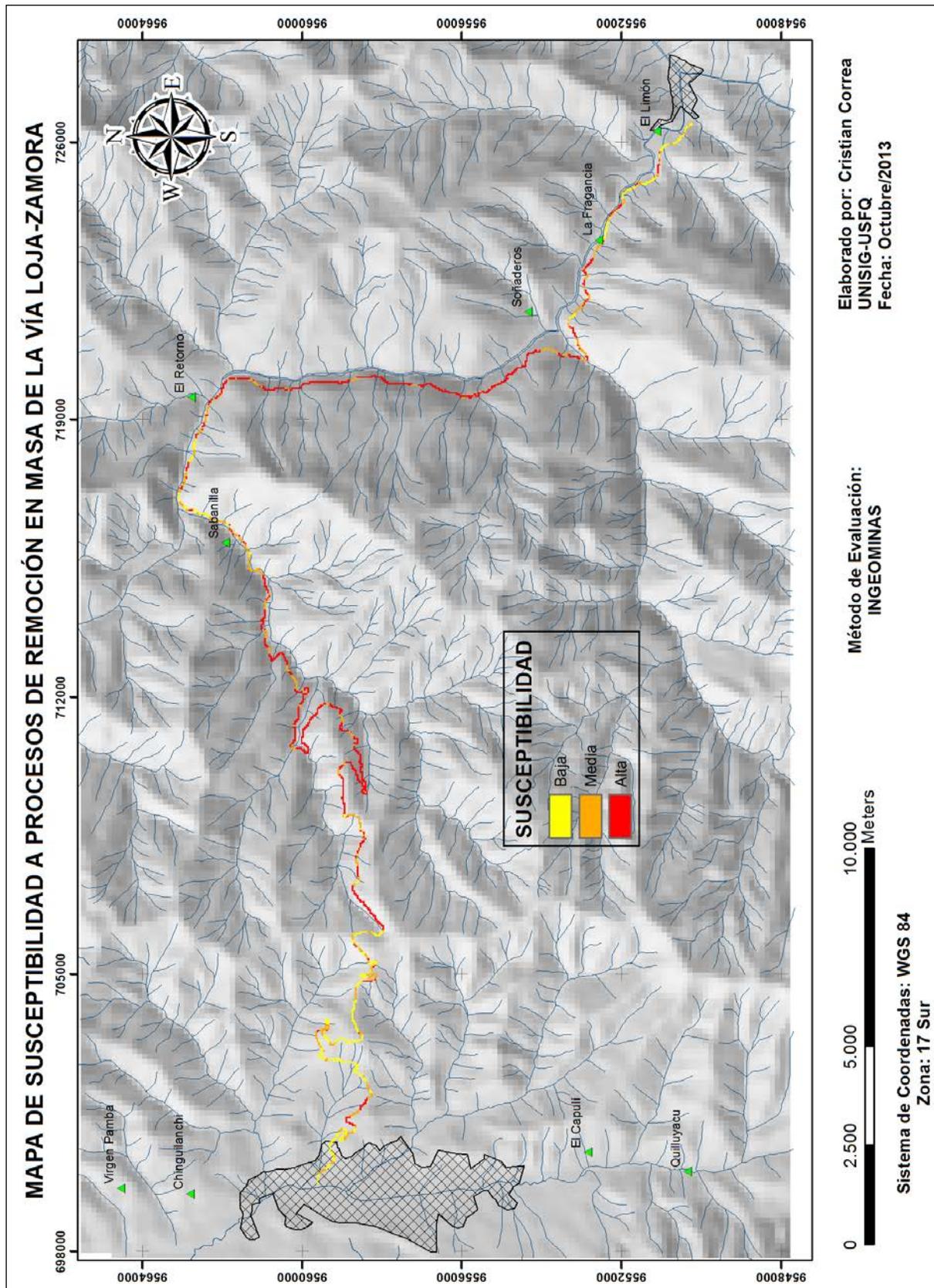


Figura No 41.- Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora (1989) según método INGEOMINAS.

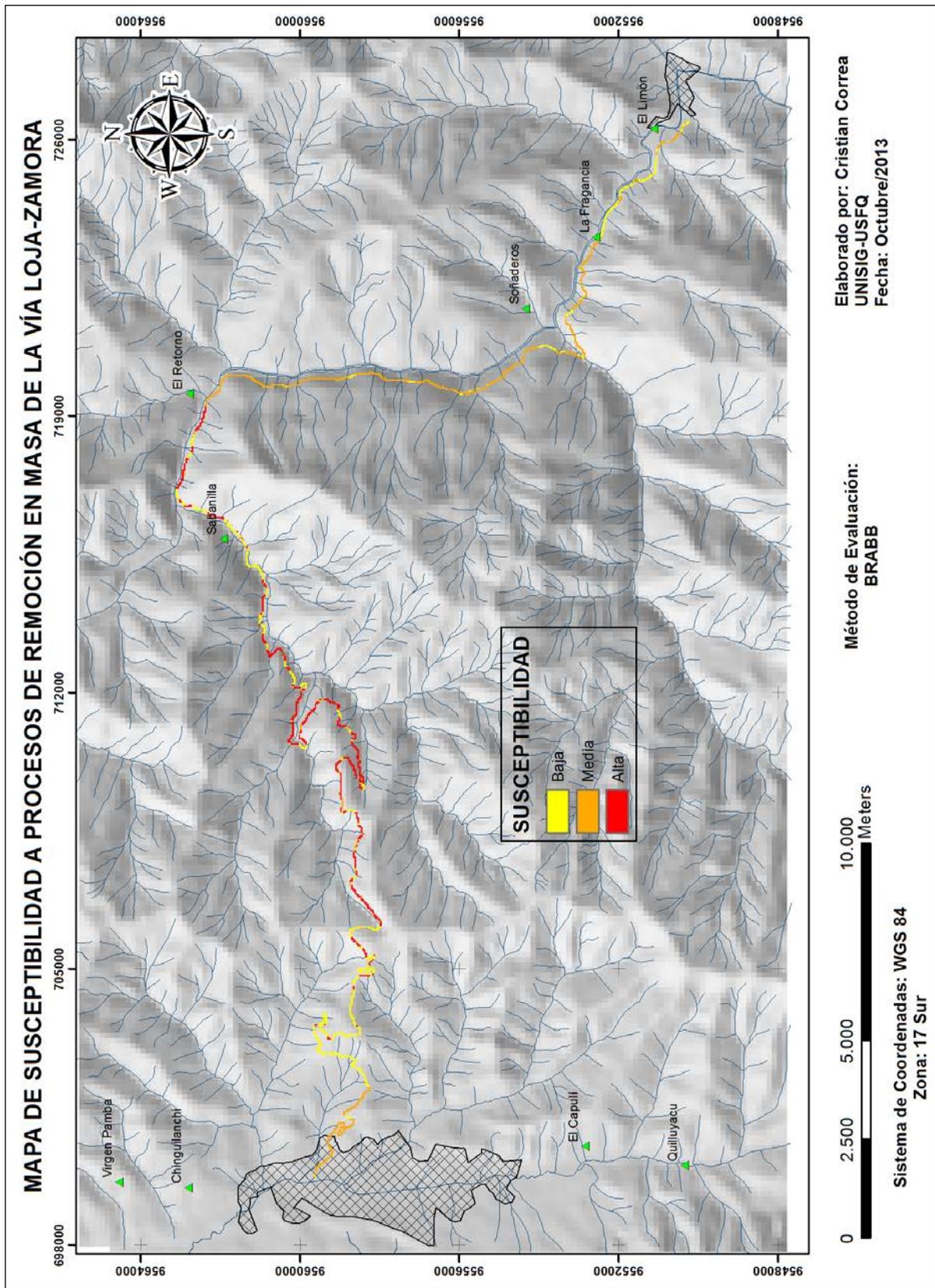


Figura No. 42: Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora (1989) según método de BRABB.

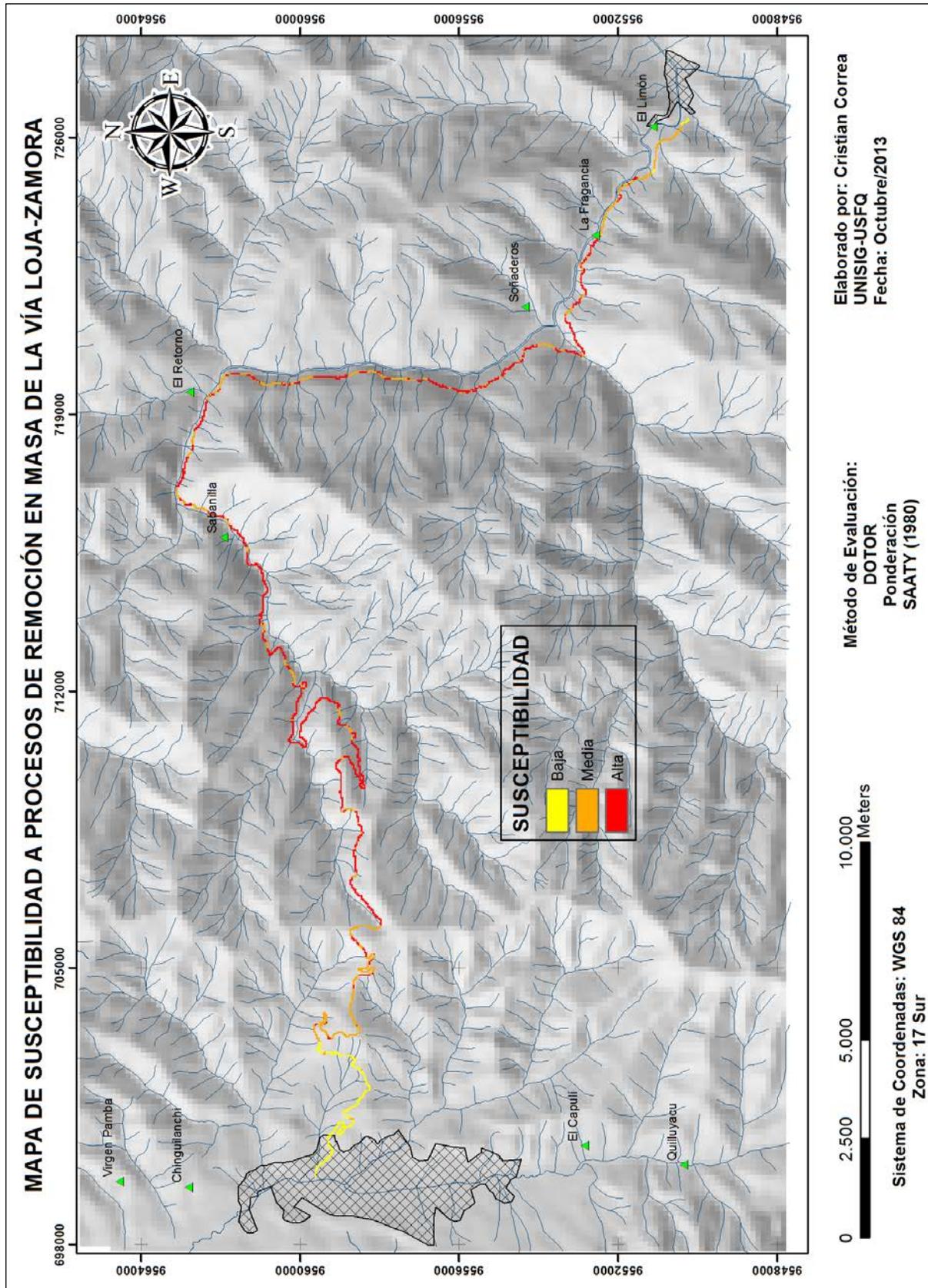


Figura No. 45.- Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de la vía Loja-Zamora según el método de DOTOR.