

INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES

LA UNIVERSIDAD DE POSGRADO DEL ESTADO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

INSTITUTO DE LOS ALTOS ESTUDIOS NACIONALES

LA UNIVERSIDAD DE POSGRADO DEL ESTADO

MAESTRÍA EN PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES.

TÍTULO: Magister en Prevención y Gestión de Riesgos.

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS DE AMENAZA POR
MOVIMIENTOS EN MASA EN INFRAESTRUCTURA VIAL. CASO VÍA LATERAL
DE PASO TRAMO LA ARGELIA – BELÉN, PROVINCIA DE LOJA.**

Autor:Maritza Ximena Ochoa Tapia

Tutor:Pablo Edilberto Melo Coy.

Quito, Junio 2019.

ACTA DE GRADO



INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES
LA UNIVERSIDAD DE POSGRADO DEL ESTADO

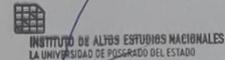
No.307- 2019.

ACTA DE GRADO

En el Distrito Metropolitano de Quito, hoy a los veintiocho días del mes de junio del año dos mil diecinueve, **MARITZA XIMENA OCHOA TAPIA**, portadora del número de cédula: 1104385248, EGRESADA DE LA MAESTRÍA EN PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS (2016-2018), se presentó a la exposición y defensa oral de su Artículo Científico, con el tema: "PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN INFRAESTRUCTURA VIAL. CASO VÍA LATERAL DE PASO TRAMO LA ARGELIA-BELÉN, PROVINCIA DE LOJA", dando así cumplimiento al requisito, previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN MAESTRÍA EN PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS**.

Habiendo obtenido las siguientes notas:

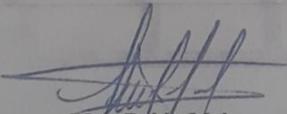
Promedio Académico:	9.37
Artículo Científico Escrito:	9.13
Defensa Oral Artículo Científico:	9.95
Nota Final Promedio:	9.45

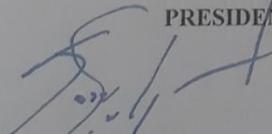


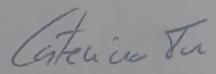
**SECRETARÍA
GENERAL**

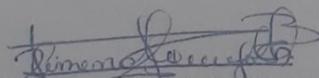
En consecuencia, **MARITZA XIMENA OCHOA TAPIA**, se ha hecho acreedora al título mencionado.

Para constancia firman:


Mgs. Pablo Melo.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL


Mgs. José Salazar.
MIEMBRO


Dra. Caterina Tuci.
MIEMBRO


Abg. Ximena Carvajal Chiriboga.
DIRECTORA DE SECRETARÍA GENERAL

De conformidad con la facultad prevista en el estatuto del IAEN CERTIFICO que la presente es fiel copia del original



Fojas 11

Fecha 26 JUL 2019


Secretaría General

AUTORÍA

Yo, Maritza Ximena Ochoa Tapia, con cédula de identidad N° 1104385248, declaro que las ideas, juicios, valoraciones, interpretaciones, consultas bibliográficas, definiciones y conceptualizaciones expuestas en el presente trabajo, así como los procedimientos y herramientas utilizadas en la investigación, son de absoluta responsabilidad del autor del trabajo de titulación. Asimismo, me acojo a los reglamentos internos de la universidad correspondientes a los temas de honestidad académica.



Maritza Ximena Ochoa Tapia.

CI: 1102544028

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

"Yo, Maritza Ximena Ochoa Tapia cedo al Instituto de Altos Estudios Nacionales (IAEN), los derechos de publicación de la presente obra por un plazo máximo de cinco años, sin que deba haber un reconocimiento económico por este concepto. Declaro además que el texto del presente trabajo de titulación no podrá ser cedido a ninguna empresa editorial para su publicación u otros fines, sin contar previamente con la autorización escrita de la universidad"

Quito, junio 2019.



Maritza Ximena Ochoa Tapia.

CI: 1102544028

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo está dedicado a mis padres y hermanos por su apoyo incondicional durante mis años de estudios, y de manera especial a Juan Ignacio y Juan Esteban por su fuerza y fe en mí para convertirme cada día en una mejor persona.

Maritza Ximena

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento al Instituto de Altos Estudios Nacionales por acogerme durante mi formación en el cuarto nivel. De igual manera expreso mi agradecimiento al Mgs. Pablo Melo por su guía y apoyo durante el desarrollo del presente trabajo investigativo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. TÍTULO.....	9
2. RESUMEN.....	9
3. PALABRASCLAVES.....	9
4. INTRODUCCIÓN.....	10
4.1. Metodología.....	15
4.2. Informacióndevariables.....	15
4.3. Procesamiento deinformaciónespacial.....	16
4.4. Elaboración de Mapas de Amenazas por movimientosen masa.....	17
4.4.1. Metodología Mora Vahrson Mora para la zonificación de amenazas porMovimientosen Masa.....	18
4.4.2. Metodología propuesta para la zonificación de amenazas por Movimientos enMasa, parainfraestructuravial.....	19
4.4.2.1. Pendientes.....	20
4.4.2.2. Litología.....	20
4.4.2.3. Geomorfología.....	21
4.4.2.4. Fallasgeológicas.....	22
4.4.2.5. Precipitación.....	23
4.4.2.6. Sismicidad.....	23
4.4.2.7. Uso actualdelsuelo.....	24
4.4.2.8. Ponderacióndevariables.....	24
5. RESULTADOS.....	25
5.1. Discusión.....	30
6. CONCLUSIONES.....	33
7. FUENTESBIBLIOGRÁFICAS.....	35
8. ANEXOS.....	37

Índice de Tablas

Tabla 1. Informaciónde variables.....	16
Tabla 2. Diferenciación de metodología de Mora Vahrson Mora con la propuesta en lainvestigación.....	17
Tabla 3. Clasificaciónde pendientes.....	20

Tabla 4. Clasificación Litológica según Mora (1992), Barton (1974), Hoek y Bray (1981) y Jibson (2000).....	20
Tabla 5. Asignación de pesos a unidades geomorfológicas.	21
Tabla 6. Influencia de fallas geológicas de acuerdo a su proximidad.....	23
Tabla 7. Clasificación de las precipitaciones de Mora Vahrson y ajustada para Ecuador por Gustavo Barrantes.....	23
Tabla 8. Clasificación del Usodel Suelo.	24
Tabla 9. Ponderación de variables de metodología propuesta.	24
Tabla 10. Clasificación de zonas de amenaza en tramo vial mediante las dos metodologías.	
26Tabla 11. Comparación entre los mapas de amenazas de MVM y metodología propuesta con el mapa de inventario de movimientos en masa por número de movimiento de masa.....	29
Tabla 12. Comparación entre los mapas de amenazas de MVM y metodología propuesta con el mapa de inventario de movimientos en masa por áreas de deslizamiento.	29
Tabla 13. Clasificación de dependientes.....	37
Tabla 14. Clasificación de litología.	37
Tabla 15. Clasificación de humedad relativa	38
Tabla 16. Clasificación por aceleración sísmica.....	38
Tabla 17. Clasificación de precipitación.....	38
Tabla 18. Valores promedio de propiedades geotécnicas propuestas para la estimación de deslizamiento.	39

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	14
Ilustración 2. Mapa de amenaza por movimientos en masa: Metodología Mora Vahrson Mora	27
Ilustración 3. Mapa de amenaza por movimientos en masa: metodología propuesta.	28
Ilustración 4. Mapa de zonificación sísmica del Ecuador.	40
Ilustración 5. Mapa de inventario de movimientos en masa de la zona de estudio.....	41

1. TÍTULO

Propuesta metodológica para el análisis de amenaza por movimientos en masa en infraestructura vial. Caso Vía Lateral de Paso tramo La Argelia – Belén, provincia de Loja

2. RESUMEN

Los movimientos en masa constituyen los eventos peligrosos que tienen mayor incidencia de afectación en la infraestructura vial. Esta investigación presenta una propuesta metodológica para el análisis de amenaza por movimientos en masa en infraestructura vial, la cual pondera con valores más altos las variables de litología, uso actual de suelo y precipitaciones. La metodología propuesta fue contrastada con la metodología de Mora Vahrson Mora y validada con el inventario de movimientos en masa desarrollado en la investigación de campo. Del análisis comparativo entre las dos metodologías se establece que la Propuesta Metodológica es la mejor se adapta para el análisis de amenazas en infraestructura vial, por la gran importancia de los factores geológico – geotécnico, precipitaciones y uso actual de suelo cuando se cimienta estos proyectos viales.

3. PALABRAS CLAVES

Movimientos en masa, propuesta metodológica, amenaza, infraestructura vial.

ABSTRACT

Mass movements are the dangerous events that have the greatest impact on road infrastructure. This investigation presents a methodological proposal for the threat analysis by mass movements in road infrastructure, which weighs with higher values the variables of lithology, current use of soil and rainfall. The proposed methodology was contrasted with the Mora Vahrson Mora methodology and validated with the inventory of mass movements developed in the field research. From the comparative analysis between the two methodologies it is established that the Methodological Proposal is the best one adapted for the analysis of road infrastructure threats, due to the great importance of the geological - geotechnical factors, rainfall and current land use when these road projects are based.

Key words

Mass movements, methodological proposal, threat, road infrastructure.

4. INTRODUCCIÓN

Un movimiento en masa es el movimiento hacia afuera y debajo de una ladera bajo la influencia de la gravedad, que resulta del fallo de cizallamiento de una sección de la pendiente a lo largo de un plano de fractura (Dikau, 2004). Los movimientos en masa son uno de los riesgos más prevalentes en la infraestructura vial, inducidos principalmente por precipitaciones o por la acción humana, los cuales son frecuentes y se desarrollan con mayor distribución geográfica.

En la actualidad existen diversas metodologías para la zonificación de la peligrosidad por movimientos en masa, los cuales están enfocados en determinar las zonas de baja y alta amenaza, pero no determinan para una vulnerabilidad específica como lo es la infraestructura vial.

Según lo establece Abril Lorena (Abril Abril, 2011), para la zonificación de amenazas por deslizamientos tenemos los métodos cualitativos, métodos cuantitativos y métodos semi-cuantitativos.

Los métodos cualitativos son aquellos que se basan en el análisis de expertos para la determinación de las variables y pesos a asignar, dentro de estos métodos tenemos la metodología de Mora Vahrson (1991), Método Heurístico de Anbalangar y Singh (1996), Método Heurístico de Van Westen (1997) y metodología de Mora Vahrson Mora (1993).

Por otra parte, los métodos cuantitativos según lo establece Kouli, María (Kouli, 2009) se basan en expresiones matemáticas que correlacionan los factores causales y deslizamientos de tierra; dentro de esta clasificación encontramos los *métodos determinísticos* donde se emplea el método del análisis del talud infinito establecida por Brunsdén y Prior (1979) y el método de factor de seguridad de Hoek y Bray (1981) los cuales calculan la estabilidad del talud mediante ábacos; y los *métodos estadísticos* los cuales combinan el uso de valores ponderados para variables con la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno, dentro de esta clasificación tenemos los métodos Estadístico Univariado, Bivariado y Multivariado.

Finalmente dentro de los métodos semi-cuantitativos tenemos el método Espacial Multicriterio y el método analítico jerárquico de Saaty (1980)

Es importante mencionar, que en el presente caso como lo es la Vía Lateral de Paso de la ciudad de Loja, esta obra tuvo un importante financiamiento de 37 millones de dólares, y a pesar de tener aproximadamente tres años desde su inauguración, presenta significativas zonas de afectación, vulnerables y/o de riesgos debido a la falta de consideración de la variable riesgos dentro de los estudios geológicos, geotécnicos y ambientales. Entre las principales afectaciones se evidencian entre el 1,5 al 3,7 kilómetro considerando como punto de partida el sector la Argelia, tramo que incluye los sectores Chontacruz, Cofradía y Punzara Chico donde se evidencia de fisuramiento en la calzada, hundimientos, taludes a b r u p t o s ,

poniendo en riesgo a las personas que transitan por esta infraestructura vial. Otro tramo que representa riesgo elevado es a la altura del kilómetro 6,3 donde se ubica la urbanización Ciudad Victoria, ciudadela que presenta graves afectaciones por reptación del suelo, generando agrietamiento en las casas de esta urbanización.

Es por ello, que la presente investigación está orientada a establecer una propuesta metodológica de tipo cualitativa para el análisis de amenazas para infraestructura vial, la cual aporta significativamente en la identificación de la amenaza o peligrosidad, mediante la relación de datos levantados en territorio, con la ponderación de variables en el procesamiento de la información en gabinete, obteniendo como resultado valores más precisos y acercados a la realidad territorial. Por tanto, las vías constituyen una vulnerabilidad que necesita de importante financiamiento estatal para su implantación y que debería considerar el análisis de amenazas dentro de la planificación de este tipo de proyectos, a fin de evitar de esta forma importantes afectaciones ya en su fase operativa, situación que sucede en la Vía Lateral de Paso de la ciudad de Loja.

Área de Estudio

La ciudad de Loja se encuentra ubicada al sur del Ecuador, en la provincia de Loja al sur de la región interandina (Sierra), cuya extensión territorial es de 1928 Km², y a una altura que oscila entre los 2100 y 2135m.s.n.m.

En cuanto al área de investigación, esta sitúa en el sector sur occidental de la ciudad de Loja, y contempla dentro del área de estudio los siguientes barrios o sectores: La Argelia, Punzara, Cofradía, Chontacruz, Memphis, Ciudad Victoria y Bolonia; con una dimensión del proyecto vial de 8.9 kilómetros, la sección considerada para fines de la investigación a partir del margen de vía es de 320 metros de cada lado, dando una superficie del área de estudio de 508,76 hectáreas (ha).

Es sitio de investigación yace sobre rocas sedimentarias cerca del 95% de estas son areniscas gruesas, conglomerados, limolitas, lutitas y sedimentos sin consolidar, y el 15% corresponden a rocas metamórficas, donde ubicamos calizas bandeadas, cuarcitas, gneis y esquistos. Estructuralmente el proyecto vial es travesado por dos fallas geológicas regionales de dirección NE – SW, y NW-SE.

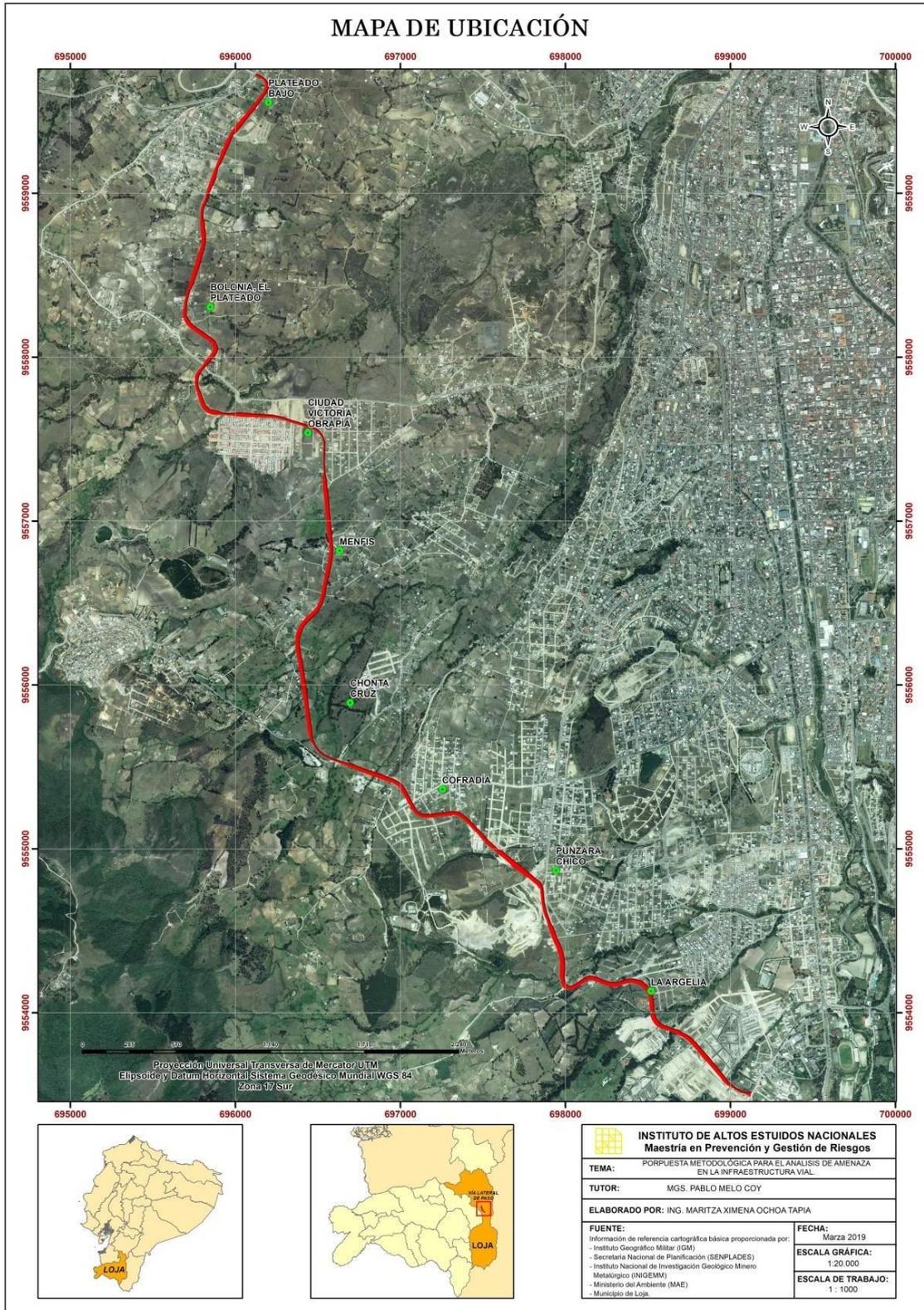


Ilustración 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

4.1. Metodología

La presente investigación tiene por objeto realizar una propuesta metodológica para el análisis de amenazas por movimientos en masas en proyectos viales, para lo cual se plantea el caso específico de la Vía Lateral de Paso tramo La Argelia –Belén.

En el desarrollo de la investigación se realizará la contrastación de la metodología de Mora - Vahrson – Mora (Mora, Vahrson, & Mora, 1993), con la propuesta metodológica de este artículo, la cual radica en el desarrollo de una **fase de campo** que consiste en el levantamiento geológico en territorio de las propiedades geológicas, fallas y formaciones presentes donde se cimentó la Vía Lateral de Paso tramo LaArgelia – Belén;y,una **fase de gabinete** que consiste en el procesamiento espacial de la información obtenida en la fase de campo y la ponderación de las variables consideradas dentro de la presente propuesta. Esta comparación permitirá definir cuál de las dos refleja la realidad del área de estudio y contempla la afectación a la infraestructura vial.

Es importante señalar que estas metodologías cualitativas se basan en el método heurístico (van Westen, Rangers, Terlien, & Soeters, 1997), en donde un especialista es quien concluye el tipo o grado de riesgo para una zona en cuestión, utilizando la asignación directa o indirecta; por tanto, este método se fundamenta en la categorización o ponderación de los factores que influyen en la generación de movimientos en masa (Carrara, 1995).

4.2. Información de variables.

A continuación en la Tabla 1 se detallan los factores y variables utilizadas para la presente investigación, en donde se describe la fuente de información y la escala de representación, las cuales influyen directamente en la realidad del área de estudio.

Tabla 1. Información de variables.

Factor	Variable	Escala	Fuente	Año
Relieve	- Topografía	1:100	Levantamiento topográfico	2018
	- Pendiente	1:500		
	- Geomorfología	1:1000	MAGAP	2015
Geología	- Litología	1:500	Levantamiento geológico	2018
	- Fallas Geológicas	1:25000	INIGEMM	2015
	- Sismicidad	1:100000	Norma Ecuatoriana de la Construcción	2011
Uso de Suelo	- Uso actual de suelo	1:500	Ortofotos SIGTIERRAS	2010
Hidrología	- Drenajes naturales	1:5000	MAGAP	2010
Hidroclimatología	- Precipitación	1:5000	UNL	2011

Fuente: Levantamiento de información en campo.

Elaborado por: Ochoa Tapia Maritza Ximena.

4.3. Procesamiento de información espacial.

Para el procesamiento de la información y análisis cartográfico se trabajó en el Software ArcGis Versión 10.2; donde a partir del levantamiento topográfico se obtuvieron las variables pendientes y zonas de saturación; y para la variable uso de suelo, se la realizó mediante la digitalización de las ortofotos: NVI-F4c-D3, NVI-F4c-D4, NVII-B2a-A1, NVII-B2a-A2, NVII-B2a-A3, NVII-B2a-A4 y NVII-B2a-B3 generadas entre agosto de 2010 y febrero de 2014 por el programa SIGTIERRAS con una resolución espacial entre 30 y 50 cm. Todos los mapas generados se reclasificaron en cinco rangos los cuales son: 1 muy baja, 2 baja, 3 moderada, 4 alta y 5 muy alta.

Según Terzaghi (Terzaghi, 1950), los deslizamientos son producidos por dos causas fundamentales: las de tipo interno y las de tipo externo. Las **causas externas** son todas aquellas que producen un incremento en la tensión o esfuerzos, pero no en la resistencia de

los materiales; en tanto que las causas internasson las que disminuyen la resistencia de los materiales, sin cambiar la tensión o esfuerzos (Alcántara, 2000).

Para la determinación de la amenaza por movimientos en masa, se calcularon los factores condicionantes y desencadenantes a partir de las variables determinadas en la investigación de campo, y con la utilización del software ArcGis, se realizó la sistematización de la información. Para el análisis del factor condicionante se consideraron las variables de: pendientes, litología, fallas geológicas y geomorfología; y para caso del factor detonante las variables de precipitación, sismicidad y uso actual de suelo como una actividad antrópica.

Toda la información levantada y recopilada se sistematizó en el sistema de coordenadas planas UTM con elipsoide y datum horizontal del sistema geodésico mundial WGS 84, zona 17 Sur.

4.4. Elaboración de Mapas de Amenazas por movimientos enmasa.

Antes de iniciar con la descripción de las dos metodologías empleadas en el presente estudio, es importante realizar una diferenciación de cada una de ellas, las mismas que se detallan a continuación:

Tabla 2. Diferenciación de metodología de Mora Vahrson Mora con la propuesta en la investigación.

Metodología Mora Vahrson Mora	Metodología propuesta
Utiliza cinco variables para el análisis de amenaza: pendientes, litología, humedad relativa, sismicidad y precipitaciones	Utiliza siete variables para el análisis de amenazas: pendientes, litología, geomorfología, fallas geológicas, precipitación, sismicidad y uso de suelo
No hay condicionantes en cuanto a la escala de las variables empleadas	La escala de la información litológica debe ser levantada a detalle en territorio
La variable con mayor ponderación es la pendiente	Las variables con mayor ponderación son: la litología y la precipitación.

Fuente: Determinación de diferencias ente metodologías por la autora.

Elaborado por: Ochoa Tapia Maritza Ximena.

441. Metodología Mora Vahrson Mora para la zonificación de amenazas por Movimientos enMasa.

El Método Mora Vahrson Mora (MVM) fue desarrollado en el año 1993 como resultado de la investigación de estudios de caso en fallas de taludes en Centroamérica, con el objeto de predecir las amenazas por movimientos en masa debido a factores como la intensidad sísmica y las lluvias de alta intensidad. (Mora Chinchilla, 2004)

Esta metodología fue modificada a partir de Mora Vahrson 1991, con la inclusión del ángulo de pendiente en sustitución del índice de relieve relativo; además de la consideración adicional del parámetro de resistencia cortante dentro del parámetro de susceptibilidad litológica. (Abril Abril,2011)

La metodología de Mora Vahrson Mora (MVM) considera dos factores para el desarrollo de movimientos en masa: (Ver Anexo 1. Metodología de Mora Vahrson Mora)

- a. Elementos Pasivos:* Corresponden a las variables internas e intrínsecas del medio donde se realiza la investigación con sus característica. Como elementos pasivos corresponden la pendiente, litología y humedad.
- b. Factor Disparo:* Corresponden a las variables externas que modifican el comportamiento de las variables intrínsecas que pueden ocasionar menor o mayor impacto para el desarrollo de movimientos en masa. Como elementos disparadores tenemos las precipitaciones ysismos.

A continuación se detalla la fórmula de cálculo de la amenaza por movimientos en masa:

$$H = EP \times D$$

Dónde:

H =Grado de amenaza a movimientos en masa.

EP = Valor producto de la combinación de los elementos pasivos.

D = Valor producto del factor disparador.

De la misma manera, se describe el cálculo de los elementos pasivos y el factor disparador:

$$EP = S_l \times S_h \times S_p$$

Dónde:

S_l = Valor del parámetro de susceptibilidad litológica

S_h = Valor del parámetro de humedad del terreno.

S_p = Valor del parámetro de la pendiente.

$$D = D_s \times D_{ll}$$

Dónde:

D_s = Valor del parámetro de disparo por sismicidad.

D_{ll} = Valor del parámetro de disparo por lluvia.

442. Metodología propuesta para la zonificación de amenazas por Movimientos en Masa, para infraestructuravial.

La presente metodología propone la presencia de dos factores; los factores condicionantes que corresponden las variables pendiente, litología, geomorfología y fallas geológicas; y, los factores desencadenantes que refieren a las variables establecidas por Mora – Vahrson – Mora y que corresponden a precipitación y sismicidad, a los cuales se ha sumado el uso actual del suelo, que constituye un factor externo y de actividad antrópica.

Las variables utilizadas dentro de los factores condicionantes y desencadenantes se ha clasificado en cinco clases, las cuales son: muy baja, baja, moderada, alta y muy alta; esto se lo realizó utilizando los sistemas de información geográfica (ArcGis).

4.4.2.1. Pendientes

Para determinar las pendientes se realizó el levantamiento topográfico del lugar de investigación; y, con la ayuda del sistema de información geográfica se generó el mapa de pendientes, en el cual se clasificó en cinco rangos el ángulo de inclinación del terreno los mismos que se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de pendientes

Grados	Variable	Peso
< 5	Explanada	1
5 – 15	Ligeramente inclinado	2
15 – 30	Moderadamente inclinado	3
30 – 45	Fuertemente inclinado	4
>45	Extremadamente inclinado	5

Fuente: Asignación de pesos por la autora.

Elaborado por: Ochoa Tapia Maritza Ximena.

4.4.2.2. Litología.

La litología prevalente en el sector se estableció en base al mapeo geológico del área de estudio, en donde se generó la categorización de cada unidad litológica de acuerdo a Mora (Mora R. , 1992) considerando los valores geotécnicos del tipo de roca, tal como lo establecen Barton (1974), Hoek y Bray (1981) y Jibson (2000). Ver Anexo 2. Tablas promedio de propiedades geotécnicas propuestas para la estimación de deslizamiento.

En la Tabla 4 se puede observar los valores de litología empleados en la propuesta metodológica.

Tabla 4. Clasificación Litológica según Mora (1992), Barton (1974), Hoek y Bray (1981) y Jibson (2000)

Litología	Peso
Calizas bandeadas, lutitas y cherts	1
Litología	Peso
Areniscas gruesas y depósitos conglomeráticos	2

Areniscas gruesas, conglomerados y limolitas	3
Cuarcitas, filitas, esquistos	3
Gneis meteorizados	3
Sedimentos bien sorteados compuestos por boleos, gravas, arenas y limos	3
Conglomerados con capas potentes de arcillolitas (sedimentos fluviales)	4
Depósitos Cuaternarios	4
Detritos mal sorteados con arcillas y limos	4
Conglomerados (sedimentos fluviales)	5
Sedimentos sin consolidar, con cantos angulares y redondeados mal sorteados	5

Fuente:Mora, Rolando 1992. Asignación de pesos por la autora en referencia a Barton (1974), Hoek y Bray (1981) y Jibson (2000).

Elaborado por:Ochoa Tapia Maritza Ximena.

4.4.2.3. Geomorfología

Para la determinación de la geomorfología se utilizó la información de esta variable a escala 1:1000 del MAGAP, y se clasificó en cinco rangos de acuerdo a lo que establece Tambo (Tambo, 2011) y que se indica en la Tabla 5.

Tabla 5.Asignación de pesos a unidades geomorfológicas.

Unidad Geomorfológica	Peso
Cimas aterrazadas y plano convexas	1
Cuerpos de agua	1
Laderas convexas	2
Laderas plano convexas	2
Rellano	2
Superficie plana ondulada	2
Cuerpos en forma de herradura	3

Unidad Geomorfológica	Peso
Depresión	3
Escarpe de talud de vía	3
Espinazo morfológico de cimas agudas	3
Laderas cóncavas a rectas	3
Laderas cóncavas escalonadas	3
Laderas cóncavas escarpadas	3
Laderas cóncavas suaves	3
Superficies de cuestras	3
Superficies de cuestras superiores	3
Valle coluvio aluvial	3
Cuerpos coluviales	4
Encañonado	4
Escarpes	4
Laderas cóncavas e irregulares muy erosionadas	4
Laderas cóncavas saturadas y dinámicas	4
Escarpe erosional	5
Valle erosional con o sin fondo aluvial y vertientes fuertes	5

Fuente: Tambo, Walter 2011.

Elaborado por: Ochoa Tapia Maritza Ximena.

4.4.2.4. Fallas geológicas.

Se definieron las fallas geológicas en base a la Hoja Geológica de Loja y Gonzanamá Segunda Edición 2015 del INIGEMM, las cuales fueron verificadas y tomadas sus medidas estructurales en la fase de campo para mapearlas en la fase de gabinete. Se determinó una zona de influencia de estas estructuras geológicas de 150 metros, la cual se obtuvo mediante la utilización de la herramienta BUFFER del software ArcGis. Posterior se clasificó en cinco rangos de acuerdo a la proximidad a la falla geológica para la determinación de pesos, como se evidencia en la Tabla 6.

Tabla 6.Influencia de fallas geológicas de acuerdo a su proximidad.

Proximidad (m)	Variable	Peso
> 150	Influencia nula	1
100 – 150	Muy baja influencia	2
50 – 100	Baja influencia	3
25 - 50	Moderada Influencia	4
< 25	Alta Influencia	5

Fuente:Asignación de pesos por la autora

Elaborado por:Ochoa Tapia Maritza Ximena.

4.4.2.5. Precipitación.

En la determinación de la variable precipitación, se utilizó los criterios de Gustavo Basantes, el cual ajustó a la realidad de Ecuador la metodología de clasificación de precipitaciones propuesta por Mora Vahrson. Ver Tabla 7.

Tabla 7.Clasificación de las precipitaciones de Mora Vahrson y ajustada para Ecuador por Gustavo Barrantes.

Precipitación (mm)	Variable	Peso
< 50	Muy Bajo	1
50 - 100	Bajo	2
100 - 150	Medio	3
150 - 200	Alto	4
> 200	Muy Alto	5

Fuente:Gustavo Barrantes Reclasificación y asignación de pesos por la autora

Elaborado por:Ochoa Tapia Maritza Ximena.

4.4.2.6. Sismicidad.

Se utilizó el Mapa de Zonificación Sísmica del Ecuador el cual se obtuvo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011, donde se establece el espectro de diseño elástico de

aceleraciones. Para el caso del cantón Loja, recae en una zona cuyo valor corresponde a 0.15 equivalente a zona muy baja de aceleración sísmica. Ver Anexo 3. Mapa de zonificación sísmica del Ecuador.

4.4.2.7. Uso actual del suelo.

Con la ayuda de la herramienta Maximum Likelihood Classification del software ArcGis, se pudo procesar las ortofotos: NVI-F4c-D3, NVI-F4c-D4, NVII-B2a-A1, NVII-B2a-A2, NVII-B2a-A3, NVII-B2a-A4 y NVII-B2a-B3 para generar las coberturas que se evidencian en la Tabla 8.

Tabla 8. Clasificación del Uso del Suelo.

Clase	Peso
Bosque	1
Arbustos , matorrales	2
Cultivos permanentes, pastizales	3
Cultivos de ciclo corto, escasa vegetación	4
Infraestructura, cuerpo de agua, suelo erosionado	5

Fuente: SNGRE. Reclasificación y asignación de pesos por la autora.

Elaborado por: Ochoa Tapia Maritza Ximena.

4.4.2.8. Ponderación de variables.

La ponderación de las variables se la realizó mediante la herramienta Raster Calculator del software ArcGis donde se aplicaron los valores ponderados de la Tabla 9.

Tabla 9. Ponderación de variables de metodología propuesta.

Variable	Valor ponderado
Pendiente	0.15
Litología	0.20
Geomorfología	0.10
Uso de Suelo	0.15
Fallas geológicas	0.10
Variable	Valor ponderado
Precipitación	0.20

Fuente:Asignación de ponderaciones por la autora.

Elaborado por:Ochoa Tapia Maritza Ximena.

Los valores ponderados asignados a las variables definidas en la propuesta metodológica, se estableció con **valores más elevados** a la litología y la precipitación, que ha criterio del investigador, son las variables de mayor influencia en la ocurrencia de movimientos en masa; con un **valor ponderado medios** e fijó la pendiente y el uso del suelo, por considerarse de influencia media en la generación de movimientos en masa; y, con el **menor valor** se determinó la geomorfología, fallas geológicas y sismicidad, ya que son variables cuya probabilidad de influencia en la ocurrencia de movimientos en masa en baja.

5. RESULTADOS.

En el tramo de vía se aplicaron dos metodologías para la zonificación de amenazas por movimiento en masa, las cuales corresponden a la de Mora – Vahrson – Mora (MVM) y la propuesta en la presente investigación. En la aplicación de estas metodologías se determinó que en cada una de ellas, el mayor porcentaje de clasificación se halla en la clase moderada, representando para MVM el 38,44% que equivale a 195,55 ha; y para la metodología propuesta, el 35,86% que equivale a 182,44 ha.

En cuanto a la clase Alta y Muy Alta, se pudo verificar que existe una diferencia de número de hectáreas entre ambas metodologías. En la aplicación de MVM se determina 59,26 ha para la clasificación Alta que representa el 11,65%, y 18,34 ha para la clasificación Muy alta representando el 3,6%; en cuanto que a la metodología propuesta se obtiene 107,48 ha para la clasificación Alta representado el 21,13% y 35,72 ha de la clasificación Muy alta que representa el 7,02%, estos datos se reflejan en la Tabla 10.

Tabla 10. Clasificación de zonas de amenaza en tramo vial mediante las dos metodologías.

Clasificación	Mora Vahrson Mora		Metodología propuesta	
	<i>ha</i>	<i>%</i>	<i>ha</i>	<i>%</i>
Muy Baja	45,20	8,88	54,08	10,63
Baja	190,42	37,43	129,04	25,36
Moderada	195,55	38,44	182,44	35,86
Alta	59,26	11,65	107,48	21,13
Muy Alta	18,34	3,60	35,72	7,02

Elaborado por: Ochoa Tapia Maritza Ximena.

A continuación se presentan los mapas de zonificación de amenazas generados por la metodología de MVM y la propuesta de la investigación:

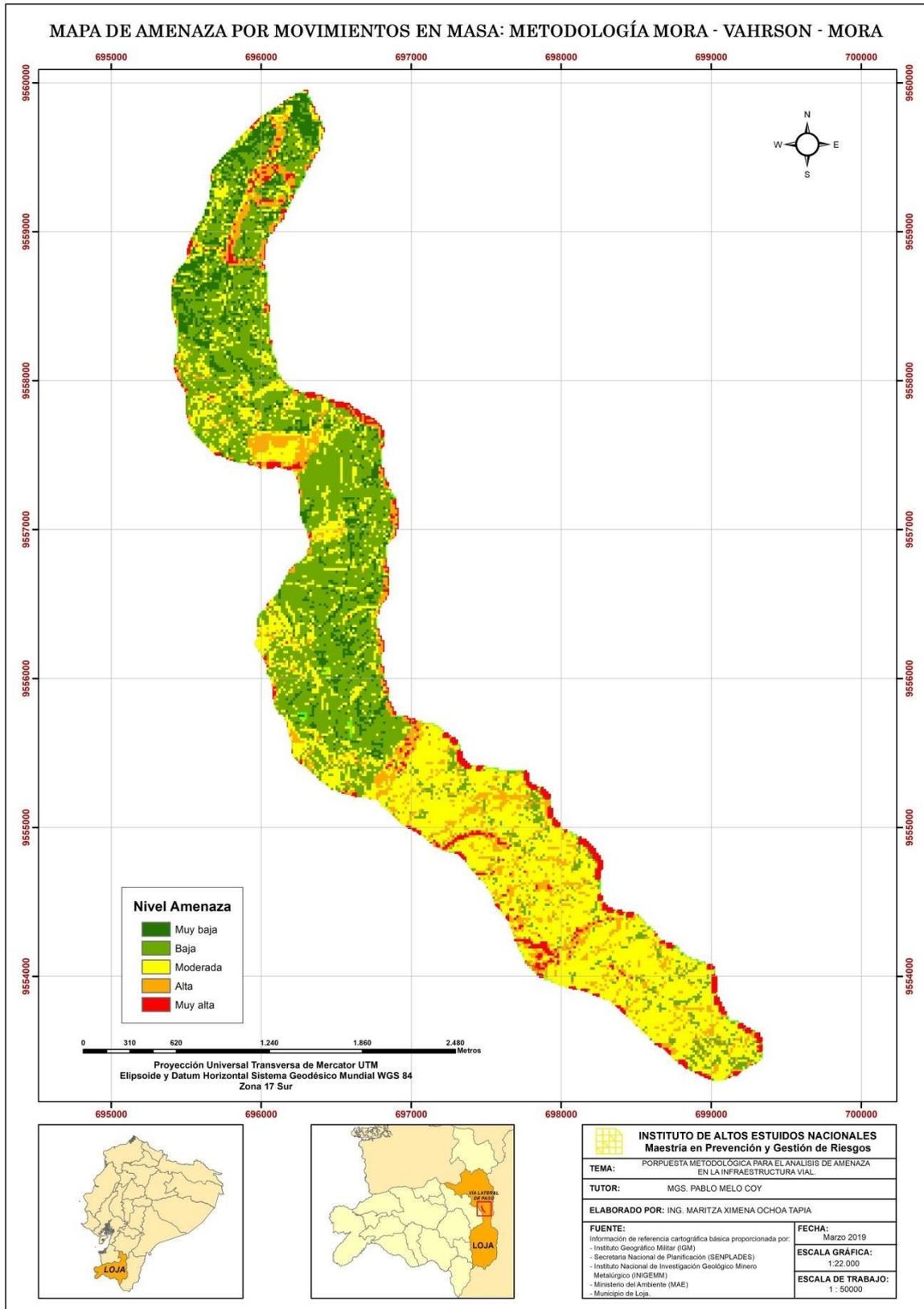


Ilustración 2. Mapa de amenaza por movimientos en masa: Metodología Mora Vahrson Mora.

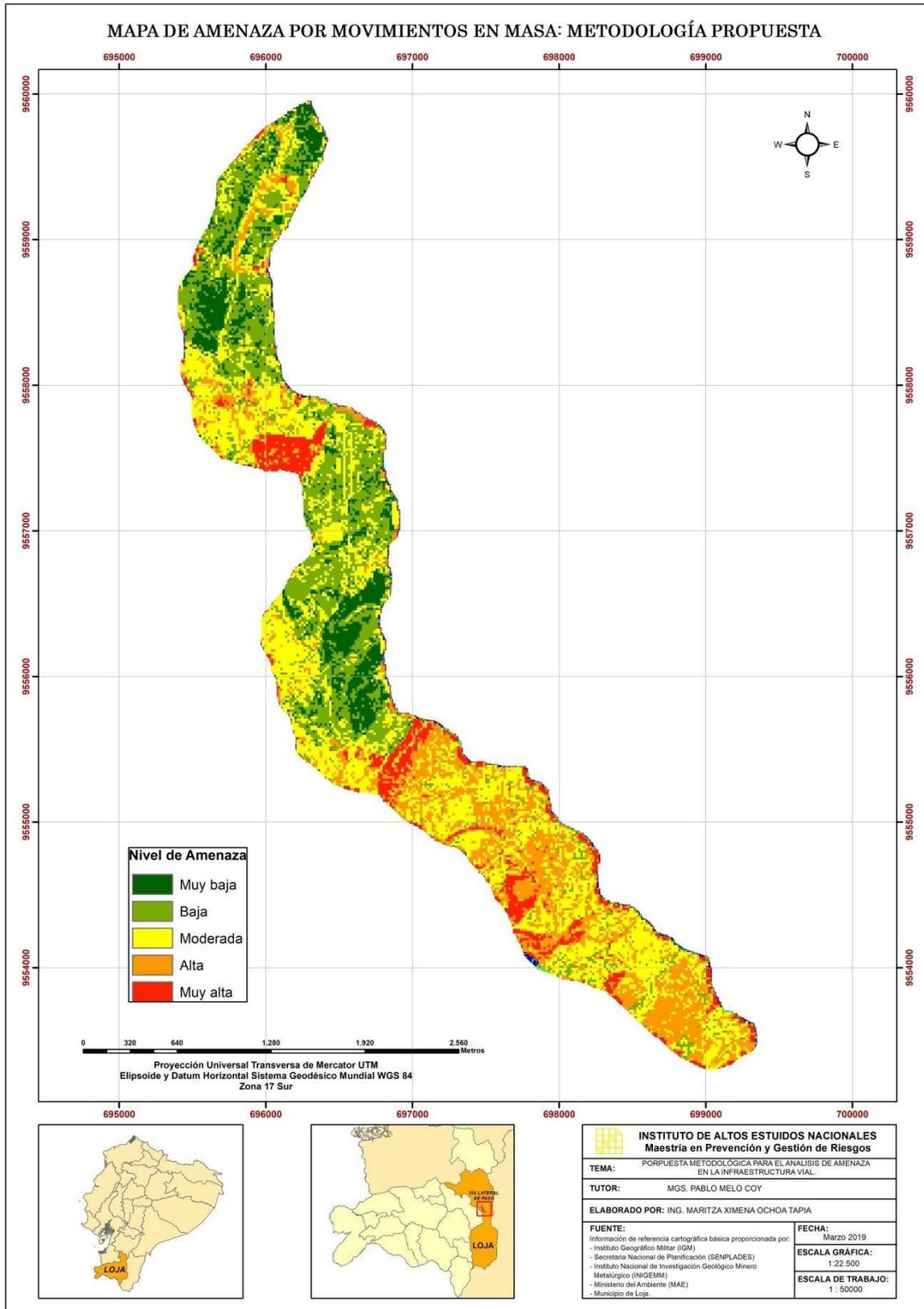


Ilustración 3. Mapa de amenaza por movimientos en masa: metodología propuesta.

Durante el desarrollo de la fase de campo se desarrolló un inventario de movimientos en masa del área de estudio, donde se pudo determinar la presencia de 39 movimientos en masa, información que se refleja en el Anexo 4. Mapa de ubicación de movimientos en masa de la vía Lateral de Paso: tramo Argelia –Belén.

De la correlación de los mapas de amenazas de MVM y de la metodología propuesta, con el mapa de inventario de movimientos en masa, se establece que la metodología del presente estudio es la que más se acerca con la realidad, cuyos valores se evidencian en las Tablas 11 y 12.

Tabla 11. Comparación entre los mapas de amenazas de MVM y metodología propuesta con el mapa de inventario de movimientos en masa por número de movimiento de masa.

Clasificación	Mora Vahrson Mora		Metodología propuesta	
	<i>N° MM</i>	%	<i>N° MM</i>	%
Muy Baja	0	0%	0	0%
Baja	15	38,46%	9	23,08%
Moderada	22	56,41%	13	33,33%
Alta	2	5,13%	10	25,64%
Muy Alta	0	0%	7	17,95%

Elaborado por: Ochoa Tapia Maritza Ximena.

Tabla 12. Comparación entre los mapas de amenazas de MVM y metodología propuesta con el mapa de inventario de movimientos en masa por áreas de deslizamiento.

Clasificación	Mora Vahrson Mora		Metodología propuesta	
	<i>Ha</i>	%	<i>Ha</i>	%
Muy Baja	0,13	1,41%	0,30	3,31%
Baja	3,01	32,74%	0,95	10,31%
Moderada	5,02	54,69%	4,91	53,44%
Alta	0,88	9,63%	2,48	27,03%
Muy Alta	0,14	1,53%	0,54	5,91%

Elaborado por: Ochoa Tapia Maritza Ximena.

5.1. Discusión.

La ciudad de Loja se sitúa sobre una cuenca sedimentaria de origen lacustre de época Miocénica (26 millones de años). Las rocas sedimentarias afloran en casi todos los cortes de carreteras y caminos desde la ciudad hacia las periferias, en las quebradas y pequeños valles cerca de las estribaciones de las dos cordilleras central y oriental. (Gad Municipal de Loja, 2014).

El sector de estudio se ubica al suroeste de la ciudad de Loja, la vía Lateral de Paso tramo Argelia - Belén se asienta sobre las formaciones geológicas Quillollaco, Belén, Trigal y Miembro La Banda, las cuales corresponden a rocas sedimentarias donde prevalecen los conglomerados, areniscas, arcillas y lutitas, a excepción del Miembro La Banda que corresponde a rocas metamórficas como calizas masivas.

La identificación de la litología sumado las propiedades geotécnicas dentro de la implementación de proyectos viales, es uno de los elementos más importantes en el diseño y construcción de vías, ya que permite el establecimiento adecuado de taludes evitando que se produzcan daños por movimientos en masa afectando a la calzada; así como, infraestructura adyacente a la vía como: viviendas, puentes, sistemas de alcantarillado, canales de riego, redes de energía eléctrica, tierras cultivables, entre otras.

Es por ello, que dentro de la propuesta metodológica para el análisis de amenaza en infraestructura vial, las variables con más peso fueron la litología y las precipitaciones, a la cual se le sumó el uso actual de suelo como una actividad antrópica.

Para la variable litología fue necesario realizar el mapeo geológico a fin de determinar la geología a detalle y obtener los parámetros representativos de la zona de estudio. En cuanto al Uso del Suelo, se requirió tener información detallada sobre la actividad antrópica para que los resultados sean lo más cercanos a la realidad.

Referente a la precipitación, se le asignó un valor elevado en la ponderación de variables, debido a que se considera un factor desencadenante en la ocurrencia de movimientos en masa, ya que en el presente caso, la vía en estudio se ha visto afectada significativamente con la presencia de lluvias, las cuales son características y frecuentes, ya que la ciudad de Loja es influenciada por la presencia de la Cordillera Oriental o Real de Los Andes.

De acuerdo a las categorías de la Metodología Mora Vahrson Mora, clasificó al 84,75% del área del tramo de vía como *zona de moderada a baja amenaza por movimientos en masa*, cuyos datos no reflejan la realidad del territorio.

La metodología propuesta pudo determinar los porcentajes más altos del área de estudio en *amenaza alta con el 21,13%* y *amenaza muy alta con el 7,02%*, la cual se debe a la importancia que se da a las tres variables antes descritas: litología, precipitación y uso del suelo.

A las dos metodologías tratadas en la presente investigación se superpuso el mapa de inventario de movimientos en masa de la vía Lateral de Paso, donde se relacionaron las zonas de amenaza alta y muy alta, determinando lo siguiente:

- En la metodología Mora Vahrson Mora, los polígonos que representan los movimientos en masa se ubican en las categorías: baja el 38,46% y moderada el 56,41%; lo que se interpreta que toda infraestructura implantada en la zona moderada debería tener la caracterización geológica y geotécnica para la construcción, situación que no es real, debido a que en casos específicos que suceden en este sector como por ejemplo la Ciudadela Ciudad Victoria, ésta se sitúa dentro de la zona de amenaza moderada y alta, y en base a registros obtenidos desde el Municipio de Loja, se determina que no se realizaron ningún estudio geológico - geotécnico para la construcción de este programa habitacional.

- En cuanto a la identificación de movimientos en masas inventariados mediante la metodología de Mora Vahrson Mora, se registraron 2 de 39 movimientos en masa en la variable Alta; y considerando el porcentaje total de áreas de movimientos en masa cuyo total corresponde a 9,18 ha, la metodología MVM identifica 0,88 ha en categoría Alta y 0,14 ha en categoría muy alta
- En la propuesta metodológica, las áreas que representan los movimientos en masa se ubican en las categorías: alta con el 2,48 ha y muy alta con 0,54 ha, las cuales deberían considerarse en la planificación territorial, donde se evite la implantación de obras civiles sin antes realizar todos los estudios técnicos a detalle, considerando medidas de mitigación, más aún si la inversión es pública, tal como lo establece el Código Orgánico de Planificación y Finanzas Pública en su Artículo 64 que señala: *“Preeminencia de la producción nacional e incorporación de enfoques ambientales y de gestión de riesgo.- En el diseño e implementación de los programas y proyectos de inversión pública, se promoverá la incorporación de acciones favorables al ecosistema, mitigación, adaptación al cambio climático y a la gestión de vulnerabilidades y riesgos antrópicos y naturales.”* **(Registro Oficial Suplemento 306, 2010)**
- En referencia a la identificación de movimientos en masas inventariados mediante la Metodología Propuesta, se registraron 17 de 39 movimientos en masa en las variables Alta y Muy alta, situación que se asemeja a la realidad de la zona de estudio.

Finalmente, realizada la comparación entre las dos metodologías cualitativas, se determina que con la propuesta de la presente investigación, al considerarse con mayores pesos a las variables de litología y precipitación e incluirse el uso del suelo, se logró una mejor identificación de las zonas con elevada incidencia a movimientos en masa, las cuales se corroboran con la situación actual en la que se encuentra la Vía Lateral de Paso: Tramo La

Argelia – Belén. De igual forma, se permitió identificar con certeza los deslizamientos presentes en la zona de estudio, los mismos que se ratificaron con el inventario de movimientos en masa ejecutado *in situ*.

6. CONCLUSIONES

- La infraestructura vial es un elemento vulnerable a los movimientos en masa, principalmente por la falta de investigación geológica - geotécnica, sumados la actividad antrópica sin planificación y las fuertes precipitaciones en etapas lluviosas.
- El mapa resultante de la metodología que establece Mora – Vahrson –Mora, no logra la identificación de zonas de alta amenaza del proyecto vial, por el contrario, señala que el mismo se emplaza en zonas de baja a moderada amenaza a movimientos en masa, porque le asigna una baja ponderación a la litología y precipitaciones, y no considera el uso actual del suelo, factores que en la actualidad están incidiendo sobre la estabilidad de la infraestructura.
- Con la presente metodología se demuestra que se logra una mejor identificación de las zonas de alto y muy alto riesgo en relación a la metodología que establece Mora – Vahrson –Mora, ya que al dar mayor valor de ponderación a la litología, precipitaciones y uso del suelo en base a estudios a detalle realizados a nivel local, se pudo determinar que el proyecto vial es propenso a movimientos en masa, ya que las variables antes enunciadas son determinantes en obras que se cimientan sobre rocas sedimentarias, toda vez que las mismas tienen un elevado proceso de meteorización producto de la influencia de la actividad antrópica y factores externos como son las lluvias, que en el caso de la zona de estudio y de toda la ciudad de Loja son características.
- El mapa resultante de la metodología propuesta al contrastarla con el inventario de movimientos en masa de la investigación realizada en campo, arroja un resultado de validación de deslizamientos de movimientos en masa de 3,02 ha entre las categorías alta y muy alta, que corresponde al 32,94% de los movimientos de

tierra existentes. El restante 67,06% (6,16 ha) se ubican entre: moderada (4,91 ha equivalente a 53,44%) que según el análisis de variables se presentan en zonas que están a la espera de un factor detonante – como las precipitaciones – para que sean propensos a deslizamientos de alto riesgo; y para las categorías bajas y muy bajas tenemos los valores de 1,25 ha equivalente a 13,62%.

- El mapa resultante de la metodología MVM al contrastarla con el inventario de movimientos en masa de la investigación realizada en campo, arroja un resultado de validación de deslizamientos de movimientos en masa en la categoría alta y muy alta de 1,02 ha que equivale 11,16%, lo que demuestra que con la metodología propuesta en el presente estudio, se logra una mejor identificación de las zonas de alto riesgo, las mismas que se puede corroborar con la realidad existente en la vía lateral de paso tramo La Argelia – Belén, y con las afectaciones de la calzada de esta vía.
- En el caso de la vía Lateral de Paso tramo Argelia – Belén de la ciudad de Loja, se determina que la falta del análisis de amenazas por movimientos en masa, donde no se consideró la litología – geotécnica, las precipitaciones y el uso actual de suelo, que en el presente caso su zona de influencia carece de cobertura vegetal por la implementación de programas habitacionales, además de alcantarillado pluvial y sanitario lo que ha obligado a los habitantes del sector a ubicar pozos sépticos, agravan las características de estabilidad de las rocas sedimentarias de este sitio, generando que en la actualidad en esta vía sigan produciéndose deslizamientos y se presenten graves afectaciones a la calzada, existan inadecuados diseños de taludes, influyan en la seguridad ciudadana que transita y se asienta en la zona de influencia de la vía; así como, se pierdan recursos económicos estatales en estas obras de importancia local.

7. FUENTES BIBLIOGRÁFICAS.

- Abad Pérez, C., & Estevez Borja, P. (2005). *Análisis de la susceptibilidad al fenómeno de remoción de masa en la parroquia Pimampiro, Ecuador*. CEPEIGE.
- Abril Abril, A. L. (2011). Tesis: Metodología para la zonificación de áreas susceptibles a deslizamientos. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Alcántara, I. (2000). *Landslides” ¿Deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, Clasificación y Terminología*. México.
- Carrara, A. C. (1995). GIS technology in mapping landslide hazard. *Geographical Information Systems in assessing natural hazards*, 135-175.
- Dikau, R. (2004). *Mass movements. En: Encyclopedia of Geomorphology*. England: Taylor & Francis Group.
- Gad Municipal de Loja. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón. Municipio de Loja*.
- IIRSA, I. d. (2005). *Facilitación del transporte en los pasos de frontera*.
- Izquierdo, O. (1991). *Estudio Geodinámico de la Cuenca Intramontañosa Cenozoica de Loja (Sur del Ecuador). Tesis de Grado*. Quito: Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Geología, Minas y Petróleos.
- Kouli, M. (2009). Constantinos Loupasakis, Pantelis Soupios, and Filippou Vallianatos. *Landslide hazard zonation in high risk areas of Rethymno Prefecture, Crete Island, Greece. Nat Hazards*, 599 – 621.
- Mora Chinchilla, R. (2004). Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón San José, Provincia San José, Costa Rica. *Proyecto FUNDEVI*.
- Mora, R. (1992). *Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica.*, 23.

Mora, R., Vahrson, W., & Mora, S. (1993). *Mapa de amenaza de deslizamientos, Valle Central, Costa Rica*. Costa Rica: Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres. (CEPREDENAC).

Registro Oficial Suplemento 306, .. (22 de Octubre de 2010). Código Orgánico de Planificación y Finanzas Pública.

Tambo, W. (2011). *Estudio de Peligro de Deslizamientos del Norte de la Ciudad de Loja, Provincia de Loja-Ecuador, Tesis de Master Ministerio de Educación Superior*, .La Habana-Cuba: Universidad de La Habana, Facultad de Geografía.

Terzaghi, K. (1950). *Mechanisms of landslides*. USA: Berkeley. CA.

van Westen, C., Rangers, N., Terlien, M. T., & Soeters, R. (1997). Prediction of the occurrence of slope instability phenomenon through GIS-based hazard zonation. *International Journal of Earth Sciences*, 404–414.

Van, Z. R., Van, Z., & Cancelado, F. I. (1986). *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping*. .Smits Publishers.

8. ANEXOS

Anexo 1. Metodología de Mora Vahrson Mora.

Pendientes:

Tabla 13. Clasificación de pendientes

Clasificación	Pendiente (ángulo de inclinación)	Criterio
Muy Bajo	0 a 5 % (0 A 8,5 grados)	Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que puedan ocurrir deslizamientos
Bajo	15 a 30 % (8.5 a 16.7 grados)	Laderas que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados no saturados con discontinuidades
Medio	30 a 50 % (16.7 a 26.6 grados)	Laderas con algunas zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados donde no han ocurrido deslizamientos pero no existe completa seguridad de que no ocurran.
Alto	50 a 100 % (26,6 a 45 grados)	Laderas que tienen zonas de falla, meteorización alta a moderada y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran.
Muy Alto	Más del 100 % (más de 45 grados)	Laderas con zonas de falla, masas de suelo altamente meteorizadas y saturadas, y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe alta posibilidad de que ocurran

Fuente: Metodología Mora Vahrson.

Litología

Tabla 14. Clasificación de litología.

Litología	Características físico mecánicas típicas	Cualificación	Valor parámetro SI
Aluvión grueso, permeable, compacto, nivel freático.	Sanos con poca o ninguna meteorización, resistencia al corte elevada, fisuras sanas sin rellenos	Bajo	1
Rocas sedimentarias no o muy poco alteradas, poco fisuradas, Rocas intrusivas, calizas duras.	Resistencia al corte media a elevada, fracturas cizallables.	Moderado	2
Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, ignimbritas, tobas poco soldadas, rocas metamórficas mediana a fuertemente alteradas niveles freáticos relativamente altos	Resistencia al corte moderada a media, fracturación importante	Medio	3
Aluviones fluvio lacustres, suelos proclásticos poco compactado, rocas fuertemente alteradas,	Resistencia al corte moderada a baja.	Alto	4
Materiales aluviales, coluviales de muy baja calidad mecánica, rocas con estado de alteración avanzado, drenaje pobre. Se incluyen los casos 3 y 4 con niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos elevados	Resistencia al corte muy baja, materiales blandos con muchos finos	Muy Alto	5

Fuente: Metodología Mora Vahrson.

Humedad del terreno

Tabla 15. Clasificación de humedad relativa

Humedad	Descripción	Pesos
0-4	Muy bajo	1
5-9	Bajo	2
10-14	Medio	3
15-19	Alto	4
20-24	Muy alto	5

Fuente: Metodología Mora Vahrson.

Sismicidad

Tabla 16. Clasificación por aceleración sísmica.

Intensidad	Aceleración	Ds
I	0.3-0.6	1
II	0.6-1.1	2
III	1.1-2.2	3
IV	2.2-4.5	4
V	4.5-8.5	5
VI	8.9-17.7	6
VII	17.7-35.4	7
VIII	35.4-70.5	8
IX	70.5-140.8	9
X	140.8-280.8	10
XI	280.8-560.4	11
XII	<560.4	12

Fuente: Metodología Mora Vahrson.

Precipitaciones

Tabla 17. Clasificación de precipitación.

Precipitación máxima mm/día	Descripción	Valor asignado
≤ 100	Muy bajo	1
101 -200	Bajo	2
201 -300	Medio	3
301- 400	Alto	4
>400	Muy Alto	5

Fuente: Metodología Mora Vahrson.

Anexo 2. Tablas promedio de propiedades geotécnicas propuestas para la estimación de deslizamiento.

Tabla 18. Valores promedio de propiedades geotécnicas propuestas para la estimación de deslizamiento.

Clasificación	Grupo litológico	Tipo de suelo	γ' (kN/m ³)	c' (kN/m ²)	ϕ' (°)	Umbral (°)
ROCAS ÍGNEAS	Rocas ígneas extrusivas	Básica, intermedia, ácida, volcanoclástica	28	100	42	60
	Rocas ígneas intrusivas	Básica, intermedia, ácida, diabasa, pórfido andesítico, pórfido riolítico	26	80	40	60
ROCAS METAMÓRFICAS	Rocas metamórficas no foliadas o masivas	Corneana, cuarcita, mármol, skam, serpentinita	27	70	40	60
	Rocas metamórficas foliadas	Esquisto, esquisto-gneis, filita, gneis, pizarra	25	29	31	50
	Rocas metamórficas de falla	cataclasita	22	10	24	45
	Complejos metamórficos y rocas varias	Complejo metamórfico, complejo ofiolítico, metaintrusivo, metavolcánica	27	29	31	50
ROCAS SEDIMENTARIAS	Sedimentarias detriticas de grano grueso	Conglomerado, conglomerado-brecha sedimentaria, brecha sedimentaria, volcanoclástica	28	24	32	50
	Sedimentarias detriticas de grano grueso/medio	Arenisca, arenisca-conglomerado	25	48	35	45
	Sedimentarias detriticas de grano medio/fino	Arenisca-limolita, limolita-arenisca, limolita-lutita, lutita-arenisca	24	35	30	45
	Sedimentarias detriticas de grano fino	Lutita	23	30	30	45
	Rocas sedimentarias órgano-químicas	Coquina, yeso, caliche	22	17	34	40
	Rocas intercaladas	Caliza-arenisca, caliza-limolita, caliza-lutita, caliza-yeso	24	50	25	40

Fuente:Barton (1974), Hoek y Bray (1981) y Jibson (2000).

Anexo 3. Mapa de zonificación sísmica del Ecuador.

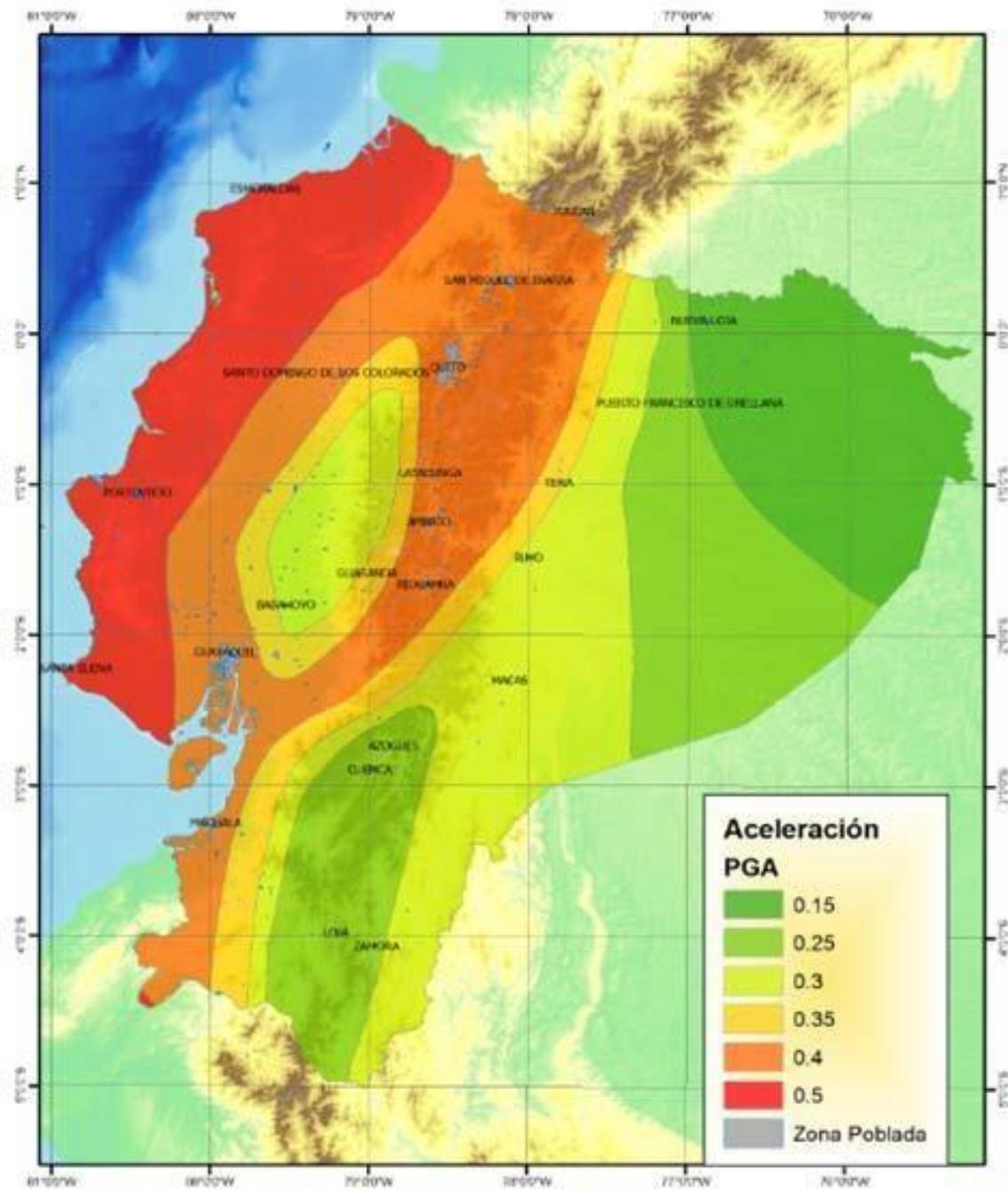


Ilustración 4. Mapa de zonificación sísmica del Ecuador.
Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011

Anexo 4. Mapa de ubicación de movimientos en masa de la vía Lateral de Paso: tramo Argelia – Belén.

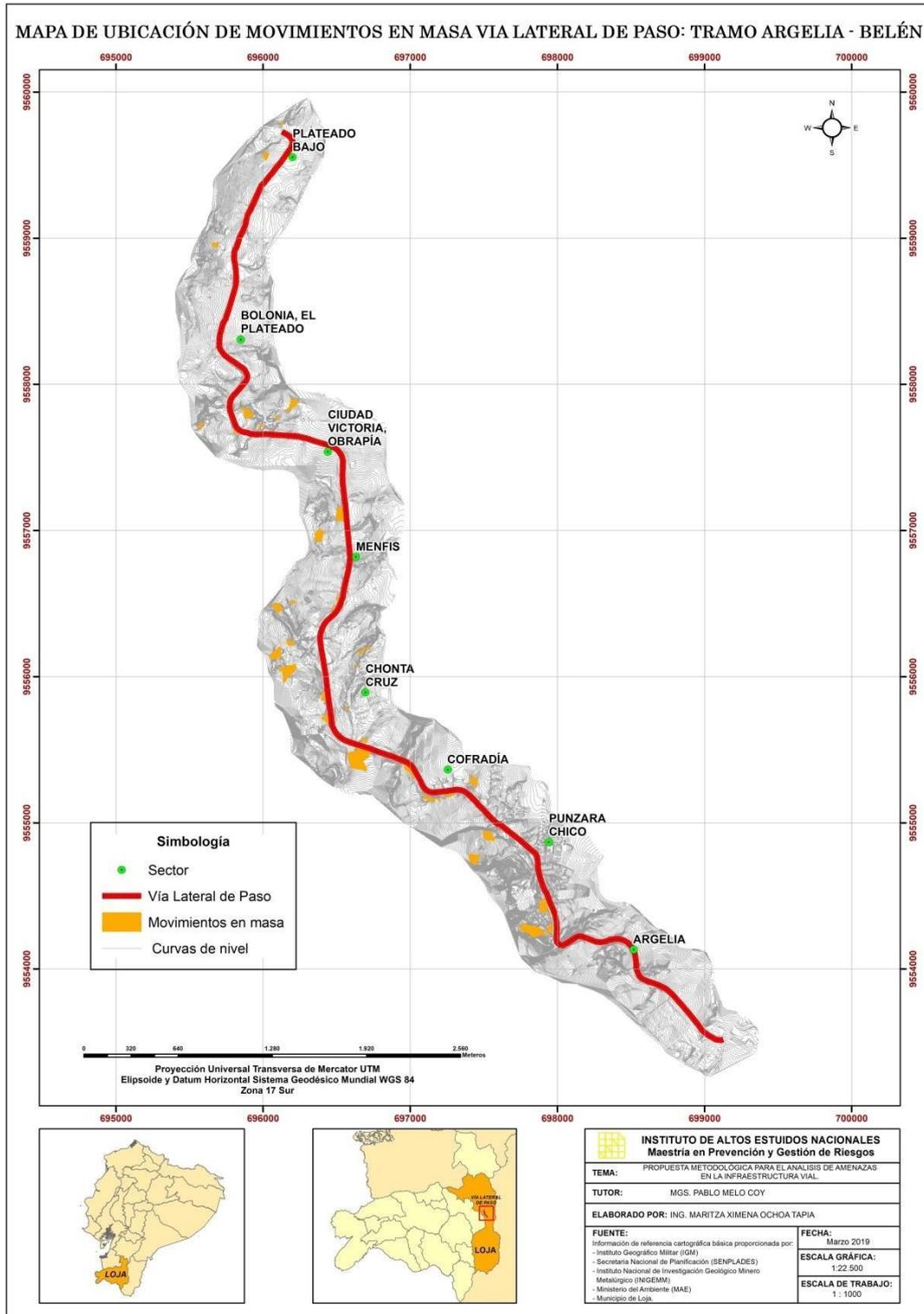


Ilustración 5. Mapa de inventario de movimientos en masa de la zona de estudio.