



INSTITUTO SUPERIOR MINERO
METALÚRGICO DE MOA
DR. ANTONIO NUÑEZ JIMÉNEZ

Ingeniería Geológica
Facultad: Geología y Minería

Trabajo de Diploma

Para Optar por el Título de

Ingeniero Geólogo

**Título: Evaluación de riesgos por deslizamientos
en taludes y laderas en el municipio Mayarí.**

Autor (es): Lázaro Daniel Alfonso Olivera

**Tutor (es): Dr. C. Rafael Guardado Lacaba
Ing. Yexenia Viltres Milán**

Moa, 2013

“Año 55 de la Revolución”



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Por este medio declaro que soy el único autor de este trabajo y autorizo al Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, a las Autoridades del municipio Mayarí y provincia Holguín, para que hagan el uso que estimen pertinente con este trabajo.

Para que así conste firmo la presente a los _____ días del mes de _____ de 2013.

Lázaro Daniel Alfonso Olivera

Nombre completo del primer autor. _____ Firma.

Rafael Guardado Lacaba

Nombre completo del primer tutor. _____ Firma.

Lázaro Daniel Alfonso Olivera

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo a todas las personas que de una forma u otra formaron parte del mismo.

En especial a mis padres Lázaro y Raquel, que desde el comienzo de mis estudios me apoyaron en todo y fueron los que inculcaron en mí los deseos de llegar a ser alguien en la vida.

A mi novia Tamara, que desde que la conocí llegó para formar parte de mi vida, ayudándome y apoyándome en todo, siendo la mejor compañía en todo momento.

A mis suegros Fífa y Eliodoro que me acogieron en su casa como si fuera un hijo más para ellos, y apoyándome en todo lo posible.

A mis abuelos maternos Olívera y Elaine y los paternos Berto y Zenaida, que de una forma u otra formaron parte de este trabajo y de todos mis estudios.

Agradecimientos

A mis padres Lázaro Alfonso Estenos y Raquel Olivera Pupo, que en todo momento me apoyaron y creyeron en mí, por ayudarme a llegar hasta aquí y poder formarme en la vida como un profesional, a mi hermano Abner por ser un apoyo más para mí.

A mi novia por ayudarme en todo y darme fuerzas para seguir en los momentos más importantes.

A mis suegros Fífa y Eliodoro por permitirme entrar en su casa y ser uno más de su familia.

A mis abuelos que siempre me han dado apoyo y buenos consejos para llegar hasta aquí y a mi familia en general.

A mis tutores Rafael Guardado Lacaba y Yexenia Viltres Milán, que me han ayudado mucho en este trabajo y siempre me apoyaron.

A todos mis amigos y vecinos que formaron parte de este trabajo con su apoyo y ayuda en todos los momentos en que lo necesitaba.

A los compañeros del CGRR que siempre me apoyaron con todo lo que fuera necesario.

RESUMEN

El tema de los deslizamientos dentro de los riesgos de origen geológicos es muy estudiado en el mundo, lo que permite valorar cómo es analizado este fenómeno en diferentes condiciones geoambientales y en consecuencia establecer un programa de trabajo para el análisis de esta problemática.

Esta investigación tiene como objetivo evaluar los niveles de riesgos por deslizamiento en el municipio Mayarí, Holguín, a partir de la caracterización de las condiciones ingeniero-geológicas del terreno utilizando la información geográfica existente, la histórica y los datos recopilados mediante el trabajo con los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G) obteniéndose los mapas de peligro total y vulnerabilidad total y a partir de estos el de riesgos por deslizamiento del municipio. Además se obtuvieron gráficos y tablas que permiten una mejor caracterización y comprensión de los mismos. Parala realización del trabajo se empleó la “Guía metodológica para el estudio de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo por deslizamientos de terreno”y la metodología para la evaluación de riesgos teniendo en cuenta en ambos casos los métodos heurísticos y geomorfológicos.

Estos resultados les permitirán a las autoridades del territorio tomar medidas de mayor precisión en el enfrentamiento ante los deslizamientos de tierra y planificar el desarrollo económico y social del municipio teniendo en cuenta las zonas de mayor riesgo ante estos fenómenos.

ABSTRACT

The theme of landslides within geological hazards of very studied in the world, which allows us to assess how this phenomenon is analyzed in different geo-environmental conditions and thus establish a work program for the analysis of this problem.

This research aims to assess the risk levels in the municipality sliding Mayarí, Holguín, from the characterization of engineering-geological conditions of the terrain using existing geographic information, and historical data collected by working with Systems Geographic Information System (GIS) maps obtained complete and total vulnerability danger and from these the risk of slippage in the municipality. Besides graphics and tables were obtained that allow better characterization and understanding of them. To carry out the work used the "Methodological guide for the study of Hazard, Vulnerability and Risk landslides" and methodology for risk assessment considering both heuristic and geomorphological methods.

These results will enable territorial authorities to take measures to narrow the match against landslides and plan economic and social development of the municipality taking into account the areas of greatest risk to these phenomena.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	2
CAPÍTULO I: <i>Marco Teórico Conceptual de la Cartografía de Riesgos por Deslizamientos.</i>	10
Introducción	10
1.1 Talud o ladera.....	10
1.2 Deslizamientos.....	11
1.2.1 Dimensiones de los deslizamientos.....	14
1.2.2 Clasificación de los deslizamientos.....	16
1.2.3 Factores condicionantes y desencadenantes en la formación de deslizamientos en la región.....	19
1.3 Conceptos y definiciones de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo.....	20
1.4 Escalas utilizadas en la cartografía de peligrosidad.....	22
1.5 Definición de los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.).....	23
CAPÍTULO II. <i>Características Físico-Geográficas y Geológicas de la Región y su Incidencia en los Deslizamientos del Municipio Mayarí.</i>	26
Introducción	26
2.1 Ubicación geográfica.....	26
2.2 Características socioeconómicas de la región.....	27
2.3 Particularidades climáticas de la región.....	28
2.4 Geomorfología regional.....	30
2.5 Geología regional y local.....	32
2.6 Tectónica regional.....	37
2.7 Características hidrográficas regionales.....	38
2.8 Hidrogeología regional y su influencia en la inestabilidad de taludes y laderas.....	39
2.9 Procesos y fenómenos geodinámicos.....	41
2.10 Condiciones geoambientales regionales.....	45
2.11 Vegetación regional. Su Importancia en la estabilidad de taludes y laderas.....	46
2.12 Características Ingeniero-Geológicas regionales.....	48
CAPÍTULO III. <i>Volumen de los Trabajos Realizados y Metodología de la Evaluación de Riesgos por Deslizamiento.</i>	51
Introducción	51
3.1 Metodología para el estudio de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo por deslizamientos de terreno.....	52
3.1.1 Primera fase: Identificación de los escenarios de susceptibilidad.....	53

3.1.2 Segunda fase: Cálculo del Peligro.....	54
3.1.3 Tercera fase: Cálculo de Vulnerabilidad	56
3.1.4 Cuarta fase: Estimación del riesgo.....	57
3.2 Volumen de los trabajos Realizados.	59
3.2.1 Etapas de trabajo.	59
3.3 Metodología de Evaluación de Riesgos por Deslizamiento.....	62
3.3.1. Implementación del Sistema de Información Geográfica (S.I.G.).	62
3.3.2 Descripción de los factores utilizados en el Análisis de Peligrosidad.....	64
3.3.3 Valoración de los mapas de factores.	70
3.3.4 Análisis de las condiciones de vulnerabilidad.....	71
3.3.5 Análisis de riesgos por deslizamiento.	71
<i>CAPÍTULO IV. Evaluación de los Riesgos por deslizamiento en el Municipio Mayarí.</i>	73
Introducción	73
4.1 Características de los Deslizamientos del Municipio Mayarí.....	73
4.1.1 Descripción de los movimientos y las tipologías.	75
4.2 Caracterización de los Mapas de Peligrosidad.....	79
4.2.1 Peligrosidad por el factor Geológico.....	79
4.2.2 Peligrosidad por el factor Geomorfométrico:	81
4.2.3 Peligrosidad por el factor Antrópico.	84
4.2.4 Peligrosidad por el factor Climático.	85
4.3 Caracterización del Mapa de Peligrosidad Total.....	86
4.4 Caracterización del Mapa de Vulnerabilidad Total.	90
4.5 Caracterización del Mapa de Riesgos.	93
4.6 Propuesta del Plan de Medidas para prevenir o mitigar los Riesgos por Deslizamiento.....	97
4.6.1 Medidas no Estructurales.....	97
4.6.2 Medidas Estructurales.....	100
CONCLUSIONES.	108
RECOMENDACIONES	109
BIBLIOGRAFÍA	110
ANEXOS	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Clasificación propuesta por Corominas y García (1997):.....	17
Tabla 1.2. Tabla de la dinámica de los deslizamientos y su magnitud.....	18
Tabla 1.3. Escala de velocidades de los deslizamientos según Cruden y Varnes (1996).	19
Tabla 3.1 Bases cartográficas obtenidas en la búsqueda de información.	60
Tabla3.2 Tabla de criterios e indicadores para el análisis de peligrosidad por deslizamientos de terreno.....	66
Tabla 3.3 Clasificación de los grupos litológicos (modificado de Mora y Vahrson, 1993).	67
Tabla 4.1 Caracterización ingeniero geológica de la tipología y los mecanismos de los deslizamientos que tienen lugar en el municipio Mayarí.	75
Tabla 4.2 Caracterización del mapa de peligrosidad total frente a deslizamientos del municipio Mayarí.....	88
Tabla 4.3 Caracterización de mapa del vulnerabilidad total por deslizamientos del municipio Mayarí.....	92
Tabla 4.4 Caracterización de mapa de riesgos por deslizamiento del municipio Mayarí.	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Nomenclatura de taludes y laderas. (Suárez Díaz, J, 1998)	10
Figura 1.2 Elementos estructurales de un deslizamiento (Varnes, 1978).....	13
Figura 1.3. Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG Commission on Landslides (1990).	16
Figura 1.4. Principales tipos de deslizamientos asociados a laderas para la clasificación de los deslizamientos en el municipio Mayarí. (Tomado de Augusto Filho, 1992)	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.1 Mapa de ubicación geográfica del municipio Mayarí.	27
Figura 2.2 Mapa de Altitudes Municipio Mayarí.	32
Figura 2.3 Ubicación de la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Iturralde-Vinent, 1996). Los números indican la ubicación de las principales áreas de distribución de los depósitos lateríticos de níquel y cobalto: 1 - Pinares de Mayarí, 2- Nicaro, 3- Moa, 4- Punta Gorda-Yagrumaje, 5- Las Camariocas, 6-Cantarrana-La Delta, 7- Santa Teresita, 8- La Fangosa, 9- Iberias y 10- Piloto.	33
Figura 2.4 Mapa Geológico de Mayarí. Escala: 1:25000.	34
Figura 2.5 Cantidad de terremotos registrados en Cuba Oriental (1979-2005) con magnitudes mayores de 2,5 Richter.....	43
Figura 2.6 Ejemplos de Fenómenos Geodinámicos en la zona de estudio.	44
Figura. 3.1 Fases de los estudios de PVR por deslizamientos.	52
Figura 3.2 Visualización del VIEW de los mapas temáticos.....	63
Figura 3.3 Visualización de la tabla de atributos de los mapas temáticos utilizados.	64
Figura 3.4 Modelo para la valoración de la peligrosidad por deslizamientos.	65
Figura 3.5 Proceso de rasterización y reclasificación para la obtención de mapas de peligrosidad de factores.	70
Figura 3.6 Metodología de Evaluación de Riesgos por Deslizamiento en el municipio Mayarí.	72
Fig. 4.1. Mapa del peligro de derrumbes, deslizamientos y fenómenos asociados. Según Castellanos y Van Wesen, 2007, con permiso de los autores. En color rojo las áreas de mayor peligro, en color amarillo la de menor peligrosidad.....	73
Figura 4.2 Mapa de inventario de deslizamientos del municipio de Mayarí.	74
Figura 4.3 Por ciento de peligrosidad por grupos litológicos respecto al área total.....	80
Figura 4.4 Por ciento de peligrosidad por distancia a las fallas respecto al área total.	81
Figura 4.5 Por ciento de peligrosidad por ángulo de pendiente respecto al área total.....	82
Figura 4.6 Por ciento de peligrosidad por distancia a la red fluvial respecto al área total.	82
Figura 4.7 Por ciento de peligrosidad por dirección de laderas respecto al área total.....	83
Figura 4.8 Por ciento de peligrosidad por uso de suelos respecto al área total.	84
Figura 4.9 Por ciento de peligrosidad por distancia a la red vial respecto al área total.	85
Figura 4.10 Por ciento de peligrosidad por intensidad de las lluvias respecto al área total.	86
Figura 4.11 Mapa de Peligrosidad Total por Deslizamientos del Sector Este del municipio Moa. Escala 1: 25 000.	87

Figura 4.12 Histograma de frecuencia del mapa de peligrosidad total por deslizamientos del municipio Mayarí.	90
Figura 4.13 Mapa de Vulnerabilidad Total por Deslizamientos del municipio Mayarí. Escala 1: 25 000.	91
Figura 4.14 Histograma de frecuencia del mapa de vulnerabilidad total por deslizamientos del municipio Mayarí.	93
Figura 4.15 Mapa de Riesgos por Deslizamiento del municipio Mayarí. Escala 1: 25 000.	94
Figura 4.16 Histograma de frecuencia del mapa de riesgos por deslizamiento del municipio Mayarí.	96
Figura 4.17 Estabilización por conformación del talud y bermas.	101
Figura 4.18 Estabilización de un manto rocoso utilizando anclajes	102
Figura 4.19 Muros de Gravedad. A) De piedra seca y B) De piedra argamasada.	103
Figura 4.20 Muros de concreto. A) Muro de concreto sin refuerzo. B) Tipos de muros de concreto armado.	105
Figura 4.21 Muros de gaviones escalonados. A) Escalonado sin relleno y B) Escalonado con relleno entre el muro y el talud.	105
Figura 4.22 Drenajes. A) Drenaje Superficial. B) Drenaje Subterráneo.	107

INTRODUCCIÓN

Dentro de los peligros naturales asociados a la geodinámica externa, los deslizamientos constituyen uno de los más importantes a nivel mundial. Son procesos dinámicos complejos de carácter gravitatorio que afectan a los materiales más superficiales de la corteza terrestre. Un movimiento de ladera es una masa de suelo, derrubio o/y roca que se mueve pendiente abajo impulsado por fuerzas gravitacionales. En ellos confluyen un gran número de factores condicionantes y desencadenantes, tipologías y mecanismos de rotura; todo ello, dificulta notablemente la predicción y el planteamiento de medidas preventivas y correctoras (García, 2005).

Cuba es un país que por su posición geográfica en el Mar Caribe, su formación insular y el clima tropical húmedo con influencia marítima, el cual se caracteriza por dos estaciones, una seca (noviembre - abril) y otra de lluvias (mayo - octubre), siendo estas condiciones muy favorables para la rápida meteorización de las rocas, la cual es mucho más intensa en las zonas montañosas donde los agentes de meteorización son muy agresivos con el medio, uniéndose a estos la actividad sísmica, provocando la inestabilidad en taludes y laderas generando los deslizamientos de tierra. Condicionando de manera significativa, los riesgos ante peligros de origen natural.

En la provincia Holguín, se realizó el estudio de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo (PVR) por deslizamiento donde se elaboró un registro del terreno, aunque ya existía un informe presentado por EMNDC (Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil), en el 2002 que reporta que en el país existen 45,000 personas como población vulnerable por deslizamientos del terreno. En la provincia las zonas montañosas son las más susceptibles a la ocurrencia de deslizamientos.

El municipio Mayarí es uno de los más afectados por este tipo de fenómeno geológico en la provincia Holguín, los cuales pueden representar un alto factor de riesgo tanto para la población como para la economía, esto se debe a las

condiciones ingeniero-geológicas, y geológicas del municipio, las cuales son muy propicias para el desarrollo de los deslizamientos de tierra, principalmente las zonas montañosas del Municipio que ocupan 57.6% del territorio, debido a que, generalmente, se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia tales como son la topografía, sismicidad, meteorización, lluvias intensas y la acción antrópica.

Estos procesos geológicos afectan a los humanos, causando muertes y daños materiales elevados; sin embargo, muy pocas personas son conscientes del peligro que representan para la población y construyen obras en zonas con una alta vulnerabilidad ante los deslizamientos de tierra. El 90% de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control.

El presente estudio incluye un análisis de los peligros ante deslizamientos, utilizando una zonificación por riesgos, mediante el empleo de la “Guía metodológica para el estudio de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo por deslizamientos de terreno”. Esta metodología combina los factores pasivos o parámetros de susceptibilidad ante deslizamientos (pendiente, litología y humedad del suelo), con los factores activos o disparadores de estos fenómenos (precipitación y sismo), por medio del empleo de Sistemas de Información Geográfica (S.I.G), como herramienta clave que permite representar geográficamente cualquier información almacenada en bases de datos que tengan un componente geográfico, el cual posibilita ver patrones, relaciones y tendencias que no pueden apreciarse en un formato de tabla o de lista; además, proporcionan una perspectiva totalmente nueva de la información y ayuda a tomar mejores decisiones, dada su gran capacidad de análisis, versatilidad para el manejo, visualización de la información y su adaptabilidad a otros estudios.

Teniendo en cuenta los aspectos anteriores se plantea como **problema de la investigación:** La necesidad de determinar el riesgo por deslizamientos de tierra en el municipio Mayarí, para lo que es necesario ubicar las zonas de mayor surgimiento y desarrollo de estos fenómenos geológicos, lo que contribuye a la reducción de

situaciones de riesgos geológicos, Socio-económicos y ambientales que se generan en el municipio.

Por lo que se convierten en **Objeto de Estudio**: Las laderas y taludes generadoras de deslizamientos, donde la presencia de estos fenómenos es evidente en grandes zonas de la región y afectan diversos sectores del municipio.

Por lo que se tiene como **Objetivo General**: Evaluar los niveles de riesgos por deslizamiento a partir de su caracterización, utilizando los S.I.G, con el fin de mejorar la toma de decisiones de las autoridades del municipio Mayarí ante situaciones de Riesgo por estos fenómenos.

De acuerdo a esta propuesta se derivan los siguientes **Objetivos Específicos**:

- 1) Diagnosticar los diferentes tipos de deslizamientos, determinando los factores causales y condicionantes.
- 2) Determinar los escenarios de peligro o zonas susceptibles con alta vulnerabilidad.
- 3) Aplicar la metodología cubana de cartografiado de los riesgos por deslizamiento empleando los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.).
- 4) Confeccionar el mapa de riesgos por deslizamiento del municipio Mayarí.
Determinar y evaluar los riesgos por deslizamiento del área en estudio.

Para facilitar la solución práctica de la problemática planteada se determina la siguiente **Hipótesis**: Si se evalúan las condiciones ingeniero-geológicas del terreno, utilizando la información cartográfica existente, la histórica y los datos obtenidos mediante el trabajo con los S.I.G, para el análisis del surgimiento y desarrollo de los movimientos de masas en las laderas y taludes como premisas a la susceptibilidad del peligro, la vulnerabilidad de los elementos en riesgo, se puede obtener el mapa de riesgos por deslizamiento para el Municipio Mayarí, lo que permitirá la mejor toma de decisiones por las autoridades competentes.

Novedad Científica: La novedad científica está dada en el hecho de que por primera vez se realiza en el Municipio Mayarí la cartografía de riesgos por deslizamiento, aplicando un Sistema de Información Geográfica (S.I.G.), empleando la guía metodológica para el estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo por deslizamientos del terreno a nivel municipal (Versión 4 – Enero 2012).

Importancia: los resultados tendrán un gran valor para las autoridades del municipio en la toma de decisiones ya que les permitirá tomar medidas de mayor precisión en el enfrentamiento ante los deslizamientos de tierra y planificar el desarrollo económico y social del municipio teniendo en cuenta las zonas de mayor riesgo ante estos fenómenos, en lo social contribuye a ampliar los conocimientos tanto de las autoridades como de la población en general de los riesgos ante este tipo de fenómenos.

Entre los métodos de estimación utilizados en la investigación para determinar la peligrosidad por deslizamiento están:

Heurísticos: se basan en el conocimiento a priori de los factores que producen inestabilidad en el área de estudio, donde los factores son ordenados y ponderados según su importancia asumida o esperada en la formación de deslizamientos dándole peso a cada factor según su influencia en el medio (Carrara et al., 1995). Lo que le permite al autor crear los diferentes mapas de factores según su conocimiento.

Geomorfológicos: se basan en la determinación de condiciones de inestabilidad de ladera mediante técnicas geomorfológicas, cartografía y zonificación. La principal ventaja es la validez y detalle del análisis y mapa resultantes, si se realizan por un buen experto. Son métodos directos que se basan en cartografía geomorfológica a partir de la cual el autor identifica y localiza los deslizamientos y procesos asociados a éstos directamente en el campo. Con las observaciones, el experto extrae unos criterios para la determinación de áreas potencialmente inestables y para la confección del mapa de peligrosidad final.

Estado del Arte.

Los primeros trabajos en el uso espacial de la información en el contexto digital para la cartografía de la susceptibilidad por deslizamientos aparecen en los años 70. Entre los pioneros se destacan Brabb et al. (1978) en California y Carrara et al. (1977) en Italia. En la actualidad, prácticamente todas las investigaciones de susceptibilidad por deslizamientos y su cartografía de peligrosidad se realiza empleando los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.) como los GPS y Sensores Remotos, estas herramientas han logrado desarrollarse en los últimos 10 años. Por ejemplo los S.I.G. han alcanzado su desarrollo en el estado del arte sobre todo en la evaluación de la peligrosidad y los riesgos, basada en Van Westen et al., (2004) que brinda un análisis esquemático de los componentes que intervienen en el riesgo por deslizamiento. Estos trabajos han servido de fundamento para elaborar las “Guías para la susceptibilidad por deslizamientos, zonación por peligrosidad y riesgo, uso de suelos y planeación, elaboradas por la Comisión y el Comité Técnico de Deslizamientos e Ingeniería de Taludes (JTC-1, 2008)”. Estos nuevos conceptos fueron aplicados en Tegucigalpa para la capital de Honduras, a raíz de los fenómenos de deslizamientos ocurridos en 1998 por el paso del huracán Mich y que causó más de 1000 muertes y pérdidas incalculables en la ciudad (Harp et al., 2002; Mastin, 2002). Van Westen et al., (2004-2005) ofrece una tabla donde se toma en consideración cuatro grupos para la evaluación de la susceptibilidad, la peligrosidad y el riesgo por deslizamiento. En los trabajos presentados por Cruden y Varnes en 1996 aparecen los factores y mecanismos de fallas de los diferentes tipos de deslizamientos que tienen lugar en el medio geológico. Estos autores incluyen además los elementos de geomorfometría, geología, tipo de suelo e hidrología. (Glade y Crozier 2005) publican un artículo tomando los diferentes factores que inciden en los tipos y mecanismos por deslizamientos y analizan su incidencia con los elementos meteorológicos y los efectos hidrológicos según los diferentes meses del año y propone un análisis geodinámico en un periodo de 10 años. (Soeters y Van Westen, 1996 y Metternich et al., 2005) en su trabajo exponen los resultados de la cartografía por deslizamientos basada en el análisis de imagen en los laboratorios y

los sensores remotos aplicando métodos geomorfológicos y el análisis de suelos en laderas. Ibens y Brunnsden, (1996); Lang et al., (1999); Glade, (2001), en este orden de aparición se destacan los trabajos de la cartografía según un inventario de deslizamientos (diagnóstico por deslizamientos de un área). Se han hecho esfuerzos por estandarizar a través de una nomenclatura para la valoración de los deslizamientos (IAEG- Comisión de deslizamientos, 1990; UNESCO-WP/WLI, 1993 a); Cruden y Varnes, 1996, Tamaño del Deslizamiento (IUGS-Grupo de trabajo de los deslizamientos, 1995) y Medidas para mitigar y disminuir la acción de los deslizamientos (IUGS-Grupo de trabajo de los deslizamientos, 2001)

En Cuba el estudio de los fenómenos geológicos ha ido aumentando progresivamente, pero no es hasta la década de los 90 que el tema de los riesgos geológicos comienza a tener auge al realizarse varios trabajos en diferentes partes del país y algunos de estos, ya con la implementación de los S.I.G. Dentro de estas investigaciones se encuentran las realizadas por Castellanos E., en el 2005, donde muestra los resultados del procesamiento de datos del SRTM para obtener la evaluación geomorfométrica de amenaza de deslizamiento de terreno. El análisis y procesamiento se realiza empleando técnicas S.I.G. y software de sensores remotos. En el 2007 Mesa A. en su tesis de maestría realiza la “Evaluación de Riesgo Específico por deslizamiento en el Municipio Yateras. Guantánamo”, la metodología empleada parte de los criterios de inestabilidad, analizando los factores condicionantes y aplicando como herramienta para su combinación un S.I.G. Batista Y. en opción al título de máster en el 2009 efectúa la investigación “Evaluación del riesgo por deslizamiento del municipio Bartolomé Masó. Provincia Granma”. El método que usa para la evaluación de la peligrosidad es el de criterio de expertos y la metodología utilizada, está basada en la implementación de un S.I.G., lo que le permitió la combinación de los mapas de factores, para obtener el mapa de riesgo final.

Antecedentes de la Investigación.

El tema de los deslizamientos dentro de los Riesgos Geológicos es muy estudiado en el mundo, lo que permite valorar cómo es analizado este fenómeno en diferentes condiciones geoambientales y en consecuencia establecer un programa de trabajo para el análisis de esta problemática en Cuba y específicamente en el municipio Mayarí. Con relación a esta temática se han realizado varias investigaciones en la región, se pueden citar algunas: Guardado R. y Almaguer Y., en el 2001 publican en la revista de Minería y Geología el artículo “Evaluación de Riesgos por Deslizamiento en el Yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín” en el cual se realizó la evaluación hidrogeológica del yacimiento, la determinación de las propiedades físico-mecánicas de las rocas y los suelos para evaluar el macizo desde el punto de vista geomecánico y realizar el análisis de estabilidad, para obtener el mapa de riesgos por deslizamientos. En el análisis de estabilidad emplearon el método de las componentes principales (Alfonso Roche, 1989) para cuantificar el peso de cada variable sobre la estabilidad. En este trabajo no se realizó la evaluación del riesgo a partir de la implementación de los SIG.

Almaguer, Y., en el 2005, en su tesis doctoral “Evaluación de la Susceptibilidad del Terreno a la Rotura por Desarrollo de Deslizamientos en el Yacimiento Punta Gorda”, evalúa los niveles de susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en este yacimiento lo que le permite establecer criterios de estabilidad de taludes y laderas. Estos sirven de base para futuras evaluaciones de riesgos para prevenir o mitigar los daños derivados de estos fenómenos. Emplea una metodología que parte de la confección del mapa inventario de deslizamientos.

Puig, R., en el 2007, en su trabajo de diploma “Evaluación de Riesgos Múltiples por desarrollo de fenómenos naturales en el municipio Moa”, dentro de los riesgos determinados se encuentran los ocasionados por deslizamiento del terreno, analiza estos riesgos teniendo en cuenta una serie de variables e indicadores geoambientales (geomorfología, tectónica, litologías, hidrogeología, precipitaciones, condiciones geotécnicas, etc.). También se propone un plan de gestión de riesgos

según diferentes fases de aplicación para los asentamientos rurales, urbanos y áreas industriales. Como resultados se obtiene un mapa de peligrosidad por fenómenos naturales, un mapa de vulnerabilidad y un mapa de riesgos múltiples por fenómenos naturales del territorio de Moa, mediante la implementación de un Sistema de Información Geográfico (S.I.G.) que permite determinar la susceptibilidad del territorio frente a los fenómenos naturales y evaluar los riesgos asociados a estos eventos geodinámicos.

Viltres, Y., en el 2010, en su trabajo de diploma “Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector Este del Municipio Moa” confeccionó varios mapas temáticos que permitieron la obtención de la cartografía de peligrosidad la cual se realizó a partir del método criterios de expertos, y de vulnerabilidad por deslizamientos, hasta obtener el mapa de riesgos por deslizamiento del sector de estudio.

Pitón, R., en el 2010, en su trabajo de diploma “Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector Oeste del Municipio Moa” obtuvo varios mapas en cada una de las evaluaciones, incluyendo el Mapa de Riesgos por deslizamiento, se determinaron los factores causales detonantes. Con estos resultados el Centro de Gestión para la Reducción del Riesgo en el Municipio de Moa cuenta con una herramienta clave, la que se incorporará a los planes de reducción de desastres para aquellas zonas y objetivos económicos que presenten el mayor riesgo, en los diferentes consejos populares.

CAPÍTULO I: Marco Teórico Conceptual de la Cartografía de Riesgos por Deslizamientos.

Introducción

Los deslizamientos son fenómenos, que en numerosas regiones contribuyen significativamente en la evolución del relieve y del paisaje, ocurren en lugares caracterizados por unas condiciones ambientales específicas, tienen lugar en la superficie terrestre (lugar de ocupación y desarrollo de las principales actividades humanas) modificando más o menos bruscamente sus condiciones, están entre los riesgos de origen geológico más extendidos en el mundo.

En el presente capítulo se introducen temas relacionados con las laderas, los deslizamientos, el peligro, la vulnerabilidad, los riesgos así como los Sistemas de Información Geográfica, obtenidos mediante la búsqueda bibliográfica realizada.

1.1 Talud o ladera.

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como **ladera** cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y **talud** cuando se conformó artificialmente. (Figura 1.1).

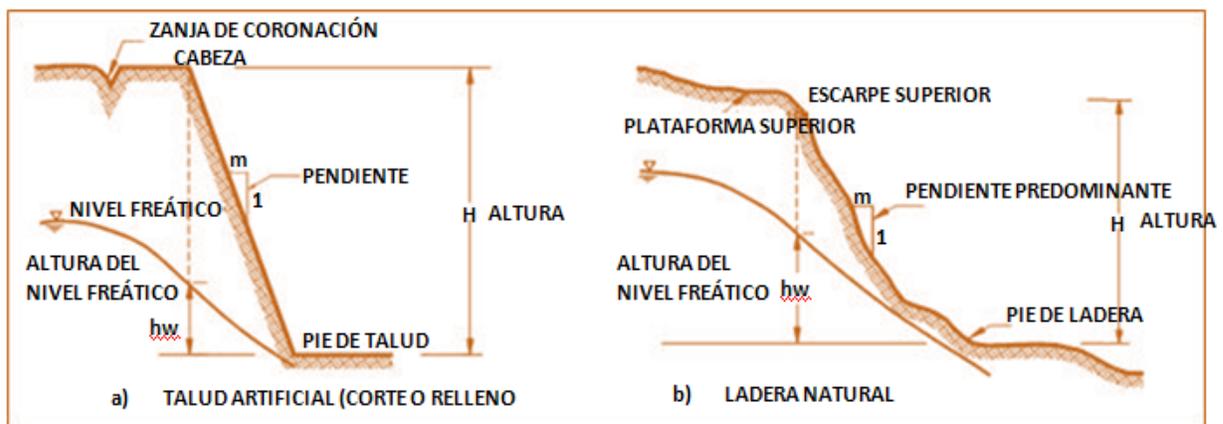


Figura 1.1 Nomenclatura de taludes y laderas. (Suárez. J, 1998)

Los elementos morfométricos de un talud o ladera son:

- **Altura:** Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.
- **Pie:** Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.
- **Cabeza o escarpe:** Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.
- **Altura de nivel freático:** Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.
- **Pendiente:** Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical.

Existen, además, otros factores topográficos que se requiere definir como son longitud, convexidad (vertical), curvatura (horizontal) y área de cuenca de drenaje, los cuales pueden tener influencia sobre el comportamiento geotécnico del talud.

1.2 Deslizamientos.

Sharpe en 1938 definió los deslizamientos como la caída perceptible o movimiento descendente de una masa relativamente seca de tierra, roca o ambas.

Según Lomtadze (1977), es una masa de roca que se ha deslizado o desliza cuesta abajo por la ladera o talud al efecto de la fuerza de gravedad, presión hidrodinámica, fuerzas sísmicas, etc.

Crozier (1986), define un deslizamiento como el movimiento gravitacional hacia el exterior de la ladera y descendente de tierras o rocas sin la ayuda del agua como agente de transporte.

Suárez (1998) plantea que un deslizamiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada. El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda, la que sería, la superficie de falla.

A pesar que el término deslizamiento, se utiliza para movimientos de ladera que se producen a lo largo de una superficie de rotura bien definida, en la presente investigación se utiliza de forma genérica para cualquier tipo de rotura.

Los deslizamientos tienen la propiedad de destruir las laderas y los taludes, cambian sus configuraciones y crean un relieve característico. Además generan formas peculiares de la estructura de las acumulaciones de la masa deslizada. Por consiguiente estos fenómenos cambian el relieve del terreno, su estructura geológica señalando la pérdida de resistencia y estabilidad de estas rocas ante la influencia de determinados factores. Los deslizamientos resultan muy variables por las dimensiones (escalas) del fenómeno, el tipo de dislocación de la masa de roca osuelo, causa de alteración de su equilibrio, dinámica del desarrollo del proceso y otras características. Todo esto se ha considerado en la evaluación ingeniero-geológica del municipio de Mayarí empleando los Sistemas de Información Geográfica.

Para evaluar los deslizamientos es necesario conocer sus elementos estructurales. En la figura 1.2, se muestran estos elementos, los cuales se describen a continuación:

Corona: sector de la ladera que no ha fallado y se localiza en la parte más alta de la zona deslizada. En ocasiones presenta grietas, llamadas grietas de la corona.

Escarpe principal: superficie de la pendiente muy fuerte, localizada en el límite del deslizamiento y originada por el material desplazado de la ladera. Si este escarpe se proyecta bajo el material desplazado, se obtiene la superficie de ruptura.

Capítulo I. Marco Teórico Conceptual de la Investigación

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

Escarpe menor: superficie de pendiente muy fuerte en el material desplazado y producida por el movimiento diferencial dentro de este material.

Punta de la superficie de ruptura: la intercepción (algunas veces cubierta) de la parte baja de la superficie de ruptura y la superficie original del terreno.

Cabeza: la parte superior del material desplazado a lo largo de su contacto con el escarpe principal.

Tope: el punto más alto de contacto entre el material desplazado y el escarpe principal.

Cuerpo principal: la parte del material desplazado que sobre yace la superficie de ruptura localizada entre el escarpe principal y la punta de la superficie de ruptura.

Flanco: Lado del deslizamiento.

Pie: la porción del material desplazado que descansa ladera abajo desde la punta de la superficie de ruptura.

Dedo: el margen del material desplazado más distante del escarpe principal.

Punta: el punto en el pie más distante del tope del deslizamiento

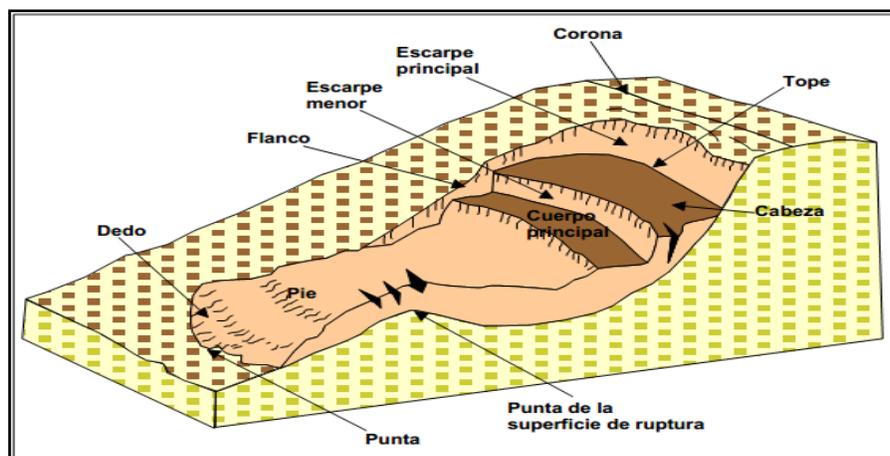


Figura 1.2 Elementos estructurales de un deslizamiento (Varnes, 1978).

En el proceso de deslizamiento, las masas de rocas y suelos siempre se mueven por una o varias superficies de resbalamiento (rotura), que constituye un elemento característico de la estructura de cada deslizamiento. La superficie de resbalamiento, es la superficie por la cual sucede el desprendimiento de la masa deslizable y su deslizamiento o arrastre. También se le llama Superficie de Rotura (SR) (Lomtatze, 1977).

La forma de la Superficie de Rotura (SR) en las rocas homogéneas, con mayor frecuencia es cóncava, próxima por su forma, a la superficie cilíndrica redonda. En las rocas heterogéneas, la forma de la SR, se determina por la situación y orientación de las superficies y zonas de debilitamiento en el macizo rocoso que integran la ladera o talud. Estas superficies pueden ser:

- ✓ Superficies de rocas firmes o de frontera inferior de rocas fuertemente erosionadas.
- ✓ Capas o intercalaciones de rocas débiles (arcillas, argilitas, areniscas arcillosas, margas, etc.)
- ✓ Grietas o sistemas de fisuras.
- ✓ Superficies de fallas.

La forma de la SR en las rocas heterogéneas también pueden ser cóncavas, pero con mayor frecuencia planas, plano-escalonadas, onduladas o más irregular, como resultado de la combinación y orientación desfavorable de las familias de grietas y otras fronteras (esquistosidad, estratificación, etc.) con respecto a la dirección de las laderas y taludes.

1.2.1 Dimensiones de los deslizamientos.

Para definir las dimensiones de un deslizamiento se utilizó la terminología recomendada por el IAEG:

1. Ancho de la masa desplazada (Wd): Ancho máximo de la masa desplazada perpendicularmente a la longitud, Ld.

- 2. Ancho de la superficie de falla (W_r):** Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicularmente a la longitud L_r .
- 3. Longitud de la masa deslizada (L_d):** Distancia mínima entre la punta y la cabeza.
- 4. Longitud de la superficie de falla (L_r):** Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.
- 5. Profundidad de la masa desplazada(D_d):** Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por W_d y L_d .
- 6. Profundidad de la superficie de falla (D_r):** Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por W_r y L_r .
- 7. Longitud total (L):** Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.
- 8. Longitud de la línea central (L_{cl}):** Distancia desde la punta o uña hasta la corona del deslizamiento a lo largo de puntos sobre la superficie original equidistantes de los bordes laterales o flancos
- 9. Volumen del deslizamiento:** El volumen del deslizamiento se mide en metros cúbicos después de la falla. El volumen de material medido antes del deslizamiento generalmente, aumenta con el movimiento debido a que el material se dilata. El término “Factor de expansión” puede ser utilizado para describir éste aumento en volumen, como un porcentaje del volumen antes del movimiento.

En algunas ocasiones como en el caso de roca el factor de expansión puede ser hasta de un 70% (Figura 1.3).

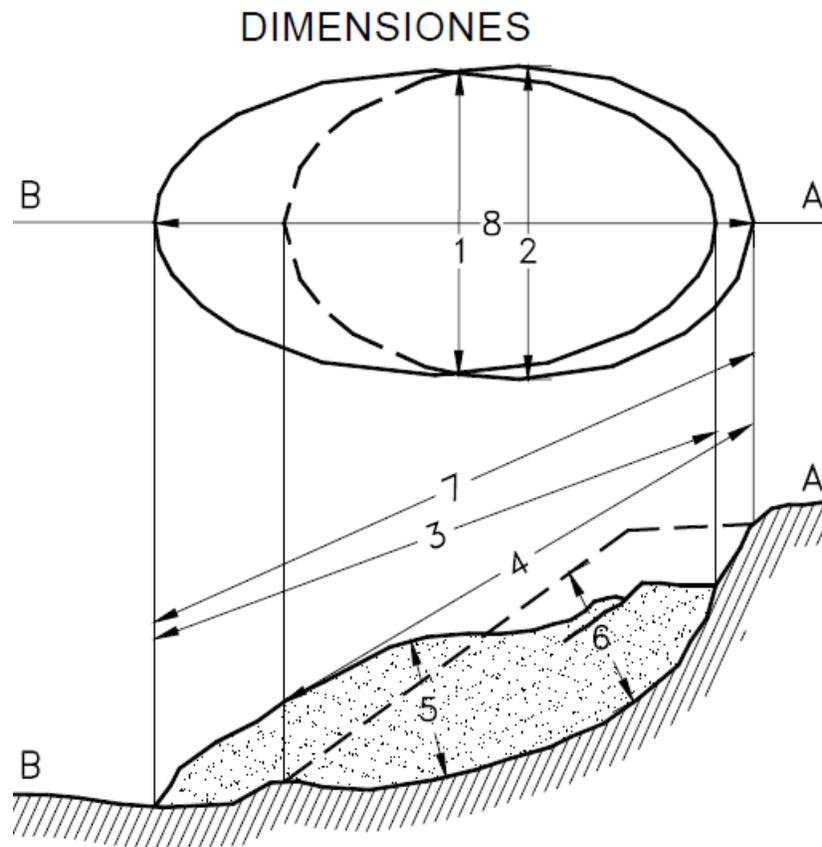


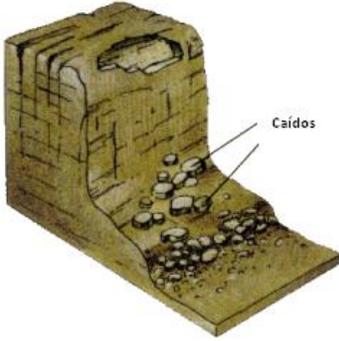
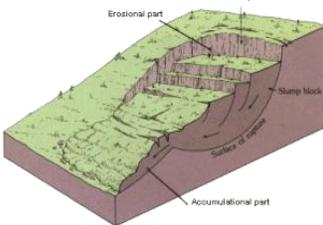
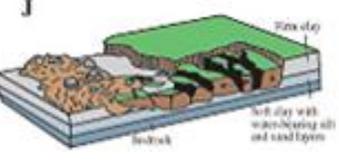
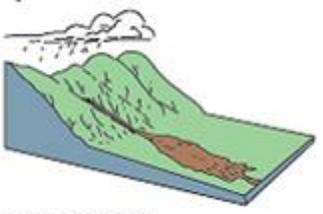
Figura 1.3. Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG Commission on Landslides (1990).

1.2.2 Clasificación de los deslizamientos.

La clasificación de deslizamientos pretende describir e identificar los cuerpos que están en movimiento relativo. Las clasificaciones existentes son esencialmente geomorfológicas y solamente algunas de ellas introducen consideraciones mecánicas o propiamente geológicas. Las caracterizaciones geotécnicas son necesarias y por esta razón, las clasificaciones eminentemente topográficas y morfológicas (Suárez, 1998).

Existen varias clasificaciones de deslizamientos basadas en el mecanismo de rotura y la naturaleza de los materiales involucrados (Varnes, 1984; Hutchinson, 1988; WP/WLI, 1993; Cruden y Varnes, 1996). La clasificación que se ha utilizado es la propuesta por Corominas y García (1997):

Tabla 1.1. Clasificación propuesta por Corominas y García (1997):

<p>Desprendimientos: Es aquel movimiento de una porción de suelo o roca, en forma de bloques aislados o masivamente que, en una gran parte de su trayectoria desciende por el aire en caída libre, volviendo a entrar en contacto con el terreno, donde se producen saltos, rebotes y rodaduras. Vuelcos: son movimientos de rotación hacia el exterior, de una unidad o de un conjunto de bloques, alrededor de un eje pivotante situado por debajo del centro de gravedad de la masa movida.</p>	
<p>Deslizamientos: Son movimientos descendentes relativamente rápidos de una masa de suelo o roca que tiene lugar a lo largo de una o varias superficies definidas que son visibles o que pueden ser inferidas razonablemente o bien corresponder a una franja relativamente estrecha. Se considera que la masa movilizada se desplaza como un bloque único, y según la trayectoria descrita los deslizamientos pueden ser rotacionales o traslacionales.</p>	
<p>Expansiones laterales: El movimiento dominante es la extrusión plástica lateral, acomodada por fracturas de cizalla o de tracción que en ocasiones pueden ser de difícil localización</p>	
<p>Flujos: Son movimientos de una masa desorganizada o mezclada, donde no todas las partículas se desplazan a la misma velocidad ni sus trayectorias tienen que ser paralelas. Debido a ello la masa movida no conserva su forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo morfologías lobuladas.</p>	 <p>FLUJOS DE SEDIMENTOS</p>

Terminología.

Cuando se habla de deslizamiento se refiere a un proceso que tiene una probabilidad de ocurrencia, en un periodo de tiempo caracterizado por una intensidad, magnitud, localización, etc.

Magnitud.

La magnitud se refiere al movimiento del deslizamiento en su tamaño, en su volumen y el área que abarca. Frecuentemente se emplea como medida de magnitud el área total, la cual se estima aproximadamente con base en el análisis de los productos de los sensores remotos. Algunos autores estiman que la magnitud debe involucrar a parámetros que se refiere al tamaño del potencial destructivo del movimiento por deslizamiento. En la siguiente tabla se exponen los elementos evaluativos de la magnitud según su dinámica y dimensiones.

Tabla 1.2. Tabla de la dinámica de los deslizamientos y su magnitud.

Estado de la dinámica de los deslizamientos		Dimensiones (volumen) envergadura de los deslizamientos.	
Activos	Los procesos de establecimiento del equilibrio continúan	Muy pequeños	Algunas dimensiones muy pequeñas
Estabilizados Temporalmente	El efecto de las causas de alteración del equilibrio quedan temporalmente equilibradas por factores de estabilidad	Pequeños	De decenas a 100 – 200 m ³
Equilibrados	La causa de alteración del equilibrio quedan temporalmente eliminadas	Medios	De centenares a 1000 m ³
Equilibrados completos	El efecto de las causales de alteración del equilibrio terminan	Grandes	De miles y decenas de miles a 100 – 200 mil m ³
		Enormes o gigantes.	Centenares de miles de m ³ y más.

Intensidad.

Para referirse al potencial destructivo del deslizamiento o intensidad se emplean parámetros tales como la velocidad, las fuerzas de impactos, el espesor o la altura. La intensidad variaría en dependencia de las condiciones ingeniero geológicas existentes en el terreno. Cruden y Varnes en 1996 establecen una escala de velocidad para los movimientos de los deslizamientos en 7 categorías desde extremadamente lenta (5×10^{-10} mm/s) a muy rápidos (mayor de 5 m/s) (tabla 1.3).

Tabla 1.3. Escala de velocidades de los deslizamientos según Cruden y Varnes (1996).

Clase de Velocidad	Descripción	Velocidad en mm/s	Velocidad típica
7	Extremadamente rápidos	5×10^3	5 m/s
6	Muy rápidos	5×10^1	3 m/m
5	Rápidos	5×10^{-1}	1,8 m/h
4	Moderada	5×10^{-3}	13 m/mes
4	Lenta	5×10^{-5}	1,6 m/año
2	Muy lenta	5×10^{-7}	16 mm/año
1	Extremadamente lenta	5×10^{-10}	

1.2.3 Factores condicionantes y desencadenantes en la formación de deslizamientos en la región.

Por las condiciones que favorecen a la formación de deslizamientos se entiende todo el conjunto de elementos naturales y antrópicos que facilitan la acción de fuerzas que alterarán el equilibrio en el macizo rocoso, por consiguiente las causales de la formación de los deslizamientos y las condiciones que lo favorecen no siempre son las mismas. Tal diferenciación de los conceptos puede parecer algo condicional, no obstante la experiencia del estudio de los deslizamientos lleva a tal afirmación. Las condiciones que con mayor frecuencia favorecen la formación de deslizamientos en el territorio son: 1) Las particularidades climáticas de la región; 2) el régimen hidrológico de las cuencas, sus arroyos y ríos con sus tramos deslizables; 3) el

relieve del terreno; 4) la estructura geológica de las laderas y taludes; 5) los movimientos neotectónicos y los fenómenos sísmicos a ellos asociados; 6) las particularidades de las propiedades físico-mecánicas de las rocas y suelos; y 7) la actividad antrópica. Más adelante se realiza una descripción detallada de estos factores condicionantes generadores de los deslizamientos en el territorio de Mayarí.

1.3 Conceptos y definiciones de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo.

La ingeniería geológica, como ciencia aplicada al estudio y solución de los problemas producidos por la interacción entre el medio geológico y la actividad humana, tiene una de sus principales aplicaciones en la evaluación, prevención, mitigación y gestión de los riesgos geológicos, es decir, de los daños ocasionados por los procesos geodinámicos.

Los daños asociados a los procesos de deslizamientos dependen de:

- ✓ La velocidad, magnitud y extensión del deslizamientos, el cual puede ocurrir de forma violenta y catastrófica (grandes deslizamientos) o lentas (flujos y otros movimientos de laderas).
- ✓ La posibilidad de prevención, predicción y el tiempo de aviso.
- ✓ La posibilidad de actuar sobre el proceso y controlarlo o de proteger los elementos expuestos a sus efectos.

Para evitar o reducir los riesgos geológicos por deslizamiento en el territorio de Mayarí es necesario la evaluación de la peligrosidad, vulnerabilidad y del riesgo de manera tal que se puedan incorporar a la planificación y ocupación de territorio.

La peligrosidad se refiere al proceso geológico, el riesgo a las pérdidas y la vulnerabilidad a los daños. A continuación se definen los conceptos según su uso más extendido.

Peligrosidad (P): Se refiere básicamente a la posibilidad o probabilidad de ocurrencia durante un periodo dado de tiempo de un fenómeno (natural o construido)

potencialmente dañino (peligro) en un área determinada, conocidas las características del mismo (magnitud o intensidad) y su zona de acción e influencia (García, 2005).

Vulnerabilidad (V): Se ha definido como la posibilidad de que una zona quede afectada por un determinado proceso o fenómeno natural de una magnitud determinada, expresada en términos cualitativos y relativos (García, 2005).

Riesgo específico (Rs): Es el grado de pérdida esperado debido a un fenómeno potencialmente dañino. Este puede ser estimado por la relación entre dos variables fundamentales: peligrosidad y vulnerabilidad. $RS = P \times V$ (García, 2005).

Exposición (E): Es el conjunto de elementos bajo riesgo en un área determinada. En una zona concreta cambia de acuerdo con la tipología del riesgo. En función de los tipos de elementos expuestos, pueden distinguirse tres tipos de exposición: Social, Económica o Estructural y Medioambiental.

Riesgo total (Rt): Corresponde al número de vidas perdidas, daños a la propiedad y a las personas, etc. Debidas a un fenómeno natural concreto en un área determinada. El riesgo total se define como el producto del riesgo específico y de los elementos bajo riesgo como se observa en la siguiente expresión:

$$R_t = E * R_s = E * (P * V)$$

El primer paso en la evaluación del riesgo consiste en la estimación de la peligrosidad a roturas de laderas y ésta, a su vez, se evalúa determinando los siguientes aspectos (Varnes, 1984; Corominas, 1987; Hartlén y Viberg, 1988):

1. Evaluar la susceptibilidad de la ladera a las roturas por deslizamientos
2. Determinar el comportamiento del deslizamiento (movilidad y dimensiones del mismo)
3. Establecer la potencialidad del fenómeno (probabilidad de ocurrencia).

El término susceptibilidad hace referencia a la predisposición del terreno a la ocurrencia de deslizamientos y no implica el aspecto temporal del fenómeno (Santacana, 2001).

Principios de los estudios de riesgo.

1. **Objetivos.** Deben responder a las necesidades de la reducción de desastres en el País con las posibilidades existentes. Buscar la tecnología más apropiada, no siempre la más avanzada.
2. **Aplicables.** Deben tener requisitos que puedan cumplirse en todos los territorios, como estar basados fundamentalmente en información existente.
3. **Reproducibles.** Deben tener una metodología clara y precisa, de manera que pueden volver a realizarse sin margen de duda sobre cómo se hicieron anteriormente.
4. **Flexibles.** Deben tener la posibilidad de poder ajustarse a las necesidades y las condiciones de los territorios.
5. **Comparables.** Aunque flexibles deben poder ser comparables en todo el territorio nacional (comparación espacial).
6. **Monitoreables.** Deben poder ser comparables a lo largo de tiempo (comparación temporal) para monitorear el progreso en la reducción del riesgo.
7. **Actualizables.** Deben quedar bien claro para cada uno de los conjuntos de datos qué nivel de actualización temporal pueden tener.

1.4 Escalas utilizadas en la cartografía de peligrosidad.

Cuando se preparan mapas de peligrosidad, se debe valorar la influencia que un número de factores incidirá en la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos (Rengers et al., 1992). La escala de análisis es uno de los primeros puntos a considerar en un proyecto. De ella depende la metodología utilizada, los factores o datos considerados, la unidad de terreno etc. Se pueden distinguir cuatro escalas (IAEG, 1976; Luzi y Fabbri, 1995) para la zonificación de la peligrosidad a deslizamientos:

- ✓ Escala regional (< 1:100.000)
- ✓ Escala media (1:25.000 a 1:50.000)
- ✓ Gran escala (1:5.000 a 1:10.000)
- ✓ Escala detallada (> 1:5.000)

En la escala regional, los mapas se usan para identificar áreas con problemas de deslizamiento de una forma genérica. Son utilizados por organizaciones que trabajan con planificación regional (Luzi y Fabbri, 1995; Rengers et al., 1992). Utilizan métodos semicuantitativos como la superposición de mapas, y las unidades del terreno se basan en características morfológicas obtenidas de imágenes estereográficas a pequeña escala (1:60:000 a 1:50.000) (Rengers et al., 1992). La escala media es utilizada para planificación intermunicipal y para estudios ingenieriles locales. Se emplean distintos métodos analíticos, principalmente estadísticos, así como modelos digitales de elevaciones detallados y otros mapas temáticos. Se usan imágenes estereográficas a escalas 1:15.000 a 1:25.000 (Rengers, et al., 1992). Los métodos estadísticos de análisis de peligrosidad son apropiados para esta escala (Mulder, 1991; Dhakal et al., 2000). En la cartografía a gran escala, los mapas son creados para estudiar problemas locales de inestabilidad, para planificar infraestructuras de proyectos de edificios e industriales (Luzi y Fabbri, 1995). Los métodos de análisis utilizados son métodos cuantitativos que incluyen estadística multivariante y modelos numéricos de estabilidad. Esta escala requiere información cartográfica de muy buena calidad, así como imágenes estereográficas de 1:5000 a 1:10.000) (Rengers et al., 1992). La escala detallada es utilizada para evaluar la peligrosidad de áreas concretas y se utilizan los mismos métodos de la escala anterior (Luzi y Fabbri, 1995).

1.5 Definición de los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.).

Se han realizado varias definiciones en torno a los Sistemas de Información Geográfica (Cebrián y Mark, 1986; Burrough, 1988; Bracken y Webster, 1990; NCGIA, 1990). Un S.I.G. se puede considerar esencialmente como una tecnología

(un sistema de hardware y software) aplicada a la resolución de problemas territoriales (Bosque, 1992).

Qué es un SIG?

Es un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para soportar la captura, administración, manipulación, análisis, modelación y graficación de datos u objetos referenciados espacialmente, para resolver problemas complejos de planeación y administración. Una definición más sencilla es: Un sistema de computador capaz de mantener y usar datos con localizaciones exactas en una superficie terrestre (Reyes, 2010).

El S.I.G. particulariza un conjunto de procedimientos sobre una base de datos no gráfica o descriptiva de objetos del mundo real que tienen una representación gráfica y que son susceptibles de algún tipo de medición respecto a su tamaño y dimensión relativa a la superficie de la tierra. A parte de la especificación no gráfica el S.I.G. cuenta también con una base de datos gráfica con información georreferenciada o de tipo espacial y de alguna forma ligada a la base de datos descriptiva. La información es considerada geográfica si es medurable y tiene localización.

La base de un S.I.G. es, por tanto, una serie de capas de información espacial en formato digital que representan diversas variables (formato ráster), o bien capas que representan objetos (formato vectorial) a los que corresponden varias entradas en una base de datos enlazada. Esta estructura permite combinar en un mismo sistema, información con orígenes y formatos muy diversos, incrementando la complejidad del sistema.

A todo objeto se le asocian atributos que pueden ser:

- Gráficos
- No gráficos o alfanuméricos.

Atributos gráficos

Son las representaciones de los objetos geográficos asociados con ubicaciones específicas en el mundo real. La representación de los objetos se hace por medio de puntos, líneas o áreas.

Atributos no gráficos

También llamados atributos alfanuméricos. Corresponden a las descripciones, cualificaciones o características que nombran y determinan los objetos o elementos geográficos.

El proyecto implementado permite varias habilidades útiles en el procesamiento, interpretación y actualización de las bases de datos:

- Georreferenciar y desplegar datos espaciales en las vistas
- Crear, editar, importar datos en las vistas
- Realizar consultas en las bases de datos
- Realizar funciones espaciales avanzadas entre capas (intersección, superposición, corte)
- Realizar operaciones entre capas temáticas
- Crear mapas para presentaciones

A modo de resumen se puede sintetizar que los S.I.G. tienen como propósito crear un modelo simplificado del territorio que pueda dar respuesta de cómo actuar delante de problemas reales. De esta forma constituyen sistemas de apoyo a la decisión; en ellos los datos se estructuran para servir de ayuda a la toma de decisiones, facilitando discusiones y simulaciones de lo que podría ocurrir en caso de adoptar una u otra postura.

CAPÍTULO II. Características Físico-Geográficas y Geológicas de la Región y su Incidencia en los Deslizamientos del Municipio Mayarí.

Introducción

En el presente capítulo se exponen las características generales del municipio Mayarí y su incidencia en los deslizamientos de tierra, teniendo en cuenta que para realizar el estudio de PVR por deslizamientos en el terreno es necesario realizar una evaluación de las condiciones físico geográficas y geológicas del municipio que influyen directamente en las características ingeniero-geológicas del macizo rocoso y los suelos en general lo cual permite determinar las zonas de mayor susceptibilidad en el municipio ante estos fenómenos y realizar la evaluación de los riesgos.

Entre las principales características a evaluar en el municipio que inciden en las condiciones ingeniero-geológicas se encuentran las siguientes:

1. Particularidades climáticas de la región.
2. Relieve del terreno.
3. Estructura geológica de los taludes y laderas.
4. Movimientos tectónicos modernos (neotectónica) y fenómenos sísmicos.
5. Condiciones hidrológicas, superficiales y subterráneas.
6. Desarrollo de procesos y fenómenos geológicos.
7. Particularidades de las propiedades físico mecánicas de las rocas.
8. Actividad antrópica.

2.1 Ubicación geográfica

El municipio Mayarí, se localiza en la parte centro–este de la provincia Holguín. Al Norte limita con la Bahía de Nipe y el Océano Atlántico, además de los municipios Banes y Antilla, al Sur con la Provincia de Santiago de Cuba (municipios Julio Antonio Mella, San Luis y Segundo Frente), al Este el municipio Frank País y al Oeste

los municipios Cueto y Báguanos (Figura 2.1). Su extensión territorial es de 1,310.6 km².

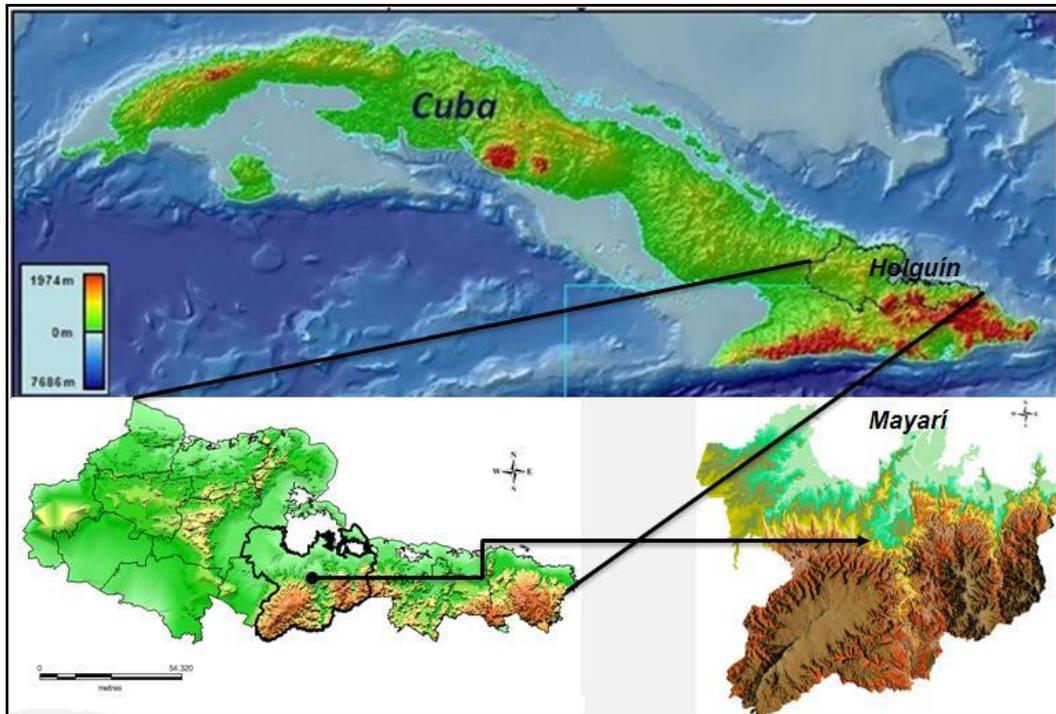


Figura 2.1 Mapa de ubicación geográfica del municipio Mayarí.

2.2 Características socioeconómicas de la región

El municipio cuenta con 108 534 habitantes y una densidad poblacional de 80.1 habitantes por km²; el 62.7% de la población es urbana.

La cabecera municipal es la ciudad de Mayarí con alrededor de 60 000 habitantes. Existen además, 134 lugares habitados, otros centros urbanos importantes son: Levisa, Nicaro, Guatemala, Guaro, Felton, Cosme y Caridad (**Anexo 1**).

Mayarí ocupa el segundo lugar en la provincia en habitantes y el primero en extensión territorial. Además es el tercero del país en población entre los municipios que no son cabeceras de provincias, solo superado por Contramaestre y Cárdenas. Su población representa el 10.2% del total la provincia, se sitúa en el lugar 26 en

cuanto a población y fondo habitacional del país y sólo en su tipo es superado por los municipios Palma Soriano y Manzanillo y en extensión territorial es el 8^{vo} de Cuba.

El municipio Mayarí presenta un notable desarrollo Industrial. En su territorio se encuentran la Central termoeléctrica "Lidio Ramón Pérez", puesta en marcha en la década de los 90 del siglo XX, que es la de mayor capacidad de generación de Cuba (560 Mega Watts); además la Fábrica de plástico Cajimaya y otras.

La actividad económica fundamental se sustenta en la generación de electricidad, plásticos y accesorios, agricultura no cañera, la ganadería vacuna, la actividad extractiva y forestal, la silvícola, la cafetalera, el comercio, la gastronomía y los servicios, la construcción, la producción alimentaria, las investigaciones, el transporte, así como la actividad de la salud, la cultura, el deporte, la educación y la actividad de los servicios comunales y personales entre otros.

En los estudios de PVR por deslizamientos del terreno las características socio económicas del municipio son muy importantes al evaluar los riesgos. Teniendo en cuenta que la principales actividades económicas de la región como pueden ser la actividad minera, la agricultura, construcción de obras hidráulicas entre otras pueden generar una alteración en el medio natural lo que puede generar zonas de susceptibilidad.

2.3 Particularidades climáticas de la región.

Desde el punto de vista climático el área de estudio presenta un régimen que se diferencia con la media nacional y provincial, lo que está dado por la posición que ocupa la misma con respecto al anticiclón del Atlántico y a sus condiciones de relieve montañoso. La precipitación media en el área que comprende la meseta Pinares de Mayarí es de unos 1650mm a unos 600m.s.n.m. tomado del Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales (CISAT, 2007).

La determinación anual de las precipitaciones evidencia la existencia de dos estaciones, un periodo lluvioso de mayo a octubre (verano), siendo los meses más lluviosos mayo y septiembre, los cuales presentan precipitaciones promedio mensual de 275 y 214mm respectivamente. La estación relativamente seca corresponde a los meses de noviembre a abril (invierno), los meses más secos son enero y diciembre con lluvias menores a los 100mm y por encima de los 50mm. En esta zona las lluvias de verano son convectivas, en invierno son frontales, provocadas por los frentes fríos.

La temperatura media anual es de 21.6°C, las temperaturas bajas son producidas por el gradiente vertical (0.6°C/100 m) en las áreas montañosas y por el paso de los frentes fríos. Los vientos predominantes en el área de estudio son los alisios del nordeste durante casi todo el año y la velocidad de los mismos oscila alrededor de los 13 km/h.

La humedad relativa del aire es de 84.1%, siendo ésta superior a la media normal (80%), lo cual demuestra que se está en presencia de una zona con características climáticas húmedas, determinadas por la abundancia de lluvias caídas, así como las bajas temperaturas que reinan durante casi todo el año. Si bien es cierto que estas condiciones climáticas caracterizan la altiplanicie de Nipe, existe en cada subcuenca variaciones locales debido a la altitud, la exposición de las laderas, etc.

La zona se encuentra bajo la influencia del campo de los vientos Alisios provenientes del Atlántico Norte, por tanto en la misma existe un predominio de los vientos del primer cuadrante en especial de los rumbos NE, ENE y E. En la región prácticamente no se presentan vientos del Oeste y del Sur sólo se observan con cierta frecuencia en los meses de enero, junio y julio, pero siempre inferiores a los predominantes. La velocidad usual de estos vientos es de 3 a 7 m/s.

El clima es tropical con abundantes precipitaciones, estando estrechamente relacionadas con el relieve montañoso que se desarrolla en la región, teniendo gran influencia en el desarrollo de los deslizamientos ya que incide directamente sobre el

suelo y las rocas. En los periodos de lluvia, se forman corrientes turbulentas de mucha fuerza, provocando una marcada erosión de las partes superiores de las laderas de los ríos y en aquellas zonas donde es escasa la vegetación o donde esta ha sido desmontada para la explotación minera, para la construcción o explotación, provocando la inestabilidad en los taludes y laderas que están expuestos y alterados.

2.4 Geomorfología regional.

La geomorfología del municipio Mayarí está compuesta por dos macizos montañosos, Sierra de Nipe y Sierra Cristal. Su relieve ha sido condicionado tectónicamente, donde se refleja las particularidades de la compleja estructura geológica obtenida como resultado de los movimientos compresivos de la Orogenia cubana y las adquiridas en la etapa neotectónica. En la Sierra Cristal se encuentra la mayor elevación del territorio, la Mensura, con 995 metros sobre el nivel del mar. Se encuentran diferentes categorías geomorfológicas determinadas por las diversas amplitudes de los movimientos neotectónicos como son las montañas, las alturas y las llanuras. Las montañas son el resultado de ascensos neotectónicos moderados e intensos (CISAT, 2007).

En la zona de estudio van a encontrarse los siguientes escalones morfoestructurales:

Montaña pequeña, de horst-bloque, aplanada, diseccionada, masiva, con una altura de 500a 995m.s.n.m. Sierra de Nipe. En ella se encuentran varias superficies de nivelación de génesis denudo-acumulativa de edad Mioceno-Plioceno al que está asociado el yacimiento Mina Pinares.

Montañas bajas, aplanadas, diseccionadas, con una altura de 500a 750 m.s.n.m., donde se encuentra una superficie de nivelación de génesis denudo-acumulativa de edad Cuaternaria, al que está asociado el yacimiento Mina Ocuja - La Ramona.

Premontañas, aplanadas, ligeramente diseccionadas, con una altura de 300a 400 m.s.n.m. A ellas está asociada la altura media, que es de 307m.s.n.m.

Premontañas y submontañas de bloque en plegamientos, diseccionados, con una altura de 200a 300m.s.n.m.

Alturas que ocupan pequeñas áreas asociadas a los sistemas montañosos, son el resultado de ascensos neotectónicos débiles y moderados con una altitud de hasta 300m.s.n.m. En el área constituyen las alturas de Mayarí, varias alturas ubicadas a lo largo de la cuenca del Río Mayarí como son: Seboruco, con 106m.s.n.m., Sabaneta, con 106m.s.n.m., Colorado, con 100m.s.n.m., etc.

Las llanuras ocupan gran parte del territorio y corresponden a las zonas de descenso relativo o de ascensos neotectónicos más débiles, cuyas amplitudes son inferiores a los 100m.

El relieve constituye una condición importantísima que favorece la formación de deslizamientos. De clara evidencia sirven su propagación geográfica y la ubicación geomorfológica. Las observaciones revelan que con mayor frecuencia los deslizamientos están propagados en regiones montañosas, en tramos con relieve bruscamente accidentado, en las laderas escarpadas de los valles fluviales, en los taludes de desmontes y canteras. En general, el relieve del terreno y la situación orográfica de la región crean reservas de la energía potencial, la cual condiciona el desarrollo de los fenómenos de deslizamientos, (Figura 2.2).

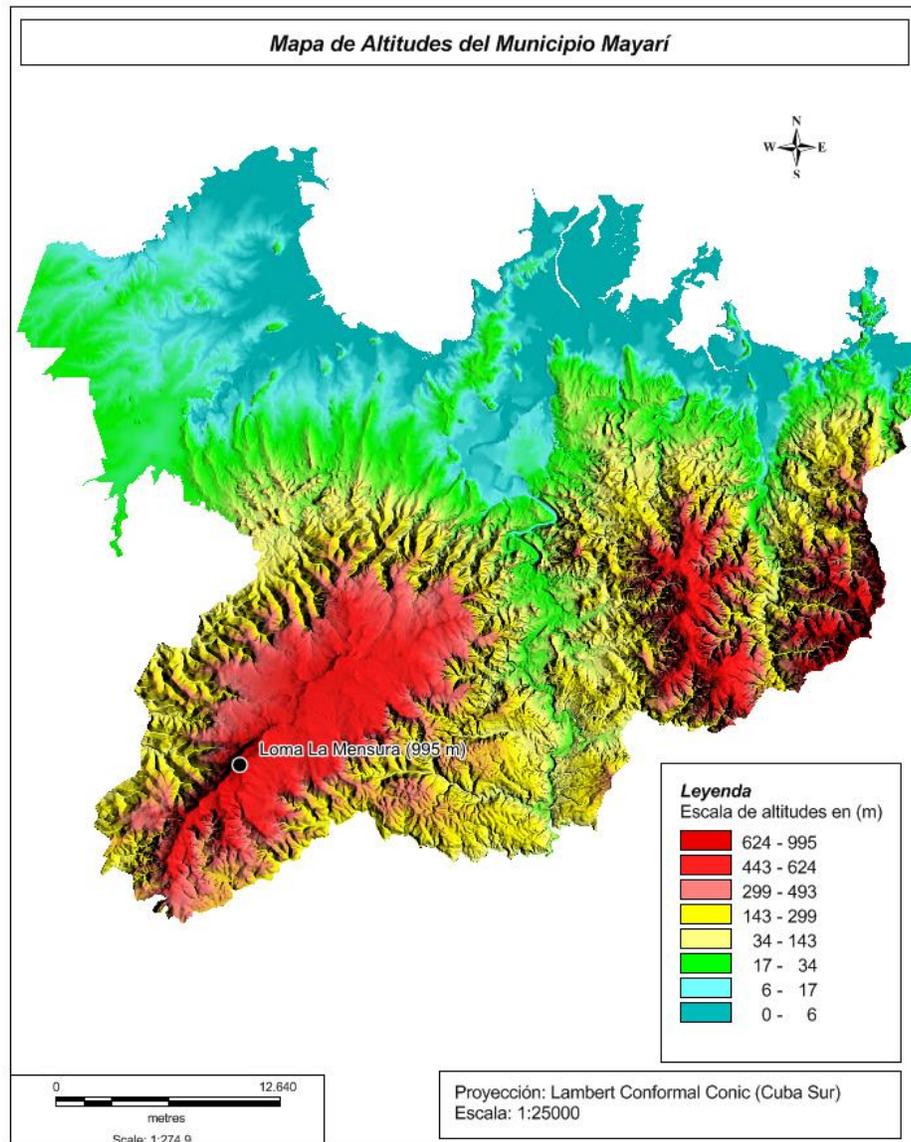


Figura 2.2 Mapa de Altitudes del Municipio Mayarí.

2.5 Geología regional y local

El municipio Mayarí se encuentra ubicado en el complejo ofiolítico Mayarí-Baracoa, el cual se localiza en el extremo oriental de la Isla de Cuba. En este macizo se pueden distinguir diferentes mantos de cabalgamiento, en los que se aprecian espejos de fricción y escamas tectónicas de diferentes espesores (Figura 2.3). En los estudios realizados por Proenza (1998) en la región, este divide las fajas ofiolíticas en dos grandes macizos: 1) El macizo Moa-Baracoa y 2) El Macizo Mayarí-Cristal.

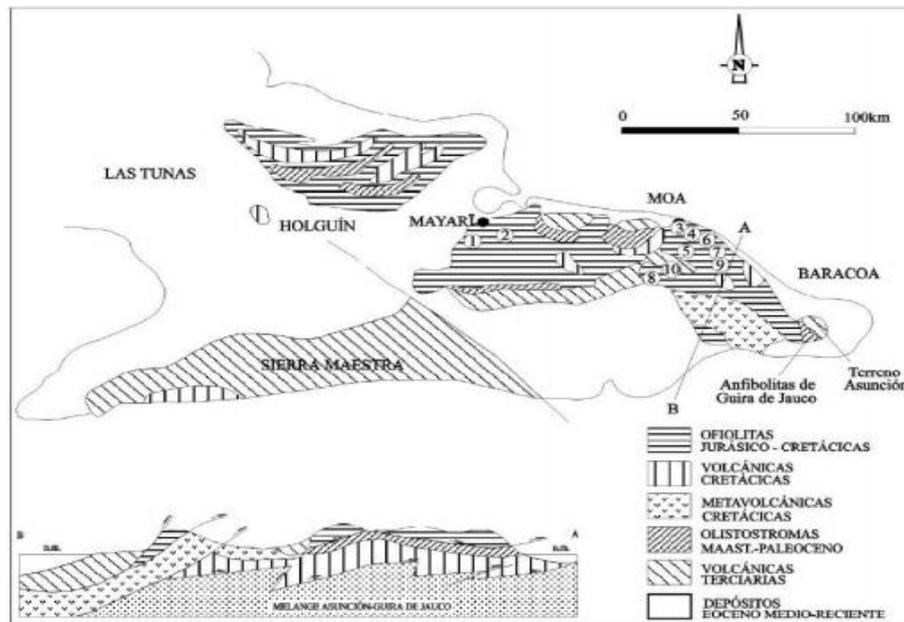


Figura 2.3 Ubicación de la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Iturralde-Vinent, 1996). Los números indican la ubicación de las principales áreas de distribución de los depósitos lateríticos de níquel y cobalto: 1 - Pinares de Mayarí, 2- Nicaro, 3- Moa, 4- Punta Gorda-Yagrumaje, 5- Las Camariocas, 6-Cantarrana-La Delta, 7- Santa Teresita, 8- La Fangosa, 9- Iberias y 10- Piloto.

Desde el punto de vista geológico el área de estudio se encuentra en la parte central del macizo ultramáfico Sierra de Nipe-Sierra Cristal, constituyendo desde el punto de vista de la tectónica un bloque hundido de tipo graben (intramontañoso). Esta subdivisión en bloque según algunos autores, empezó en la fase orogénica Larámica, contemporáneamente con la formación de napes de ultramafitas (Arango et al, 1988). En el área se distinguen bien diferenciadas rocas carbonatadas y terrígenas carbonatadas sobreyaciendo a las ultramafitas serpentinizadas del complejo intrusivo del Cretácico Superior.

Estas rocas presentan diferentes grados de alteración y ha dado origen a varios tipos de harzburgitas y en menor grado Dunitas y Piroxenitas. Esto se debió al intenso tectonismo sufrido por la región durante el Cretácico y el Paleógeno y hoy se muestran intensamente agrietadas y fracturadas en bloques de diversas dimensiones que van desde algunos m² hasta km². El macizo también es atravesado por diques de rocas básicas predominantemente Gabros y Diabasas (Arango et al., 1988).

En Mayarí la geología se describe según el mapa geológico 1:25000 tomado del Instituto de Geología y Paleontología (I.G.P.) 2001 y modificado por el autor (figura 2.4).

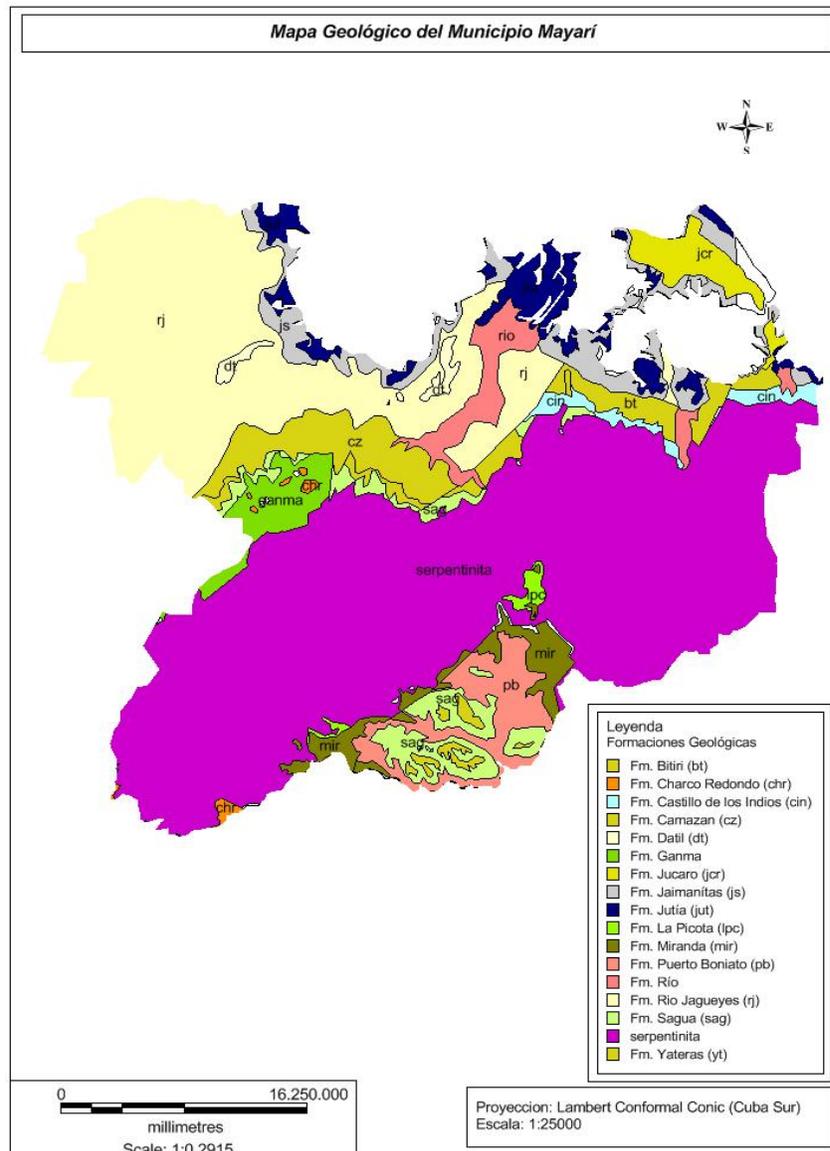


Figura 2.4 Mapa Geológico de Mayarí. Escala: 1:25000.

Rocas Serpentinizadas del Complejo Ofiolítico: Constituidas por harzburgitas y peridotitas. Se han datado con una edad de Jurásico-Cretácico Temprano (Iturralde-Vinent, 1996). Se considera que estas rocas serpentinizadas poseen un espesor superior a los 1000 metros, se presentan en forma de escamas tectónicas muy fracturadas (Fonseca et al., 1985).

Formación Río Macío (Holoceno): Está integrada por depósitos en valles aluviales de composición y granulometría heterogénea. Los cuales están formados por sedimentos arenosos, areno-arcillosos y conglomerados, estos últimos los conforman fragmentos de rocas ultramáficas serpentizadas (peridotitas y harzburgitas). Mineralógicamente se pueden describir por la presencia de óxido e hidróxido de hierro y aluminio. Los minerales de hierro son hematita, goethita, magnetita, y de aluminio principalmente gibbsita. Las arcillas están representadas por montmorillonita. En la parte superior del perfil aparecen materiales orgánicos.

Formación Bitirí (P3-N1 (1)): Calizas algáceas, duras, carsificadas, que contienen ocasionalmente fragmentos de corales.

Formación Camazán (P3-N1 (1)): Calizas biodetríticas, calcarenitas, calciruditas, limolitas con intercalaciones de margas y arcillas.

Formación Río Jagüeyes (N1 (1)-N1 (2)): Limolitas, areniscas, gravelitas, margas, calizas, calcarenitas y arcilla.

Formación Castillo de los Indios (Eoceno Inferior-Medio): Margas con intercalaciones de calizas arcillosas, areniscas polimícticas, conglomerados polimícticos, limolitas y tobas.

Formación Charco Redondo (P2 (2)): Calizas compactas órgano-detríticas, fosilíferas, de color variable.

Formación Dátil (N2-Q1): Conglomerados polimícticos masivos, poco rodados y seleccionados.

Formación Júcaro (N1 (3)-N2): Calizas arcillosas, calcarenitas, margas, limolitas, arcillas yesíferas y dolomitas.

Formación La Picota (K2): Conglomerados polimícticos con intercalaciones de areniscas y conglobrechas mal seleccionadas que se intercalan con argilitas.

Formación Puerto Boniato (P2 (2)): Alternancia de calizas y margas, con intercalaciones de sílice.

Gabros del Complejo Ofiolítico: Los cuerpos de gabros forman grandes bloques y diques incluidos en el macizo ofiolítico, cuyos contactos con los otros tipos litológicos

son generalmente tectónicos, las dimensiones de los cuerpos de gabros varían de uno a tres kilómetros de ancho y de 10 a 15 kilómetros de longitud. Se estima que presentan un espesor medio de 500 metros (Fonseca et al., 1985).

Formación Miranda (P1 (1)-P2): Tobas con intercalaciones de tufitas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados, limolitas, margas, gravelitas y conglomerados vulcanomícticos.

Formación Sagua (P2 (2)-P2 (3)): Margas con intercalaciones de calizas arcillosas, areniscas polimícticas, conglomerados polimícticos, limolitas y tobas.

Formación Yateras (P3-N1(1)): Alternancia de calizas biodetríticas y detríticas, y calizas biógenas de grano fino a grueso, estratificación fina a gruesa o masivas, duras, de porosidad variable, a veces aporcelanadas que frecuentemente contienen grandes *Lepidocyclinas*. Coloración por lo general blanca, crema o rosácea, y con menos frecuencia carmelitas.

Formación Jaimanitas (Q3-4): Calizas biodetríticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas conteniendo principalmente conchas bien preservadas y corales de especies actuales y ocasionalmente biohermos. Las bolsas cársicas se encuentran rellenas por una fina mezcla carbonato- arcillosa ferruginosa de color rojo ladrillo. Pasan a calcarenitas masivas o finamente estratificadas y a veces contienen intercalaciones de margas. La cementación es variable. La coloración predominante es blanquizca o amarillenta.

Formación Jutía (Q4): Depósitos de pantanos, de mangles, limos, limos arenosos.

Se sabe que los deslizamientos están relacionados con las laderas y taludes de una estructura geológica determinada. En la mayoría de los casos, los deslizamientos están propagados en laderas compuestas por suelos arcillosos donde en el grueso de las rocas que los constituyen, se encuentran capas, intercalaciones, zonas de suelos arcillosos, aditivos arcillosos u otras rocas que forman las superficies de discontinuidad y zonas de debilitamiento; por último, en lugares de las laderas donde hay acumulaciones considerables de facies eluviales, diluviales y proluviales

arcillosas. El análisis de las condiciones de formación de deslizamientos en los suelos rocosos enseña que en estos casos el relleno arcilloso en las grietas y los aditivos arcillosos en las superficies de las grietas facilitan de modo considerable la alteración del equilibrio de las masas de rocas. La formación de deslizamientos resulta más favorable en tramos donde en la estructura geológica de las laderas o taludes hay superficies potenciales de resbalamiento, orientadas de modo desfavorable, es decir, que su pendiente está dirigida en el sentido de las pendientes de las laderas.

2.6 Tectónica regional.

Esta región se caracteriza por su actividad tectónica actual vinculada a la última etapa de evolución geológico – tectónica de la Isla, en la cual permanecen con un grado de actividad significativa los movimientos verticales y horizontales. La génesis de estos movimientos está vinculada con su ubicación en las proximidades de la zona de fallas Bartlett–Caimán, principal estructura tectónica activa de este territorio, al tiempo que constituye el límite transformante entre las placas litosféricas Caribeña y Norteamericana.

Por las investigaciones sismotectónicas de la región, se comprobó que los movimientos recientes, condicionaron la desarticulación del territorio en un sistema de bloques tectónicos con un régimen peculiar de desarrollo, teniendo los límites de los bloques por lo general una naturaleza disyuntiva, destacándose en la región nororiental, los bloques Holguín, Mayarí-Moa-Baracoa y la cuenca Cauto–Nipe.

La tectónica favorece el desarrollo de los deslizamientos, en las áreas donde existen grandes familias de grietas y fallas, donde es evidente que los movimientos tectónicos han alterado mucho más las rocas, las cuales se pueden convertir en posibles SR ya que son las zonas más débiles estructuralmente del macizo rocoso.

2.7 Características hidrográficas regionales.

La abundancia de precipitaciones atmosféricas, así como la morfología son los factores que condicionan el desarrollo de una compleja y densa red hidrográfica, la cual constituye una valiosa reserva del potencial hídrico con el que cuenta la región, como lo son los ríos: Mayarí, Nipe, Guaro, Piloto, Naranjo, Sojo y Birán, ente otros.

Existe en la zona una cantidad considerable de pequeños ríos, arroyos y cañadas, los cuales son tributarios de los ríos principales (Mayarí, Nipe, Guaro). Alguno de estos pequeños ríos en su curso por los flancos de la meseta forman cascadas que caen desde alturas de algunos metros hasta decenas de metros formando cañones profundos y estrechos.

La red de drenaje es variada, distinguiéndose la red fluvial de tipo radial y en menor grado de desarrollo las redes del tipo sub-paralela con orientación SE, y angular en los límites y flancos de la meseta. También se acentúa una red de tipo dendrítica en la superficie semi-plana de la meseta con amplio desarrollo de una corteza de intemperismo potente.

El río Mayarí, como río fundamental, corre principalmente de sur a norte, el mismo en su curso arrastra un gran caudal y atraviesa una llanura denudativa sobre un lecho de rocas onduladas y diseccionadas. A lo largo del río se desarrolla un valle en forma de (U) lo cual denota su madurez. En su curso superior este río es alimentado por los ríos de menor envergadura La Caoba y la Jarahueca, además de esto, la zona se encuentra drenada por otros ríos y numerosos afluentes los cuales alcanzan un número elevado.

Las aguas del río Piloto corren en dirección oeste-este y su valle aparece encajonado en algunos sectores en forma de (V) lo que indica que está en la etapa de juventud. En los límites de la superficie semi-plana se observa generalmente un cambio brusco de los valores del gradiente de su perfil longitudinal. La amplitud y profundidad de su cauce son variables.

El río Naranjo presenta características hidrográficas y geomorfológicas similares a las del río Mayarí y Piloto, sus aguas corren en dirección oeste-este, su valle presenta formas combinadas de pequeños valles en forma de (V), con algunos barrancos donde la erosión de fondo es más acentuada, por lo que el perfil del río en estos tramos tiene mayor pendiente.

La evaluación de las características hidrográficas tiene gran importancia ya que áreas cercanas a los ríos pueden ser, bajo determinadas condiciones, susceptibles ante la ocurrencia de deslizamientos, teniendo en cuenta que estos representan el escurrimiento superficial de los suelos y a la vez la saturación de los mismos, aumentando la erosión, creando condiciones inestables en las laderas más cercanas a los ríos.

2.8 Hidrogeología regional y su influencia en la inestabilidad de taludes y laderas.

Debido al régimen de precipitaciones, particularidades hidrogeológicas regionales, características de las rocas acuíferas y parámetros hidrogeológicos existentes en el territorio, se considera como una zona de elevada complejidad hidrogeológica. En el área están presentes tres horizontes acuíferos:

Horizonte acuífero de los sedimentos aluviales del Cuaternario Superior (alQ_{IV}). Este complejo acuífero se encuentra localizado en la terraza del río Mayarí. Está conformado litológicamente por arcillas, arenas y gravas de distintos tamaños y composición, con alta capacidad acuífera $K = 2-53$ l/seg, $q = 1-42$ l/seg/m, está en estrecha relación hidráulica con las corrientes superficiales (ríos y arroyos) de la región.

Horizonte acuífero de las rocas carbonatadas del Cuaternario Medio (Q_{II-III}). Está representado por rocas calizas órgano-detríticas (arrecifales) y calcarenitas. Las calizas son masivas algo cavernosas y con presencia de carso en la superficie en forma de diente de perro (lapies) y contenido de fauna fosilizada de especies de moluscos y corales. Este horizonte guarda relación directa con el comportamiento de

las mareas, encontrándose de forma insignificante elevado con respecto al nivel del mar de ahí proviene su alto contenido de sales disueltas en las aguas, aunque pueden encontrarse aguas dulces, pero en cantidades limitadas (suspendidas sobre las salinas).

Horizonte acuífero de los sedimentos turbo-cenagosos del Cuaternario Superior (pQ_{IV}). Este horizonte acuífero se observa en todos los humedales costeros, representado en su mayor parte por turba, a veces con una mezcla de material arcilloso o carbonatado (marga). Estos depósitos alcanzan un espesor de 2-4 metros aproximadamente, se caracterizan por presentar escasa capacidad acuífera, pero al yacer sobre rocas calizas cavernosas y otras muy acuíferas reciben abundante alimentación subterránea, lo que dificulta su drenaje y aprovechamiento.

En general las aguas subterráneas presentan una mineralización muy variada que oscila de 28 mg/l a 0.6 mg/l, aumentando la concentración de las sales solubles totales en dirección al mar. Químicamente se clasifican como cloruradas sódicas en dependencia a la concentración de los iones predominantes. La dirección del flujo subterráneo coincide con el flujo superficial, produciéndose las descargas mayoritariamente al mar (sur-norte) y a los sistemas lagunares presentes. La profundidad de yacencia de las aguas oscila desde más de 3 m.s.n.m en las zonas de mayor altura topográfica y hasta 0.3 m.s.n.m en las proximidades a la costa y zona palustral y lagunar. Existe una gran influencia de las mareas sobre el comportamiento de los niveles de las aguas subterráneas.

Ciertas condiciones hidrogeológicas constituyen unos de los factores que determinan la posibilidad de formación de deslizamientos. Las laderas formadas por rocas saturadas de agua son más favorables para la formación de deslizamientos que aquellas zonas formadas por suelos drenados. Se sabe que no es posible evaluar la resistencia y la estabilidad de las rocas sin tomar en consideración la humedad y la capacidad acuífera. Por eso al caracterizar y evaluar la estabilidad de las laderas y taludes, así como las condiciones de formación de deslizamientos es preciso

considerar las aguas subterráneas como uno de los factores más importantes. Y su importancia no radica en su grado de irrigación sino en el grado de humectación.

2.9 Procesos y fenómenos geodinámicos.

Las condiciones favorables para la formación de deslizamientos suelen crearse cuando evolucionan los procesos y fenómenos geológicos acompañantes. Así, por ejemplo, los procesos de meteorización de las rocas, los fenómenos de derrubio y destrucción de las laderas, las deformaciones de erosión subterránea y otras deformaciones de filtración, los movimientos neotectónicos y sismos suelen preparar las condiciones que faciliten la acción de los esfuerzos de dislocación y rompimiento. Por eso al tomar las medidas contra los deslizamientos con frecuencia surge la necesidad de influir, no en el propio proceso de deslizamiento, sino en los procesos y fenómenos condicionantes.

Meteorización: Es uno de los fenómenos físico-geológico más importante y está vinculado a la descomposición física o/y química que produce alteraciones en la roca o suelo, las cuales modifican substancialmente los parámetros de resistencia y permeabilidad, facilitando la ocurrencia de deslizamientos. En el municipio Mayarí estos procesos están vinculados con la formación de potentes cortezas lateríticas sobre rocas ultrabásicas y básicas principalmente en la zona de la meseta de Pinares de Mayarí. Las condiciones climáticas, geomorfológicas, tectónicas y características mineralógicas de las rocas existentes favorecieron los procesos de meteorización química del medio (ver foto 1, figura 2.6). La corteza de meteorización está desarrollada principalmente sobre peridotitas de tipo harzburgitasserpentinizadas en distinto grado y por serpentinitas, las cuales ocupan la mayor parte del territorio y en menor grado por materiales friables producto del intemperismo químico.

Movimientos de masas: Este proceso está vinculado a los movimientos de laderas naturales y taludes condicionados naturalmente o generados por actividades mineras o construcciones civiles (ver foto 2, figura 2.6). Los mecanismos de rotura y las

tipologías de los movimientos de masas desarrollados en las cortezas residuales, están condicionados por las características estructurales del macizo rocoso, aunque en las zonas de desarrollo de cortezas redepositadas, las condiciones geotécnicas de los materiales inciden con más fuerza sobre el tipo de movimiento (Almaguer, 2005). Las propias condiciones naturales de las cortezas lateríticas como alta humedad, granulometría muy fina, altos contenidos de minerales arcillosos, baja permeabilidad, así como la intensa actividad sismo-tectónica en la región y elevados índices pluviométricos, hacen que este fenómeno sea muy común y se convierta en un peligro latente, capaz de generar grandes riesgos no sólo en la actividad minera sino en otros sectores del territorio.

Erosión: Es un proceso, que aunque se produce de forma natural en las potentes cortezas lateríticas, se ha visto incrementado por la actividad antrópica, vinculada a la minería a cielo abierto y a la deforestación. La erosión tiene lugar, sobre todo en las zonas desbrozadas donde los suelos han quedado sin protección alguna, lo cual unido al carácter muy friable de los mismos propicia un rápido acarreo pendiente abajo (ver foto 3, figura 2.6). Apenas llueve con regularidad se observa en el terraplén formas erosivas del microrelieve como las conocidas damas con sombrero, pruebas irrefutables de una fuerte erosión hídrica. Además de esto, se pueden ver grandes cárcavas y surcos abiertos por los procesos erosivos durante el arrastre del material.

Sismicidad: En el municipio Mayarí se encuentran 4 estructuras activas, las cuales son las más significativas desde el punto de vista de peligrosidad sísmica por su cercanía al área del Tránsito, son la Sabana 1, Baconao 1 y la Cauto – Nipe, así como Santiago-Moa, pero con magnitudes menores.

La zona de estudio se caracteriza por eventos de baja energía, que oscilan entre 0,1 y 2,0 de magnitud Richter, por lo que se observan pocos eventos con magnitudes mayores de 2,5. Esto se ha podido ir registrando en un orden ascendente por la alta sensibilidad con que cuenta este nuevo sistema, a partir de 1998. La sismicidad vinculada con magnitudes menores de 1,5 Richter, generalmente se considera como “sismicidad de fondo” en las estimaciones de peligrosidad sísmica, formando parte

de la sismicidad de interior de placas, la cual no produce ningún efecto en el área de estudio. En la Figura 2.5 se puede observar a partir de los 26 últimos años (1979 – 2005) la cantidad de eventos que se registraron en la región.

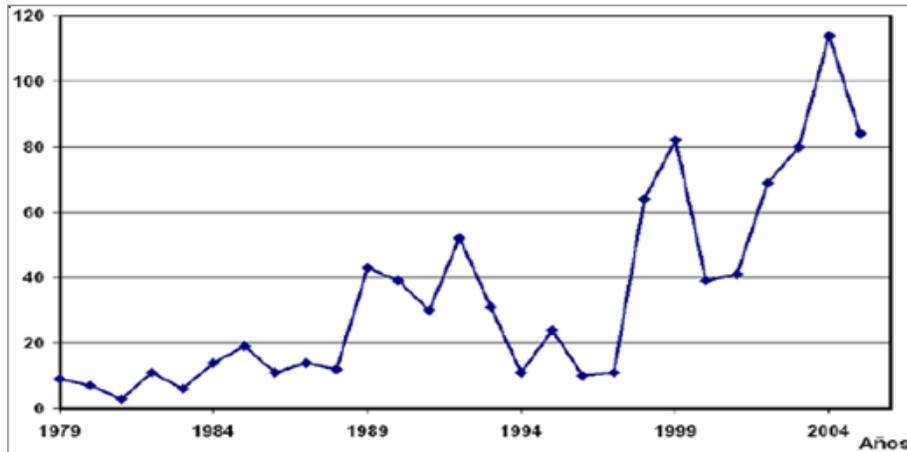


Figura 2.5 Cantidad de terremotos registrados en Cuba Oriental (1979-2005) con magnitudes mayores de 2,5 Richter.

Actividad Antrópica: Los niveles alcanzados en la mecanización del trabajo agrícola, particularmente en la agricultura cañera y en la explotación forestal, influyen directamente en el aumento de las afectaciones por compactación de suelos agrícolas y forestales, así como las condiciones naturales favorecen el desarrollo de procesos erosivos, los cuales tienen diversos grados y formas. En áreas de la cuenca del Río Mayarí se encuentra una de las reservas más importantes de Níquel del país, mineral que lleva más de 60 años de explotación en la zona, aunque la explotación minera comenzó desde 1909, cuando se empezó a extraer el mineral de hierro yacente en el subsuelo de la meseta de Pinares de Mayarí. Hacia la década del cuarenta, el alto contenido de níquel del mineral extraído determinó la construcción en Nicaro de una fábrica para procesarlo. De la mina Caledonia, situada al sur de la Sierra de Nipe también se extrajo cromo. Desde su inicio la explotación minera fue extremadamente agresiva con el medio. La minería se desarrolla en varias etapas que afectan en mayor o menor grado el entorno. Primeramente se desarrollan actividades de destape de las menas lateríticas, eliminando la cobertura vegetal. En esta etapa, y producto a las grandes precipitaciones, se generan arrastres de grandes volúmenes de sedimentos hacia los cauces de los ríos y

arroyos. Luego continúa la actividad extractiva, que genera una cantidad considerable de taludes con pendientes elevadas, relacionados con los frentes de explotación y la construcción de caminos mineros. Además, otro de los elementos negativos es la formación de embalses de aguas en áreas de minas. Como actividad paralela, se realiza la formación de escombreras, con los materiales estériles donde se desarrolla el proceso de reforestación y restauración.

Los suelos sometidos a la explotación minera y a la construcción de obras ingenieriles, túneles, presas, caminos, entre otras, quedan destruidos, su estructura es alterada. La actividad antrópica con frecuencia crea las condiciones que favorecen a la formación de los deslizamientos. El recorte de las laderas, la construcción de taludes abruptos, alteración de la escorrentía superficial y subterránea y muchas otras acciones del hombre son conmensuradas por su propagación, envergadura e importancia con los fenómenos naturales y constituyen condiciones importantes de la alteración del equilibrio de las masas de rocas en las laderas y taludes, que favorecen la formación de deslizamientos (ver foto 3, figura 2.6).



Foto 1. Fenómenos de Meteorización



Foto 2. Deslizamientos



Foto 3. Erosión en Cárcavas



Foto 4. Actividad Antrópica

Figura 2.6 Ejemplos de Fenómenos Geodinámicos en la zona de estudio.

2.10 Condiciones geoambientales regionales.

Los principales impactos ambientales que tienen lugar en el municipio se pueden agrupar en 4 grandes grupos:

1. Los asociados a la actividad agropecuaria
2. Los asociados a la actividad minera.
3. La construcción de viales y asentamientos urbanos.
4. Los incendios espontáneos o provocados.

Como consecuencia de los desbroces totales se destruye la vegetación y la estructura de los suelos, lo cual propicia la aceleración de los procesos erosivos en esta área de alto riesgo de erosión, según sus parámetros morfométricos y el régimen pluviométrico, proceso que se ve reforzado por que existen prácticas agrícolas inapropiadas.

Se identifican en el área los siguientes **impactos negativos**:

Compactación del suelo. La compactación del suelo ocurre necesariamente en el plano de la vida y además en las laderas de pendientes muy fuertes donde se deben construir taludes de contención. Este impacto significa la pérdida inmediata de parte de los ecosistemas localizados, donde ocurre la disminución de la infiltración, porque las áreas compactadas son superficies lisas de rápido escurrimiento superficial. Esto, lógicamente perjudica el bosque adyacente al disminuir los niveles de infiltración.

Procesos de encharcamiento de los suelos. Este impacto tiene lugar en las áreas de los suelos enterrados como consecuencia de los vertimientos. Como el material vertido no posee estructura alguna, durante las precipitaciones, la erosión es muy fuerte, pero en cuanto disminuyen las lluvias, el agua se infiltra con facilidad y se desliza lentamente entre la placa de sedimentos y el suelo enterrado. Como resultado de los suelos enterrados disminuyen aún más su aeración en perjuicio de la actividad microbiana.

Debilitamiento de la estructura geológica local. Este impacto es de particular importancia pues puede derivar en deslizamientos gravitacionales de grandes bloques. Viene dado por el uso de explosivos en los sectores de roca de fuerte constitución como serpentinas y granitoides.

Incremento de la inestabilidad geomorfológica. Impacto muy fuerte originado por los cortes, excavación y vertimiento debido a las fuertes pendientes (35° a 55°), la alta densidad de drenaje, y el régimen de precipitaciones, es por sí una zona de alta inestabilidad geomorfológica, por lo tanto, y como consecuencia de los cortes de los taludes en las áreas minadas, se ha incrementado notablemente la inestabilidad del relieve. Con frecuencia ocurren en la zona deslizamientos desde las laderas superiores, los que son perfectamente visibles en las áreas donde se ha violado la ley de Minas.

Destrucción de las formas naturales y estabilidad del relieve. Este impacto viene dado por las excavaciones y cortes de taludes que se realizan a media ladera en las áreas minadas, y violaciones de la ley de Minas como el minado en laderas, como consecuencia se pierden irreversiblemente el moldeado de la superficie y con él las cañadas establecidas naturalmente, que son la garantía de la red de drenaje local. Este proceso altera además la estabilidad de los procesos geomorfológicos (acarreo, deposición, etc.), deformando la dinámica y funcionamiento del relieve local.

2.11 Vegetación regional. Su importancia en la estabilidad de taludes y laderas.

La vegetación natural actual de la región se encuentra altamente afectada por la actividad antrópica. El resto de las áreas está ocupado por matorrales secundarios y vegetación cultural.

Bosque Tropical Aciculifolio: Pinar con *Pinus cubensis*: En el área de estudio los pinares ocupan las montañas pequeñas desde los 500m de altura en los macizos montañosos Sierra de Nipe – Cristal. Lo está sobre suelo ferrítico púrpura, profundo con grandes áreas convertidas en pastos. La composición florística del pinar tiene como especie dominante: *Pinus cubensis*.

Bosques Tropicales Latifolios: Bosque siempre verde mesófilo de baja altitud: Se ubican principalmente en la zona de premontaña y submontaña sobre suelo pardo sin carbonato, cuya composición florística es la siguiente: Júcaro amarillo, Yagruma macho, Macurije, Achotillo, Copal, Aguacatillo, Yaba, y la Palma Real.

Bosque semidecíduomesófilo: Matorral secundario con bosques y comunidades herbáceas. Estos ocupan parte de las alturas de rocas sedimentarias carbonatadas. Se desarrollan sobre suelos pardos con carbonatos. La composición florística actual en el estrato arbóreo es la siguiente: Ceiba, Ayúa varía, Cuajaní hembra, Caguairán, Majagua.

Matorral Tropical Latifolio: Xeromorfosubespinoso sobre serpentinita (Charrascal): Se encuentra en las premontañas y submontañas formadas por serpentinita hasta una altura de 450 m.s.n.m, sobre suelos fersialíticos pardo rojizo y amarillento, poco profundo y esquelético. La altura máxima alcanzada por el estrato superior es de 7 a 10 m. El estrato arbóreo está compuesto por: Jaragua, Carmín, Rojo de Charrasco, Meloncillo.

Complejo de Vegetación de Mogote: Este tipo de vegetación se encuentra en las alturas de rocas sedimentarias carbonatadas sobre suelos pardos con carbonatos, principalmente en la subcuenca del río Piloto y está formada por matorrales secundarios, bosque semidecíduomesófilo y vegetación de mogote.

Manglar: Ubicado en la llanura fluvio-marina, deltáica sobre suelos hidromórficos, pantanosos y turbosos. La composición florística actual es la siguiente: estrato arbóreo: Mangle rojo, Mangle prieto, Patabán, Yana.

La cubierta vegetal constituye un factor importante para la estabilidad de taludes y laderas, produciendo indudables efectos beneficiosos, sobre todo en lo que se refiere a la protección de la superficie. Las raíces de las plantas producen un aumento de la resistencia al esfuerzo cortante en la zona de suelo que ocupan, de forma que la resistencia de un suelo con raíces puede llegar a ser del orden de dos veces la del mismo suelo sin ellas. Las raíces de ciertas hierbas pueden llegar a alcanzar

profundidades de 0,5 a 0,75 metros, y en algunos casos concretos hasta más de 1,5 metros. En definitiva el efecto de las raíces se puede considerar como el aporte al suelo de una cohesión aparente, de forma que el aumento de la resistencia al corte a que da lugar se traduce en un aumento del coeficiente de seguridad del talud frente a posibles inestabilidades superficiales. No obstante muchos de estos bosques han sido afectados por la actividad antrópica transformándolos para la utilización de los suelos en la agricultura, la ganadería, la minería, construcción de obras hidráulicas y la explotación de los recursos forestales sin tener en cuenta su importancia para la conservación de los suelos y la estabilidad en los taludes.

2.12 Características Ingeniero-Geológicas regionales.

Debido a la intensidad con que se manifiestan los procesos de meteorización en gran parte del municipio Mayarí, en especial en la meseta Pinares de Mayarí (predominando el intemperismo químico), se forma la típica corteza laterítica, a partir de la cual surgen los yacimientos de tipo residual ricos en Ni, Fe y Co. La formación y desarrollo de estas cortezas están condicionadas por:

- ✓ Existencia de un macizo rocoso de composición ultrabásica.
- ✓ Existencia de un clima cálido y húmedo.
- ✓ Presencia de pendientes favorables y que no permiten que el escurrimiento superficial favorezca la erosión y el transporte de los productos de la meteorización.
- ✓ Existencia de sistemas de discontinuidades de diversos orígenes.

Los potentes horizontes lateríticos de las cortezas reflejan la combinación de estos factores en el territorio, con particularidades en sus propiedades geotécnicas, considerándose en ocasiones suelos especiales. Estos suelos presentan particularidades específicas en cuanto a su densidad seca (d), composición granulométrica e índice plástico (I_p). La densidad seca (d) se caracteriza en estos suelos por disminuir con respecto a la profundidad, aumentando a su vez el índice de poros (e); la composición granulométrica manifiesta una variación con la profundidad

similar a la densidad seca, es decir, es gruesa hacia la superficie disminuyendo con la profundidad estableciéndose una relación biunívoca entre la densidad y la composición granulométrica, correspondiendo a los suelos gruesos densidades altas y a los suelos finos densidades más bajas. (Carmenate, 1996).

Por otra parte en la cuenca del Río Mayarí, la parte perteneciente a este municipio presenta cinco tipos de suelos que son: oscuros plásticos, húmicos carbonatados, pardos con y sin carbonatos y ferríticos. Desde el punto de vista físico el comportamiento para los cinco tipos de suelos presentes en la cuenca del río Mayarí es de la siguiente forma (CISAT, 2007):

La densidad real, presenta en este caso valores altos comparados con otros suelos, lo que se explica por el hecho de que en los mismos hay predominio de minerales como la gibsita y hematita muy ricos en Hierro y Aluminio que elevan los valores.

La densidad aparente está afectada por las concreciones de hierro que aparecen en el suelo y aumentan su valor.

La textura, muestra, para el suelo en condiciones naturales, que las diferentes fracciones (arena, limo y arcilla), alcanzan, en la parte superior del perfil (20, 45 y 35 % respectivamente), dando lugar a una textura franco arcillosa. Al aumentar la profundidad en el perfil, la fracción arcillosa puede alcanzar entre 45 y 50%, clasificándose en este caso como arcillosa. En el caso de estas áreas no hay una distribución homogénea en la textura de los suelos producto a que son áreas donde se ha depositado suelo de otra parte para la recuperación de áreas devastadas por la minería, por lo que en éstos casos, los perfiles superiores pueden ser de suelos tomados en las partes profundas de donde se extrajo el suelo y viceversa, lo que implica que en tales circunstancias no hay homogeneidad en los perfiles para ninguna de las características del suelo.

La porosidad de aireación y la compactación son propiedades dinámicas que dependen de los espacios porosos y del contenido de humedad presente en el suelo en el momento que se realice la evaluación, para el caso de los suelos depositado,de

forma general los valores de la porosidad de aireación presentan buenos valores, presentándose una reducción en el caso de las calicatas de suelos naturales.

La humedad es mayor, y en este caso, cercana a la Capacidad de Campo, por lo que hay una disminución de compactación que lógicamente tiene que ver con el contenido de agua presente en el suelo.

En el desarrollo de deslizamientos, ejercen una gran influencia las particularidades de las propiedades físico mecánicas de las rocas que forman las laderas y taludes, en su conjunto o algunas capas, intercalaciones, zonas, paquetes de capas, zonas de fallas tectónicas o que forman el relleno de las grietas y planos de debilidad. Son de suma importancia la resistencia de las rocas a la compresión, al cortante, así como las propiedades que caracterizan su tendencia a reducir la resistencia bajo el efecto de diversos factores con el tiempo. Al respecto es importante tener en cuenta la composición mineral y fábrica de las rocas, su estado físico (humedad, densidad y agrietamiento), susceptibilidad al hinchamiento y a las deformaciones plásticas.

CAPÍTULO III. Volumen de los Trabajos Realizados y Metodología de la Evaluación de Riesgos por Deslizamiento.

Introducción

En el presente capítulo se dan a conocer los trabajos realizados, que corresponden con las etapas de la investigación (búsqueda bibliográfica, análisis de la información, trabajos de campo y trabajos de gabinete). Se explica la metodología utilizada en la evaluación del riesgo por deslizamiento, implementando un S.I.G. que permite la obtención e interpretación de los mapas de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgos por deslizamientos con miras a satisfacer la necesidad de análisis cada vez más cuantitativo, como mapas que permitan el análisis de riesgos más tolerable. Se aplicó para ello, la metodología de estudios de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo (PVR) por deslizamientos.

La investigación en las áreas de peligrosidad se ha desplazado del análisis y evaluación en si de los procesos de estabilidad, hacia el análisis del conocimiento. De esta manera, la evaluación integrada de ambos, riesgo y peligrosidad, se acepta y se espera que cada vez sea más práctica la gestión y reducción de riesgo. Estas perspectivas enfatizan que se debe tener siempre presente el riesgo, y que sus componentes (peligrosidad y vulnerabilidad) son mutuamente condicionantes y están interrelacionadas. Es importante tener en consideración lo anterior, ya que hay eventos o procesos que pueden significar alto riesgo aun cuando su potencial destructivo en un área determinada (peligrosidad) sea muy bajo, si es que existe una alta vulnerabilidad en los elementos expuestos.

Al analizar y cartografiar los deslizamientos en un mapa de un área determinada debe hacerse una distinción cuidadosa entre el mapa de peligrosidad o amenaza y el de riesgo. El propósito del mapa de zonificación de amenazas por deslizamientos es dividir el área de interés en unidades homogéneas en el cual el grado de amenaza es semejante. Por su parte el mapa de riesgo, toman en consideración los elementos de la amenaza y la vulnerabilidad existente. El estudio de la peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo es una ciencia que requiere la consideración de muchas variables. La

metodología empleada por los autores, está en función del problema y no ha querido solamente establecer criterios únicos o estándar que sea aplicable a todo tipo de problemas. La experiencia y juicio profesional son aspectos básicos para estos estudios. La interpretación de los resultados finales será descrita en el próximo capítulo.

3.1 Metodología para el estudio de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo por deslizamientos de terreno.

Para elaborar la metodología de estudios de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo (PVR) por deslizamientos de terreno se han seguido las recomendaciones generales de los “lineamientos metodológicos para estudios de PVR” realizados por la AMA (2007), la “guía de estudios de riesgo” realizado por el EMNDC (2005), así como múltiples trabajos realizados en Cuba y en el exterior sobre esta temática (Castellanos, 2012).

El estudio de PVR por deslizamientos en el terreno contiene 4 fases principales, con varias tareas como se observa en la siguiente (figura 3.1).

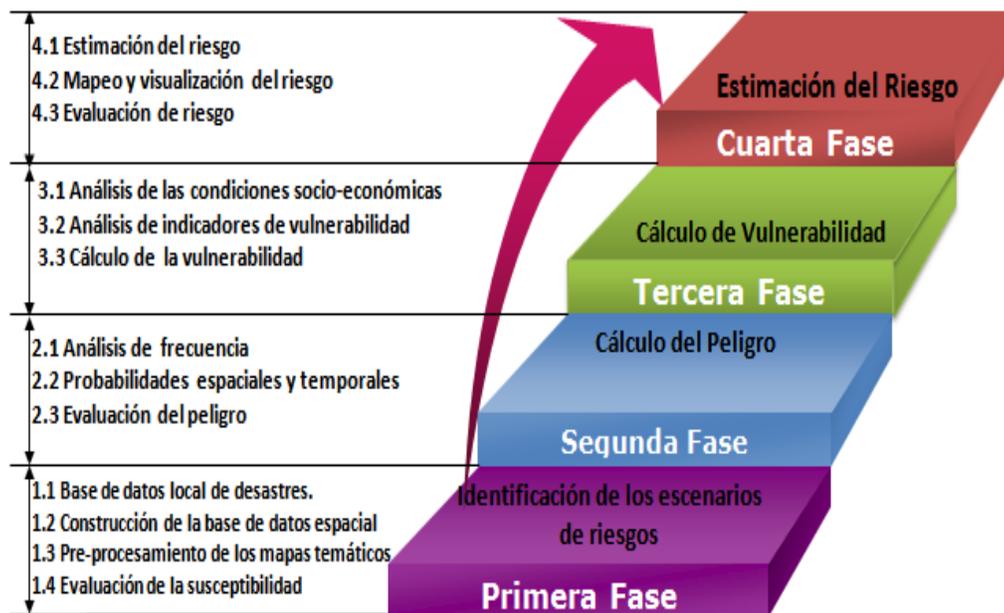


Figura. 3.1 Fases de los estudios de PVR por deslizamientos.

3.1.1 Primera fase: Identificación de los escenarios de susceptibilidad.

1. Realizar la base de datos de desastres en el municipio y la provincia.

Teniendo en cuenta que los deslizamientos de terreno aparecen muchas veces relacionados con otros desastres como intensas lluvias o terremotos, es necesario coleccionar toda la información posible sobre antiguos desastres en el territorio. Hay tres formas principales de realizar esta base de datos:

- a) A partir de materiales históricos.
- b) Por entrevistas.
- c) Empleando fotos aéreas.

2. Construcción de la base de datos espacial

Se debe solicitar los siguientes datos para la realización del estudio de peligro por deslizamientos de terreno:

- ✓ Modelo digital del terreno (MDT) 1:25,000 (ráster)
- ✓ Mapa de la red fluvial (línea)
- ✓ Mapa geológico 1:100,000 o más detallado (polígono)
- ✓ Mapa de falla o alineamientos tectónicos (línea)
- ✓ Mapa de la red vial 1:25,000 (línea)
- ✓ Mapa de suelos 1:100,000 o más detallado (polígono)
- ✓ Mapa de uso de la tierra 1:50,000 o más detallado (polígono)
- ✓ Mapa de intensidad de la lluvia (ráster)
- ✓ Mapa de aceleración de amenaza sísmica (ráster)

3. Pre-procesamiento de los mapas temáticos

Empleando el MDT se deben generar los siguientes mapas geomorfométricos:

- ✓ Ángulo de la pendiente
- ✓ Orientación de la pendiente

- ✓ Relieve interno (o disección vertical)

4. Evaluación de la susceptibilidad

La evaluación de la susceptibilidad se realizará en dos variantes (A o B) dependiendo de la existencia o no del inventario de deslizamientos de terreno.

- a) Evaluación de susceptibilidad variante A (Utilizada en la investigación).

La variante A se basa en la selección de un conjunto de indicadores de peligro que son evaluados por asignación de pesos. Esta variante se emplea desde hace muchos años cuando la información sobre eventos conocidos es limitada o cuando solo se requiere conocer de manera general las áreas más susceptibles. La particularidad de este caso es que se realizará empleando evaluación espacial multi-criterio. La ecuación general que se emplea es:

Peligro = Factores de susceptibilidad * Factores disparadores

- b) Evaluación de susceptibilidad variante B.

La variante B se realizará para aquellos territorios donde el inventario por deslizamientos de terreno sea suficiente para aplicar un método de probabilidad espacial empleando estadística bi-variada. En este caso se empleará el método de evidencia pesada (weight of evidence). El método se basa en calcular un valor de peso basado en probabilidades espaciales a cada clase de cada mapa según la evidencia que se tenga de los deslizamientos que se han generado en esa clase.

3.1.2 Segunda fase: Cálculo del Peligro

En el caso de los deslizamientos de terreno el cálculo del peligro es muy similar al de susceptibilidad, con la diferencia que se agregan los factores disparadores que en este caso serán las lluvias, teniendo en cuenta que la información en el municipio sobre la sismicidad era escasa y el autor no consideró necesario este factor disparador ya que las lluvias son de mayor impacto para el desarrollo de los deslizamientos en la zona.

1. Análisis de frecuencia

El paso inicial es el análisis de frecuencia basado en el inventario de los deslizamientos o, en su defecto, en los factores disparadores. En caso de tener inventario con fecha de ocurrencia, lo cual es muy escaso en Cuba, se realizará un análisis estadístico de frecuencia empleando la relación magnitud/frecuencia por tipo de deslizamiento. Estos datos se emplearán posteriormente en la evaluación del peligro.

De no tener datos históricos suficientes, lo cual será el caso en la mayoría de la provincias, se emplearán los periodos de retorno de los factores disparadores. Para esto ya se cuentan con los mapas de máxima intensidad de lluvias (generado por ISMET) y de máxima aceleración de las ondas sísmicas (generado por CENAIS) con un periodo de retorno de 100 años. Ambos mapas cubren todo el territorio nacional. Empleando estos mapas se asume una relación entre las áreas susceptibles y los factores disparadores y que el resultado final será para un periodo de retorno de 100 años.

2. Probabilidades espaciales y temporales

Las probabilidades espaciales y temporales solo pueden ser estimadas para cuando se evaluó la susceptibilidad por la variante B. O sea cuando se tiene un inventario de deslizamientos de terreno que permita la estimación espacial. Adicionalmente para estimar las probabilidades temporales se requiere que el inventario tenga fecha de ocurrencia de cada deslizamiento.

3. Evaluación del peligro

La estimación del peligro se realizará dependiendo del tipo de mapa de susceptibilidad que se generó variante A (sin inventario) y variante B (con inventario).

a) Evaluación del peligro variante A

Al modelo de evaluación multi-criterio de susceptibilidad se adicionará el mapa de máxima intensidad de lluvia en 24 horas para un periodo de retorno de 100 años y el mapa de máxima aceleración sísmica pico para un periodo de retorno de 100 años.

La realización del mapa de peligro para esta variante puede hacerse desde un inicio cuando se hace el mapa de susceptibilidad o pueden agregarse posteriormente los factores disparadores estandarizando el mapa de susceptibilidad obtenido y agregándole los factores disparadores. Al igual que en el caso del mapa de susceptibilidad el mapa de peligro tendrá valores entre 0 y 1. Para obtener un mapa de peligro en clases este debe dividirse en clases alta, media y baja empleando como umbrales 0.33 y 0.66 al igual que con el mapa de susceptibilidad.

b) Evaluación del peligro variante B.

La evaluación del peligro cuando se tiene el inventario de deslizamiento se realizará empleando el mapa de susceptibilidad por clases obtenido y los factores disparadores de lluvia y sismos.

3.1.3 Tercera fase: Cálculo de Vulnerabilidad

Una vez realizada la estimación de susceptibilidad y peligro por deslizamiento de terreno se pasará a la estimación de la vulnerabilidad.

1. Análisis de condiciones socio-económicas: deben considerarse los factores naturales, los factores humanos y la relación de ambos factores en la generación de deslizamientos de terreno.
2. Análisis de indicadores de vulnerabilidad. A continuación se relacionan los tipos de vulnerabilidad con el peso que se le asigna a cada una de ellas al realizar el cálculo.

- a) Vulnerabilidad social (peso 0.46)
 - ✓ La población (0.61)
 - ✓ Percepción (0.28)
 - ✓ Barrios insalubres (0.11)
- b) Vulnerabilidad física (0.26): incluye las edificaciones, instalaciones esenciales, sistema de transportación, líneas vitales e instalaciones de productos peligrosos
- c) Vulnerabilidad económica (0.16): implica la valoración monetaria de la producción o los servicios de los elementos en riesgo.
- d) Vulnerabilidad ecológica (0.09): se refiere a los daños que puedan ocasionar los deslizamientos de terreno a la ecología. En este caso se medirán tres indicadores: las zonas ecológicamente sensibles, la degradación de las microcuencas y las áreas protegidas.
- e) Vulnerabilidad por capacidad de respuesta (0.04)

3. Cálculo de la vulnerabilidad total

Una vez calculados todos los indicadores en todos los niveles se procede a calcular la vulnerabilidad total para el territorio. La vulnerabilidad total por deslizamientos de terreno queda definida por la contribución de varias vulnerabilidades siguiendo la estructura jerárquica y se calcula como aparece en la siguiente ecuación:

$$Vul_t = 0.46 \cdot Vul_{soc} + 0.26 \cdot Vul_{fis} + 0.16 \cdot Vul_{ecn} + 0.09 \cdot Vul_{eco} + 0.04 \cdot Vul_{cap}$$

3.1.4 Cuarta fase: Estimación del riesgo

La estimación del riesgo de manera cualitativa dependerá del método que se usó para calcular la susceptibilidad y el peligro (Variante A). Además dependerá si la vulnerabilidad se analizó por clase de peligro (alto, medio y bajo) o para todas las zonas de peligros por consejo popular. La ecuación general del riesgo por deslizamientos de terreno es:

$$R = P \cdot V \cdot Costo$$

Como en este estudio aún no se cuenta con el costo de los elementos en riesgo, esa parte de la ecuación se elimina y solo quedan los componentes de peligro (P) y vulnerabilidad (V). En cualquiera de las dos variantes por las que se calculó el peligro (variante A (sin inventario) o variante B (con inventario)), el valor de peligro será un número entre 0 y 1.

1. Cartografía y visualización del riesgo

La ausencia de estándares internacionales y nacionales para el mapeo de riesgo en general y para el mapeo de riesgo por deslizamientos de terreno, en particular, frecuentemente resulta en la generación de mapas que pueden confundir a las autoridades o a los planificadores. Esto es importante ya que a partir del mapa de riesgo las autoridades deben realizar el plan de reducción de desastres del municipio y tomar acciones concretas encaminadas a reducir el riesgo.

Por esto, la confección del mapa y la visualización del riesgo son consideradas como elementos importantes. Aunque aún en Cuba no existen estándares se presentan algunas de las formas más adecuadas para representar el riesgo.

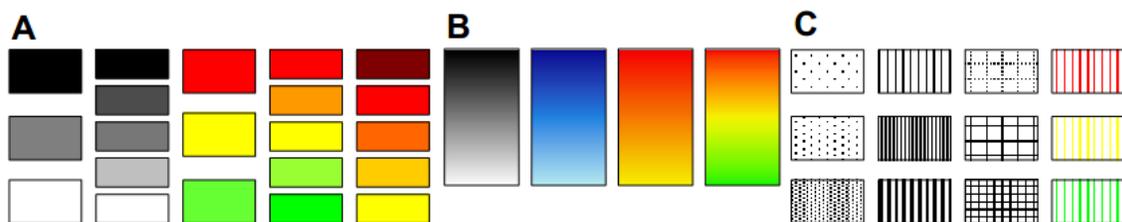


Figura 3.2 Diferentes formas de representar el riesgo. A. Clases en tonos de grises o en colores. B. Rampas de colores. C. Patrones o tramados con o sin colores.

2. Evaluación del riesgo

Una vez concluido el mapa de riesgo y aprovechando las ventajas de los sistemas de información geográfica se debe realizar una evaluación del riesgo en los diferentes consejos populares a nivel de municipio y a nivel de provincia. Se deben tabular y

graficar los valores de riesgo de los consejos populares para analizar aquellos consejos que tienen mayor riesgo por deslizamientos de terreno.

3.2 Volumen de los trabajos Realizados.

Con el objetivo de realizar la evaluación de los riesgos por deslizamientos en el municipio, se realizaron búsquedas bibliográficas, trabajos de campo y gabinete.

3.2.1 Etapas de trabajo.

1. Búsqueda bibliográfica:

La primera etapa de trabajo fue la búsqueda bibliográfica, con el fin de obtener la base de datos de desastres, la cartográfica y toda la información necesaria para realizar la identificación de los escenarios de susceptibilidad.

Una vez determinada el área de estudio de la investigación se ejecutó la búsqueda, selección y revisión bibliográfica. Para realizar la revisión bibliográfica referente al tema y a la cartografía existente, se consultó en el centro de información del I.S.M.M. los artículos científicos, trabajos de diplomas, tesis de maestrías y doctorales, revistas, libros y otros documentos relacionados con la temática abordada en la investigación. Además, se consultaron los trabajos que precedieron a esta investigación, la búsqueda en sitios web especializados, lo que contribuyó al enriquecimiento de la información con datos actualizados y confiables.

El autor visitó las Instituciones Gubernamentales del Municipio como: Planificación Física, Poder Popular, Delegación de la Agricultura, Geocuba, Empresa de Construcciones Militares y Recursos Hidráulicos, fuera del municipio también se visitaron instituciones como la dirección provincial del CITMA , el Fondo Geológico del Departamento de Geología del I.S.M.M en Moa y otros. Donde se obtuvo la información necesaria para la investigación la que incluye las características físico-geográficas y geológicas del área de estudio, expuestas en el capítulo II de la investigación, las bases cartográficas (tabla 3.1) y la base de datos histórica de deslizamientos de la provincia Holguín.

Tabla 3.1 Bases cartográficas obtenidas en la búsqueda de información.

Mapas	Fuente información	Escala	Información del Área de estudio
M.D.T	Centro de Riesgo, Mayarí.	1:25000	Ángulo de la pendiente, Dirección de laderas, Altitudes.
Municipio	Centro de Riesgo, Mayarí.	1:25000	Límite del área y Consejos Populares.
Geológico	I.G.P	1:100 000	Formaciones geológicas
Topográfico	CITMA	1:25000	Red fluvial (ríos y arroyos) y carreteras y caminos
Tectónico	Centro de Riesgo, Mayarí.	1:25000	Fallas
Pluviométrico	INRI	1:25000	Precipitación media anual

Análisis de la información:

Con el objetivo de identificar aquellas zonas que puedan presentar movimientos de masas, el autor realizó el pre-procesamiento de los mapas temáticos y se apoyó en la observación e interpretación del Modelo Digital del Terreno (M.D.T.) a partir del cual se obtuvieron los mapas de dirección de pendiente, ángulo de pendiente y relieve interno. Además, se ejecutó un análisis de los mapas topográficos del Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (I.C.G.C.) de 1985 a escala 1: 25 000, y fotos aéreas obtenidas del Google Earth.

Para la interpretación cartográfica y fotogeológica se asumieron los siguientes criterios de reconocimiento:

Interpretación cartográfica:

1. La presencia de escarpes (líneas de nivel muy cercanas), cambios en la dirección y la presencia de esquemas no - simétricos de estas depresiones.
2. Formas topográficas onduladas en forma de concha, semicirculares donde la longitud y el ancho varían según el mecanismo de desplazamiento de la roca.

3. Líneas discontinuas o cambios de dirección brusca de vías, de canales o cuerpos de agua.
4. Presencia de (Bosques borrachos).

Interpretación fotogeológica:

1. Laderas de altas pendientes con depósitos extensos de suelos y rocas en los pies de las mismas.
2. Presencia de líneas nítidas relacionadas con escarpes.
3. Superficies onduladas formadas por el deslizamiento de las masas de suelo desde los escarpes.
4. Depresiones alargadas.
5. Acumulación de detritos en canales de drenajes y valles.
6. Presencia de tonos claros donde la vegetación y el drenaje no han sido restablecidos.
7. Cambios bruscos de tonos claros a oscuros (tonos oscuros indican zonas húmedas).
8. Cambios bruscos de la vegetación, indicando variaciones en una unidad de terreno.

Como resultado del análisis de la información, se seleccionaron las áreas con probabilidad de ocurrencia de deslizamientos. Además, se planificaron los trabajos de campo, para corroborar la información obtenida durante este periodo.

2. Trabajos de campo.

Los trabajos de campo se realizaron después de tener identificados los principales escenarios de susceptibilidad a partir del análisis de toda la información obtenida. Para ello se realizaron marchas de reconocimiento en el municipio con el objetivo de corroborar las ubicaciones de los deslizamientos y determinar las características de los mismos. Para facilitar la documentación de los movimientos de masas durante los trabajos de campo, se utilizó la planilla de inventario de deslizamientos de terreno

para la República de Cuba, en la cual se incluye: 1. Localización, 2. Clasificación, 3. Daños ocasionados y 4. Otros datos de interés. En esta etapa se realizó también la base de datos de elementos en riesgos para el cálculo de la vulnerabilidad, para ello se utilizaron las planillas y las encuestas para los diferentes tipos de vulnerabilidades.

3. Trabajos de gabinete:

En esta etapa se implementó el S.I.G., para dar cumplimiento a la metodología propuesta para la evaluación del riesgo por deslizamiento, luego se interpretaron los resultados obtenidos, lo que dio paso a la confección de un plan de medidas para la gestión del riesgo por la influencia de estos fenómenos, lo cual será una herramienta para la toma de decisiones por los directivos de la Defensa Civil y el Gobierno.

3.3 Metodología de Evaluación de Riesgos por Deslizamiento.

Para la evaluación de los riesgos por deslizamientos se utilizaron diferentes métodos y herramientas como los S.I.G. los cuales permiten analizar e interpretar la información cartográfica obtenida del terreno.

3.3.1. Implementación del Sistema de Información Geográfica (S.I.G.).

Estructura del proyecto: El Sistema de Información Geográfica (S.I.G) utilizado en la presente investigación es el MapInfo con potencialidades semejantes a las de ArcView, que admite la visualización de datos geográficos, análisis y la impresión de mapas. Toda la información se localiza en un proyecto, el cual está formado por diferentes documentos como vistas, tablas, diagramas o gráficos, y presentaciones. La información integrada en el proyecto se almacena en un archivo con extensión *.tab.

Vistas (VIEW): En el View se integran los diferentes temas o mapas, y en esencia es una superposición de todos los temas que conforman el proyecto (Figura 3.3).

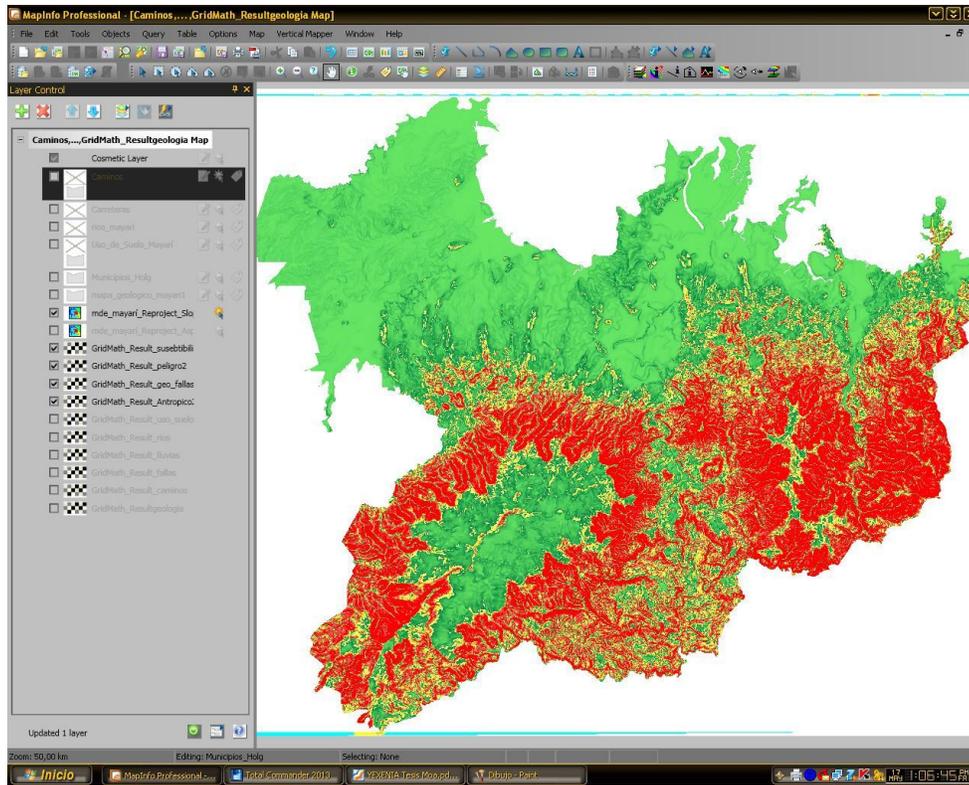


Figura 3.3 Visualización del VIEW de los mapas temáticos.

Tablas (TABLE): Las tablas se encuentran asociadas a cada tema y contienen información descriptiva o atributos del mismo. Están formadas por columnas y filas o registros que representan características individuales de cada rasgo y por columnas o campos que definen las características de todos los elementos (Figura 3.4).

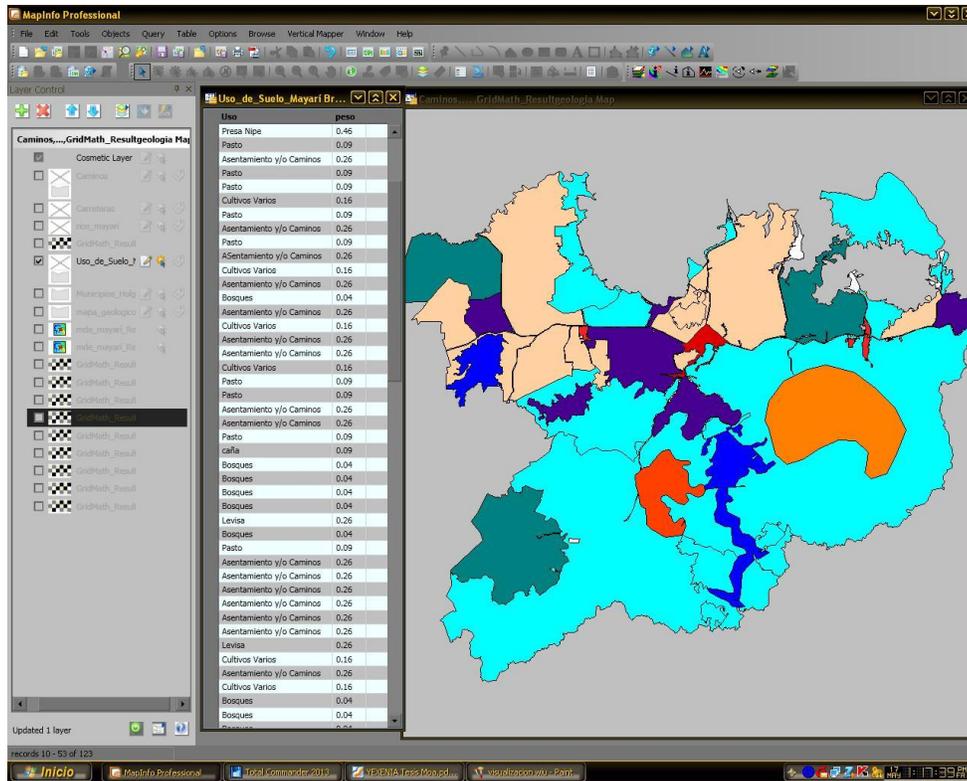


Figura 3.4 Visualización de la tabla de atributos de los mapas temáticos utilizados.

Diagramas y gráficos: Se han utilizado los diagramas para las representaciones gráficas de los datos tabulares y constituyen una forma de visualizar información de atributos, mediante la construcción de diagramas de barras para la caracterización de los mapas temáticos.

3.3.2 Descripción de los factores utilizados en el Análisis de Peligrosidad.

El conjunto de factores de peligro se evalúa por asignación de pesos, dado que solo se requiere conocer de manera general las áreas más susceptibles. Similares trabajos se han realizado en otros países por Varnes y IAEG, 1984; Carrara et al., 1991; Mora y Vahrson, 1993. La particularidad de este caso es que se realizará empleando los métodos heurísticos. La ecuación general que se emplea es:

$$\text{Peligro} = \text{Factores de susceptibilidad} * \text{Factores disparadores}$$

Los factores de susceptibilidad son aquellos que forman parte de las propiedades y comportamiento del medio (ej. Geología, Geomorfometría, etc.). Ellos hacen que la ladera pase de estable a marginalmente estable. Los factores disparadores son aquellos que inducen el movimiento por hacer pasar la ladera de semi-estable a inestable, en este estudio se consideraran solo las lluvias (tabla 3.2). Los factores están relacionados entre sí y cada uno de ellos influye directamente en la formación de deslizamientos, (figura 3.4).

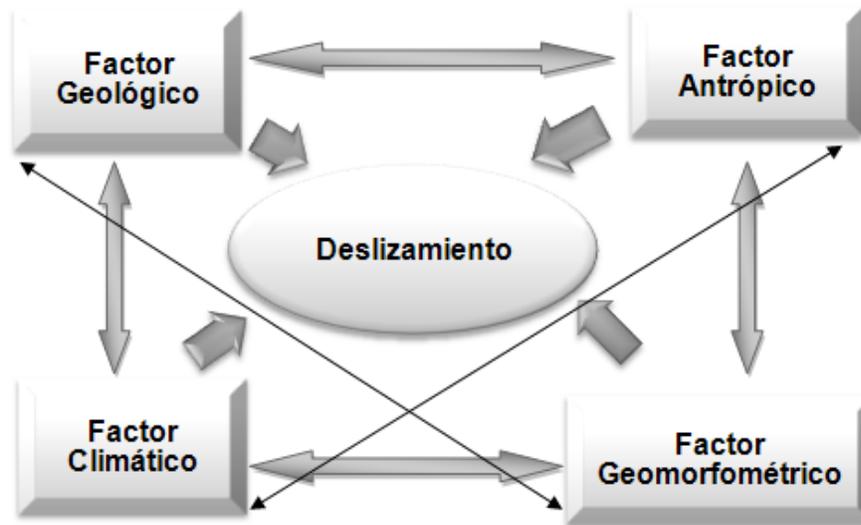


Figura 3.4 Modelo para la valoración de la peligrosidad por deslizamientos.

La utilización combinada de los factores de susceptibilidad y disparadores generan un mapa, que indica cuáles son los lugares con mayor probabilidad de desarrollo de deslizamientos, a cada uno se le asigna un valor o peso, por su influencia de favorecer o reducir la posibilidad de rotura de los taludes y laderas.

Para realizar la evaluación espacial multi-criterio se emplearán los niveles y pesos que aparecen en la Tabla 3.2. Los factores utilizados en el análisis son:

1. Geológicos
2. Geomorfométricos
3. Antrópicos
4. Climáticos

Tabla 3.2 Tabla de criterios e indicadores para el análisis de peligrosidad por deslizamientos de terreno.

Criterio	Indicador	Peso	Estandarización
Geología	Unidades geológicas	0.9	5 clases de peligrosidad
	Distancia a las fallas	0.1	5 cuántiles
Geomorfometría	Ángulo de pendiente	0.6	5 cuántiles
	Relieve interno	0.2	5 cuántiles
	Distancia a la red fluvial	0.1	5 cuántiles
	Orientación de la pendiente	0.1	9 clases por orientación
Antrópico	Uso de suelo	0.5	5 clases de peligrosidad
	Distancia a la red vial	0.5	5 cuántiles
Climáticos	Precipitación media anual	1.0	5 cuántiles

Factor Geológico:

Grupos litológicos: En el análisis litológico, se tuvo en consideración la clasificación propuesta por Mora y Vahrson en 1993, teniendo en cuenta las características geológicas, geotécnicas y peso (tabla 3.3), El área se clasificó en seis grupos litológicos: sedimentos costeros, sedimentos de ríos, carbonatada terrígena, vulcanógena sedimentaria, gabros del complejo ofiolítico, peridotitas y harzburgitas del complejo ofiolítico (**Anexo 2**).

Tabla 3.3 Clasificación de los grupos litológicos (modificado de Mora y Vahrson, 1993).

Grupos litológicos	Características geológicas	Características geotécnicas
Sedimentos Costeros	Sedimentos marinos friables: arenas calcáreas con restos de conchas. Muy permeables.	Suelos arenosos calcáreos friables no cohesivos, con granulometría homogénea ninguna meteorización, deformables y resistencia al corte elevado.
Sedimentos de Ríos	Sedimentos aluviales friables de granulometría variable heterogéneas, muy permeables	Suelos areno- gravosos de granos grandes, medianos y finos; granulometría heterogénea, friables, densidad entre 1.67-1.87g/cm ³ y con media resistencia al cortante.
Carbonatada Terrígena	Rocas sedimentarias sin o con muy poca alteración, estratificación maciza (decimétrica o métrica), poco fisuradas, nivel freático bajo. Rocas intrusivas, calizas duras. Aluviones con compactaciones leves, con proporciones considerables de finos, drenaje moderado, nivel freático a profundidades intermedias.	Resistencia al corte mediana, fracturas cizallables.
Vulcanógena Sedimentaria	Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, tobas e ignimbritas, tobas poco consolidadas, drenaje poco desarrollado, niveles freáticos relativamente altos.	Resistencia al corte moderado a media, fracturación importante.
Gabros del Complejo Ofiolítico	Rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente y con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros.	Resistencia al corte de moderada a baja, con la presencia frecuente a arcillas.
Peridotitas y Harzburgitas del Complejo Ofiolítico	Muy susceptibles a la meteorización (amplio desarrollo de cortezas de intemperismo). Zonas trituradas e intensamente fracturadas con presencia de espejos de fricción y foliación secundaria. Se comportan como rocas acuíferas.	Resistencia al corte baja, materiales blandos con muchos granos finos.

Distancia a las fallas

El análisis de distancia a las fallas fue realizado por la interpretación del mapa tectónico del municipio Mayarí (**Anexo 3**). La información se obtuvo a partir del análisis, del Modelo Digital del Terreno (M.D.T.) del área en estudio a escala 1:25 000 y la interpretación de fotos aéreas, donde se tuvo en cuenta los criterios de identificación de fallas, como son la alineación de estructuras geológicas y ríos, presencia de escarpes de falla, cambio brusco de litología, entre otras. Como resultado se obtuvo un buffer de distancia a fallas, con un espaciamiento de 100 metros, el mapa fue dividido en 5 intervalos (100, 200, 300, 400 y 500 m), (**Anexo 4**). Con el objetivo de representar la influencia de las fallas en el medio.

Factor Geomorfométrico:

Ángulo de la pendiente.

Para analizar este factor se utilizó la pendiente del terreno. El mapa se realizó a partir del (M.D.T.) del municipio a escala 1: 25 000. Los intervalos de pendiente seleccionados, se tomaron según Kamp et al. (2008). De esta forma se presenta un mapa clasificado en cinco intervalos 0° - 15° , 15° - 25° , 25° - 35° , 35° - 45° y $>45^{\circ}$ (**Anexo 5**).

Distancia a la red fluvial.

Para analizar este factor se utilizó la red fluvial, en la que se representan los principales ríos del área estudiada, así como sus afluentes secundarios. Según el mapa, la red fluvial es muy densa, hacia el norte y sur, estas son de tipo dendrítica y los ríos principales corren siguiendo las principales direcciones de las fallas, teniendo como principal cuenca la del Río Mayarí. La información se obtuvo mediante la interpretación de cartas topográficas del Instituto Cubano de Geología y Cartografía (I.C.G.C.) a escala 1: 25 000 y a partir de la correlación con el M.D.T. a escala 1:25 000 (**Anexo 6**). Se realizó un análisis de la influencia de la distancia a los ríos y arroyos en la ocurrencia de deslizamientos. Para ello, se confeccionó un buffer de la

red fluvial con una distancia de 100 metros y fue dividido en 5 intervalos (100, 200, 300, 400 y 500 m), (**Anexo 7**).

Orientación de la pendiente.

Para analizar este factor se utilizó la dirección de laderas. El mapa se realizó a partir del M.D.T a escala 1:25 000. El mapa se divide en 9 clases para cada dirección y la clase 1 para los pixeles planos. (**Anexo 8**).

Factor Antrópico:

Uso de suelos

El factor de uso de suelos se trabajó a partir de fotos cósmicas y fue enriquecido con bases cartográficas digitales del municipio Mayarí (**Anexo 9**). La información procesada referente al uso de suelo está dividida en 15 clases, estas son: asentamiento poblacional, café, cultivos varios, embalses, pastos naturales, minas, empresas, depósitos de cola, aeropuerto, puerto, campismo, carreteras, ferrocarril, vegetación y parque nacional La Mensura.

Distancia a la red vial.

El mapa de red vial se obtuvo a partir del mapa ofrecido por la Defensa Civil del municipio. El mismo brinda la información de las carreteras principales y secundarias, así como los caminos del municipio (**Anexo 10**). Este factor se utilizó mediante el análisis de la distancia de la red vial a la ocurrencia de deslizamientos. Como resultado se obtuvo un buffer a las carreteras y caminos con un espaciamiento de 100 metros, el mapa fue dividido en 5 intervalos (100, 200, 300, 400 y 500 m), (**Anexo 11**).

Factor climático:

Máxima intensidad de lluvia en 24 horas para un periodo de retorno de 100 años:

En este factor se consideró el periodo de ocurrencia de las lluvias medias anuales. El mapa se confeccionó a partir de la base de datos brindada por el Instituto Nacional

de Recursos Hidráulicos (I.N.R.H.) de Máxima intensidad de lluvia en 24 horas para un periodo de retorno de 100 años (**Anexo 12**). Este factor es de gran importancia para el análisis de Riesgo por deslizamientos debido a la influencia que ejerce sobre el macizo, al aumentar la presión de poros del mismo y provocar los deslizamientos.

3.3.3 Valoración de los mapas de factores.

Con el análisis de la información obtenida de los trabajos precedentes, la interpretación de cartas topográficas, fotos aéreas y reconocimiento de campo, se demostró que en el área de estudio los deslizamientos están distribuidos mayoritariamente en zonas montañosas de altas pendientes, áreas mineras y donde las lluvias son intensas, esto hizo al autor realizar un estudio cualitativo basado en los indicadores de peligro utilizando criterio de expertos y no un estudio probabilístico condicional. De esta forma se trabajó sobre una escala probabilística de 0 a 1, donde el cero representa inexistencia de peligrosidad y vulnerabilidad nula, y el 1, condiciones extremas de inestabilidad o pérdida total de los elementos en riesgo.

Una vez valoradas todas clases de los indicadores analizados, se procedió a la conversión en formato ráster con tamaño de celda de 25x25 m, y la posterior reclasificación de cada mapa temático (figura 3.6). De esta forma se determinaron las clases de peligrosidad de cada factor para la obtención del mapa final de peligrosidad frente a deslizamientos.

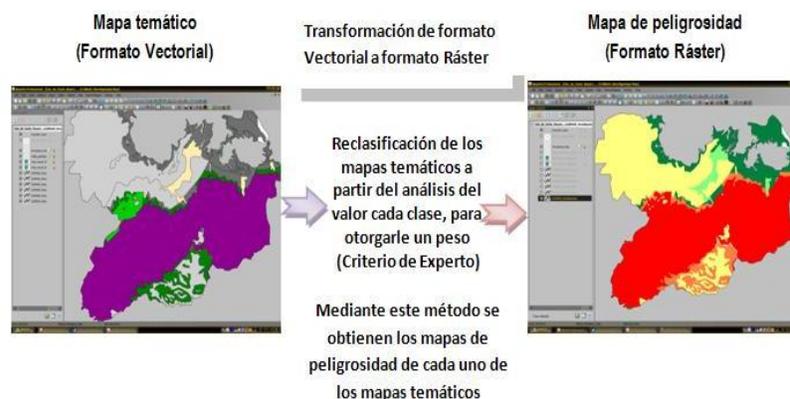


Figura 3.6 Proceso de rasterización y reclasificación para la obtención de mapas de peligrosidad de factores.

3.3.4 Análisis de las condiciones de vulnerabilidad.

Mapa de elementos en riesgo:

El mapa de elementos en riesgos se confeccionó teniendo en cuenta los indicadores de vulnerabilidad (social, física, económica y ecológica), (**Anexo 13**). Dentro de estos indicadores se encontraban fundamentalmente: asentamientos poblacionales, carreteras, empresas, presas de colas, embalses, minas, cultivos, áreas protegidas y vegetación natural.

3.3.5 Análisis de riesgos por deslizamiento.

Como se explicó anteriormente, el riesgo no es más que el grado de pérdida esperado debido a un fenómeno natural y se expresa como el producto del peligro por la vulnerabilidad ($P * V$). Mediante la utilización del S.I.G. se combinaron los indicadores de peligrosidad y vulnerabilidad con el objetivo de generar un mapa en el que quede representado el riesgo por deslizamientos. Todo el procedimiento metodológico empleado en la investigación para la obtención final “Mapa de Riesgos por Deslizamiento del municipio Mayarí” queda reflejado en la (figura 3.5).

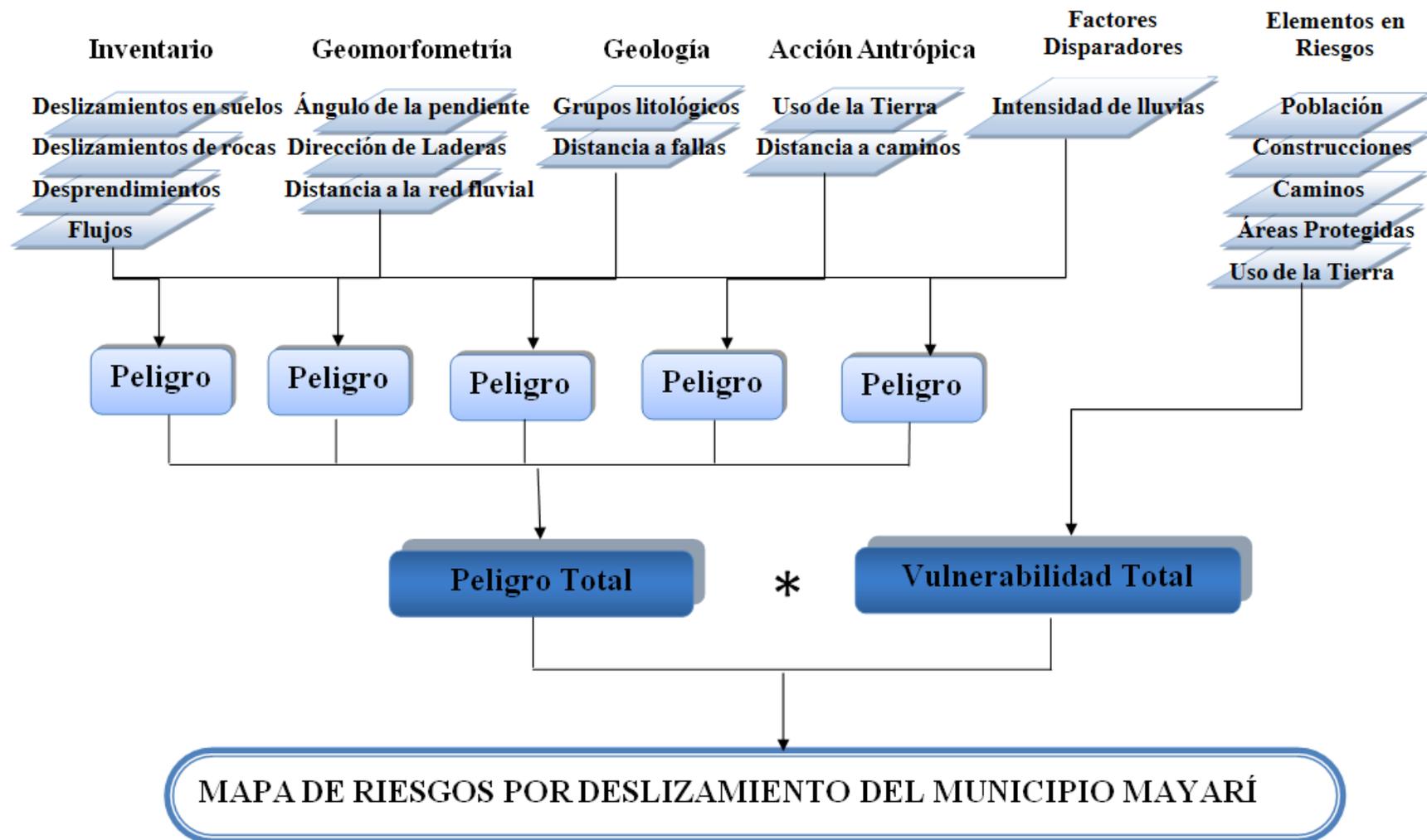


Figura 3.7 Metodología de Evaluación de Riesgos por Deslizamiento en el municipio Mayarí.

CAPÍTULO IV. Evaluación de los Riesgos por deslizamiento en el Municipio Mayarí.

Introducción

En el presente capítulo se presentan resultados obtenidos en la aplicación de la metodología propuesta en el capítulo anterior. Se brinda la descripción del proceso de inventario de los deslizamientos y la cartografía obtenida del mapa de riesgo por deslizamiento para el municipio Mayarí, con la utilización de un Sistema de Información Geográfica. Por último se propone un plan de medidas para la mitigación y gestión del riesgo a nivel de municipio que debe implementarse para disminuir las vulnerabilidades existentes.

El mapa de peligro de deslizamiento (Figura.4.1), muestra los lugares del territorio cubano donde existen más posibilidades de ocurrencia de estos fenómenos, entre los que se encuentran el municipio Mayarí.



Fig. 4.1. Mapa del peligro de derrumbes, deslizamientos y fenómenos asociados. Según Castellanos y Van Westen, 2009, con permiso de los autores. En color rojo las áreas de mayor peligro, en color amarillo la de menor peligrosidad.

4.1 Características de los Deslizamientos del Municipio Mayarí.

Para determinar las particularidades de los movimientos de masas, el autor se basó en las etapas de análisis de la información y trabajos de campo, se consultaron

también personas expertas en la temática para ampliar más la información y obtener variedad de criterios. Se ubicaron 92 deslizamientos en taludes y laderas, representados en el mapa de inventario (figura 4.2). De acuerdo al tamaño del municipio Mayarí (1,310.6 km²) y la escala del trabajo (1: 25000), se decidió hacer una caracterización general de estos fenómenos.

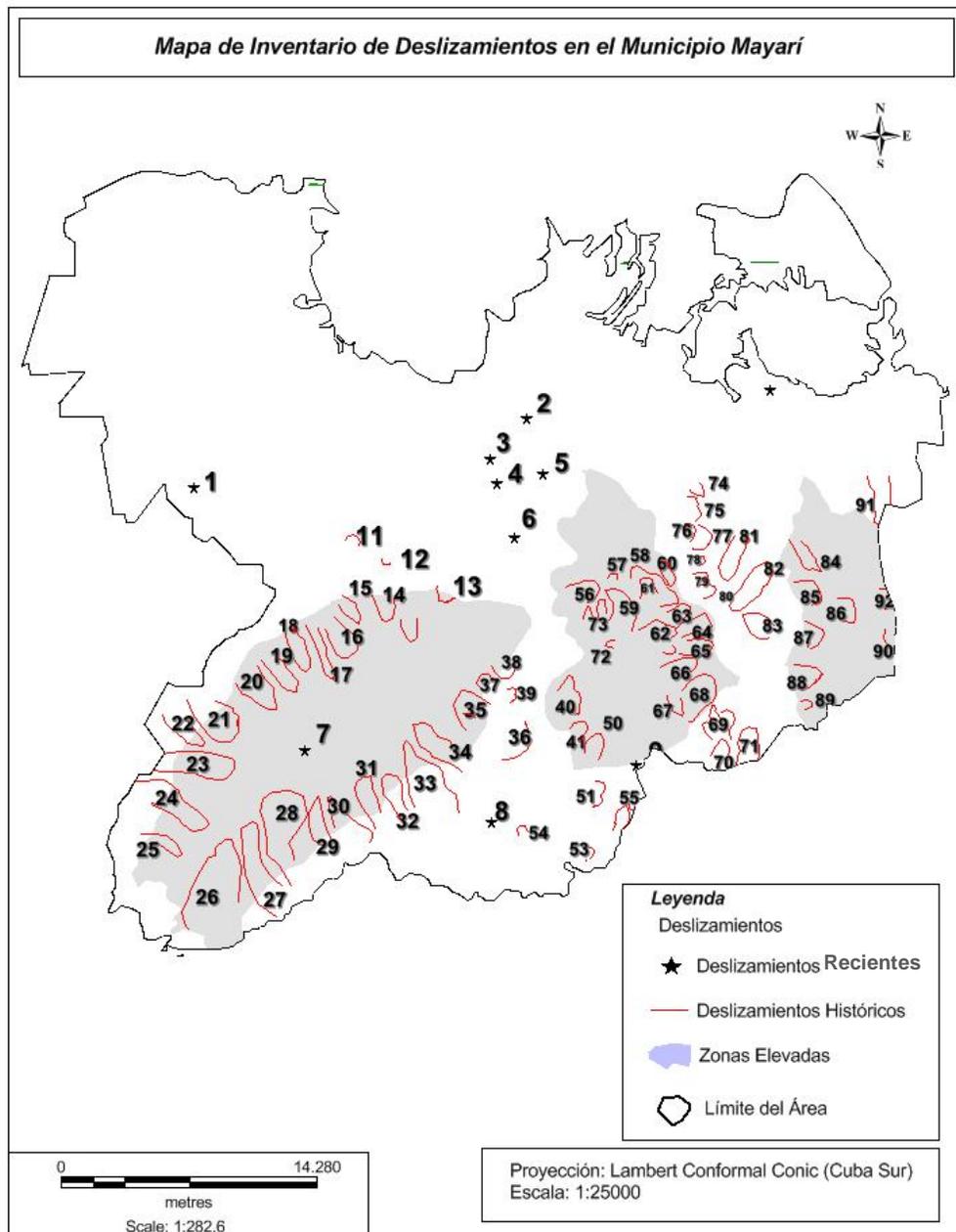


Figura 4.2 Mapa de inventario de deslizamientos del municipio Mayarí.

4.1.1 Descripción de los movimientos y las tipologías.

Los movimientos de masas en laderas y taludes son fenómenos asociados al mecanismo de rotura y al tipo de desplazamiento de los volúmenes de materiales o de sus partes móviles unidas entre sí, que componen el cuerpo del deslizamiento. El conocimiento del mecanismo de rotura, permite entender la física del proceso y elegir las medidas ingenieriles que permitan debilitar los esfuerzos de dislocación y aumentar la resistencia al corte en taludes y laderas.

Para realizar la descripción de los movimientos y las definiciones de los distintos mecanismos y tipologías, se ha tomado como base los trabajos y las clasificaciones propuestas por Varnes (1978), Lomtadze (1977), y Cruden y Varnes (1996). A continuación se muestra la caracterización ingeniero-geológica de las tipologías y mecanismos de los deslizamientos que tienen lugar en el municipio Mayarí (tabla 4.1).

Tabla 4.1 Caracterización ingeniero geológica de la tipología y los mecanismos de los deslizamientos que tienen lugar en el municipio Mayarí.

Tipo de movimiento	Desprendimientos Mecanismos: Caída de bloques, Desprendimientos periódicos, Desprendimientos en masa, Formación de escarpes y acantilados, Avalanchas.
Caracterización	Movimiento rápido, de ruptura y caída sorpresiva de rocas, rocas-suelos desde laderas, y taludes abruptos. Ocurren en rocas intensamente agrietadas, alteradas y muy deterioradas. Los bloques poseen diversos tamaños desde grandes a pequeños. Los lugares más representativos son: Pinares de Mayarí, Arroyo Seco y Levisa.
Factores que intervienen	La forma del movimiento está gobernada por la morfología del terreno. Pendientes elevadas >60°. Precipitaciones por encima de los 220mm. Aumento de la presión de agua en las fisuras y grietas. Sistemas de grietas tectónicas bien definidas en las rocas. Vibraciones por sismo, explosivos, tráfico de vehículos pesados,

	maquinarias, etc.
Condiciones ingeniero-geológicas	Ocurren en laderas de los cauces de ríos y arroyos, en las rocas serpentinizadas y cortezas lateríticas, con superficie de deslizamiento contacto roca/suelo. Las rocas poseen un determinado sistema de grietas, estas son de alta intensidad, poca resistencia y a través de ellas se mueven las aguas subterráneas.
Visualización del fenómeno	
Tipo de movimiento	Deslizamientos en Suelos Mecanismos: Rotacional, Traslacional
Caracterización	Movimiento de masa de velocidad moderada en superficies de fallas circular, rotacional y traslacional. Se forman grietas de tracción en la cresta. Los desplazamientos son menos anchos que largos. Los lugares más representativos son: Pinares de Mayarí, Arroyo Seco, Levisa y Cabonico.
Factores que intervienen	Pendientes entre 20 ⁰ -40 ⁰ . Las direcciones están en NE, NW, N y EW. Precipitaciones por encima de los 120-220 mm. Aumento de sobrecarga en la cresta de los taludes. Cortes en el pie de los taludes y laderas en viales. Vibración por sismos, voladuras, etc.
Condiciones ingeniero-geológicas	Suelos areno-arcillosos, arcillas. Formando parte del perfil laterítico. Se manifiestan en laderas y cuencas hidrográficas, Las arcillas poseen una alta plasticidad y capilaridad. Son suelos poco permeables, generan alta carga hídrica. Poca resistencia al corte,

	alta deformabilidad e inestabilidad. Disminución de la resistencia de los suelos.
Visualización del fenómeno	
Tipo de movimiento	Deslizamientos en Rocas Mecanismos: Superficie plana, Superficie en cuña.
Caracterización	Movimiento de masa de velocidad moderada a través de unas superficies de fallas, planas o de cuñas, que siguen una dirección determinada según los planos de deslizamientos. Ocurren en rocas intensamente agrietadas. Los lugares más representativos son: Levisa, Pinares y Cabonico.
Factores que intervienen	Pendientes entre 20 ⁰ -40 ⁰ fundamentalmente. Con dirección NE, NW y N. Precipitaciones por encima de los 145 y 250 mm. Disminución de la resistencia de las rocas. Aumento de sobrecarga en la cresta de los taludes. Vibración por sismos, voladuras, etc. Cortes al pie de los taludes y laderas.
Condiciones ingeniero-geológicas	Se manifiestan en laderas de los cauces de ríos y arroyos y en las rocas serpentizadas, en ella aparecen planos de espejos de fricción bien definidos. Estas rocas poseen un sistema de grietas bien definido. La permeabilidad es por grietas.

<p>Visualización del fenómeno</p>	
<p style="background-color: #cccccc;"></p>	
<p>Tipo de movimiento</p>	<p>Flujos Mecanismos: Flujo de derrubios y bloques, Coladas de suelos y rocas.</p>
<p>Caracterización</p>	<p>La masa en movimiento totalmente dislocada, fluye como un cuerpo viscoso. El límite entre las masas móviles y el terreno en sitio está bien definido. La velocidad con que ocurre el movimiento varía en función de la naturaleza del material transportado y de la topografía y pendientes del terreno. El rango de velocidad va desde un flujo plástico extremadamente lento hasta una colada catastrófica de materiales sueltos compuestos por una mezcla de rocas, árboles y suelos con humedades variables.</p>
<p>Factores que intervienen</p>	<p>Pendientes y fuertes precipitaciones durante periodos prolongados de lluvia, anormalmente, más de 400mm relacionadas con fenómenos meteorológicos. Sismicidad: sismos, terremotos, vibraciones, etc.</p>
<p>Condiciones ingeniero-geológicos</p>	<p>Se desarrollan en materiales con diversas granulometrías, dispersándose cuando se desarrollan en suelos de granulometrías más gruesas. Poseen mecanismo catastrófico, reducción de la fricción interna en pendientes fuertes y disminución de la resistencia al deslizamiento de los materiales sobre el sustrato rocoso. Al llegar a una superficie menos inclinada, horizontal o en contrapendiente, hay un aumento repentino de la fricción interna y disipación rápida de la energía cinética y en consecuencia una</p>

	<p>acumulación de la masa al pie de la ladera. No presentan superficie de rotura definida. Para pendientes y topografía abrupta la masa puede desarrollar grandes velocidades y altos niveles de energía cinética. Materiales de alta porosidad. La masa está compuesta por granos finos mezclados con guijarros y bloques. La ruptura deja en el suelo nichos en forma de (V).</p>
<p>Visualización del fenómeno</p>	

4.2 Caracterización de los Mapas de Peligrosidad.

4.2.1 Peligrosidad por el factor Geológico.

Grupos litológicos

Del análisis realizado a cada uno de los grupos litológicos, y la comparación del plano correspondiente con el inventario de deslizamientos, las más afectadas son las peridotitas y harzburgitas del complejo ofiolítico, debido a que generalmente estas rocas se encuentran muy agrietadas y meteorizadas. Los grupos litológicos se clasificaron de acuerdo a la peligrosidad que representan cada uno de ellos en el desarrollo de deslizamientos, y se clasifica en (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja). La **peligrosidad muy alta** está representada por las peridotitas, harzburgitas y los gabros de complejo ofiolíticas cuales se agruparon en el mismo grupo litológico por sus características y propiedades físico-mecánicas constituyen el 50.3% del área total. La **peligrosidad alta** la determina el grupo de la vulcanógena sedimentaria que ocupa el 8.1% del área total. La **peligrosidad moderada** está representada por el

grupo de la carbonatada terrígena con un 25.6% del área total. La **peligrosidad baja** está constituida por los sedimentos de ríos con un 2.7% del área total. La **peligrosidad muy baja** la integran los sedimentos costeros con un 13.07% del área total (**Anexo 14**).

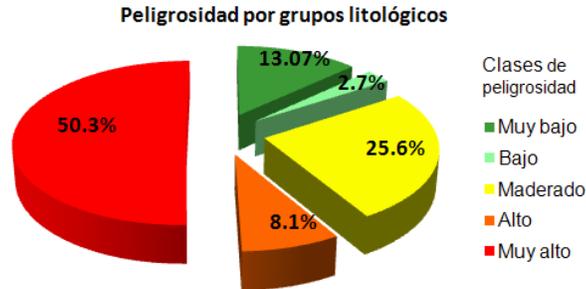


Figura 4.3 Por ciento de peligrosidad por grupos litológicos respecto al área total.

Distancia a las fallas

Para analizar la influencia del factor distancia a las fallas sobre la peligrosidad del terreno mediante el S.I.G., se aplicó un buffer a partir de las estructuras principales del plano tectónico. La tectónica del área se caracteriza por una elevada complejidad con la presencia de varios sistemas de fallas de gran importancia e influencia en el debilitamiento del macizo estudiado y en la formación de deslizamientos. El buffer se dividió en cinco intervalos de 100 metros de distancia (100, 200, 300, 400 y 500 m) y se clasificó en cinco clases de peligrosidad (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja). La **peligrosidad muy alta** frente al desarrollo de deslizamientos la representa la distancia a 100 m, debido a que las rocas en esta zona se encuentran fuertemente agrietadas y fracturadas por la influencia directa de las fallas, las que se pueden convertir en superficie de rotura para el desarrollo de los deslizamientos, ocupan 7.1% del área total. La **peligrosidad alta** está representada por la distancia a 200 m que ocupa 7.6% del área total. La **peligrosidad moderada** es a 300 m de distancia y contiene 7,8% del área total. La **peligrosidad baja** representa la distancia a 400 m y contiene 7.6% del área total. La **peligrosidad muy baja** corresponde con la distancia a 500 m y es la que ocupa mayor extensión, el 69.6% del área total (**Anexo 15**).



Figura 4.4 Por ciento de peligrosidad por distancia a las fallas respecto al área total.

4.2.2 Peligrosidad por el factor Geomorfométrico:

Ángulo de la pendiente

La pendiente del terreno es uno de los elementos geomorfológicos más importantes en el análisis del riesgo por deslizamiento. Para el análisis del mapa de pendiente obtenido a partir del procesamiento del modelo digital del terreno (M.D.T.), escala 1: 25 000, se utilizaron 5 clases fundamentales: 0° - 15° , 15° - 25° , 25° - 35° , 35° - 45° y $>45^{\circ}$. En este mapa se observa que los mayores grados de pendientes se encuentran en el borde de la meseta Pinares y hacia el sureste del área de estudio. El mapa de pendiente se clasificó en cinco clases de peligrosidad (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja), de acuerdo al peligro que representan frente a los movimientos de masas. La **peligrosidad muy alta** se relaciona con las mayores pendientes, $>45^{\circ}$, debido a que los deslizamientos son de carácter gravitatorio y en estas zonas es donde se acumula mayor cantidad de energía en los taludes y laderas ocupando el 19.8% del área total. La clase de **peligrosidad alta** se relaciona con las pendientes de 35° - 45° y ocupa el 9.9% del área. La clase de **peligrosidad moderada** se relaciona con las pendientes 25° - 35° , ocupando el 17.6% del área total. La clase de **peligrosidad baja** está relacionada con pendientes de 15° - 25° , y ocupa el 7.8% del área. La clase de **peligrosidad muy baja** se relaciona con el intervalo de pendiente 0° - 15° , y ocupa la mayor extensión, 47.7% del área total. Se puede observar que el 47.3% del área total se encuentra desde la peligrosidad moderada hasta la muy alta. (Anexo 16).

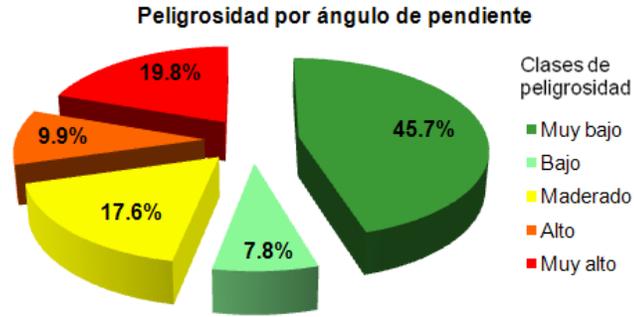


Figura 4.5 Por ciento de peligrosidad por ángulo de pendiente respecto al área total.

Distancia a la red fluvial

Para incluir este factor en el S.I.G y analizar la influencia del mismo sobre el desarrollo de deslizamientos, se aplicó un análisis de distancia, utilizando la herramienta buffer. El buffer se dividió en cinco intervalos de 100 metros de distancia (100, 200, 300, 400 y 500 m) y se clasificó en cinco clases de peligrosidad (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja). La **peligrosidad muy alta** frente al desarrollo de deslizamientos la representa la distancia a 100 m, ocupa 10.95% del área total. La **peligrosidad alta** está representada por la distancia a 200 m que ocupa 10.41% del área total. La **peligrosidad moderada** es a 300 m de distancia y contiene 10.04% del área total. La **peligrosidad baja** representa la distancia a 400m y contiene 9.2% del área total. La **peligrosidad muy baja** correspondiente con la distancia a 500 m es la que ocupa mayor extensión, 59.2% del área total (**Anexo 17**).

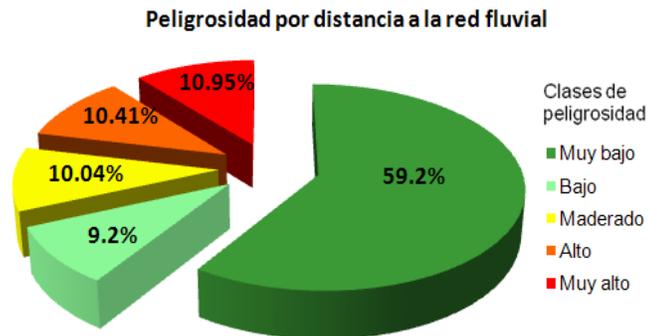


Figura 4.6 Por ciento de peligrosidad por distancia a la red fluvial respecto al área total.

Dirección de laderas

El mapa de peligrosidad por dirección de laderas se clasificó en cinco clases de peligrosidad (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja), de acuerdo al peligro que representan frente a los movimientos de masas. Predominan las direcciones hacia el norte (18.26%), noroeste (15.49%) y oeste (16.45%). Dentro de los agentes que influyen en la formación de deslizamientos por la dirección de laderas se incluyen la exposición a la luz del sol, los vientos y las lluvias (Dai et al., 2001). Es por consiguiente razonable asumir que la **peligrosidad muy alta** está representada por las direcciones de laderas norte que ocupan 18.26% del área total y la **peligrosidad alta** se representa por las direcciones de laderas noreste y noroeste ocupando el 24.49% del área total, ya que son las más susceptibles a sufrir deslizamientos detonados por lluvias debido a que en estas zonas las precipitaciones son más frecuentes. La **peligrosidad moderada** está representada por las direcciones de laderas este y oeste ocupando el 26.45% del área total. Por otra parte se considera que las menos susceptibles son las direcciones de laderas suroeste y sureste, representando la **peligrosidad baja** que ocupan el 16.3% del área total, y la dirección de laderas del sur, que representa la **peligrosidad muy baja** y ocupa 14.5% del área total, pues permanecen bajo la sombra donde las lluvias no son muy intensas por lo que son zonas más secas (**Anexo 18**).



Figura 4.7 Por ciento de peligrosidad por dirección de laderas respecto al área total.

4.2.3 Peligrosidad por el factor Antrópico.

Uso de Suelos

El mapa de uso de suelos se clasificó en cinco clases de peligrosidad (muy baja, baja, moderada, alta y muy alta) teniendo en cuenta la importancia económica, física y social de cada tipo de uso del suelo. La clase de **peligrosidad muy baja** es la de mayor área y representa el 58.2% del área total, constituida fundamentalmente por los Bosques; mientras que la **peligrosidad baja** ocupa el 22.5% del área total, representada generalmente por los parques nacionales y las plantaciones de caña y pastos. La clase de **peligrosidad moderada** contiene el 6.14% del área total, del mismo modo las **peligrosidades alta y muy alta** ocupan un 1.77% y 11.21% del área total respectivamente, representadas fundamentalmente por minas, presas, empresas, cultivos y asentamientos poblacionales (**Anexo 19**).



Figura 4.8 Por ciento de peligrosidad por uso de suelos respecto al área total.

Distancia a la red vial

Para analizar este factor, se toma en consideración la influencia que tienen los viales sobre el desarrollo de deslizamientos, pues en ocasiones se construyen carreteras y caminos cortando laderas de altas pendientes y formando taludes abruptos, favorables para la ocurrencia de deslizamientos. Para ello se aplicó un análisis de distancia utilizando la herramienta buffer. El buffer se dividió en cinco intervalos de 100 metros de distancia (100, 200, 300, 400 y 500 m) y se clasificó en cinco clases de peligrosidad (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja). La **peligrosidad muy alta** frente al desarrollo de deslizamientos la representa la distancia a 100 m, ocupa

8.02% del área total; la distancia a 200 m representa la **peligrosidad alta**, ocupa 7.6% del área total; la clase de **peligrosidad moderada** es a 300 m de distancia y contiene 7.2% del área total; la **peligrosidad baja** representa la distancia a 400 m con un 6.8% del área total; por último la **peligrosidad muy baja** correspondiente con la distancia a 500 m es la que ocupa mayor extensión, 48.26% del área total (**Anexo 20**).



Figura 4.9 Por ciento de peligrosidad por distancia a la red vial respecto al área total.

4.2.4 Peligrosidad por el factor Climático.

Intensidad de lluvia en 24 horas para un periodo de retorno de 100 años

De acuerdo al análisis realizado, este factor ejerce gran influencia en el desarrollo de los movimientos de masas, al incidir directamente sobre el medio geológico. El mapa muestra que hacia las zonas sureste, centro y este, los valores de intensidad de lluvia son muy elevados, llegando alcanzar rangos mayores de 426 mm (**Anexo 12**). Al correlacionar esta información con el mapa de inventario de deslizamientos, se observa claramente que por encima de estos valores se originaron la mayoría de los deslizamientos reportados. Este factor actúa principalmente provocando una saturación del macizo rocoso, al infiltrarse al agua a través de las grietas y poros va lixiviando el relleno que mantiene unido el material rocoso lo que origina un aumento de la masa del macizo provocando el desprendimiento del mismo a través de zonas de debilidad. El mapa de peligrosidad por Intensidad de lluvia en 24 horas para un periodo de retorno de 100 años se divide en 5 clases (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja). La clase de **peligrosidad muy baja** representa el 3.3% del área total; la

peligrosidad baja constituye un 1.8% del área total; la clase de **peligrosidad moderada** ocupa la mayor extensión del área, 8.9%; la **peligrosidad alta** es la de mayor extensión en el área representada por el 67.3% del total y la **peligrosidad muy alta** está representada por 18.6% del área total con valores de intensidad de las lluvias mayores a 426mm. Donde el 94.8% del área se encuentra representada por las clases de peligrosidad desde la moderada hasta la muy alta (**Anexo 21**).



Figura 4.10 Por ciento de peligrosidad por intensidad de las lluvias respecto al área total.

4.3 Caracterización del Mapa de Peligrosidad Total.

El mapa de peligrosidad por desarrollo de deslizamientos en el municipio Mayarí, se obtuvo a partir de la integración de los mapas de peligrosidad de cada factor condicionante y desencadenante analizado (mapa litológico, mapa de ángulo de la pendiente, mapa dirección de laderas, mapa de uso de suelos, mapas de influencia de la red fluvial y red vial, mapa de distancia a fallas y mapa pluviométrico), utilizando el S.I.G., (figura 4.11). El mapa posee un alto valor práctico desde el punto de vista geoambiental, porque delimita las áreas en las que puede existir la mayor probabilidad de ocurrencia de deslizamientos.

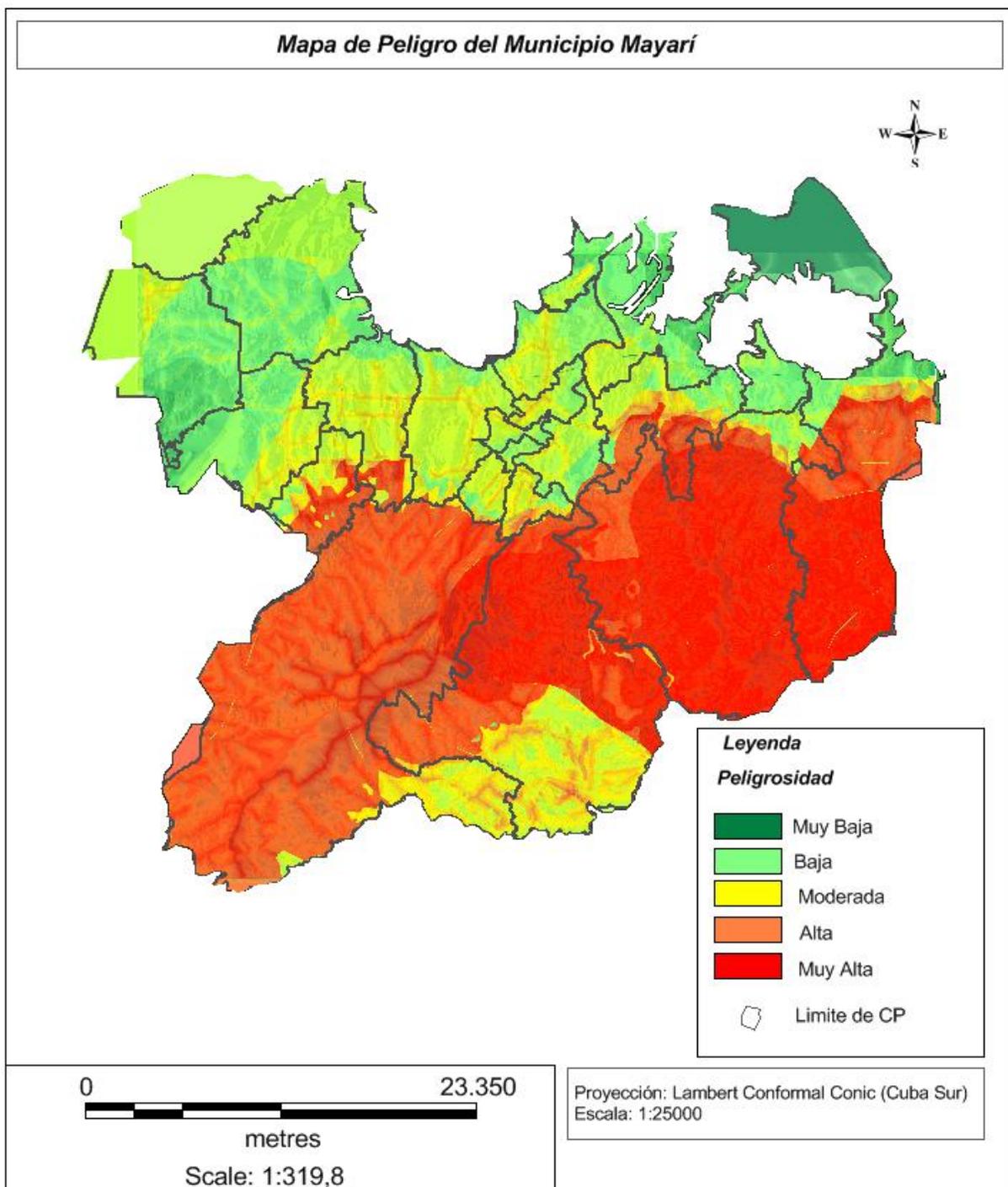


Figura 4.11 Mapa de Peligrosidad Total por Deslizamientos del municipio Mayarí. Escala 1: 25 000.

Se establecen niveles de peligrosidad a partir del peso asignado a cada factor. Las zonas con peligrosidad de moderada hasta muy alta se localizan hacia el este, centro y suroeste fundamentalmente, aunque se observan además en la parte sur del área. Las zonas con peligrosidad alta y muy alta se relacionan generalmente con rocas ultrabásicas serpentinizadas y gabros, ambas con alto grado de agrietamiento e intemperismo; estas zonas se localizan en laderas de altas pendientes y donde se tienen los mayores valores pluviométricos reportados; además, se relacionan con zonas de fallas, nudos tectónicos o cercanos a cauces de ríos.

El uso de suelo es también determinante, pues el manejo minero-productivo y la construcción de obras hidráulicas que generan la aceleración de los agentes exógenos, condicionan los procesos erosivos, y en ocasiones, provocan deslizamientos o inestabilidades de taludes y laderas. Otra de las condicionantes son las intensas lluvias que se manifiestan en el territorio, donde la intensidad de las lluvias en 24 horas para un periodo de retorno de 100 años sobrepasan los 426 mm. Esto genera un aumento, en un corto tiempo, del peso del suelo y de las presiones neutras o de poros, disminuyendo la cohesión y fricción interna de las rocas arcillosas y areno-arcillosas. La tabla 4.2 y la figura 4.12 muestran la caracterización del mapa de peligrosidad en cuanto a porcentaje del área que ocupa. A partir del mapa de peligro y el de inventario de deslizamiento, se elaboró un mapa que relaciona los deslizamientos con las zonas de mayor peligrosidad, el cual permite demostrar el porqué de los altos índices de peligrosidad en el área, coincidiendo estos con las zonas donde se encuentran los mayores números de deslizamientos (**Anexo 22**).

Tabla 4.2 Caracterización del mapa de peligrosidad total frente a deslizamientos del municipio Mayarí.

Clases de Peligrosidad	Descripción	Por ciento del área total
Muy Baja	La peligrosidad es muy baja, es poco probable la ocurrencia de deslizamientos aunque pueden originarse pequeños movimientos fundamentalmente en las laderas de las márgenes de los ríos.	2,8
Baja	Bajo grado de peligrosidad por deslizamientos. Se pueden manifestar algunos movimientos de pequeñas dimensiones.	19,5
Moderada	Grado medio de peligrosidad. De acuerdo a la distribución en el mapa de estas zonas se pueden manifestar movimientos de medianas dimensiones provocados por inestabilidad en el macizo rocoso. Son comunes los pequeños desprendimientos.	20,9
Alta	Peligrosidad alta. El terreno es susceptible a los deslizamientos y a los procesos erosivos intensos. La combinación de indicadores como el uso de suelo, la geología, la pendiente, la hidrografía y la tectónica influyen directamente en las inestabilidades. En estas áreas las lluvias son intensas y este es otro indicador detonante. Los movimientos son de grandes dimensiones y en muchos casos obstruyen las vías de comunicación.	39
Muy Alta	Peligrosidad Muy Alta. Se pueden generar deslizamientos de gran escala debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas, actividad antrópica e intensas lluvias. No se deben ubicar instalaciones, carreteras y viviendas en estas áreas, porque estarán expuestas a los movimientos.	17,6

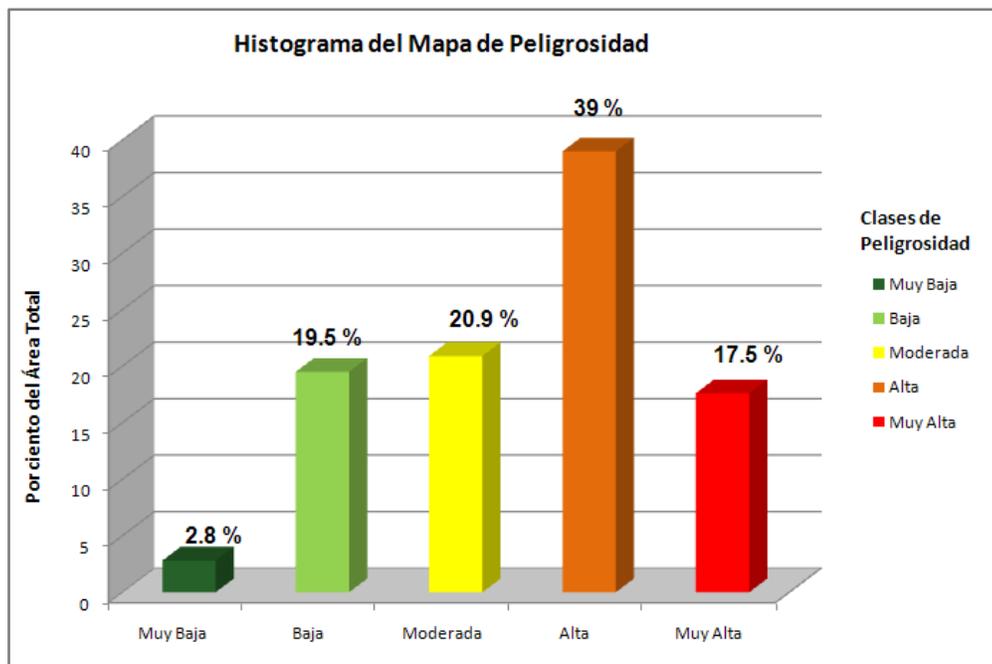


Figura 4.12 Histograma de frecuencia del mapa de peligrosidad total por deslizamientos del municipio Mayarí.

4.4 Caracterización del Mapa de Vulnerabilidad Total.

El mapa de vulnerabilidad por deslizamientos para el municipio Mayarí se realizó a partir de la delimitación de las zonas de mayor susceptibilidad y la ubicación de los elementos en riesgos, el mismo se dividió en 5 clases (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja), para una mejor interpretación, el mismo se muestra en la (figura 4.13).

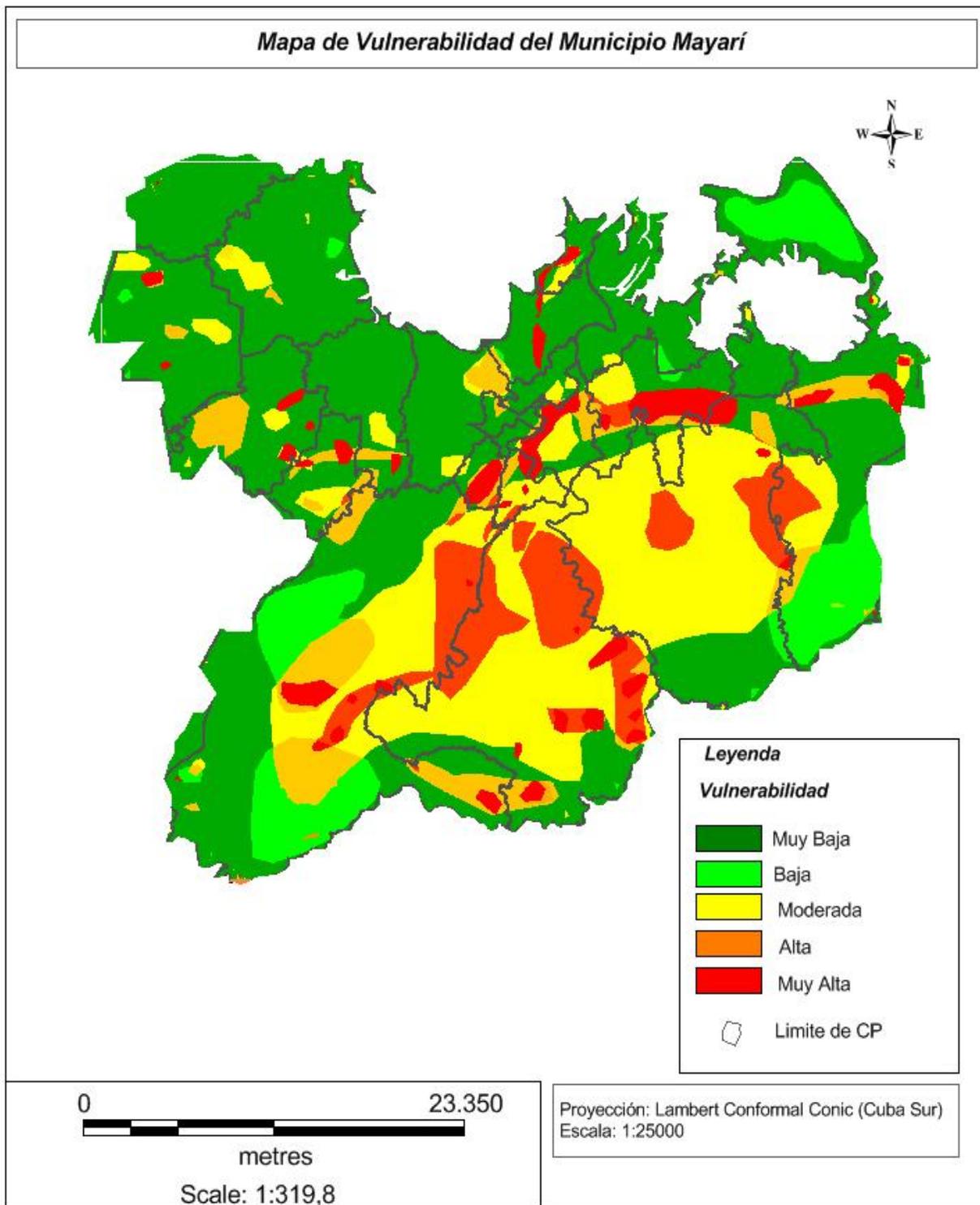


Figura 4.13 Mapa de Vulnerabilidad Total por Deslizamientos del municipio Mayarí. Escala 1: 25 000.

Teniendo en cuenta la figura anterior los mayores índices de vulnerabilidad (Muy Alta) se encuentran hacia la parte centro este, y de forma aislada hacia el noreste y al noroeste del municipio, y corresponde al 11.3% del área total, afectando sectores de los consejos populares Pinares hacia el este y sur, Arroyo Seco al este, oeste, sureste y una pequeña porción al norte, Levisa al este, centro y un pequeño sector al oeste, así como Colorado, Chavaleta y Cajimaya. En el mapa la vulnerabilidad alta tiene un 8.8% del total. La vulnerabilidad moderada, se ubica mayoritariamente al suroeste, centro y este del sector de estudio, en los consejos populares Pinares, Arroyo Seco, Levisa y algunas porciones en Chavaleta, Cajimaya, Cabonico, Guayabo y de forma aislada afecta algunas partes de los demás consejos populares y representa el 28.3% del área total. La vulnerabilidad baja ocupa un 10.3% del área total y se encuentra distribuida hacia el este y suroeste del área. Por último la vulnerabilidad muy baja, representa el mayor por ciento en el área con un 41.4% del total y se localiza en la mayoría de los consejos populares. La tabla 4.3 y la figura 4.14 muestran la caracterización del mapa de vulnerabilidad en cuanto a porcentaje de área que ocupa.

También se elaboró un mapa a partir de la combinación del mapa de vulnerabilidad y los elementos estructurales en el área de mayor impacto económico, como las vías de comunicación, presas, minas, redes eléctricas y asentamientos poblacionales, lo que permite apreciar con mayor precisión las estructuras de mayor vulnerabilidad en la zona y realizar una valoración más exacta de las vulnerabilidades para mejorar la toma de decisiones de la autoridades (**Anexo 23**).

Tabla 4.3 Caracterización del mapa de vulnerabilidad total por deslizamientos del municipio Mayarí.

Clases de Vulnerabilidad	Por ciento Área Total
Muy Baja	41.4
Baja	10.3
Moderada	28.3
Alta	8.8
Muy Alta	11.3

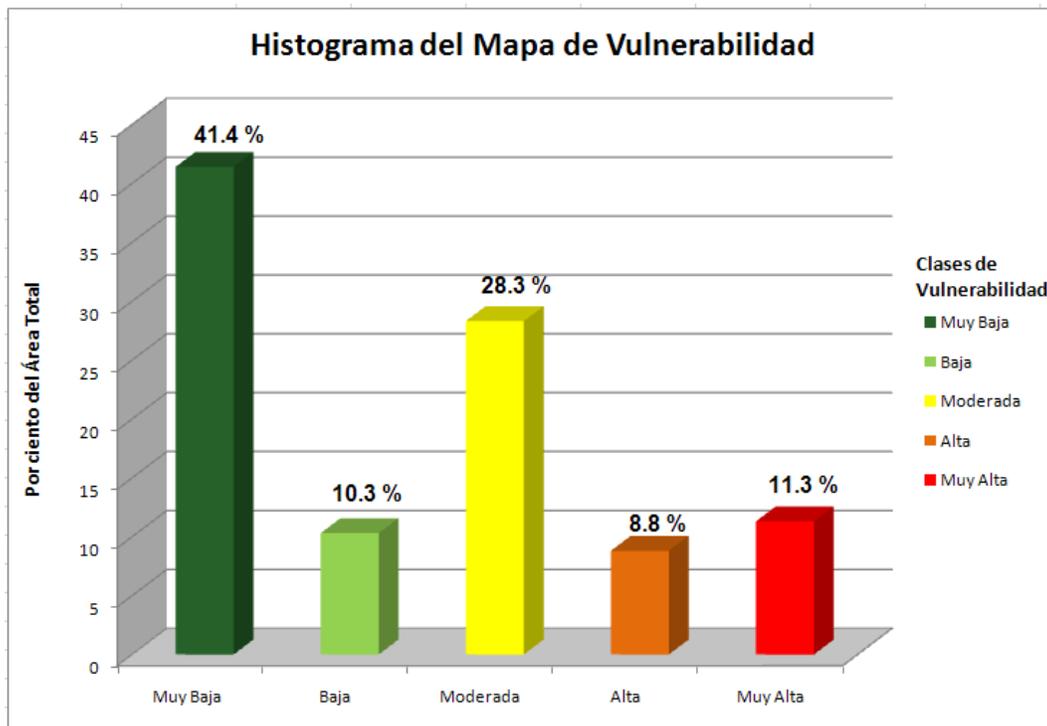


Figura 4.14 Histograma de frecuencia del mapa de vulnerabilidad total por deslizamientos del municipio Mayarí.

4.5 Caracterización del Mapa de Riesgos.

El mapa de riesgos representa el proceso de integración por superposición de los mapas de factores y el mapa de vulnerabilidad (figura 4.15). Obtenido a partir del producto del mapa de peligrosidad con el mapa de vulnerabilidad, indicando el estado de riesgo presente en el área de estudio.

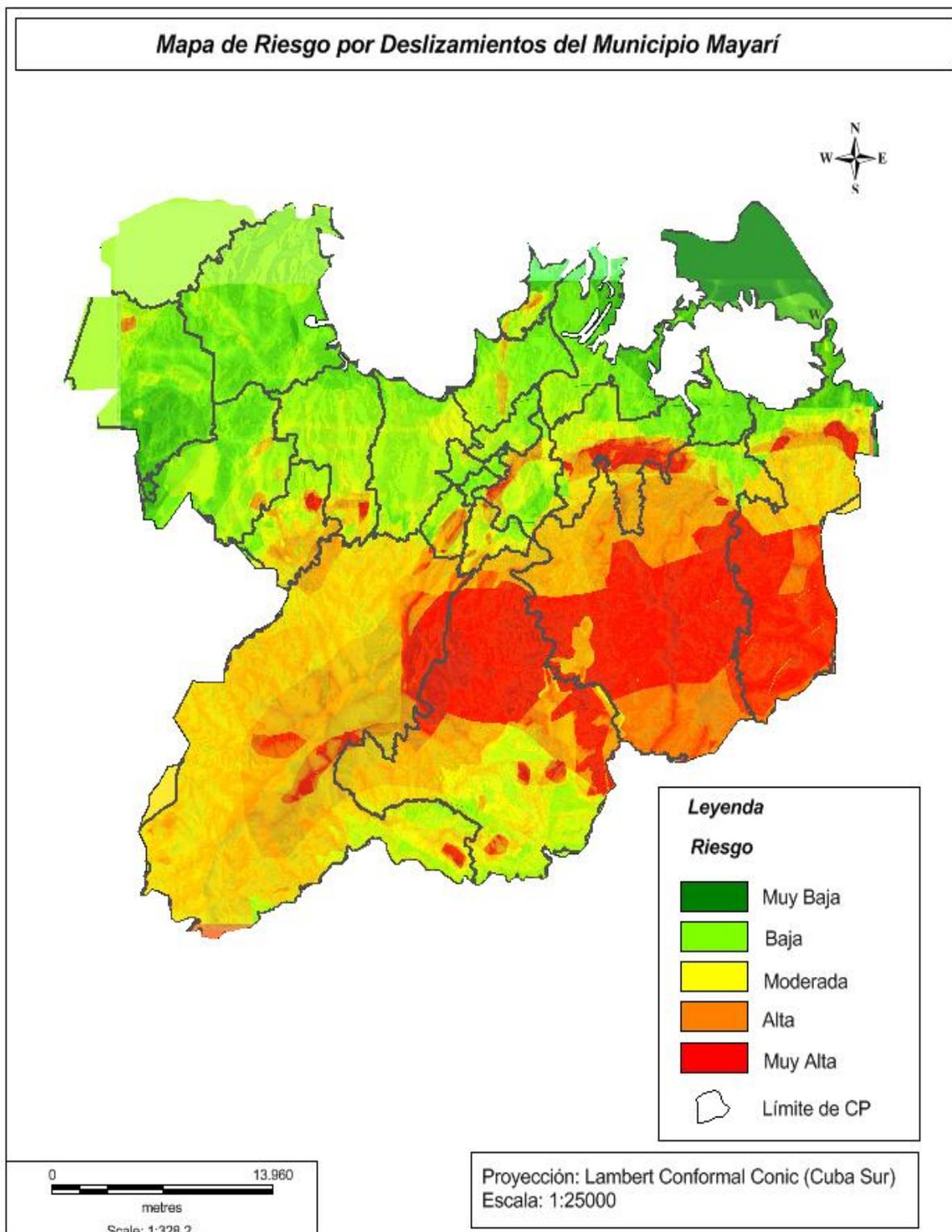


Figura 4.15 Mapa de Riesgos por Deslizamiento del municipio Mayarí. Escala 1: 25 000.

El mapa tiene una gran aplicación práctica, fundamentalmente para los gestores de la defensa civil, el gobierno municipal y la oficina de planificación física. Mediante su interpretación y uso adecuado, es posible prever, durante las épocas de lluvias intensas cuáles son los sitios que se pueden manifestar desastres por desarrollo de deslizamientos, y establecer planes de prevención, para hacer uso racional de los recursos materiales y financieros. Además, se pueden programar actividades de educación ambiental sobre los riesgos por movimientos de masas y sobre las medidas a tomar antes, durante y después de ocurrir un fenómeno de este tipo.

El mapa de riesgos por deslizamiento para el municipio Mayarí se divide en 5 clases de riesgo (muy alto, alto, moderado, bajo y muy bajo) de acuerdo a estas clases, las zonas de muy alto riesgo ocupan un 11.2% del área total y se corresponden con el este y centro del consejo popular Pinares, coincidiendo con la mina de Pinares y la carretera que comunica este poblado la cual corta laderas de altas pendientes formando taludes muy abruptos, y por consiguiente, conjuntamente con las lluvias de la zona que son frecuentes e intensas, provocan los deslizamientos; al norte y este del consejo popular Arroyo Seco coincidiendo con la presa Mayarí y algunos asentamientos poblacionales, y en la zona central del consejo popular Levisa correspondiente a la actividad minera.

El riesgo alto ocupa el 21.1% del área total y está representado fundamentalmente en el consejo popular Pinares hacia el este y sur, en el consejo popular Arroyo Seco hacia la parte norte y centro, representado por asentamientos, vías de comunicación entre otros y hacia el norte y el sur del consejo popular Levisa. El riesgo moderado ocupa un 22.2% del área total y está representado, en los consejos populares Pinares asociado al Parque Nacional Los Exóticos, al sur de Arroyo Seco, en Guayabo y en Cajimaya. La clase de riesgo bajo ocupa un 27.8% del área total, principalmente está representada en los consejos populares Guaro, Cosme, Caridad, Guanina, Felton entre otros asociada a zonas de cultivos y ganadería. La clase muy baja predomina en los consejos populares Caridad hacia el sur, este y noreste, Cosme al sur, Nipe al norte, y Felton al noreste en la zona de Saetía y representa el 14.5% del área total. La tabla 4.4 y la figura

4.16 muestran la caracterización del mapa de riesgo en cuanto a porcentaje de área que ocupa.

Tabla 4.4 Caracterización de mapa de riesgos por deslizamiento del municipio Mayarí.

Clases de Riesgo	Por ciento área total
Muy Baja	14.5
Baja	27.8
Moderada	22.2
Alta	24.1
Muy Alta	11.2

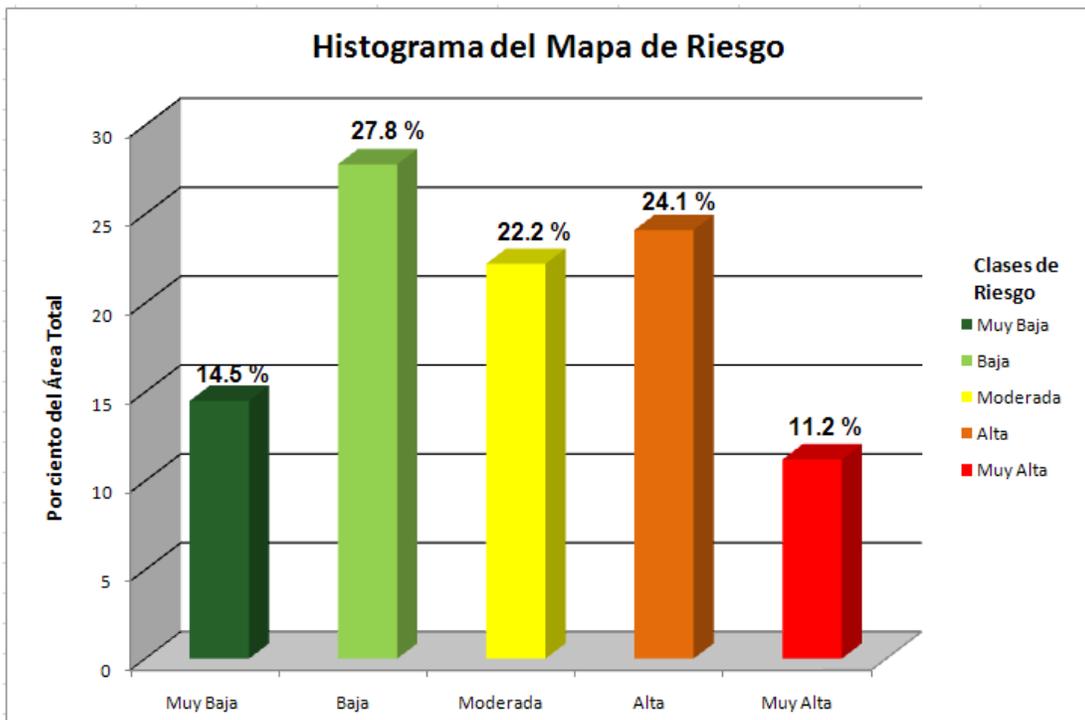


Figura 4.16 Histograma de frecuencia del mapa de riesgos por deslizamiento del municipio Mayarí.

A partir del mapa de riesgo se elaboró un mapa que relaciona los elementos estructurales de mayor importancia económica, como las vías de comunicación, presas, líneas eléctricas, minería, las obras del trasvase y asentamientos poblacionales, con las zonas de mayor riesgo, lo que permite una mejor visualización de los elementos que tienen un elevado índice de riesgo por

deslizamientos en el área de estudio, facilitándole a las autoridades pertinentes la toma de decisiones y la elaboración de planes de medidas para mitigar los riesgos por deslizamientos (**Anexo 24**).

4.6 Propuesta del Plan de Medidas para prevenir o mitigar los Riesgos por Deslizamiento.

La prevención de los riesgos consiste en prever o conocer con anticipación la ocurrencia de un fenómeno, en tiempo y lugar, o al menos en el lugar, con el fin de evitar y controlar el proceso para avisar, prepararse o protegerse de él. Los deslizamientos no se pueden prevenir en el tiempo, evitar, ni controlar, por lo que, en caso de constituir un riesgo, solo se pueden actuar protegiéndose de él y mitigando sus efectos.

La mitigación consiste en moderar o disminuir las pérdidas y daños mediante el control del proceso, en los casos que sea posible, y/o la protección de los elementos expuestos, reduciendo su vulnerabilidad.

Para prevenir y mitigar los riesgos ocasionados por deslizamientos en el área de estudio se propone un plan de medidas no estructurales y estructurales.

4.6.1 Medidas no Estructurales.

Las acciones no estructurales, son aquellas donde se aplica una serie de medidas relacionadas a las políticas urbanas, planeamiento urbano, legislación, planes de defensa civil y educación, fundamentalmente. Son consideradas tecnologías blandas, normalmente tienen costos mucho más bajos que las estructurales, (tecnologías duras; obras de contención), presentando resultados muy buenos, principalmente en la prevención de desastres. Se trata, entonces, de medidas sin la construcción de obras ingenieriles.

1. Sistemas de Prevención y Gestión de Riesgos (Defensa Civil).

El hecho de que los deslizamientos sean posibles de prevenir, permite preparar Sistemas de Prevención y Gestión de Riesgos (Defensa Civil). Estos planes están basados en el monitoreo de las lluvias, en las predicciones de la meteorología y en los trabajos de campo para la verificación de las condiciones de las vertientes. Para el montaje de estos planes, deben hacerse levantamiento de áreas de riesgos por deslizamiento, capacitación de los equipos locales para realizar visitas a las áreas durante todo el periodo de las lluvias. También se debe tener en cuenta la sistemática actualización y evaluación de los planes de ordenamiento territorial teniendo en cuenta las zonas de riesgos con el objetivo de disminuir el impacto socioeconómico y ambiental. Priorizando las viviendas de mayor riesgo.

Responsables: Sectores del gobierno municipal; Defensa Civil; Cuerpo de bomberos; Universidades o Centros de Investigaciones.

2. Investigaciones

Estudio de los fenómenos, sus causas, localización espacial, análisis de casos del pasado y posibles consecuencias. Uno de los productos es el Mapa de Peligros o Amenazas donde es determinado el nivel de exposición al deslizamiento, tomando en cuenta, por ejemplo, frecuencia e intensidades de las lluvias. El Mapa de Vulnerabilidad es el instrumento donde se estudia el nivel de daños a la que la ocupación está sujeta. El Mapa de Riesgo es un producto de Mapa de Peligro y del Mapa de Vulnerabilidad, teniendo como resultado la probabilidad de que ocurra un deslizamiento y la magnitud de las pérdidas materiales y vidas humanas. Las investigaciones deben incluir bases para los Sistemas de Prevención y Gestión de Riesgos (Defensa Civil). Los estudios sobre soluciones de ingeniería, materiales más adecuados, soluciones no estructurales, también deben ser hechos. Por otra parte es preciso realizar las siguientes acciones:

- ✓ Evaluaciones críticas y detalladas del sector realizadas por personal especializado. Comprende inspecciones técnicas y evaluaciones por parte

de los expertos. Se requiere en sectores tales como el suministro de agua, energía eléctrica y otros sistemas de “recursos vitales”. Una evaluación crítica del sector puede recopilarse de los informes del personal especializado en estos sistemas o de las visitas realizadas por equipos especializados.

- ✓ Entrevistas con informadores claves. En gobiernos y dentro de grupos particulares de personas afectadas: funcionarios locales, jefes de comunidades locales.

Responsables: Sectores del gobierno municipal; Instituto de Planificación Física a nivel municipal, Centros de Gestión de riesgo en los municipios, vivienda, CITMA, universidades y Centro de Investigaciones.

3. Educación y Capacitación

La existencia de un sistema educativo eficaz que genere y difunda una cultura de prevención es el mejor instrumento para reducir los desastres. Ese sistema debe abarcar todos los niveles de enseñanza, con la introducción de conocimientos y experiencias locales con soluciones pragmáticas y que puedan ser puestas en práctica por la propia población.

Algunas de las acciones que se pueden ejecutar son por ejemplo:

- ✓ Incluir en el programa de educación ambiental, acciones relacionadas con el tema de vulnerabilidad y riesgos.
- ✓ Capacitar sectores que realizan labores en la montaña así como otros que diseñan o ejecutan obras en estas áreas.
- ✓ Difusión de los sistemas para la población por medio de charlas (conferencias), folletos, cartillas.
- ✓ Realización de simulacros (ensayos) de evacuación de áreas.
- ✓ Capacitación a los responsables, en estas temáticas en áreas que se encuentran bajo riesgos por deslizamiento.

- ✓ Elaborar proyectos para presentar al PDHL (Programa de Desarrollo Humano Local) enfocados en estas temáticas.
- ✓ Establecer en las áreas de riesgo indicadores con materiales rústicos que permitan monitorear los movimientos de laderas.

Responsables: Consejos populares, sectores del gobierno municipal; Defensa Civil, MINED, Promotores ambientales, Centros de gestión de riesgos, universidades y Centros de investigaciones.

4. Señalización

La señalización oportuna de aquellos lugares con peligro de ocurrencia de deslizamientos no deja de ser una medida de gran utilidad. Con esta se evitaría el paso innecesario de personas o vehículos por estas áreas o en el caso de ser obligatoria, entonces hacerlo con precaución.

Responsables: Consejos populares, comunales, vialidad, gobiernos municipales.

4.6.2 Medidas Estructurales.

Las acciones estructurales son aquellas donde se aplican soluciones de ingeniería construyendo muros, sistemas de drenaje, reubicación de viviendas, etc., es aquello que algunos llaman “tecnología dura”. Sin duda esas acciones normalmente son muy costosas, sobre todo si es necesario contener deslizamientos de grandes magnitudes.

Obras de estabilización de taludes y laderas

Estas obras incluyen los retaludamientos y rellenos, las obras con estructuras de contención y de protección. Los retaludamientos están representados por cortes de taludes y rellenos compactados. Las obras de contención incluyen los muros de gravedad (anclajes, muros de piedras secas, de piedras argamasadas, de gavión, de concreto armado) cuyas dimensiones hace suponer que

el propio peso de la estructura soportará los esfuerzos del macizo que necesita ser estabilizado.

Las obras de protección contra masas movilizadas incluyen las barreras vegetales y las barreras de piedra. Cada problema necesita ser evaluado para determinar cuál es la obra más eficaz, principalmente en relación a los costos puestos en juego. Todas estas obras requieren de acompañamiento técnico especializado.

1. Retaludamientos

Entre las obras de estabilización de taludes los retaludamientos son las más utilizadas, debido a su simplicidad y eficacia. Para cualquier tipo de suelo o roca, en cualquier condición de ocurrencia y bajo la acción de cualquier esfuerzo siempre existirá una condición geométrica de talud que ofrecerá estabilidad al macizo. Este tipo de obra se aplicará para áreas pequeñas, en caso de que las áreas sean grandes se recurrirá a las obras de contención o a las de drenaje. En realidad los retaludamientos son sistemas que tienden a lograr un equilibrio de masas, reduciendo las fuerzas que producen el movimiento, mediante el movimiento de tierra, a través del cual se alteran, por cortes, los taludes originalmente existentes en un área determinada.

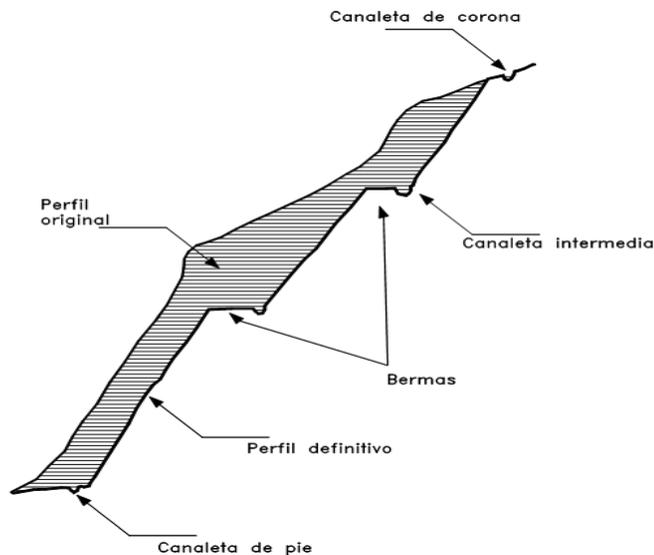


Figura 4.17 Estabilización por conformación del talud y bermas.

2. Obras de Contención

Entre los procesos de estabilización de taludes más difundidos y que más se han desarrollado, están los métodos que utilizan obras de contención para estabilizar taludes. Métodos en los cuales se van a colocar fuerzas externas al movimiento aumentando las fuerzas resistentes, sin disminuir las actuantes.

✓ Anclajes

Las estructuras de contención son obras generalmente masivas, en las cuales el peso de la estructura es un factor importante y es común colocar estructuras ancladas en las cuales la fuerza se transmite al deslizamiento por medio de un cable o varilla de acero. Cada tipo de estructura tiene un sistema diferente de trabajo y se deben diseñar de acuerdo a su comportamiento particular (Figura 4.18).

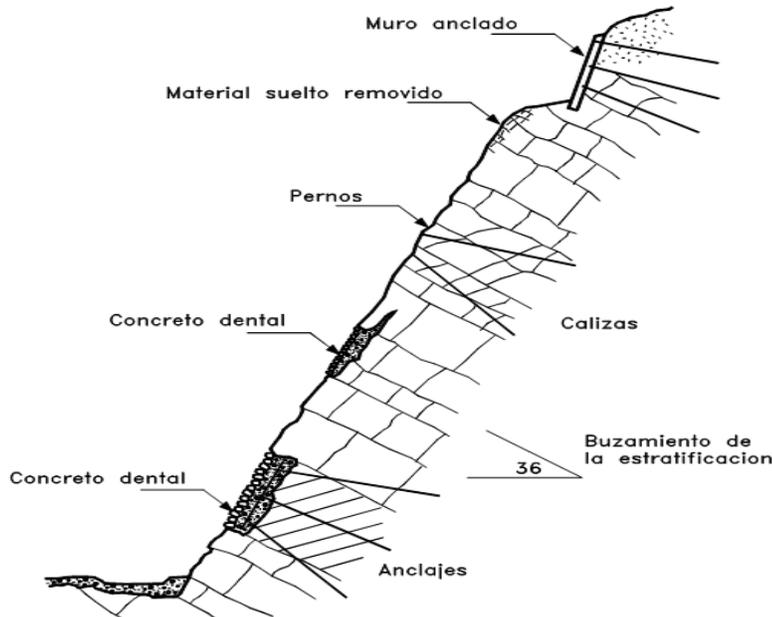


Figura 4.18 Estabilización de un manto rocoso utilizando anclajes

✓ Muros de Piedra

Los muros en piedra son estructuras construidas con bloques o cantos grandes de roca, los cuales se colocan unos sobre otros en forma manual o al volteo. El tamaño de los bloques utilizados generalmente supera las 3 pulgadas y pueden utilizarse bloques hasta de 1 metro de diámetro si se tiene equipo adecuado para su

colocación. El diseño consiste en determinar las dimensiones exteriores del terraplén. El ancho de la base del pedraplén generalmente, es superior a su altura o por lo menos igual. El ángulo de inclinación de la pared exterior depende del tipo de roca, tamaño y angulosidad. Para bloques grandes se pueden utilizar pendientes de hasta 1/6 H: 1B. El ancho mínimo de la parte superior del muro es de 1 metro. Se acostumbra colocarle un geotextil en la interface entre el pedraplén y el suelo, y un subdren en forma similar a los muros en gaviones. (Figura 4.19 A).

✓ Muros de Piedra Argamasada

Obra semejante a un muro de piedra seca, donde los vacíos entre las piedras son rellenos con argamasa de cemento y arena. Un arreglo de piedras de dimensiones variadas, así como su unión, confiere mayor rigidez al muro, posibilitando su uso en la contención de taludes con alturas hasta de tres metros. Debido a su relativa impermeabilidad debe implantarse drenaje. (Figura 4.19 B).

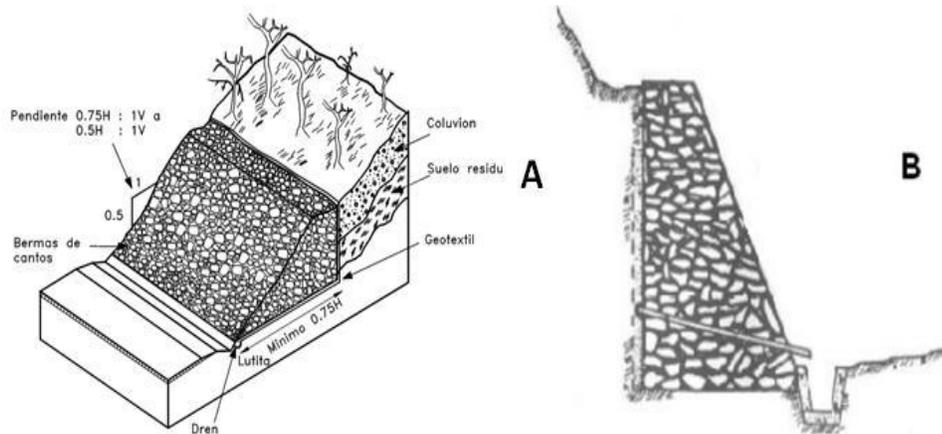


Figura 4.19 Muros de Gravedad. A) De piedra seca y B) De piedra argamasada.

✓ Muros de concreto sin refuerzo

Los muros de concretos sin refuerzo son masas relativamente grandes de concreto o concreto con piedra, las cuales trabajan como estructuras rígidas. Los muros de concreto simple o ciclópeo actúan como estructuras de peso o gravedad y se recomienda que no se empleen en alturas superiores a cuatro metros, debido no sólo

al aumento de costos, sino a la presencia de esfuerzos de flexión que no pueden ser resistidos por el concreto simple y se pueden presentar roturas a flexión en la parte inferior del muro o dentro del cimiento.

El diseño de un muro en concreto debe tener en cuenta la estabilidad intrínseca del muro, el factor de seguridad del deslizamiento y la capacidad de soporte en forma similar a los muros de concreto armado. Los muros de concreto en todos los casos, deben tener un sistema de subdrenaje para eliminar la posibilidad de presiones de agua. (Figura 4.20 A)

✓ Muros de concreto Reforzado

Una estructura de concreto reforzado resiste movimientos debidos a la presión de la tierra sobre el muro. El muro a su vez se apoya en una cimentación por fuera de la masa inestable.

En la mayoría de los casos se colocan llaves o espolones de concreto debajo de la placa de cimentación para mejorar la resistencia al deslizamiento. Una pared en concreto reforzado es generalmente, económica y viable para alturas hasta de 8 metros. Para alturas mayores el espesor de la placa semi-vertical aumenta en forma considerable y el muro se vuelve muy costoso. Debe tenerse en cuenta que, la utilización de contrafuertes o estribos generalmente disminuye el costo comparativamente con un muro empotrado en L o T invertida. La pendiente de la pared de fachada debe dársele una inclinación ligera para evitar la sensación visual de que el muro se encuentra inclinado. Generalmente, se recomienda una pendiente de 1 en 50. (Figura 4.20 B)

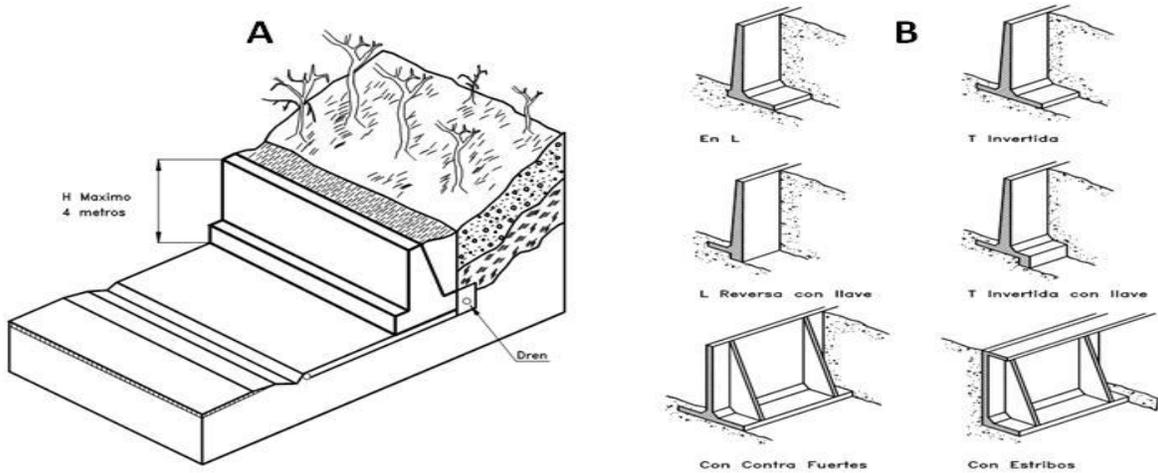


Figura 4.20 Muros de concreto. A) Muro de concreto sin refuerzo. B) Tipos de muros de concreto armado.

✓ Muros de Gaviones

Los muros de gaviones son muros flexibles que consisten en rellenos de fragmentos rocosos o escollera contenidos en una malla de acero, trabajan por gravedad y pueden ser construidos con escalonamiento hacia el exterior o el interior del talud. Tienen la ventaja de permitir la circulación de agua procedente del talud. Simple de construir y mantener se pueden utilizar los cantos y piedras disponibles en el sitio. Se puede construir sobre fundaciones débiles. Su estructura es flexible y puede tolerar asentamientos diferenciales mayores que otro tipo de muros y es fácil de demoler o reparar. (Figura 4.21 A y B)

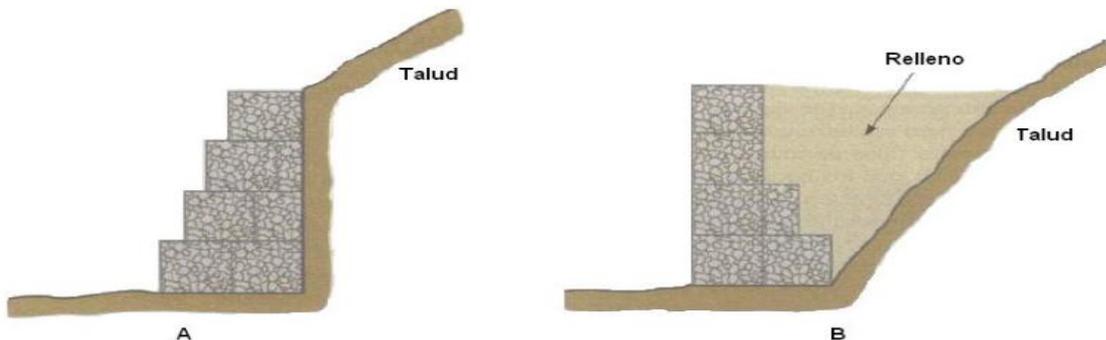


Figura 4.21 Muros de gaviones escalonados. A) Escalonado sin relleno y B) Escalonado con relleno entre el muro y el talud.

3. Drenaje

Las obras de drenaje tienen por objetivo captar y conducir las aguas superficiales y subterráneas de la vertiente, evitando la erosión y la infiltración en el suelo, que pueden generar un deslizamiento. Estos drenajes pueden originarse en forma natural, concentrados por diversos tipos de ocupación (sistemas viales, edificaciones y desagües). Todas las obras de contención tienen el drenaje como una de las más importantes medidas complementarias. Existen varios tipos de obras de drenaje.

✓ Drenaje Superficial

El drenaje superficial puede utilizar zanjas revestidas, canaletas moldeadas in situ, canaletas pre-moldeadas, guías y alcantarillas, tubos de concreto, escaleras de agua, cajas de disipación, cajas de transición. A través del mismo se evitan fenómenos de erosión en la superficie de los taludes y se reduce la infiltración del agua en los macizos, resultando una disminución de los efectos dañinos de la saturación del suelo sobre su resistencia. La ejecución de obras de drenaje superficial en caso de estabilización de taludes naturales o de cortes, representan una elevada relación beneficio-costos, pero también con las inversiones de menor costo, se consiguen excelentes resultados y en muchos casos, basta la realización de estas obras y su combinación con medidas de protección superficial para una completa estabilización de los taludes. (Figura 4.22 A)

✓ Drenaje Subterráneo

El drenaje subterráneo tiene por objeto disminuir las presiones de poro o impedir que estas aumenten. La cantidad de agua recolectada por un sistema de subdrenaje depende de la permeabilidad de los suelos o rocas y de los gradientes hidráulicos. Cuando se instala un dren generalmente, el nivel piezométrico se disminuye al igual que el gradiente hidráulico, lo cual disminuye el caudal inicial recolectado por los drenes. Esto provoca que el nivel freático disminuya mediante la infiltración de las aguas subterráneas hacia el vacío que genera el dren, por lo que aumenta la estabilidad del talud (Figura 4.22 B).

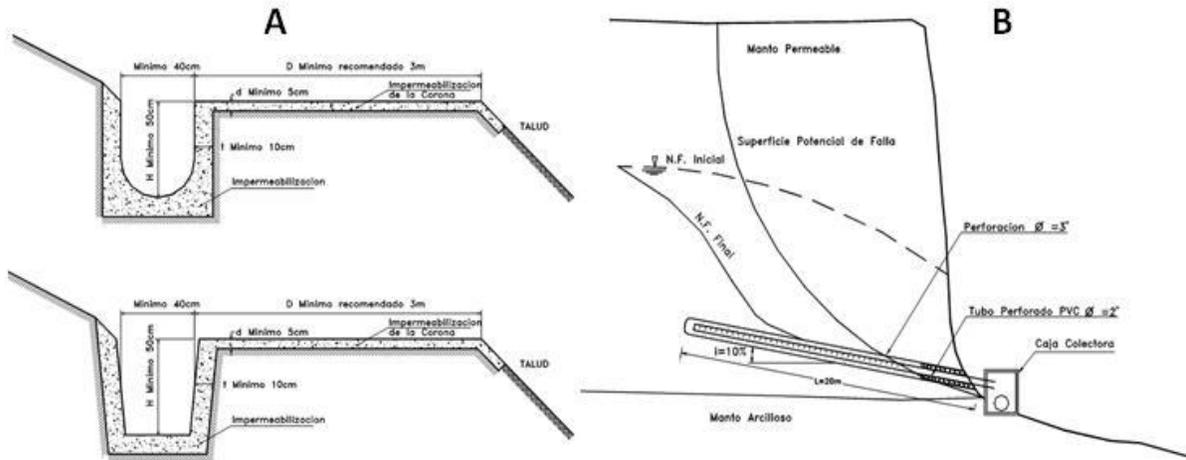


Figura 4.22 Drenajes. A) Drenaje Superficial. B) Drenaje Subterráneo.

3. Protección de superficie

La protección de las superficies de los terrenos impide la formación de procesos erosivos y disminuyen la infiltración de agua en el macizo. En esta protección se puede utilizar materiales naturales o artificiales. Siempre que sea posible, se debe optar por la utilización de materiales naturales por ser en general más económicos. La protección con materiales naturales incluye la cobertura vegetal, de preferencia semejante a la cobertura vegetal natural del área; el uso de suelo arcilloso para el pre-llenado de grietas, fisuras y surcos erosivos; el uso de bloques de rocas, asentados sobre el talud como en forma de gavión.

Conclusiones

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

CONCLUSIONES.

1. Los principales tipos de movimientos de masas en el municipio son desprendimientos de rocas, deslizamientos, flujos y expansiones laterales, los que están diferenciados por su génesis, estructura y tipo de material. Los factores causales y condicionales que generan los deslizamientos son la Geomorfometría, Geología, Actividad antrópica y el Clima.
2. Se utilizó satisfactoriamente la metodología cubana de cartografiado de los riesgos por deslizamiento empleando los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.), y el método de criterio de experto, lo que permitió obtener el mapa de riesgos por deslizamientos en el municipio Mayarí.
3. Los principales escenarios de peligro o zonas susceptibles en el municipio Mayarí, se encuentran en los consejos populares, Pinares de Mayarí, Arroyo Seco, Levisa, Cajimaya y Cabonico. En los cuales se combinan todos los factores que favorecen el desarrollo de los deslizamientos como son la geomorfometría, geología, acción antrópica e intensidad de las lluvias.
4. Las zonas de mayor vulnerabilidad en el municipio Mayarí se encuentran en los consejos populares, Pinares de Mayarí, Arroyo Seco, Levisa, Cabonico y Cajimaya, con aproximadamente un 40% del área total del municipio con índices de vulnerabilidad, desde moderada hasta muy alta.
5. Las zonas con mayor índice de riesgos en el municipio Mayarí se encuentran en los consejos populares Pinares de Mayarí, Arroyo Seco, Levisa, Cajimaya, Cabonico y Colorado. Debido a que en estas zonas es donde se concentran los mayores índices de peligro y vulnerabilidad. Pues en ellas se encuentra una de las obras de mayor impacto económico del municipio y el País, que es el trasvase este-oeste y la presa Mayarí, los cuales son amenazados por estos riesgos.
6. Se elaboró un plan general de reducción de riesgos por deslizamientos, en el cual se plantean una serie de medidas, no estructurales y estructurales, con el objetivo de mitigar los daños por los deslizamientos en el municipio Mayarí.

Recomendaciones

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios hidrológicos, hidrogeológicos, sísmicos, geotécnicos y un inventario de deslizamientos más detallados para el municipio Mayarí con el objetivo incluirlos en posteriores estudios de P.V.R por deslizamiento.
2. Generalizar la metodología utilizada en la investigación para determinar el nivel de P.V.R. por deslizamiento en otros municipios de la provincia Holguín y en zonas específicas de alto impacto económico como el trasvase Mayarí.
3. Discutir y analizar los resultados de este trabajo con los órganos de la Defensa Civil, el gobierno, planificación física y otros interesados tanto a nivel municipal como provincial.

BIBLIOGRAFÍA

- ALFONSO-ROCHE, J. R., 1989. *Estadísticas en las ciencias geológicas*. 2 t. Ed. ISPJAE, Ciudad de La Habana.
- ALMAGUER, Y. 2005. *Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento Punta Gorda*. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Dpto. Geología. (Tesis doctoral) 108p.
- ALMAGUER, Y.; GUARDADO, R. 2005. *Caracterización geotécnica del perfil de meteorización de rocas ultrabásicas serpentinizadas en el territorio de Moa*. Cuba Minería y Geología [en línea] Vol. 21, No. 3. Disponible en: <http://www.ismm.edu.cu/revistamg/v21-n3-2005/art2-3-2005>.
- ALMAGUER, Y.; GUARDADO, R. 2006. *Tipología de movimientos de masas en cortezas lateríticas residuales del territorio de Moa*. Cuba. Minería y Geología. Vol. 1 No. 1. ISSN 0258 5979.
- ARANGO, A. 1988. *Informe Geológico*. Proyecto C.H.A de Río Guayabo y Río Sojo. Holguín. 24 p.
- BATISTA, Y. 2009. *Evaluación del riesgo por deslizamiento del municipio Bartolomé Masó. Provincia Granma. Tesis de Maestría*. Dpto. Geología. ISMM.Moa.97 p.
- BOSQUE, J. 1992. *Sistemas de información geográfica*. Madrid, Ediciones Rialp, 451 p.
- BRABB, E.E.; PAMPEYAN, E.H.; BONILLA, M.G. 1978. *Landslide susceptibility in San Mateo County, California*. US Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map, MF-360, Map at 1: 62,500 scale.
- BRACKEN; WEBSTER. 1990. *Information technology in Geography and planning. Including principles of G.I.S*. London: Rout ledge. 444p.
- BURROUGH, P.A. 1988. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford, Oxford Universitypress. 194 p.
- CARMENATE, J. A. 1996. *Evaluación de las condiciones ingeniero-geológicas para la zonificación de los fenómenos geológicos en áreas urbanas y suburbanas de la ciudad de Moa*. Tesis de maestría. Departamento de geología, ISMM. 108 p.

Bibliografía

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

- CARRARA, A.; CARRATELLI, E.P.; MERENDA, L.1977. *Computer-based data bank and statistical analysis of slope instability phenomena*. Zeitschrift für morphologie 21, 187–222 p.
- CASTELLANOS E., 2005. *Processing SRTM DEM data for national landslide hazard assessment*. VI Congreso de Geología y Minería. Simposio de sismicidad y riesgos geológicos. 12 p.
- CASTELLANOS, E., et al., Versión 4-Enero2012. *Guía metodológica para el estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo por deslizamientos de terreno a nivel municipal*. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Agencia de Medio Ambiente. Grupo Nacional de Evaluación de Riesgo. Cuba. 31 p
- CASTELLANOS, E.; VAN WESTEN, C.J. 2009. *Descripción y uso del mapa Nacional de índice de riesgos por deslizamiento*. VI Congreso Internacional de Geomática.
- CEBRIÁN, J.A.; MARK, D. 1986. *Sistemas de Información Geográfica. Funciones y estructuras de datos*. Estudios Geográficos. (188), 277-299 p.
- CISAT. 2007. *Diagnóstico Ambiental de la Cuenca del Río Mayarí*. Holguín.151 p.
- COROMINAS J.; GARCÍA, A. 1997: *Terminología de los movimientos de laderas (conferencia)*. IV Simp. Nac. Sobre taludes y laderas inestables, Granada. Vol (2): 320-329 p.
- COROMINAS, J. 1987. *Criterios para la confección de mapas de peligrosidad de movimientos de ladera*. Riesgos Geológicos. Serie Geología Ambiental. IGME, Madrid. 193-201 p.
- CROZIER, M.J. 1986. *Landslides. Causes, consequences & environment*. Ed. Routledge. London & New York. 252 p.
- CRUDEN, D.M.; VARNES, D.J. 1996. *Landslide types and processes*. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), *Landslides, Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board, Special Report 247, Washington D.C., USA, p. 36–75.
- DAI, F.C.; LEE, C.F.; Xu, Z.W. 2001. *Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island*. HongKong. Environmental Geology 40 (3), 381–391 p.
- DHAKAL, S.; AMADA, T.; ANIYA, M. 2000. *Databases and Geographic Information Systems for Medium Scale Landslide Hazard Evaluation: an Example from Typical Mountain Watershed in Nepal*. s.l.: En: A.E. Bromhead, N. Dixon and M.L. Ibsen

Bibliografía

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

- (Eds): Landslides in research, theory and practice. Tomas Telford. London. 1, 457-462 p.
- FONSECA, E.; ZELEPUGIN, V.N.; HEREDIA, M. 1985. *Structure features of the ophiolite association of Cuba. Geotectonic.* 19(4):321-329 p.
- GARCÍA, J. C. 2005. *Análisis de la Vulnerabilidad por movimientos de ladera: Desarrollo de las metodologías para la evaluación y cartografía de la vulnerabilidad.* Venezuela. 220 p.
- GLADE, T. 2001. *Landslide hazard assessment and historical landslide data an inseparable couple?* In: Glade, T., Albini, P., Frances, F. (Eds.), *The Use of Historical Data in Natural Hazards Assessment (Advances in Natural and Technological Hazard. Research).* Kluwer Academic Publications, Dordrecht, The Netherlands, p. 153–168.
- GLADE, T.; CROZIER, M.J. 2005. *A review of scale dependency in landslide hazard and risk analysis.* In: Glade, T., Anderson, M., Crozier, M.J. (Eds.), *Landslide Hazard and Risk.*
- GUARDADO, R.; ALMAGUER, Y. 2001. *Evaluación de riesgos por deslizamiento en el yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín.* Minería y Geología, Cuba, vol. XVIII (1): 1-12.
- HARP, E.L.; CASTAÑEDA, M.R.; HELD, M.D. 2002. *Landslides triggered by Hurricane Mitch in Tegucigalpa, Honduras.* U.S. Geological Survey Open-File Report 02-33. 11 p., 1 plate.
- HARTLÉN, J.; VIBERG, L. 1988. *Evaluation of landslide hazard.* En: Ch. Bonnard (Ed): 5th. International Congress on Landslides. Lausanne. I (2), 1037-1057 p.
- HUTCHINSON, J.N. 1988. *Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology.* En: Ch. Bonnard (Editor), 5th Int. Congr. On Landslides, Lausanne. 1, 3-35 p.
- I.G.P. 2001. *Mapa Geológico de las Provincias Orientales.* Escala 1:100 000. Edición digital por el grupo CASIG-IGP, Cuba.
- IAEG. 1976. *Engineering geological maps. A guide to their preparation.* International Association of Engineering Geologists. The UNESCO Press, Paris, 79 p.

Bibliografía

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

- IAEG-Commission on Landslides. 1990. *Suggested nomenclature for landslides*. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 41.13–16 p.
- IBSEN, M.; BRUNSDEN, D.1996.*The nature, use and problems of historical archives for the temporal occurrence of landslides, with specific reference to the south coast of Britain, Ventnor, Isle of Wight*. Geomorphology 15, 241–258 p.
- ITURRALDE-VINENT, M.A. 1996.*Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*.I.G.C.P.Project 364, Special Contribution No. 1.
- IUGS-Working group on landslide. 1995. *A suggested method for describing the rate of movement of a landslide*. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 52, 75–78 p.
- IUGS-Working group on landslide, 2001.*A suggested method for reporting landslide remedial measures*.Bulletin of Engineering Geology and Environment 60, 69–74 p.
- JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes, 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning, for land use planning. Engineering Geology 103, 85–98 (this volume).
- KAMP, U.; GROWLEY, B. J.; KHATTAKG.A.;OWEN L. A. 2008.GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region. Geomorphology (101): 631-642 p.
- LANG, A.; MOYA, J.; COROMINAS, J.; SCHROTT, L.; DIKAU, R.1999.*Classic and new dating methods for assessing the temporal occurrence of mass movements*.Geomorphology 30 (1–2), 33–52 p.
- LOMTADZE, V. D. 1977. *Geología aplicada a la ingeniería. Geodinámica aplicada a la ingeniería*. Ed. Pueblo y Educación, 560 p.
- LUZI, L.; FABBRI, A.G. 1995. *Application of Favourability Modelling to Zoning of Landslide Hazard in the Fabriano Area, Central Italy*. 1st. Joint European Conference and Exhibition on Geographical Information, The Hague, NL. 398-403 p.
- LUZI, L.; PERGALANI, F. 1996.*Applications of statistical and GIS techniques to slope instability zonation (1:50.000 Fabriano geological map sheet)*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 15, 83-94 p.
- MASTIN, M.C. 2002. *Flood-hazard mapping in Honduras in response to Hurricane Mitch*.U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 01-4277. 46 p.

Bibliografía

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

- MESA, A. 2007. *Evaluación de Riesgo Específico por deslizamiento en el Municipio Yateras. Guantánamo*. Tesis de Maestría.
- MORA, S., Vahrson, W.G., 1993. Determinación "a priori" de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos. *Tecnología ICE* 3, 32-42.
- METTERNICHT, G.; HURNI, L.; GOGU, R. 2005. *Remote sensing of landslides: an analysis of the potential contribution to geo-spatial systems for hazard assessment in mountainous environments*. *Remote Sensing of Environment* 98 (23), 284–303 p.
- MULDER, H.F.H.M. 1991. *Assessment of landslide hazard. Nederlandse Geografische Studies*. PhD Thesis, University of Utrecht. 150 p.
- NCGIA. 1990. Core Curriculum. Tres volúmenes: I. *Introducción to GIS*. II. *Technical issues in GIS*. III. *Application issues in GIS*. Santa Bárbara, CA. National Center for Geographic Information and Analysis / University of California.
- PITÓN, R. 2010. *Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector Oeste del Municipio Moa*. Trabajo de diploma, Departamento de Geología, ISMM. 86 p.
- PROENZA, J. 1998. *Mineralización de cromitas en la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba)*. El ejemplo del Yacimiento Mercedita. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. 227 p.
- PUIG, R. 2007. *Evaluación de riesgos múltiples por desarrollo de fenómenos naturales en el municipio Moa*. Trabajo de diploma, Departamento de Geología, ISMM. 75 p.
- RENGERS, N.; SOETERS, R.; VAN WESTEN, C.J. 1992. *Remote sensing and GIS applied to mountain hazard mapping*. *Episodes*. 15 (1), 36-45 p.
- REYES, Yenisel. 2010. *Evaluación de la susceptibilidad por deslizamientos en el territorio de Moa aplicando métodos geomorfológicos y estadísticos*. Trabajo de Diploma, Departamento de Geología. ISMM. 95 p.
- SANTACANA, N. 2001. *Análisis de la susceptibilidad del terreno a la Formación de deslizamientos superficiales y Grandes deslizamientos mediante el uso de Sistemas de información geográfica*. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat. Tesis doctoral. UPC. Barcelona.

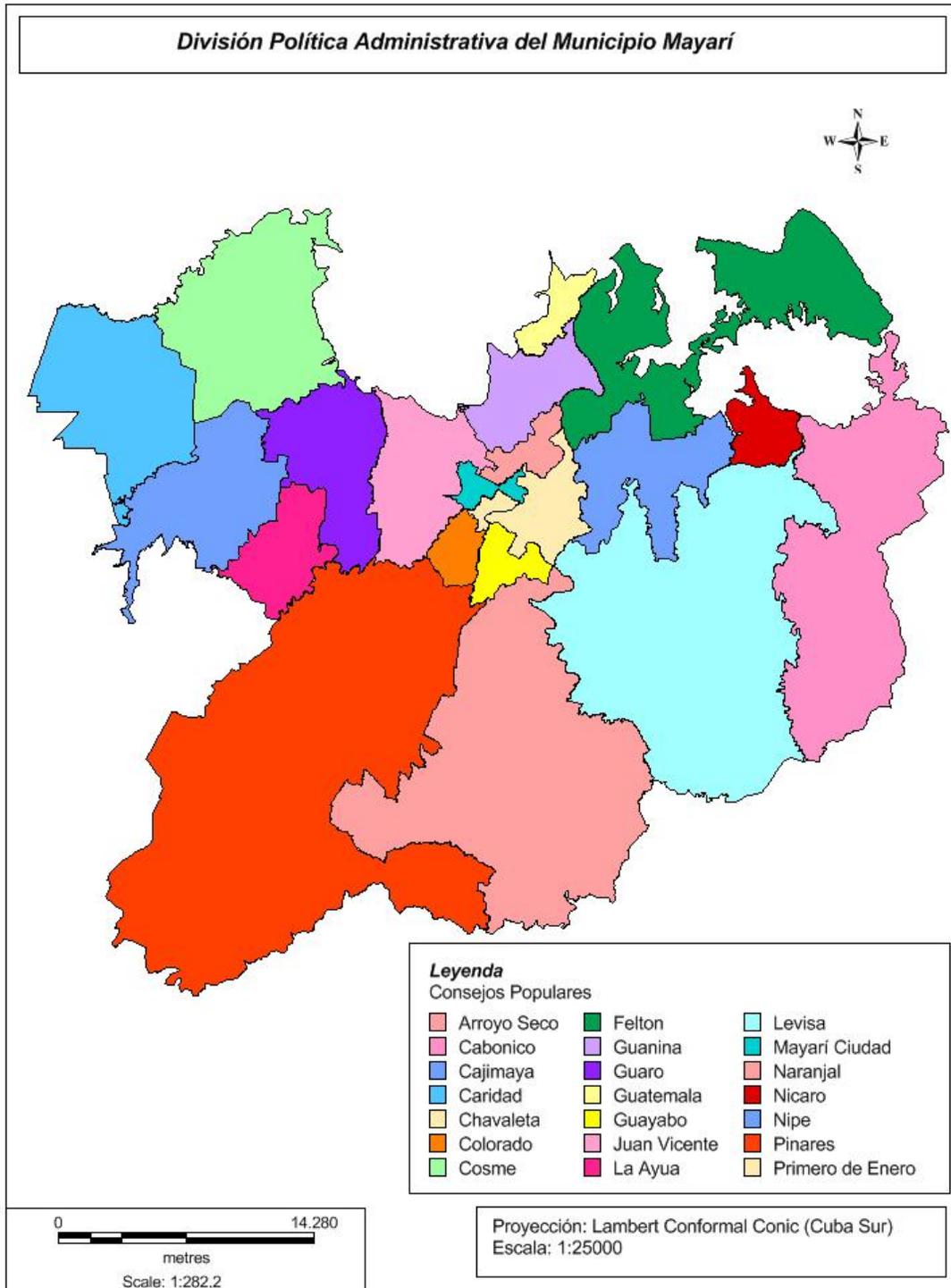
Bibliografía

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

- SHARPE, C.F.S. 1938. *Landslides and their control*. Academia & Elsevier, Prague. 205 p.
- SOETERS, R.; VAN WESTEN, C.J. 1996. *Slope instability recognition, analysis and zonation*. In: Turner, A.K., Schuster, and R.L. (Eds.), *Landslides, investigation and mitigation*. Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247. s.l.: National Academy Press, Washington D.C., U.S.A., p. 129–177.
- SUÁREZ, J. 1998. *Manual de Taludes en zonas Tropicales*. Venezuela. 151 p.
- VAN WESTEN, C.J. 2004. *Geo-information tools for landslide risk assessment-an overview of recent developments*. In: Lacerda, W., Ehrlich, M., Fontoura, S., Sayao, A. (Eds.), *Landslides, Evaluation & Stabilization*. Proceedings of the 9th International. s.l.: Symposium on Landslides, Rio de Janeiro, 28th June–2nd July, p. 39–56.
- VAN WESTEN, C.J.; GETAHUN, F.L. 2003. *Analyzing the evolution of the Tessina landslide using aerial photographs and digital elevation models*. *Geomorphology* 54 (1–2), 77–89. Van Westen, C.J., Van Asch, T.W.J., Soeters, R., 2005. s.l.: *Landslide hazard and risk zonation; why is it still so difficult?* *Bulletin of Engineering geology and the Environment* 65 (2). p 167–184.
- VARNES, D.J. 1978. *Slope movement types and processes*. En: *Landslides analysis and control*. Special Report. 176 p, 11-33 p.
- VARNES, D.J. IAEG. 1984. *Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice*. UNESCO, Darantiere, París, 61 p.
- VILTRES, Y. 2010. *Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector Este del Municipio Moa*. Trabajo de diploma, Departamento de Geología, ISMM. 86 p.
- WP/WLI. 1993. *Multilingual landslide glossary*. The Canadian Geotechnical society. Bitech Publishers Ltd.

ANEXOS

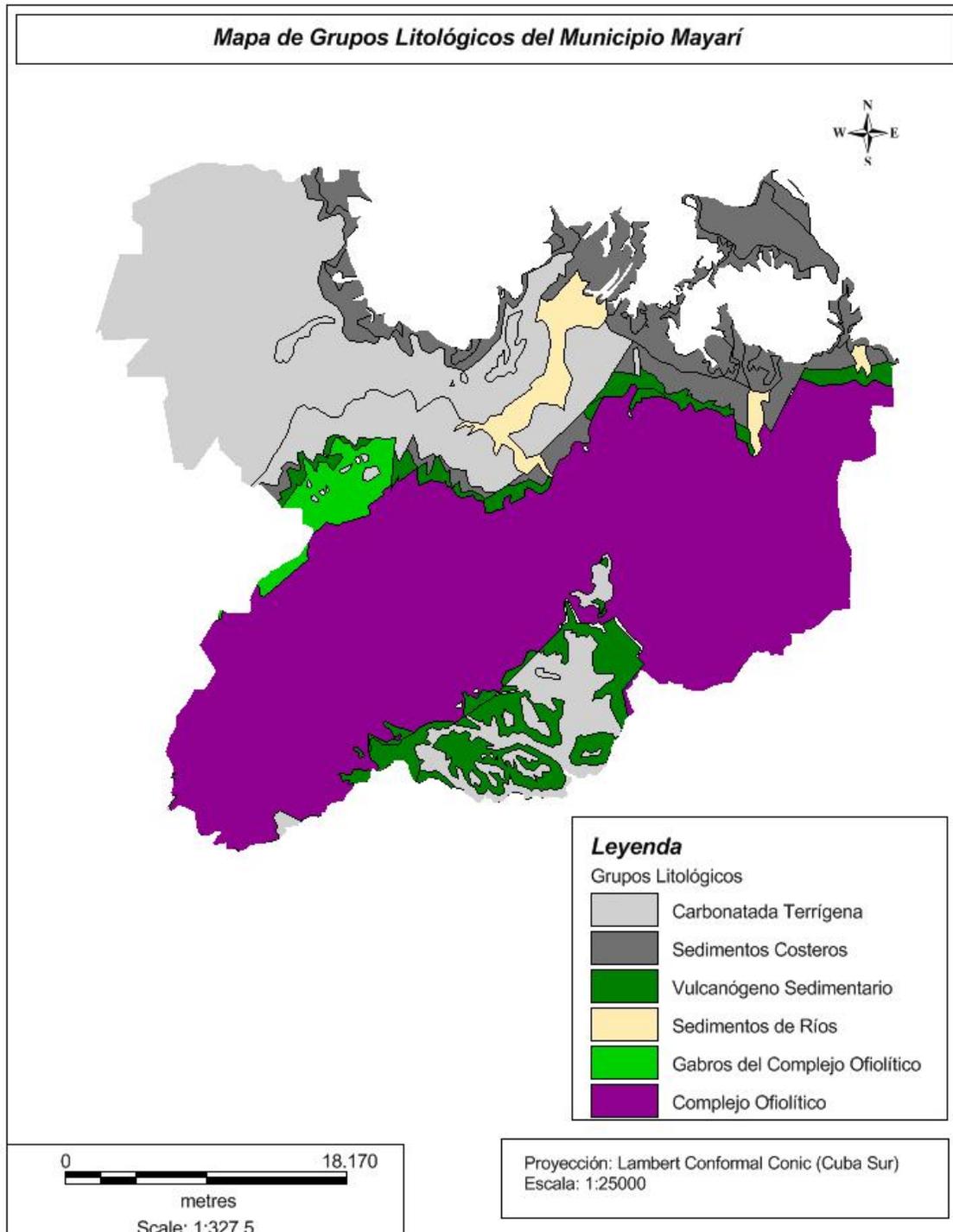
Anexo 1: División Política Administrativa del Municipio Mayarí.



Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

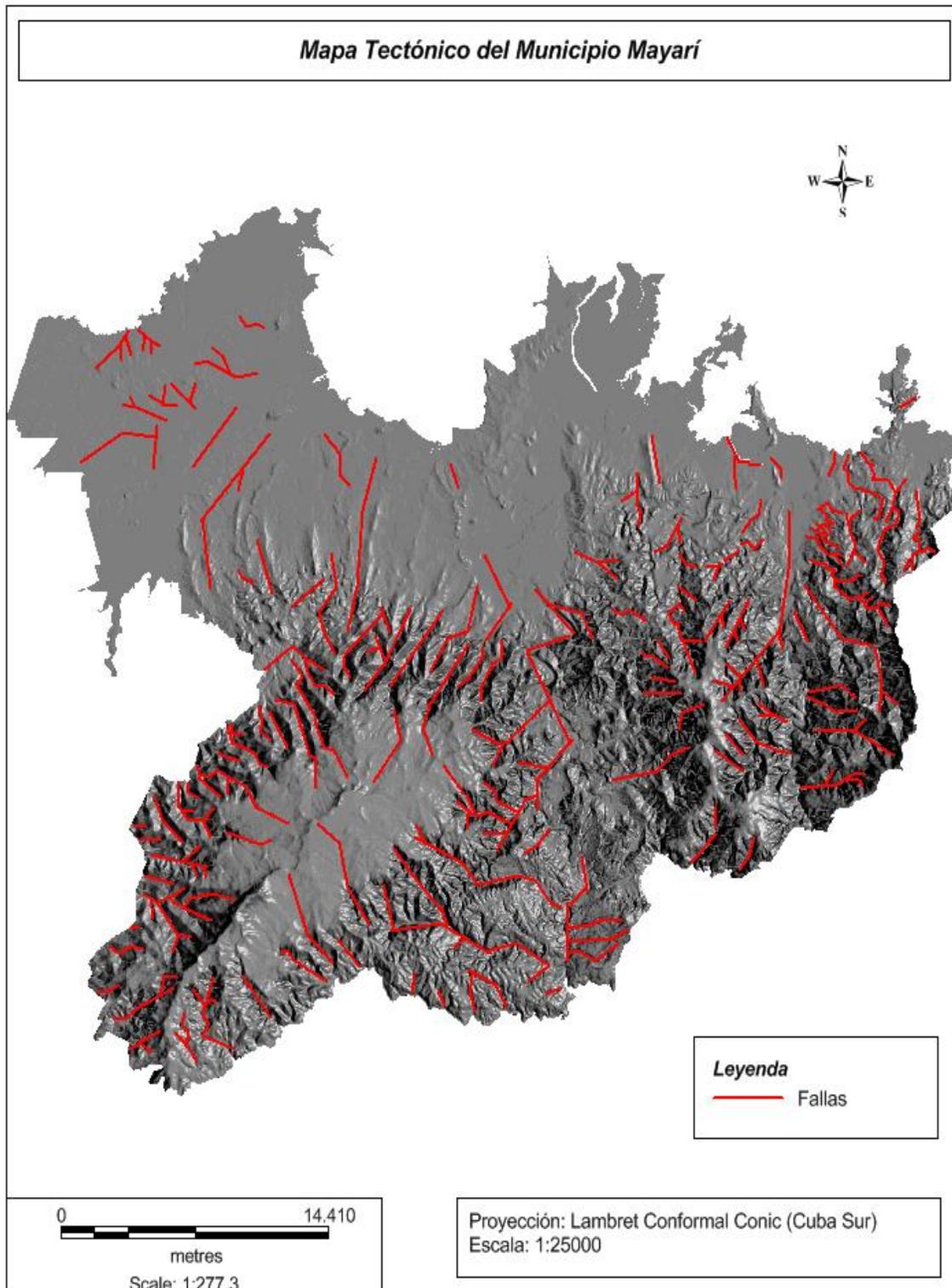
Anexo 2: Mapa de grupos Litológicos del municipio Mayarí. Escala: 1:25000.



Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

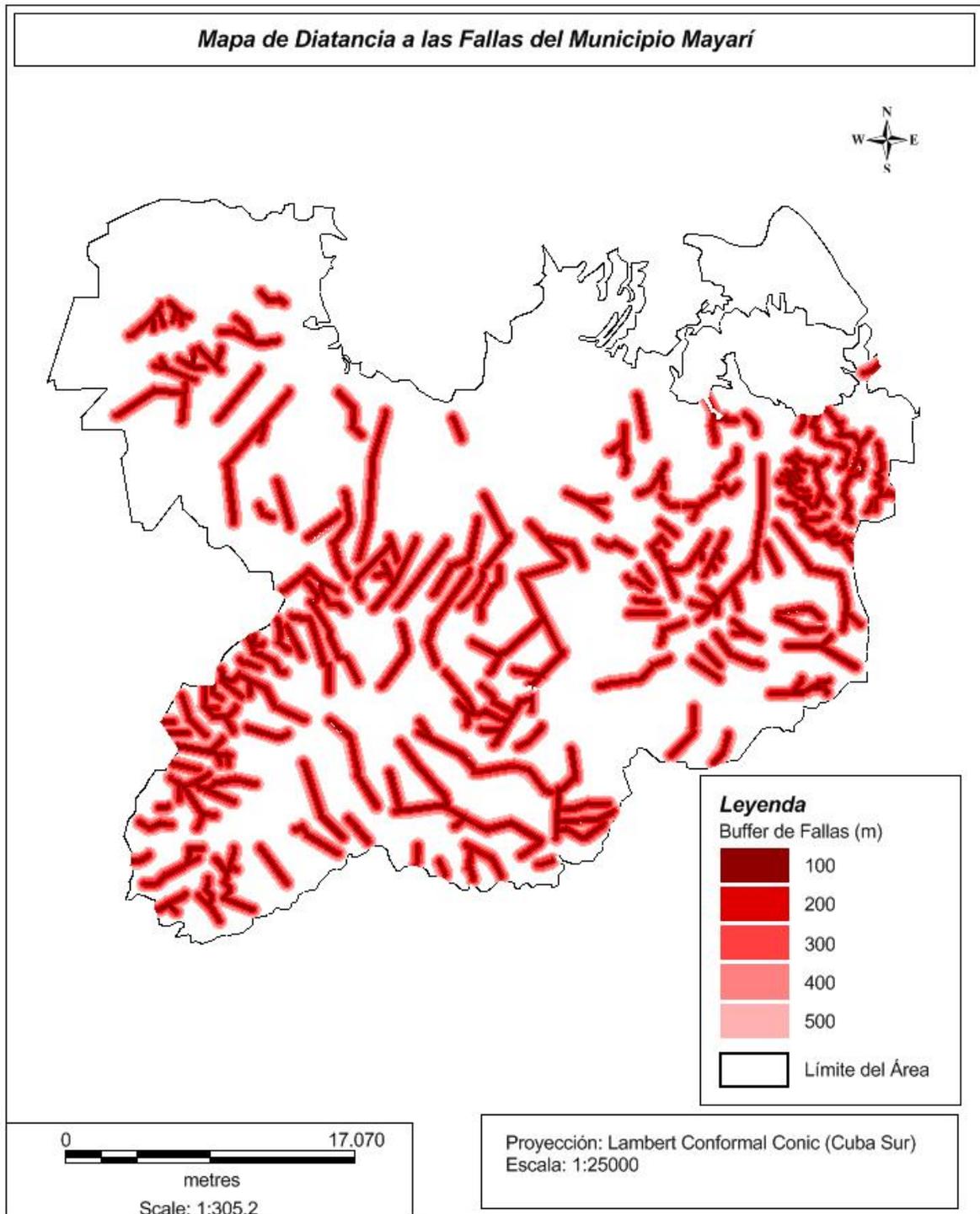
Anexo 3: Mapa Tectónico del municipio Mayarí. Escala: 1:25000.



Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

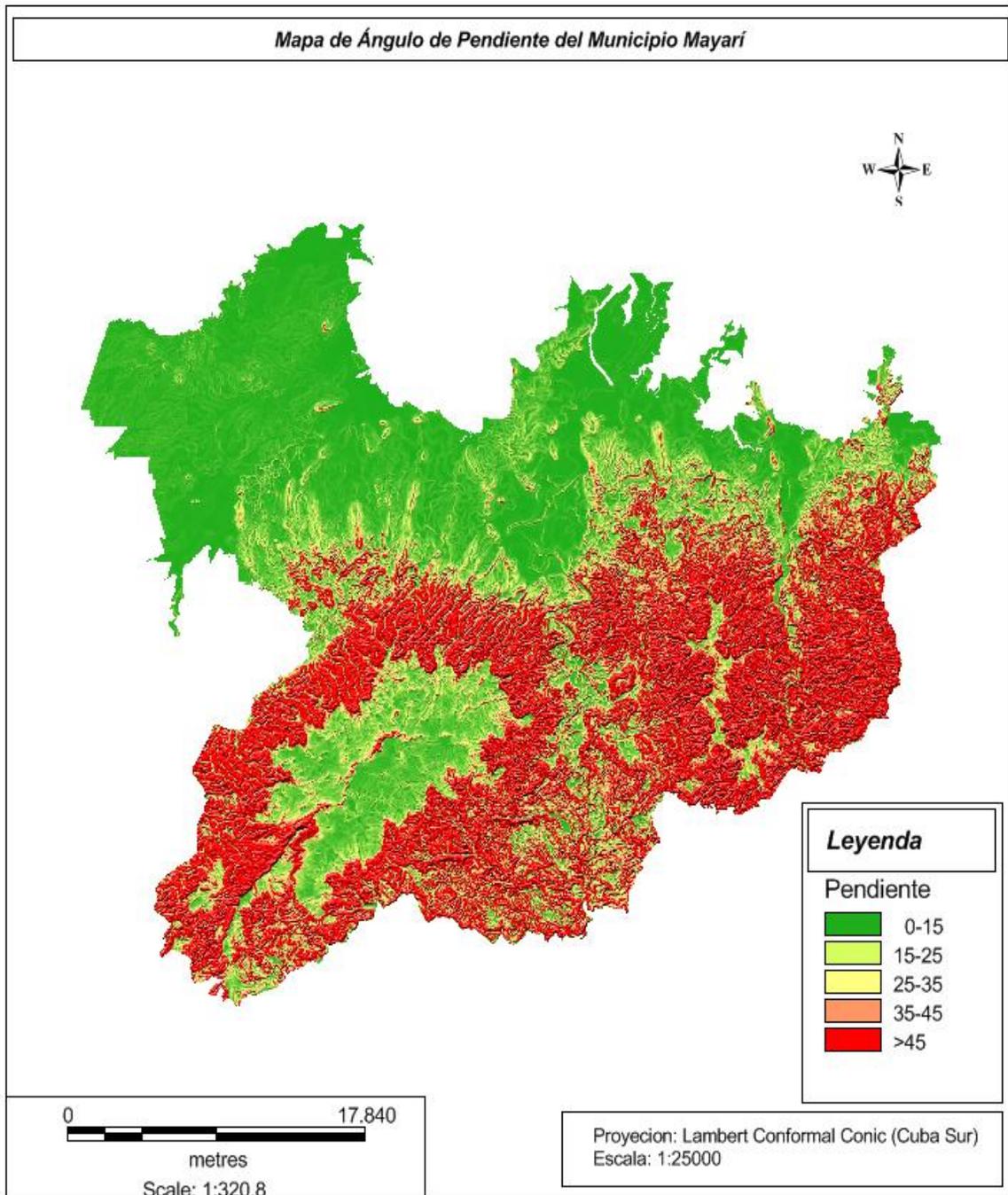
Anexo 4: Mapa de distancia a las fallas del municipio Mayarí. Escala: 1:25000.



Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

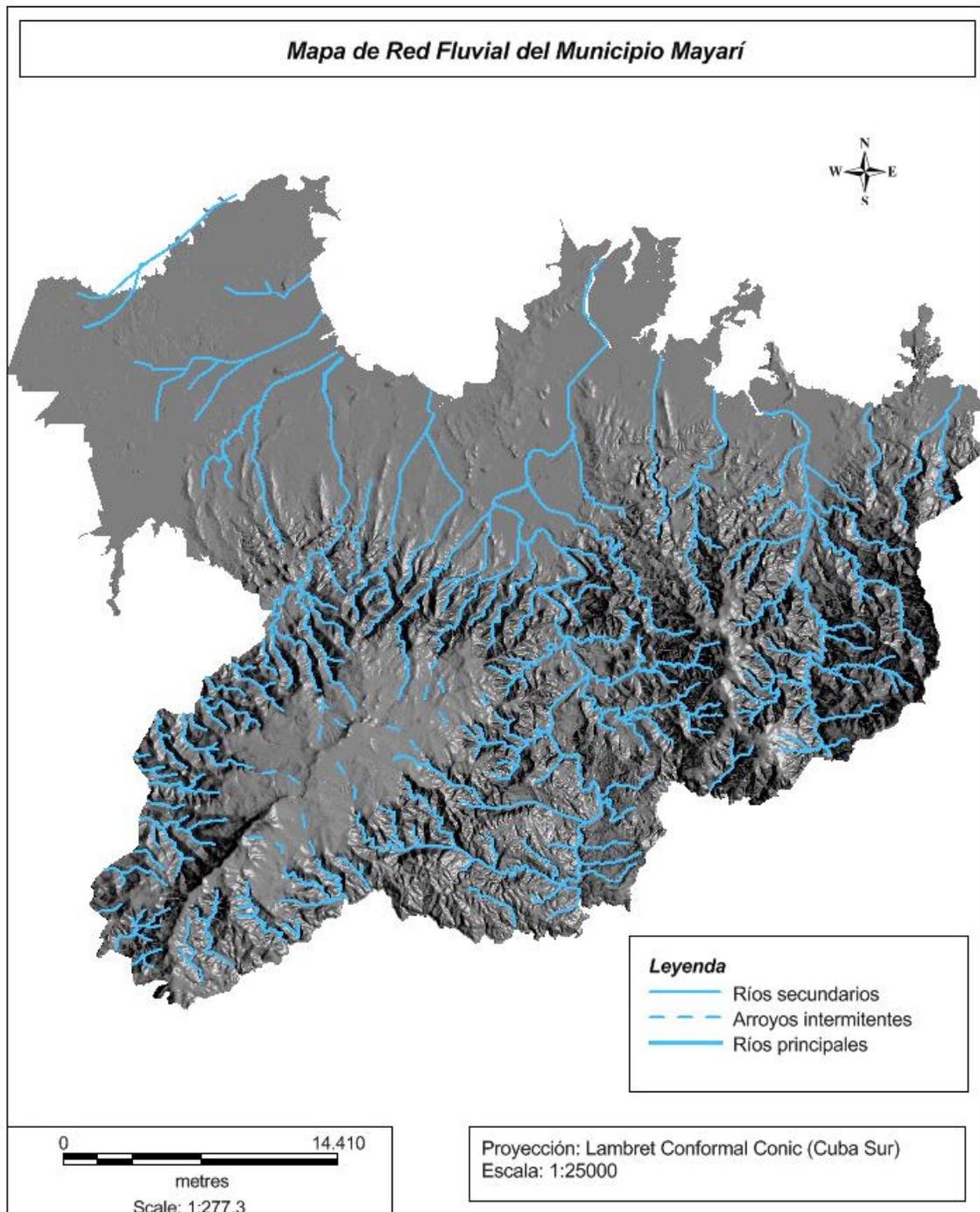
Anexo 5: Mapa de Ángulo de Pendiente del municipio Mayarí. Escala: 1:25000.



Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

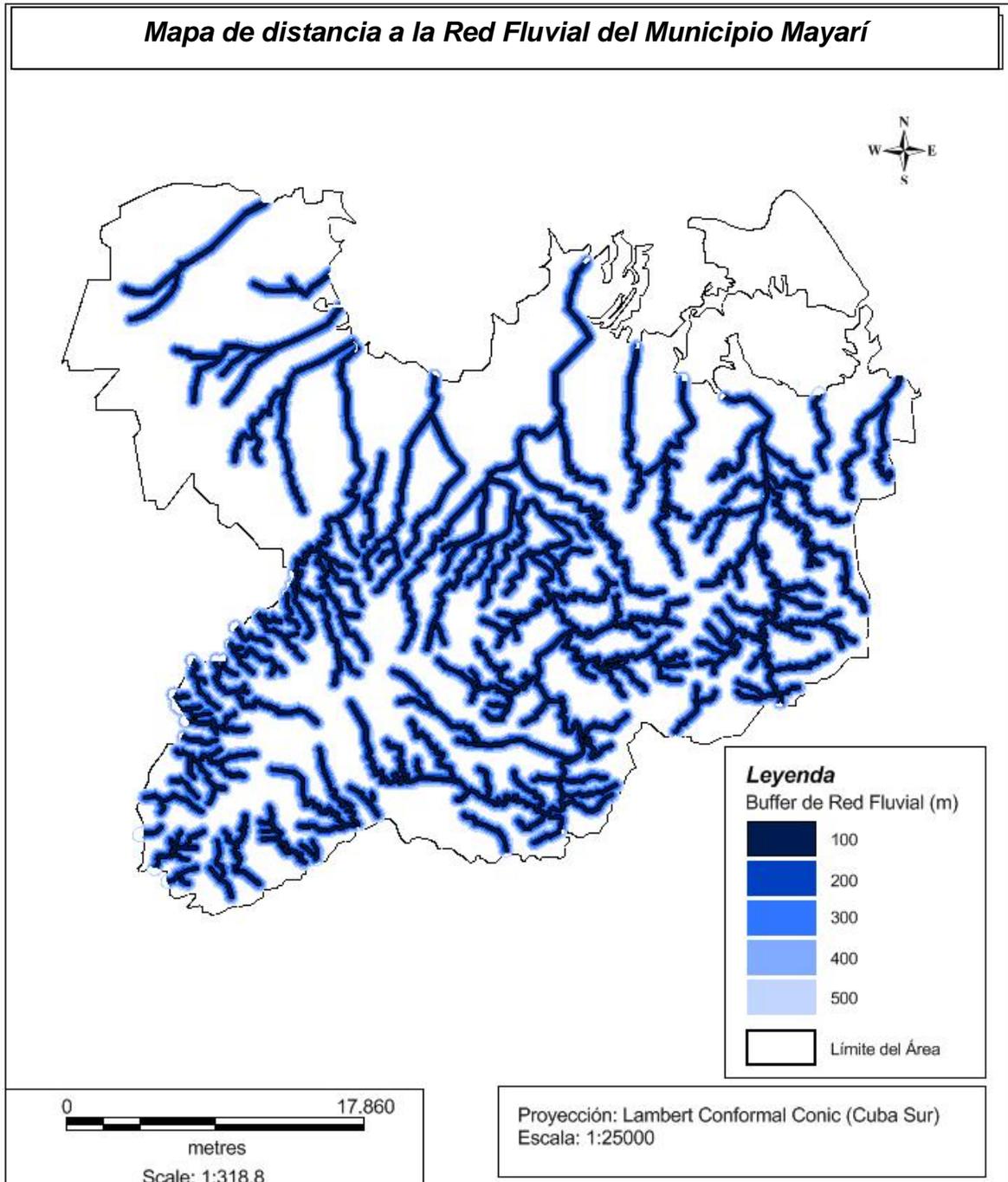
Anexo 6: Mapa de Red Fluvial del municipio Mayarí. Escala: 1:25000.



Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

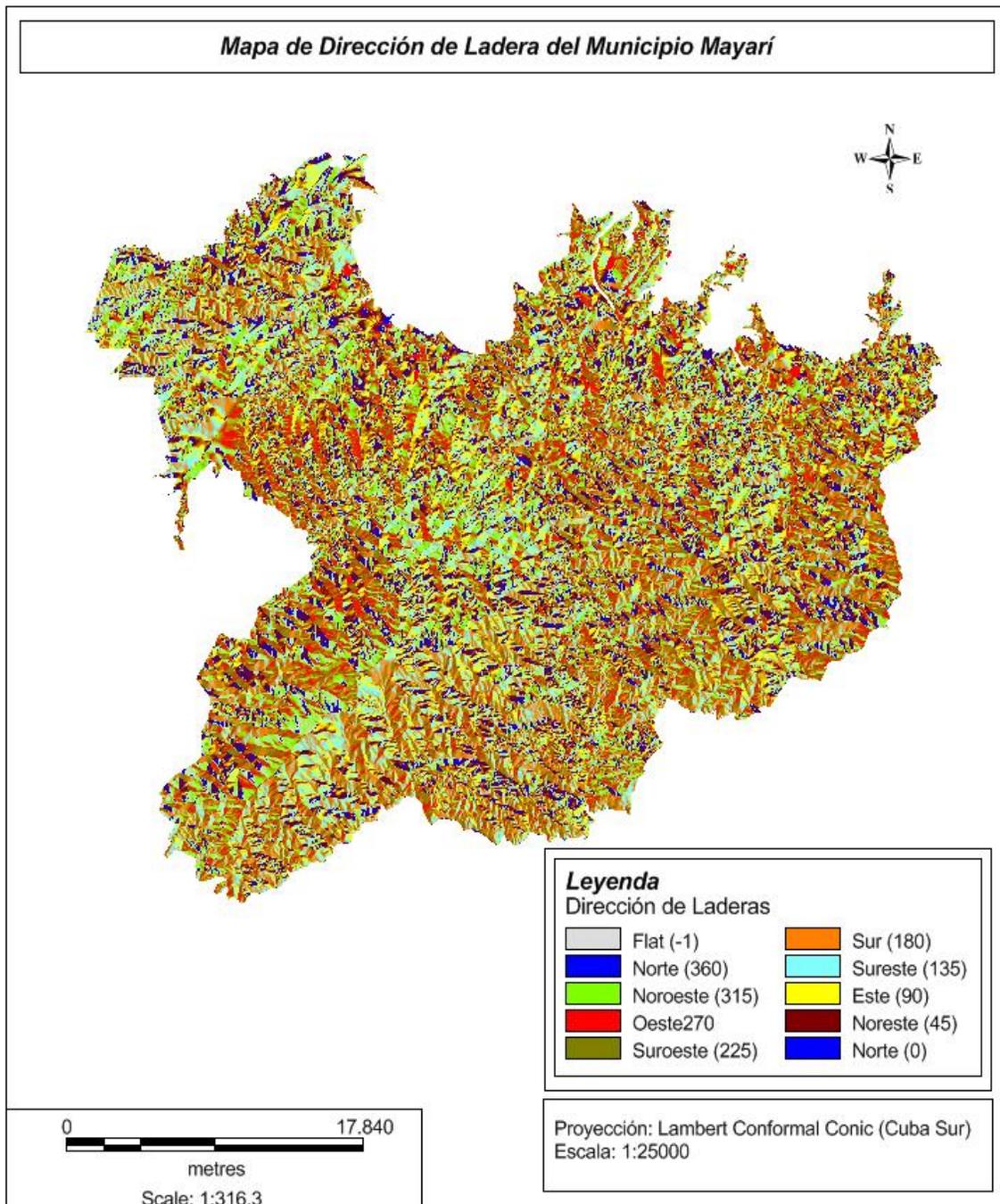
Anexo 7: Mapa de distancia a la Red Fluvial del municipio Mayarí. Escala: 1:25000.



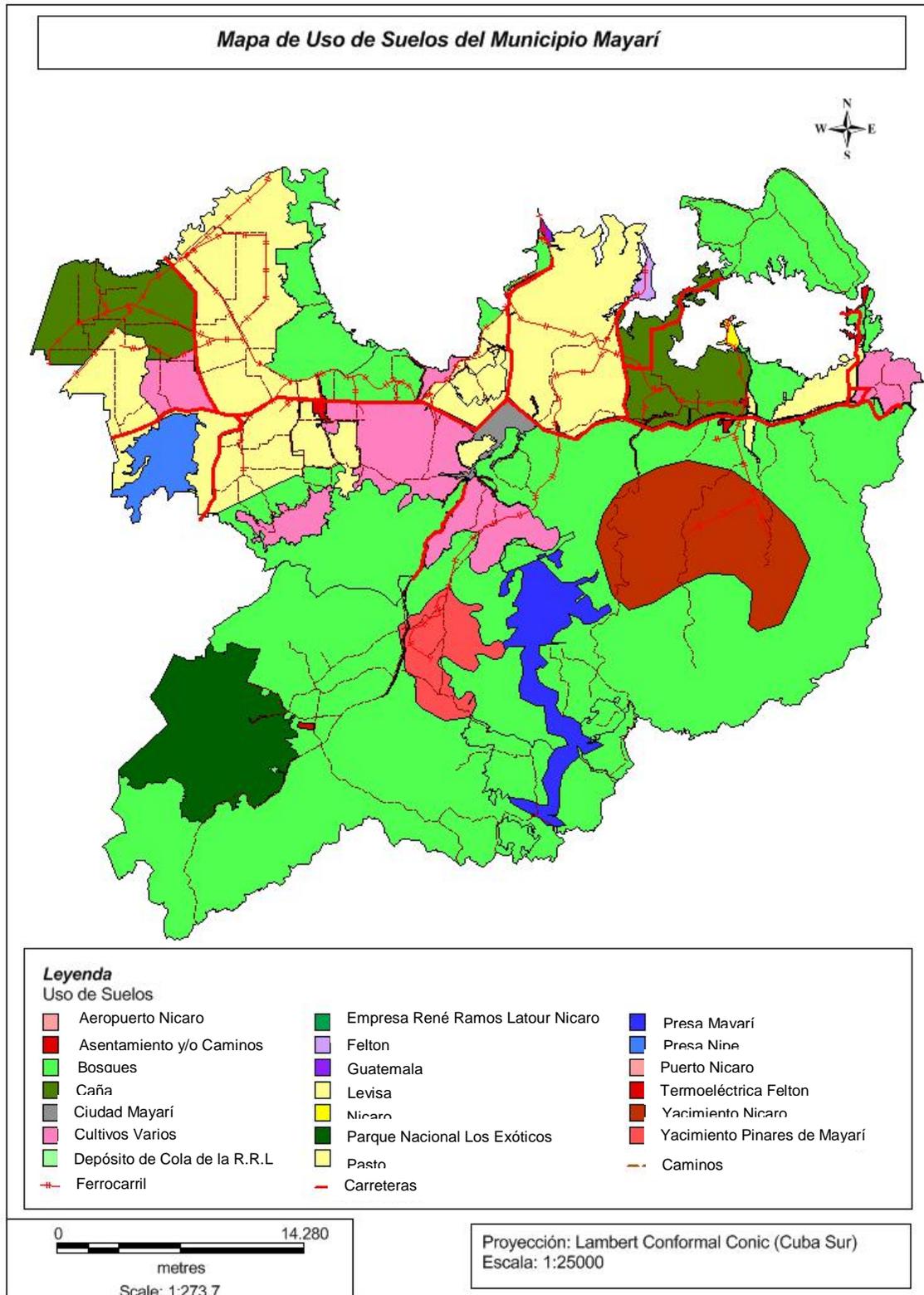
Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

Anexo 8: Mapa de Dirección de Laderas del municipio Mayarí. Escala: 1:25000.



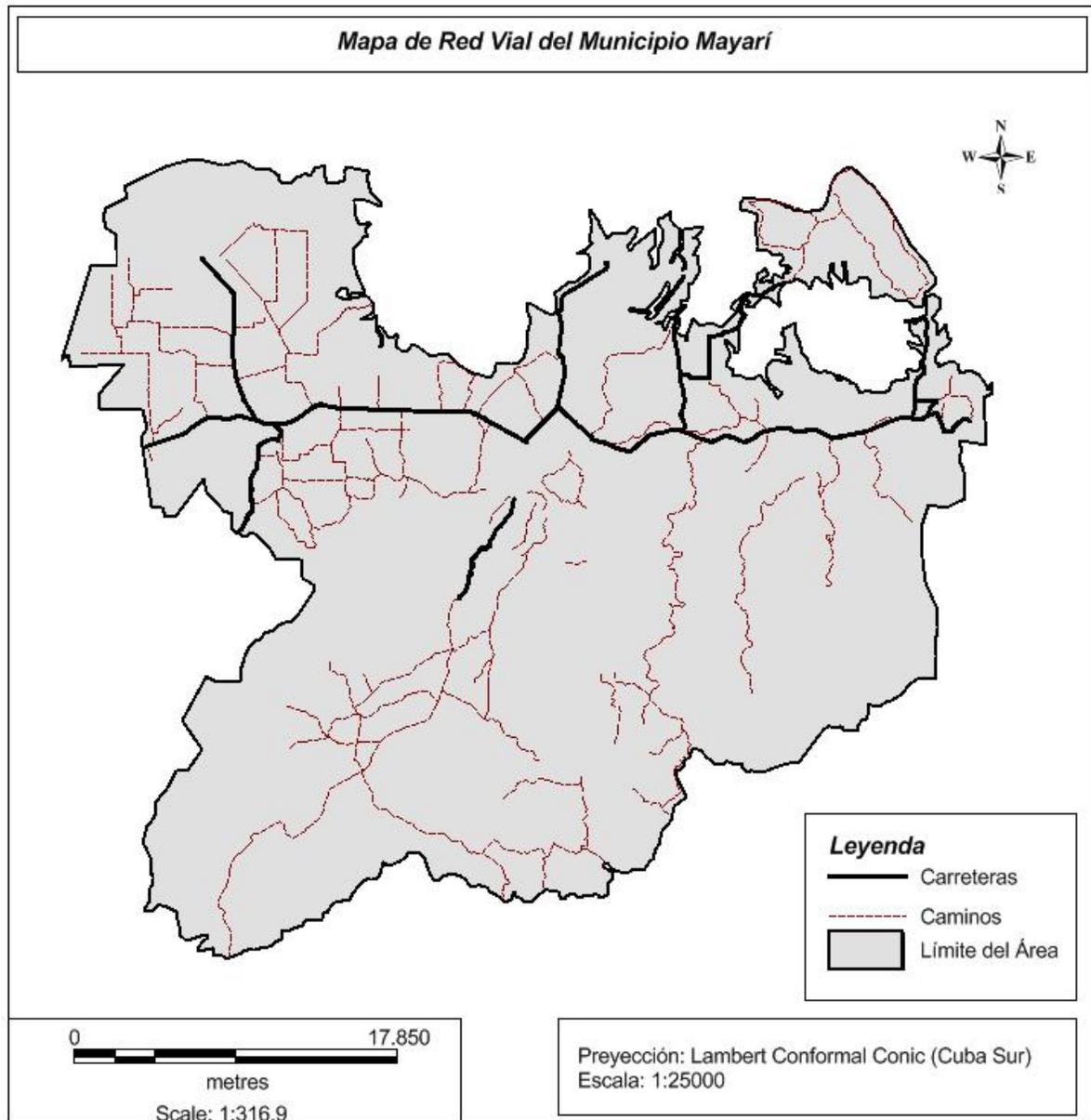
Anexo 9: Mapa de Uso de Suelos del municipio Mayarí. Escala: 1:25000.



Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

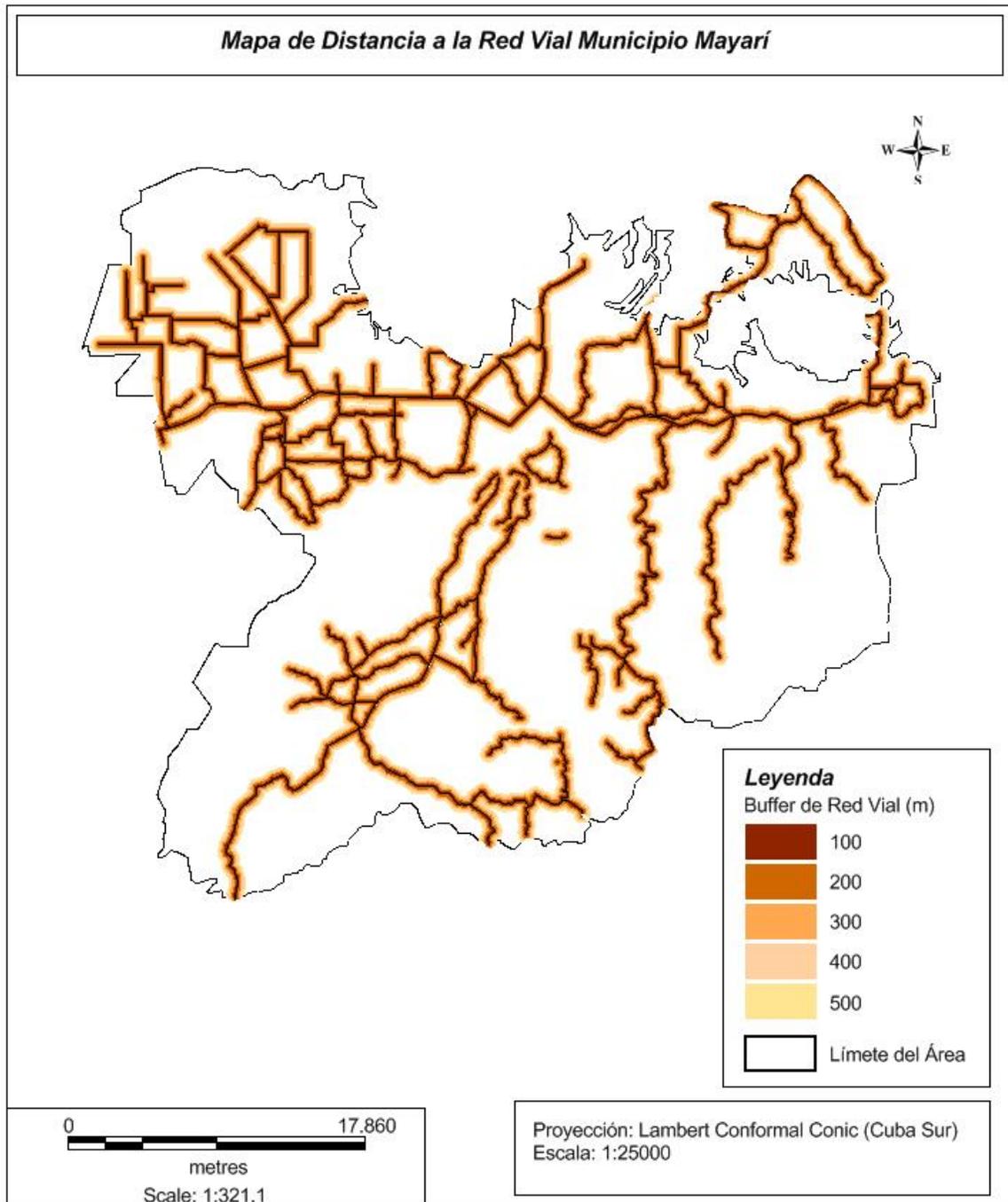
Anexo 10: Mapa de Red Vial del municipio Mayarí. Escala: 1:25000.



Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

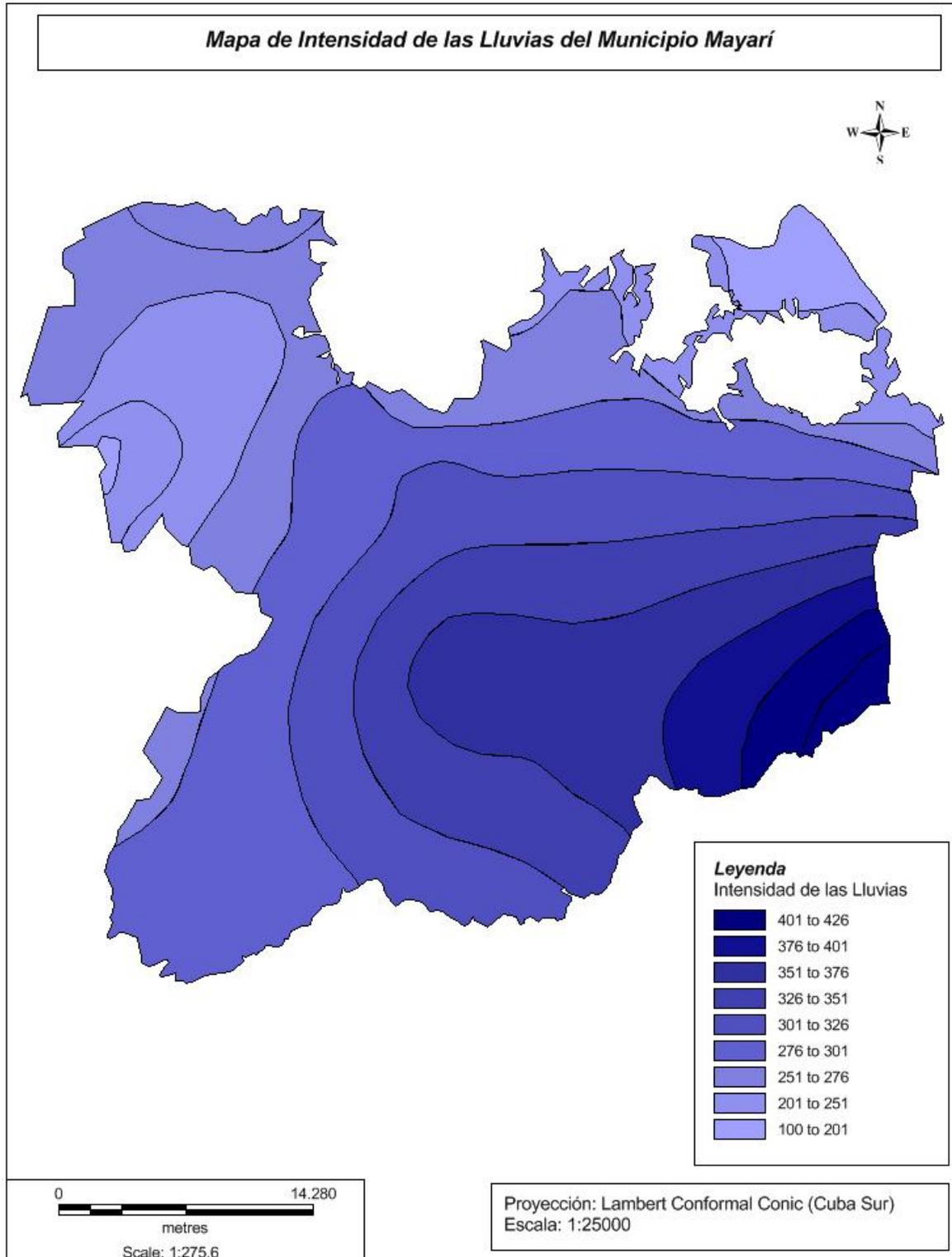
Anexo 11: Mapa de distancia a la red Vial del municipio Mayarí. Escala: 1:25000.



Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

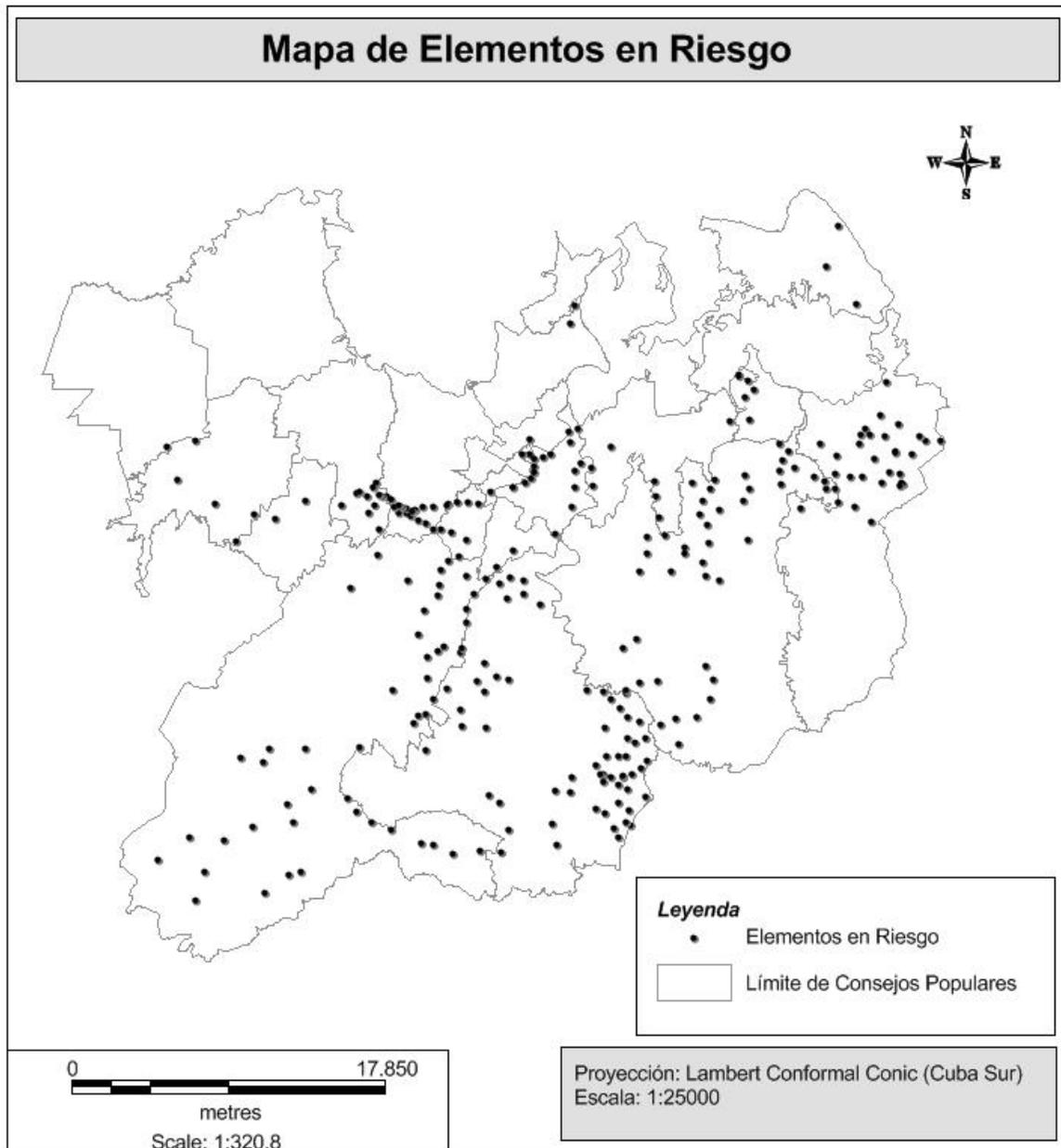
Anexo 12: Mapa de máxima intensidad de lluvia en 24 horas para un periodo de retorno de 100 años del municipio Mayarí. Escala: 1:25000.



Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

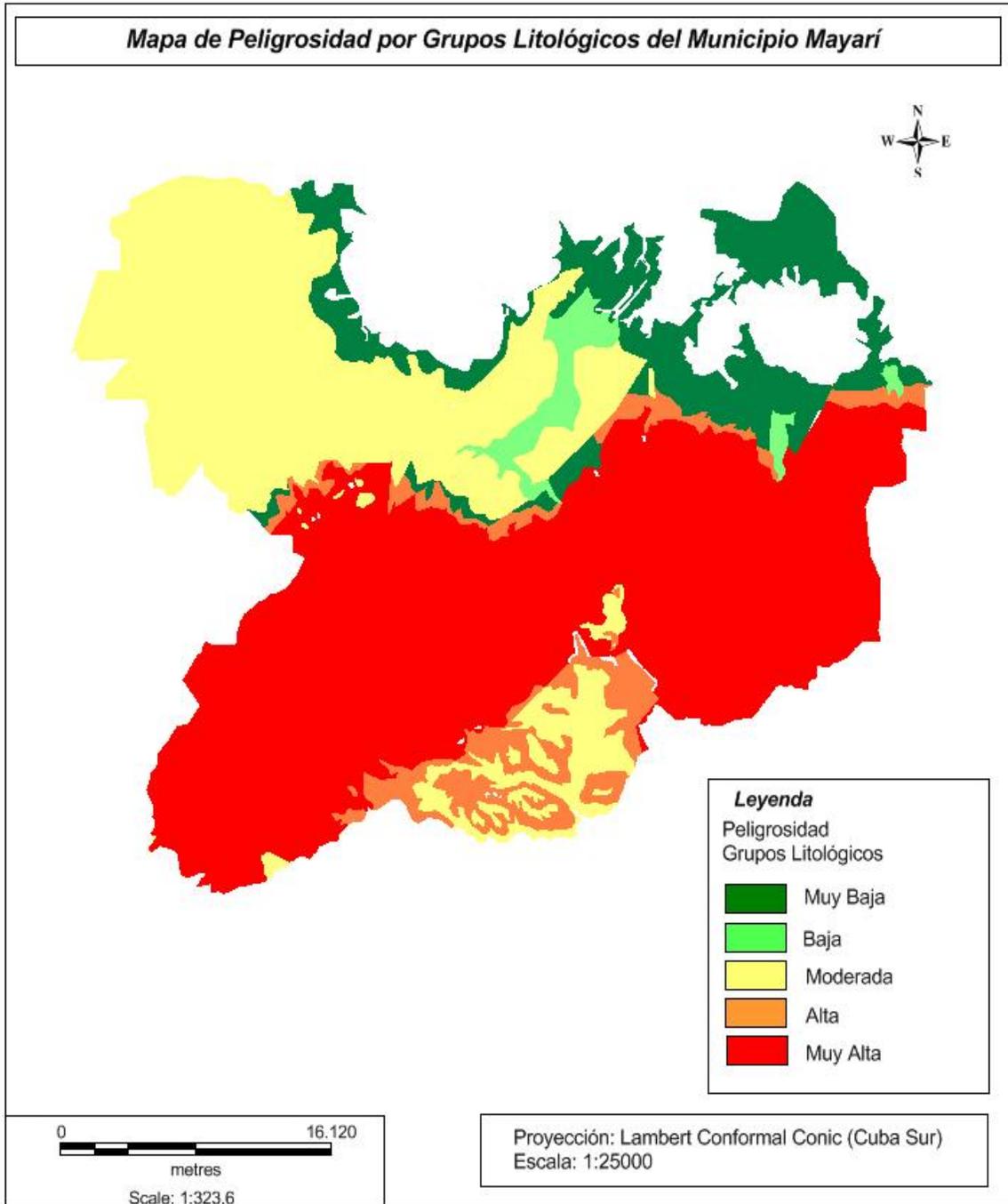
Anexo 13: Mapa de Elementos en Riesgo del municipio Mayarí. Escala: 1:25000.



Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

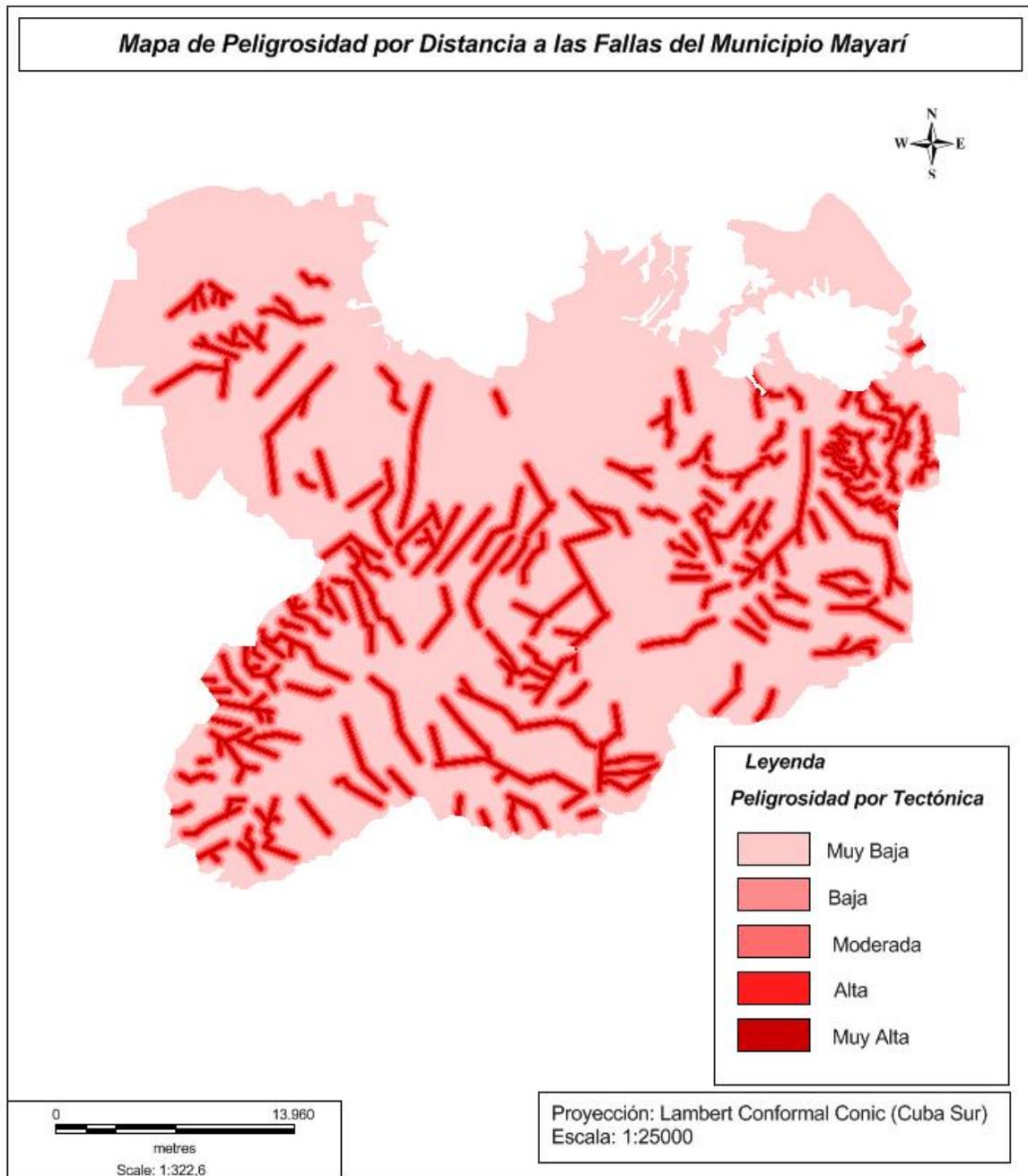
Anexo 14: Mapa de Peligrosidad por Grupos Litológicos del municipio Mayarí. Escala: 1:25000.



Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

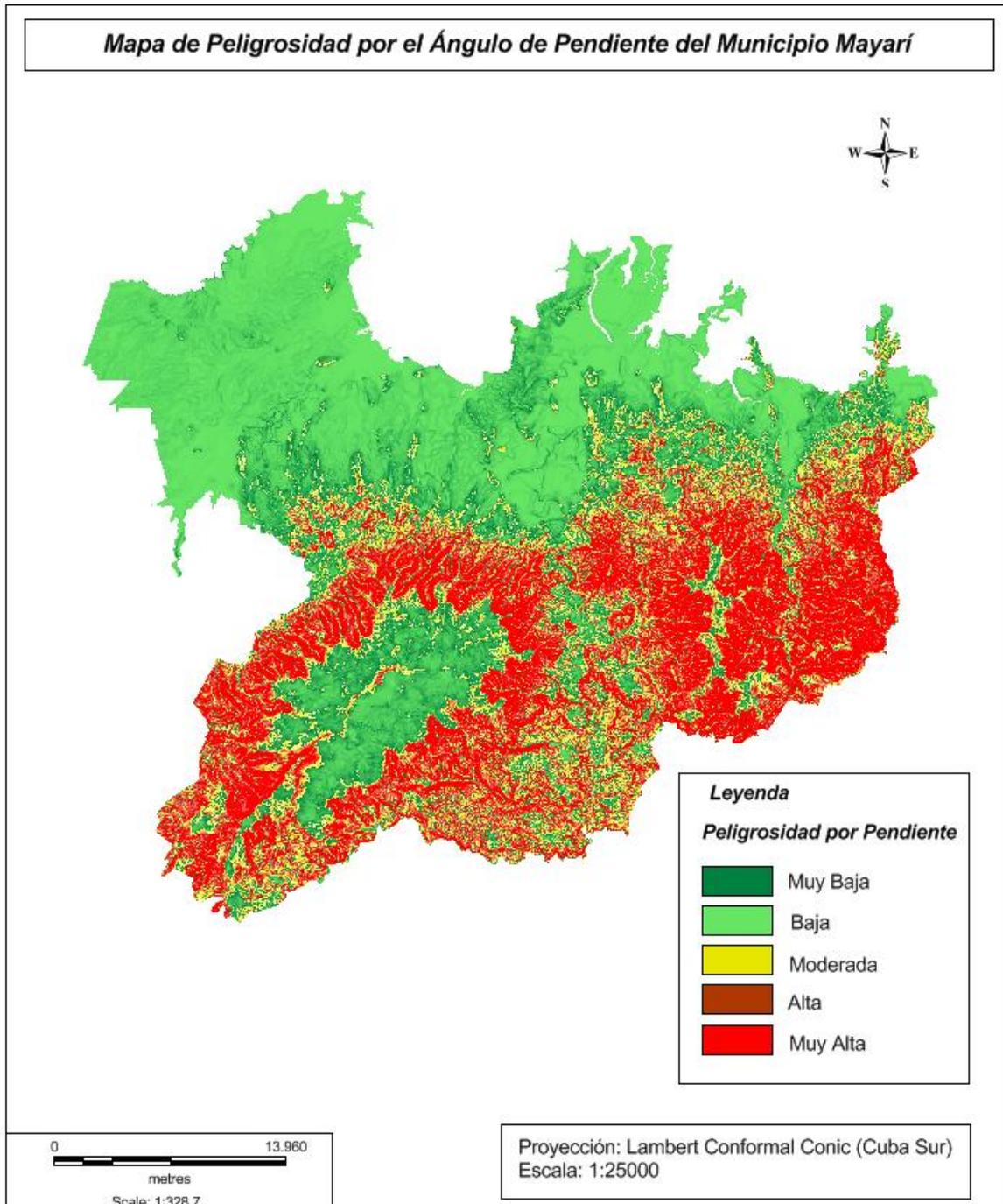
Anexo 15: Mapa de Peligrosidad por Distancia a las Fallas del municipio Mayarí. Escala: 1:25000.



Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

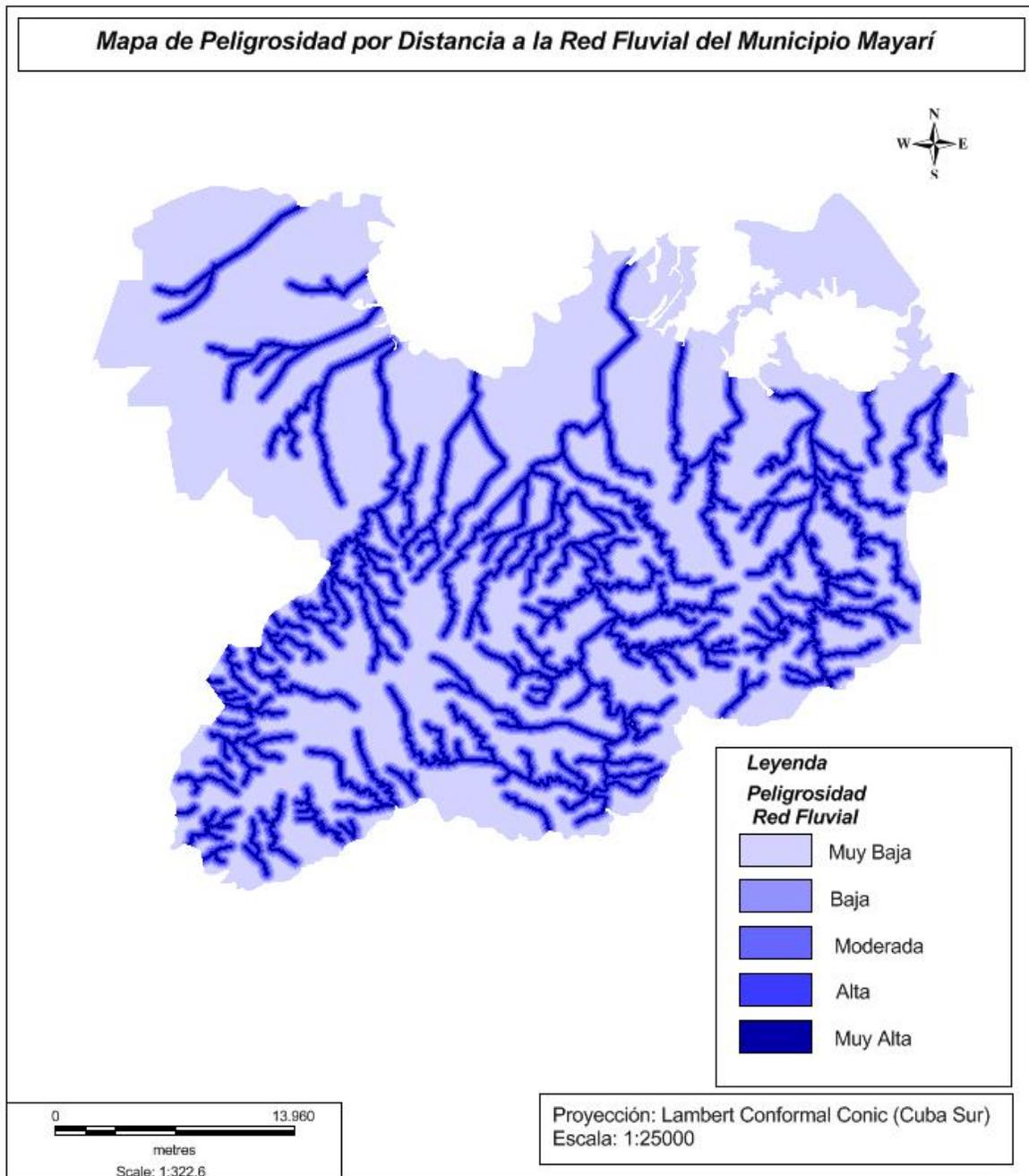
Anexo 16: Mapa de Peligrosidad por Ángulo de la Pendiente del Municipio Mayarí. Escala: 1:25000.



Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

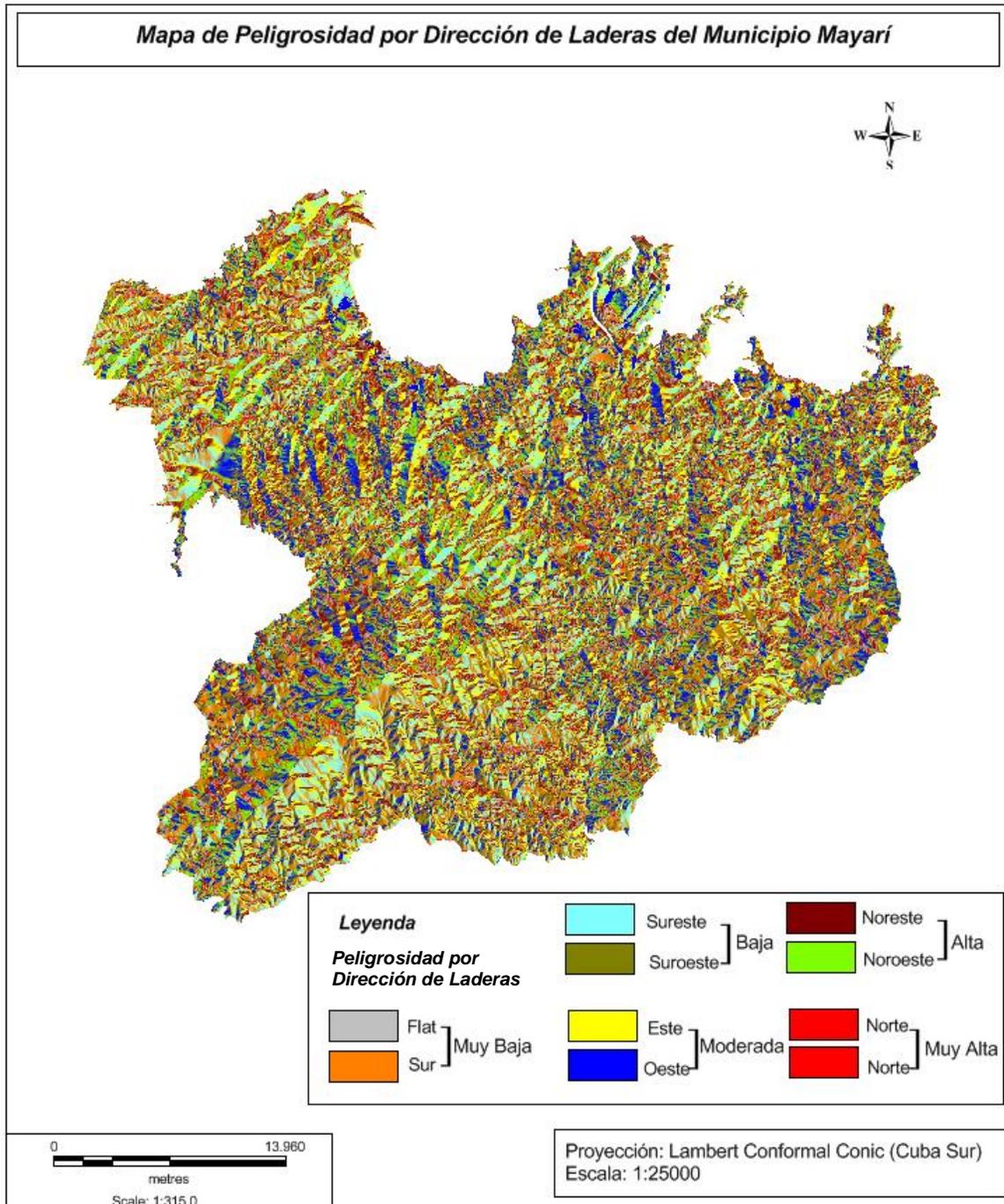
Anexo 17: Mapa de Peligrosidad por Distancia a la Red Fluvial del municipio Mayarí. Escala: 1:25000.



Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

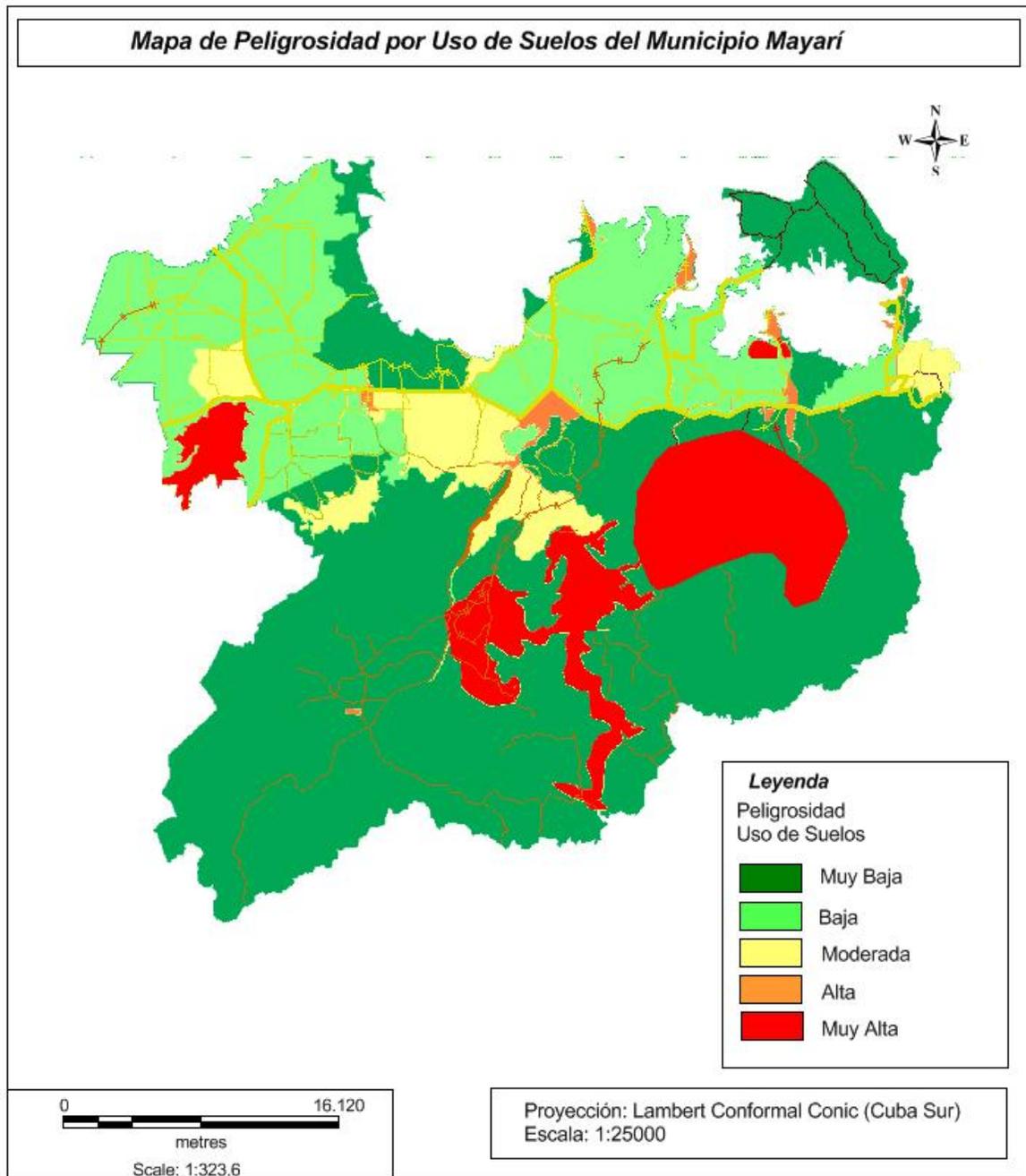
Anexo 18: Mapa de Peligrosidad por Dirección de Laderas del municipio Mayarí. Escala: 1:25000.



Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

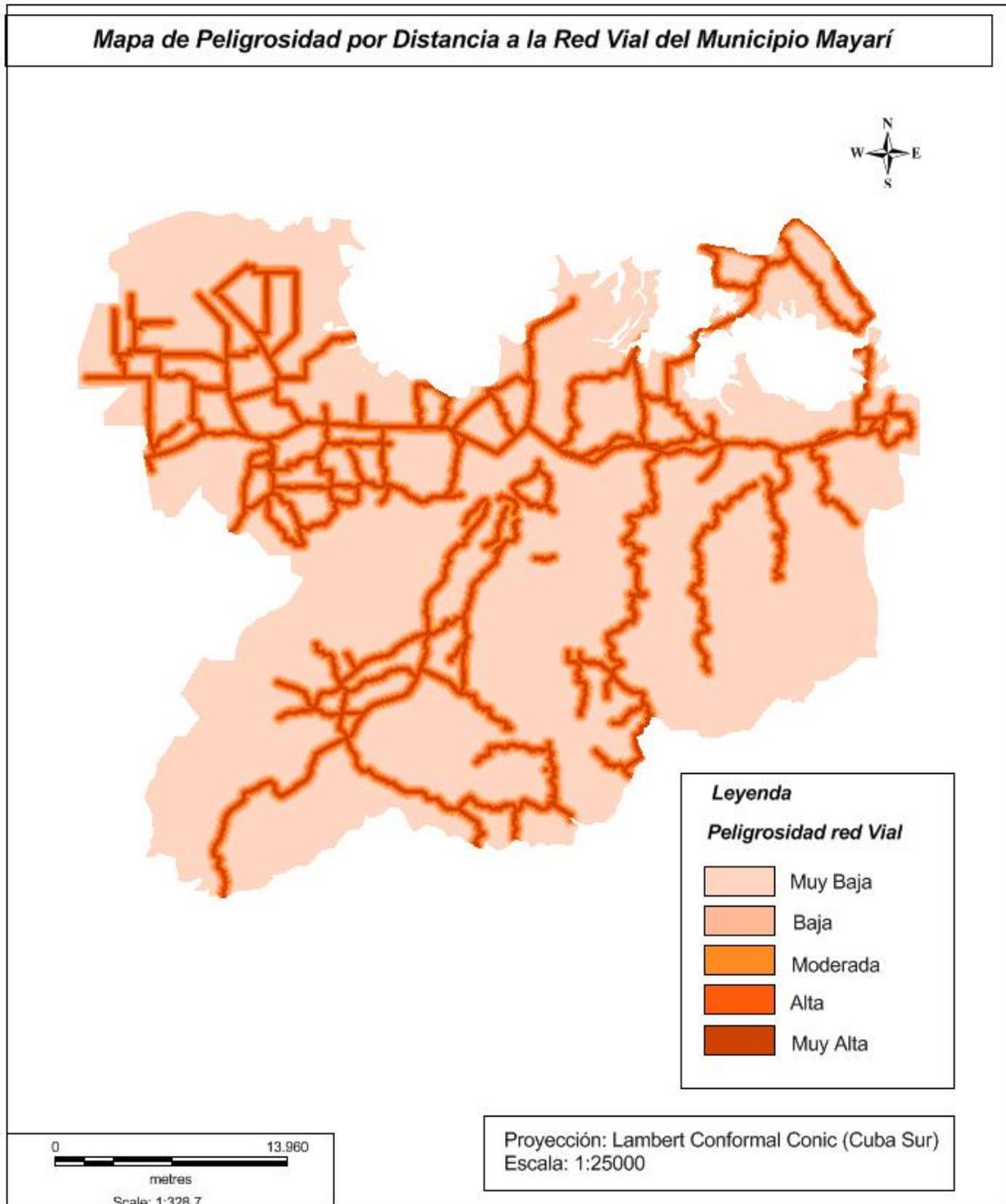
Anexo 19: Mapa de Peligrosidad por Uso de Suelos del municipio Mayarí. Escala: 1:25000.



Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

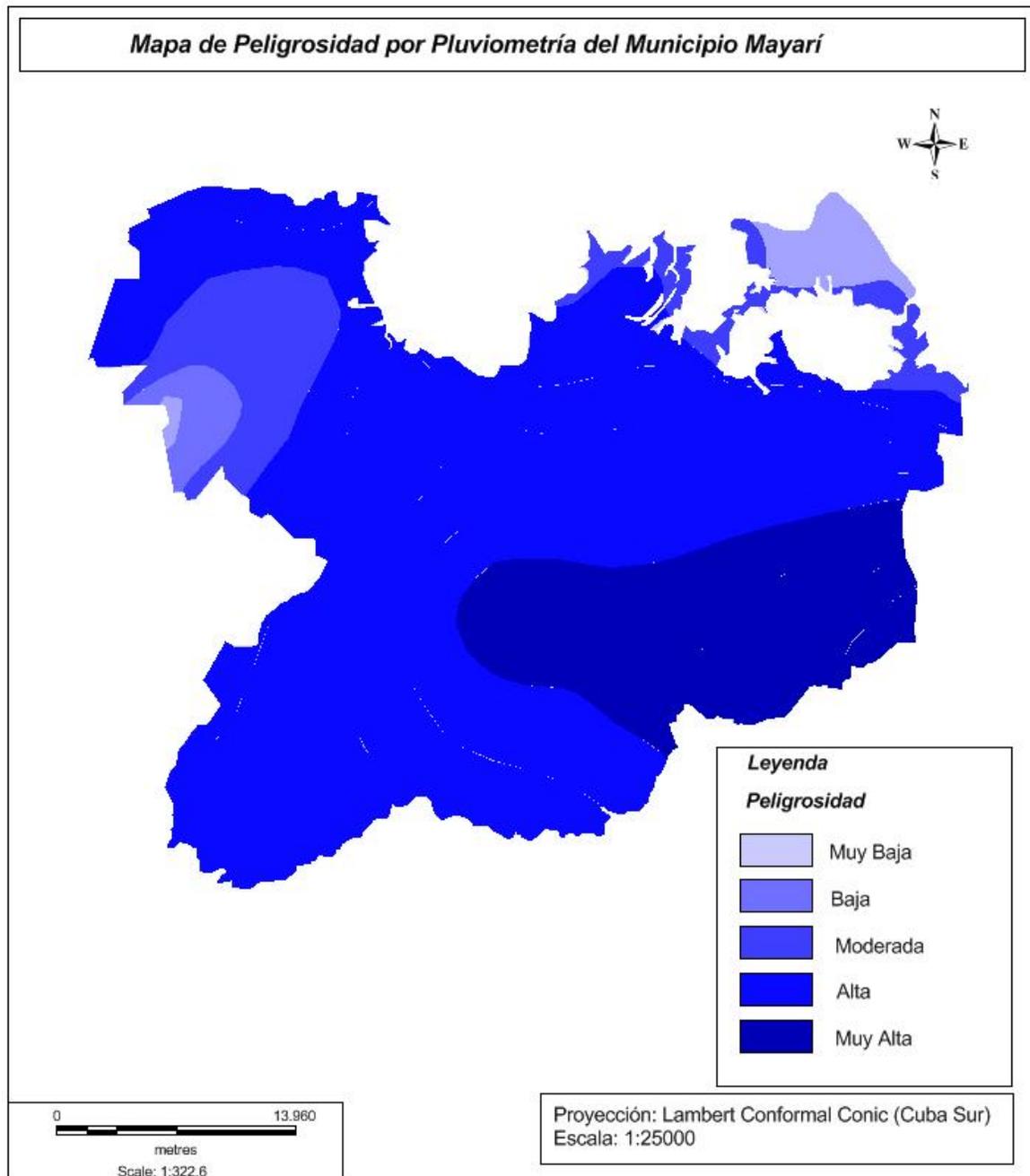
Anexo 20: Mapa de Peligrosidad por Distancia a la Red Vial del municipio Mayarí. Escala: 1:25000.



Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

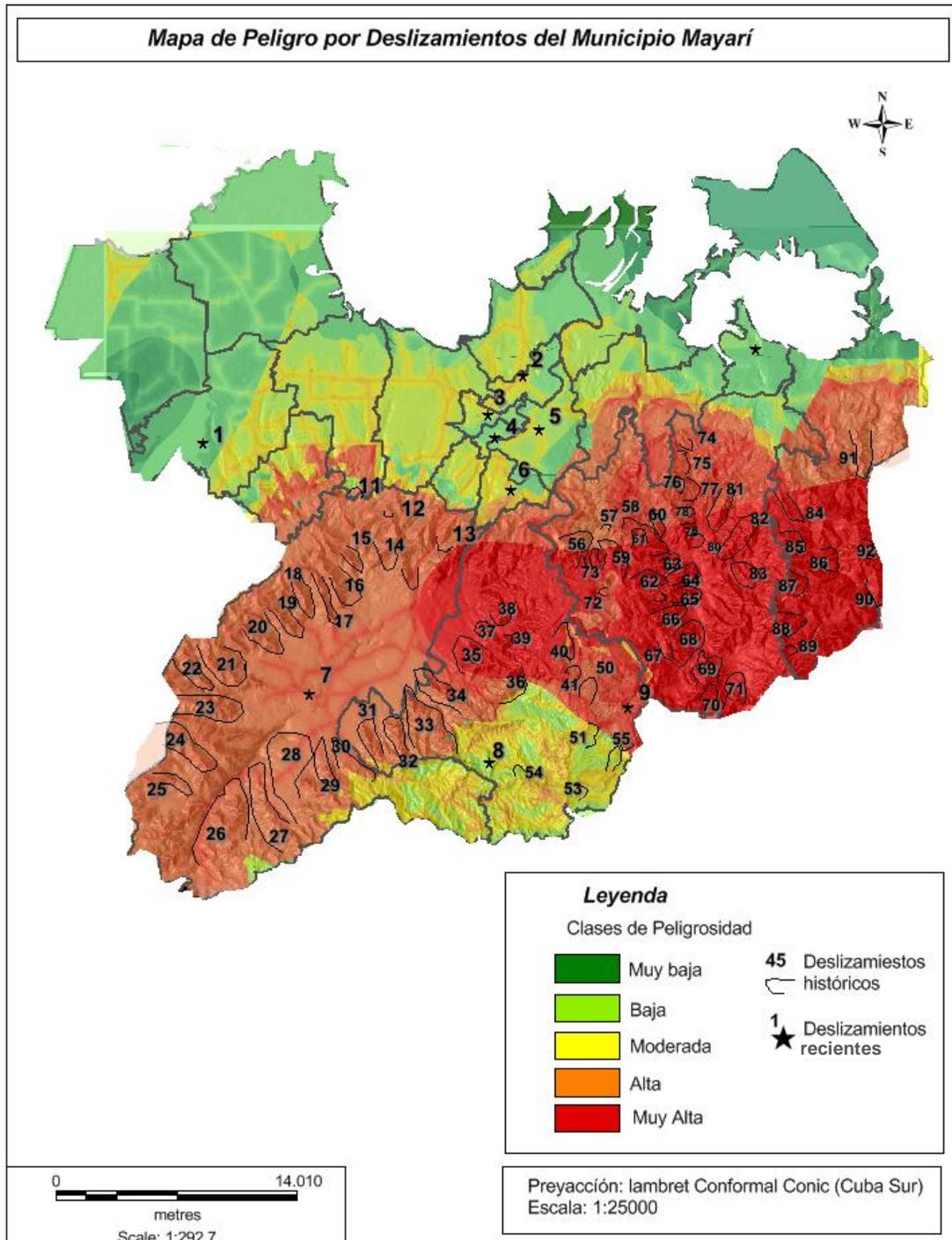
Anexo 21: Mapa de Peligrosidad por Pluviometría del municipio Mayarí. Escala: 1:25000.



Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

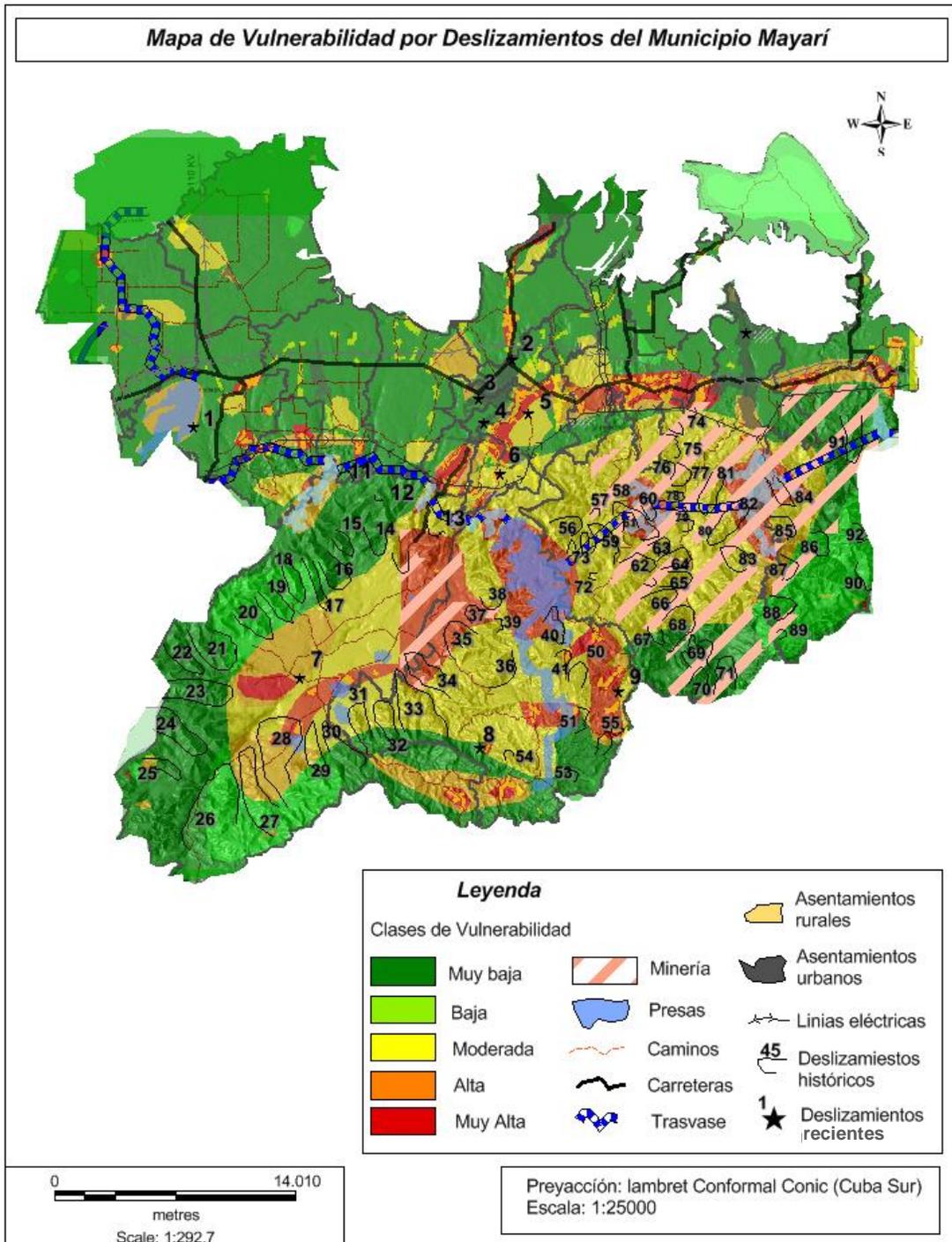
Anexo 22: Mapa de relación de deslizamientos con las zonas de peligro.



Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

Anexo 23: Mapa de Vulnerabilidad con elementos estructurales.



Anexos

Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí.

Anexo 24: Mapa de riesgos por deslizamiento con los elementos estructurales de mayor impacto económico.

