Ministerio de Educación Superior.
Instituto Superior Minero- Metalúrgico.
Dr. Antonio Núñez Jiménez
Facultad de geología y minería
Departamento de geología.

Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniera Geóloga.

Titulo: Evaluación de la susceptibilidad por deslizamientos en el territorio de Moa aplicando métodos geomorfológicos y estadísticos.

Diplomante: Yenisel Reyes Cedeño.

Tutor: Dr. C. Yuri Almaguer Carmenates.

Julio de 2010.

Agradecimientos:

La realización de este trabajo y mi formación profesional ha sido posible gracias a la incondicional ayuda y colaboración de personas a los cuales quiero mostrar el agradecimiento:

- ***A mi tutor, Dr.C. Yuri Almaguer Carmenates, por su disposición, preocupación y confianza, en el desarrollo de esta investigación.***
- ***A mis padres y hermano, por la confianza depositada en mí en todo momento. Por sus consejos y comprensión.***
- ***A mi esposo, por su amor, paciencia, por ser mi amigo cuando la necesitaba, por comprenderme.***
- ***A mi familia en general, por su apoyo y ayuda en los momentos difíciles, en especial a mi abuela Miladis por darme todo su amor.***
- ***A Rolando Campo Martín por ser la persona impulsora de mi carrera como profesional. A tí muchas gracias.***
- ***A mis compañeros de aula, en especial a Yuslienis, Yudith y Arlenia por los incontables momentos que vivimos juntos y por su ayuda en los momentos difíciles.***
- ***A mis amistades Geiner García, José Piñeiro, Yuliana y Disannis por su ayuda incondicional.***
- ***A quienes quizás no he nombrado, gracias por contribuir a mi formación profesional y personal, les estaré eternamente agradecidos.***
- ***A la revolución por darme la oportunidad de formarme profesionalnalmente.***
- ***A todos, gracias.***

Dedicatoria:

A mi querida madre **Aracelis Cedeño Lamorú**, *por su amor y confianza durante toda mi vida.*

A mi querido padre **Oniel Reyes Fonseca**, *cual luz brilla en mis ojos.*

A mi hermano **Oniel Reyes Cedeño** *por ser lo más importante en mi vida.*

A mi esposo **Leodanis Figueredo Hinojosa**, *por su comprensión, paciencia y amor.*

A mi abuelo **Severino Carballido Cedeño**, *estés donde estés.*

A toda mi familia por ser el reino de mi mundo.

Pensamiento:

Las sociedades de consumo [. . .] han envenenado lo mares y los ríos,
han contaminado el aire, han debilitado y perforado la capa de ozono,
han saturado la atmosfera de gases que alteran las condiciones climáticas
con efecto catastrófico que ya empezamos a padecer [. . .].

Fidel Castro Ruz.

Resumen:

La investigación tiene como objetivo evaluar los niveles de susceptibilidad por desarrollo de deslizamientos en un sector del municipio Moa, que permita el análisis futuro de peligrosidad y riesgos debido a estos fenómenos de inestabilidad de laderas y la implementación de planes de gestión en zonas de alta vulnerabilidad. La metodología aplicada parte de la interpretación mediante criterios geomorfológicos de fotos aéreas para la confección del inventario de deslizamientos; como factores de análisis de la susceptibilidad se utiliza la información tectónica partiendo de un estudio de la influencia de la distancia a las estructuras activas del territorio, la litología mediante la clasificación en grupos litoestructurales y la influencia de factores geomorfológicos como la pendiente de laderas y zonas geomorfológicas, realizando el estudio comparativo entre zonas de llanuras, premontañas y montañas. La valoración de la susceptibilidad se obtiene aplicando el método de probabilidad condicional utilizando como herramienta la aplicación de un Sistema de Información Geográfica. Como resultado se obtiene el mapa de susceptibilidad por deslizamientos, clasificado en varias categorías en función de la probabilidad de ocurrencia de movimientos de laderas y los niveles de susceptibilidad por cada factor analizado.

Abstract:

The investigation has as its objective to evaluate the levels of susceptibility for the development of landslides in a sector of the town of Moa, which permits the future analysis of hazards and risks generated by these phenomena of instable slopes and the implementation of management plans in the zones of high vulnerability. The applied methodology branches from the interpretation, through means of geomorphologic criteria, of aerial photos for the confection of the landslide inventory; as factors of the susceptibility analysis tectonic information was used from the study of the influence of the distance of the active structures in the territory, lithology through the classification in litho-structural groups and the influence of geomorphologic factors such as gradient of the slopes and morphologic zones, realizing the comparative study between zones of planes, pre-mountain and mountain zones. The valuation of the susceptibility was obtained applying the conditional probability method as a tool of application of a Geographical Information System (GIS). As a result a landslide susceptibility map was obtained, with various categories classified in function of the probability of occurrence of slope movement and the levels of susceptibility for each factor was analyzed.

Índice

INTRODUCCION.....1
Fundamentación teórica de la investigación.....2
Clasificación de los movimientos en masa.....4
Factores condicionantes y desencadenantes de la inestabilidad del terreno.....5
Implementación del Sistema de Información Geográfica (SIG) en el estudio de los deslizamientos.....6
Métodos de análisis de susceptibilidad del terreno.....8
La cartografía de susceptibilidad en Cuba.....10
Algunos trabajos recientes de cartografía de susceptibilidad a nivel mundial.....16
Resultados a obtener en la investigación.....19
CAPITULO I. CARACTERISTICAS GEOGRAFICAS Y GEOLOGICAS DEL TERRITORIO.....20
Introducción.....20
Características físico geográficas.....20
Características Geológicas Regionales.....24
Características Geomorfológicas.....28
CAPITULO II. METODOLOGIA APLICADA EN LA CARTOGRAFIA DE DESLIZAMIENTOS.....30
Introducción.....30
Criterios de inestabilidad......30
Factores condicionantes utilizados en el análisis de susceptibilidad.....31
Características del proyecto GIS de la investigación.....34
Valoración de la susceptibilidad por deslizamientos mediante el análisis estadístico.....40
Modelo estadístico empleado.....41
CAPITULO III. EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRENO POR DESLIZAMIENTOS EN EL TERRITORIODE MOA.....44
Introducción.....44
Descripción y cartografía de los deslizamientos.....44
Caracterización de los mapas temáticos.....63
Análisis del factor geológico sobre el desarrollo de deslizamientos.....63
Análisis del factor tectónico sobre el desarrollo de deslizamientos.....64
Análisis del factor morfotectónico sobre el desarrollo de deslizamientos.....66
Análisis del factor geomorfológico sobre el desarrollo de deslizamientos.....68
Análisis de las pendientes sobre el desarrollo de deslizamientos.....70
Valoración y reclasificación de los mapas de factores condicionantes.....72
Valoración de los factores condicionantes......72
Reclasificación de los mapas de factores......74
Descripción del mapa de susceptibilidad.....77
Conclusiones.....80
Recomendaciones.....81
Referencias Bibliografías.....82

INTRODUCCION

El hombre ha provocado una aceleración de los agentes naturales y al mismo tiempo, en el proceso de desarrollo económico, ha generado un cierto grado de vulnerabilidad, aumentando los riesgos de las actividades socioeconómicas de ellas derivadas. Bajo estas condiciones geoambientales, los deslizamientos constituyen un peligro geológico. Impactos naturales y humanos pueden ocasionarse con la reactivación de antiguos deslizamientos (Ost et al., 2003; Chigira et al., 1998), los cuales por lo general tienen lugar en zonas de difícil acceso o de gran extensión, causando grandes afectaciones socioeconómicas (Vilaplana et al., 2002; Corominas et al., 2003; Guinau et al., 2005; Domínguez et al., 2007; Kamp et al., 2008).

Actualmente se utilizan técnicas avanzadas de procesamiento en Cuba para el estudio de la susceptibilidad geomorfométrica por deslizamientos (Castellanos, 2005), donde se ha determinado zonas de alta susceptibilidad. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), realizan el análisis de la susceptibilidad a la rotura por deslizamiento, así como la elaboración de mapas de manera sistemática, rápida y eficiente, tratando con grandes bases de datos y realizando cálculos para la estimación de la susceptibilidad que no eran viables en grandes áreas.

La presente investigación titulada "Evaluación de la susceptibilidad por deslizamientos en el territorio de Moa aplicando métodos geomorfológicos y estadísticos" surge por la problemática relacionada con la ocurrencia de inestabilidades de laderas en el municipio de Moa lo cual genera riesgos potenciales sobre la actividad socioeconómica, fundamentalmente relacionadas con la actividad minero-extractiva en los yacimientos ferroniquelíferos.

Objeto de estudio.

Se seleccionó como objeto de estudio en la presente investigación las inestabilidades de laderas desarrolladas en el territorio de Moa.

Objetivo general.

Evaluar la susceptibilidad del terreno por desarrollo de deslizamientos en el territorio de Moa con vista a futuros estudios de vulnerabilidad y riesgos para prevenir o mitigar los daños derivados de estos fenómenos.

Objetivo específicos.

- Cartografiar y caracterizar los movimientos de laderas aplicando métodos geomorfológicos.
- Determinar la influencia que tienen sobre el desarrollo de deslizamientos factores condicionantes como la litología, geomorfología y la morfotectónica del territorio.

Hipótesis.

Si se caracterizan los movimientos a partir de criterios geomorfológicos y se conoce la influencia de las condiciones tectónicas, geomorfológicas y litológicas en la formación de deslizamientos, es posible obtener el mapa de susceptibilidad por deslizamiento que permita la realización de estudios de riesgos por deslizamientos y la confección de planes de reducción de desastres en el municipio Moa.

Novedad científica.

Cartografía y caracterización de deslizamientos de laderas aplicando métodos geomorfológicos y estadísticos para el territorio de Moa.

Fundamentación teórica de la investigación.

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 vertiente 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. 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.

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) (Lomtadze, 1977).

La forma de la 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, mapa-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.

En la figura 1. Se muestra un deslizamiento o movimiento en masa típico, caracterizado por los siguientes elementos estructurales:
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.
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 sobreyace 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.

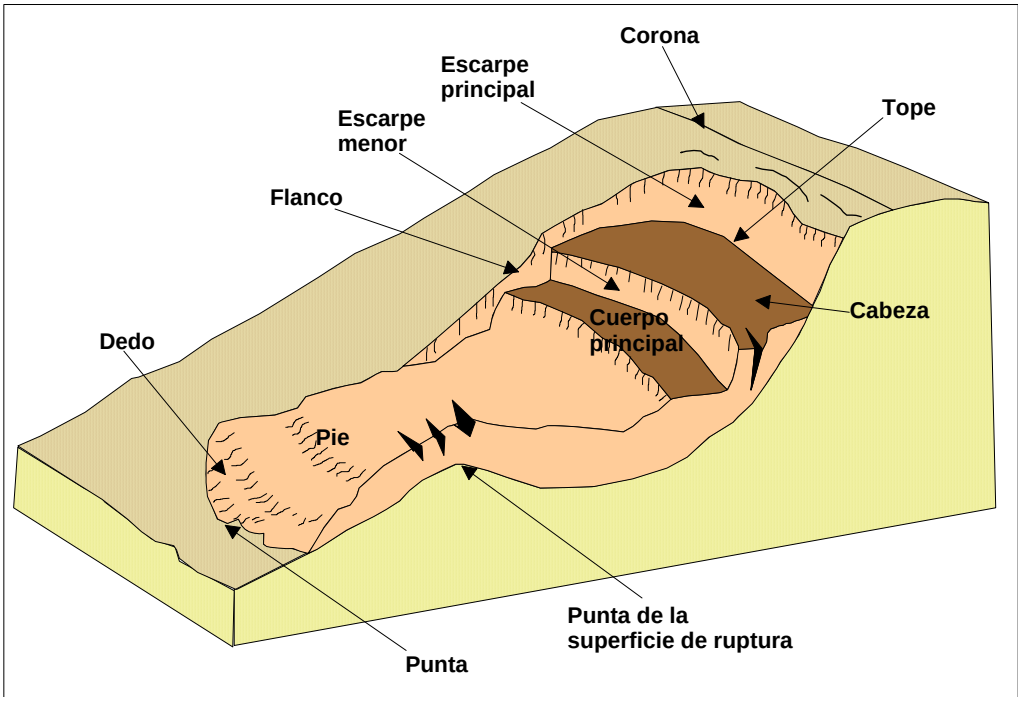

Figura 1. Elementos estructurales de un deslizamiento (Varnes, 1978)

Clasificación de los movimientos en masa.

Existen varias clasificaciones de deslizamientos basadas en el mecanismo de rotura y la naturaleza de los materiales involucrados (Varnes, 1984; Hutchinson, 1988; Cruden y Varnes, 1996); Corominas y García (1997):

En la presente investigación se utiliza la propuesta por Varnes, 1978:

- Desprendimiento: 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.
- 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.

- 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.
- 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.

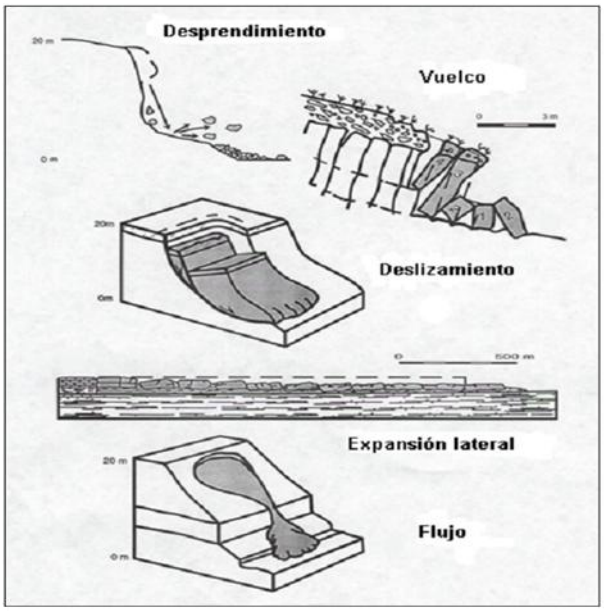

Figura 2. Principales mecanismos de roturas de deslizamientos.

Factores condicionantes y desencadenantes de la inestabilidad del terreno.

La estabilidad de las laderas está condicionada por la acción simultánea de una serie de factores. Desde un punto de vista físico, los deslizamientos se producen como consecuencia de los desequilibrios existentes entre las fuerzas que actúan sobre un volumen de terreno. Los factores que influyen en la estabilidad de las laderas se pueden separar en dos grandes grupos (Ferrer, 1987): factores internos y externos.

Los factores internos, condicionan las diferentes tipologías de deslizamiento, los mecanismos y modelos de rotura. Dentro de ellos se encuentran *características intrínsecas,* relativas a las propiedades del material y a su resistencia y las *características extrínsecas* relacionadas con la morfología y condiciones ambientales de la ladera. Las primeras incluyen parámetros como la

litología (textura, granulometría, cementación), consolidación y espesor de los materiales y parámetros estructurales relativos a mapas de estratificación y de debilidad (diaclasas, fallas y fracturas). En las características extrínsecas se encuentran las morfológicas como la pendiente de la ladera y su disposición respecto a discontinuidades geológicas y la orientación, y factores de tipo ambiental como cambios estacionales de temperatura y tipo de vegetación.

Los factores externos actúan sobre el material y dan lugar a modificaciones en las condiciones iniciales de las laderas, provocando o desencadenando las roturas debido a las variaciones que ejercen en el estado de equilibrio. Tres tipos de acciones se incluyen: la infiltración de agua en el terreno, las vibraciones y las modificaciones antrópicas. La *infiltración de agua* provoca el aumento de la presión intersticial disminuyendo la resistencia de los materiales. La relación entre ocurrencia de deslizamientos y períodos lluviosos es bien conocida. Las variaciones del nivel de agua subterránea pueden ser debidas a intensas precipitaciones, intervenciones humanas, etc. Las *vibraciones* provocan aceleraciones en el terreno, favoreciendo la rotura y la licuefacción. Éstas pueden ser debidas a movimientos sísmicos naturales o inducidos por el hombre, como explosiones mineras o por obras públicas. La sacudida debida a terremotos naturales es uno de los principales agentes que generan deslizamientos, siendo capaces en el caso de los terremotos más grandes, de desencadenar miles de deslizamientos a lo largo de áreas de más de 100.000 km2 (Keefer, 1984). Las *actividades humanas* alteran el equilibrio de las laderas debido a cargas estáticas, provocadas por construcciones de edificios, construcciones de taludes para vías de comunicación, explotaciones mineras y construcciones de presas. Asimismo los cambios en el recubrimiento vegetal como la tala de bosques, la repoblación con especies alóctonas e incendios forestales también influyen en la estabilidad de las laderas.

Implementación del Sistema de Información Geográfica (SIG) en el estudio de los deslizamientos.

El Sistema de Información geográfico (SIG) 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 SIG 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 mesurable y tiene localización.

En un SIG se usan herramientas de gran capacidad de procesamiento gráfico y alfanumérico, estas herramientas van dotadas de procedimientos y aplicaciones para captura, almacenamiento, análisis y visualización de la información georreferenciada.
La mayor utilidad de un sistema de información geográfico esta íntimamente relacionada con la capacidad que posee éste de construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales, esto se logra aplicando una serie de procedimientos específicos que generan aún más información para el análisis.

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. Un sistema de información geográfica, es una herramienta de análisis de información. La información debe tener una referencia espacial y debe conservar una inteligencia propia sobre la topología y representación.
A todo objeto se asocian unos 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.
Ejemplos del proyecto:

- Punto: estaciones pluviométricas
- Línea: alineaciones, red fluvial
- Área: litologías, complejos acuíferos.

Atributos no gráficos
También llamados atributos alfanuméricos. Corresponden a las descripciones, cualificaciones o características que nombran y determinan los objetos o elementos geográficos. En el caso del proyecto se relacionan con la caracterización de los mapas temáticos, valores pluviométricos, datos de probabilidad, caracterización espacial de la cuenca.
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

Métodos de análisis de susceptibilidad del terreno.

Para evaluar el grado de susceptibilidad del terreno frente a los deslizamientos existen diversas aproximaciones, basadas la mayor parte de ellas, en la determinación de los factores que influyen en la aparición de las roturas. En general, estos factores se combinan para definir los distintos grados de susceptibilidad, expresándose los resultados de forma cartográfica mediante los mapas de susceptibilidad (Hansen, 1984; Hartlén y Viberg, 1988; Corominas, 1987 y 1992; Van Westen, 1993 y 1994; Carrara et al., 1995; y Leroi, 1996). Existen cuatro procedimientos utilizados en la evaluación y confección de mapas de susceptibilidad del terreno: métodos determinísticos, heurísticos, probabilísticos y métodos geomorfológicos.

Los **métodos determinísticos** se utilizan para el estudio de la estabilidad de una ladera o talud concreto. Se fundamentan en métodos basados en el equilibrio límite o en modelos numéricos. Los datos de entrada son derivados de ensayos de laboratorio y se utilizan para determinar el factor de seguridad de la ladera. Estos métodos muestran un grado de fiabilidad alto si los datos son correctos. Su principal inconveniente es su baja idoneidad para zonificaciones rápidas y de extensas áreas (Van Westen, 1993). El método más usual se aplica para deslizamientos traslacionales utilizando el modelo de talud infinito (Ward et al, 1982; Brass et al, 1989; Murphy y Vita-Finzi, 1991). Estos métodos generalmente requieren el uso de modelos de simulación del agua subterránea (Okimura y Kawatani, 1986).

Los **métodos heurísticos** se basan en el conocimiento a priori de los factores que producen inestabilidad en el área de estudio. Los factores son ordenados y ponderados según su importancia asumida o esperada en la formación de deslizamientos (Carrara et al., 1995). El principal inconveniente radica en que en la mayor parte de los casos, el conocimiento disponible entre los factores ambientales que pueden causar inestabilidad y los deslizamientos es inadecuado y subjetivo, dependiendo de la experiencia del experto. Un procedimiento de este tipo es el análisis cualitativo basado en combinación de mapas de factores (Lucini, 1973; Stevenson, 1977; Bosi, 1984). Estos métodos permiten la regionalización o estudio a escala

regional y son adecuados para aplicaciones en el campo de los sistemas expertos (Carrara et al., 1995).

Las **aproximaciones probabilísticas** se basan en las relaciones observadas entre cada factor y la distribución de deslizamientos actual y pasada (Carrara et al., 1995). Se utilizan cuando se dispone de abundante información, tanto cualitativa como cuantitativa, aplicándose los modelos estadísticos que pueden ser univariantes y multivariantes. La principal ventaja es la objetividad del método. La potencia de los métodos estadísticos depende directamente de la calidad y cantidad de los datos adquiridos. El costo de la adquisición de algunos factores relacionados con la inestabilidad de laderas es el principal inconveniente. Dentro de este grupo se encuentran los métodos estadísticos y el análisis de frecuencia de deslizamientos. Son métodos indirectos cuyos resultados se pueden extrapolar a zonas distintas para estimar la susceptibilidad, con condiciones geológicas y climáticas homogéneas.

Los métodos estadísticos univariantes se dividen en dos grupos: los que utilizan el análisis condicional y los que no lo utilizan. El análisis condicional, trata de evaluar la relación probabilística entre diversos factores relevantes para las condiciones de inestabilidad y las ocurrencias de deslizamientos. Se basan en la superposición de uno o más factores con el mapa de distribución de deslizamientos, para obtener una probabilidad condicionada de cada factor a la presencia o ausencia de deslizamientos Chung y Fabbri, 1993; Chung y Leclerc, 1994). Los resultados se interpretan en términos de probabilidad según el teorema de Bayes (Morgan, 1968; Chung y Leclerc, 1994), certeza (Heckerman, 1986; Luzi y Fabbri, 1995), según conjuntos difusos (Zadeh, 1965, 1978; Mahdavifar, 2000) o según plausibilidad (Shafer, 1976).
Los métodos estadísticos multivariantes estudian la interacción y dependencia de un conjunto de factores que actúan simultáneamente en la ocurrencia de deslizamientos, para establecer la implicación que tienen cada uno de ellos. Las técnicas estadísticas más utilizadas son la regresión múltiple y el análisis discriminante (Jones et al., 1961; Neuland, 1976; Carrara, 1983 a y b; Mulder, 1991; Mora y Vahrson, 1994; Baeza, 1994; Irigaray, 1995; Chung et al., 1995; Dhakal et al., 2000). El resultado de ambos métodos son funciones basadas en la combinación lineal de los factores de mayor significación estadística, para definir las condiciones de inestabilidad, estando basadas en la presencia-ausencia de deslizamientos.

El análisis de frecuencia de deslizamientos (Van Westen, 1993), evalúa la peligrosidad a los deslizamientos, a diferencia de los anteriores, que suelen utilizarse para evaluar la susceptibilidad. La valoración de la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento en un cierto

lugar y dentro de un periodo de tiempo, sólo es posible cuando se puede hallar la relación entre la ocurrencia de deslizamientos y la frecuencia de factores desencadenantes como lluvias intensas o terremotos (van Westen, 1993).

Los **métodos 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. El inconveniente de estos métodos es el alto grado de subjetividad dependiente de la experiencia del autor. 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 susceptibilidad y/o peligrosidad final. La elaboración de estos mapas exige conocer la morfología y tipología de movimientos (Hansen, 1984; Hansen y Frank, 1991). Para este tipo de cartografía, que es básica para la mayor parte de las técnicas restantes, resulta de vital importancia la experiencia del experto.

La cartografía de susceptibilidad en Cuba.

Durante el desarrollo de la investigación se consultaron varios trabajos realizados en diferentes lugares del territorio nacional, así como algunos desarrollados en el municipio de Moa, relacionados con la evaluación de la susceptibilidad, peligrosidad o riesgos geológicos.

Una de las premisas de los investigadores del municipio es analizar los procesos y fenómenos de tipo exógeno que generan peligro en zonas urbanas y suburbanas del territorio de Moa por este motivo Carmenate y Riverón (1999) realizan una zonificación de los fenómenos geológicos que generan peligros y riesgos en el territorio llegando a establecer los siguientes causas: erosión, acumulación de sedimentos costeros, inundaciones y deslizamientos. Estos autores determinaron que la ocurrencia de estos eventos tiene una causa antrópica, excepto las inundaciones que es climática.

Muchas de las investigaciones realizadas se han centrado en la cartografía de susceptibilidad de terrenos al desarrollo de fenómenos como la erosión y las inundaciones. Para el desarrollo de fenómenos como la erosión (Vallejo y Martínez, 2000), determinan una metodología para el cálculo de la erosión hídrica en un sector del municipio de Moa. Obteniendo como resultado un mapa de pérdida de suelo por erosión hídrica para toda el área industrial de Moa y zonas aledañas.

Vega M. B. (2005), quién realiza una aplicación de un SIG en la obtención de una mapa de erosión de Cuba a escala 1:250 000 a través del análisis de varios factores como la lluvia y la escorrentía, el relieve y las propiedades del suelo, dirección del flujo, y el flujo acumulado.

Rodríguez W. y Valcarce R. M. (2005) realizan una evaluación de la susceptibilidad del territorio nacional cubano frente a inundaciones, utilizando una combinación de factores como pendiente del terreno, especialmente su horizontalidad; geomorfología, tipo y calidad del suelo, hidrología y extensión de las inundaciones, así como la frecuencia e intensidad de las precipitaciones históricas.

El análisis de peligrosidad y vulnerabilidad sísmica y caracterización ingeniero-geológica, fundamentalmente en la parte sur de las provincias orientales y en algunas zonas del occidente del país es otra de las investigaciones realizadas por los autores.

Noas J. L. y Chuy T. L. (2005) realizan una valoración de la peligrosidad sísmica de la ciudad de Moa. Para esto parten del análisis del entorno sismotectónico regional, de la actividad sísmica y finalmente determinan el peligro sísmico haciendo uso del método del árbol lógico mediante la combinación de los resultados obtenidos en trabajos previos.

Escobar E. M. (2005) muestra una aplicación de un complejo de métodos geofísicos, como sísmica somera de refracción de tres canales, métodos eléctricos (SEV), georadar GPR, sismómetros y datos aerogeofísicos en la solución de tareas de valoración de vulnerabilidad sísmica. Como resultados obtiene las propiedades físico-mecánicas del suelo en el lugar de emplazamiento de obras industriales, valora los fenómenos geológicos derivados de microsismos inducidos determinando a su vez los factores de amplificación del suelo, su relación con las afectaciones constructivas y las condiciones geológicas imperantes y cartografía las posibles zonas tectónicas anómalas reflejadas por las discontinuidades geológicas a través de los campos físicos.

Han tomado significativa importancia en los últimos años los estudios relacionados con la cartografía y predicción de deslizamientos. Chang J. L. et al (2003) muestran una aplicación de datos geofísicos regionales como datos γ-espectrométricos aéreos dado la distribución espacial de los radioelementos naturales en el medio, identificando sitios potencialmente favorables para

la ocurrencia de deslizamientos como información complementaria en el análisis de susceptibilidad de terrenos a la rotura por el desarrollo de deslizamientos.

Del Puerto J. A. y Ulloa D. (2003) realizan el cartografiado de la distribución espacial de los peligros naturales y la clasificación de la cuenca de Santiago de Cuba a partir del predominio de los tipos de peligros que pueden llegar a ocurrir en determinados sectores del mismo. La investigación está sustentada en la elaboración e interpretación de mapas morfométricos y como resultados obtienen el mapa tipológico de peligros y de regionalización, sin embargo estos no son validados con algún mapa de inventarios de fenómenos del área en cuestión.

Chuy T. J. et al (2005) realizan un análisis de los fenómenos naturales en el municipio Guantánamo, su cronología y evaluación de los impactos negativos producidos por estos fenómenos, entre los que se encuentran los sismos, deslizamientos de tierra, rotura de presas, respuesta dinámica de suelos, ciclones tropicales, tornados, lluvias intensas y ácidas, inundaciones, sequías, salinización, desertificación, degradación de suelos, incendios urbanos, incendios forestales y accidentes tecnológicos. En el apartado relacionado con los fenómenos de deslizamientos muestran un análisis de susceptibilidad de varias comunidades en función de los valores de disección vertical y pendiente del terreno pero no se comparan estos con la cantidad o área ocupada por deslizamientos en cada zona estudiada.

Castellanos E. (2005) muestra los resultados del procesamiento de datos del SRTM y así obtener la evaluación geomorfométrica de amenaza de deslizamiento de terreno. El análisis y procesamiento se realiza empleando técnicas SIG y software de sensores remotos. Para la cartografía de susceptibilidad de la Isla de Cuba utiliza mapas derivados del DEM (el ángulo de la pendiente y el relieve interno (disección vertical)), mostrando las áreas de mayores probabilidades de ocurrencia de los deslizamientos de terreno, indicadas por altos valores de los factores morfométricos. Sin embargo el procedimiento de pesaje de cada factor analizado no se realiza teniendo en cuenta la distribución areal de los movimientos de masas, sino, que se hace referencia solamente a la coincidencia con los sistemas montañosos del país y se obtiene por los rangos que podrían provocar en mayor o menor medida roturas en laderas según el criterio del autor.

Rocamora E. (2005), detalla varios criterios de roturas por desprendimientos de bloques, detallados a partir de la modelación de dos casos de estudio, la Sierra de los Órganos y el noreste de la provincia de La Habana, identificando cuestiones fundamentales en el estudio de

estos movimientos de masas como herramienta de pronóstico de la ocurrencia de los fenómenos, evaluación del peligro potencial que ellos representan y su alcance espacial, y método óptimo para el diseño de las medidas ingenieriles de contención del peligro.

Carreño B. et al (2005) realizan un pronóstico de deslizamientos con el empleo de sistemas computarizados, aplicando criterios geomorfológicos clásicos para la determinación de los alineamientos procesados con la utilización del modelo digital del terreno, obteniendo finalmente el análisis cinemático de los alineamientos que resultan potencialmente propensos a comportarse como fallas estructurales. Mediante este procedimiento confeccionan el mapa del Modelo Digital del Relieve con las probables estructuras tectónicas y el esquema de zonificación de probables movimientos de masas, sin embargo no presentan un mapa de fenómenos o inventario de deslizamientos de la zona estudiada para la validación del mapa obtenido.

Febles D. y Rodríguez J. (2005) presentan un mapa susceptibilidad a los deslizamientos de Cuba a escala 1:250 000, donde precisan las áreas mas propensas a este fenómeno a lo largo del territorio nacional, utilizando como factores condicionantes la pendiente del relieve topográfico, composición de las rocas y/o suelos, condiciones tectónicas, el efecto antrópico (densidad de población y densidad de carreteras y caminos) y el régimen de precipitaciones.

Alfonso H. M. (2005) realiza un mapa de susceptibilidad a los movimientos de laderas mediante la combinación de factores condicionantes y desencadenantes, naturales e inducidos por la actividad humana, haciendo énfasis en los elementos geomorfológicos como las formas del relieve, los gradientes de sus pendientes y las litologías a través de la aplicación de métodos heurísticos.

Reyes C. R. et al (2005) realizan un análisis del comportamiento de los factores pasivos (el relieve, características geológicas y geotécnicas de las formaciones) y activos (Criterio magnitud-distancia), que actúan en la estabilidad de los suelos y rocas en las provincias orientales de Cuba. Además, proponen un esquema de zonación de acuerdo a la susceptibilidad de ocurrencia de deslizamientos o derrumbes en los taludes de las carreteras provocados por terremotos de gran o mediana intensidad, atendiendo al relieve, constitución geológica y criterios del Manual de Zonación de Peligros Sísmico Geotécnicos. Como factores desencadenantes de los deslizamientos incluye los sismos y la influencia de las precipitaciones, considerado este último el más importante agente catalizador de este fenómeno.

En el territorio de Moa, el Departamento de geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico, ha realizado varios trabajos geotécnicos, dirigidos a la caracterización ingeniero- geológica de los suelos lateríticos a partir de las propiedades físico-mecánicas de los mismos y la aplicación de clasificaciones geomecánicas para el análisis de la estabilidad de los taludes.
Carmenate J. A., (1996) realiza una evaluación y clasificación de los suelos y rocas a partir de las propiedades físico-mecánicas dando como resultado un mapa ingeniero-geológico a escala 1:10 000 y una zonificación de áreas susceptibles a la ocurrencia de fenómenos geológicos exógenos, que constituyen peligros para la población y objetivos económicos, como los deslizamientos, proponiendo medidas para su mitigación, pero de una manera superficial, porque no caracteriza todas las posibles condicionantes del terreno que posibilitan la aparición de movimientos, limitándose solamente a las propiedades físico-mecánicas sin tener en cuenta el factor estructural o uso de suelo del territorio.

Rodríguez A. (1999), profundiza en el conocimiento geólogo-tectónico del territorio de Moa, determina los sistemas de estructuras activas y bloques morfotectónicos, caracteriza los movimientos tectónicos contemporáneos y determina su incidencia en los sectores de máximo riesgo de origen tectónico. Como resultado importante confecciona el mapa de riesgos del territorio, donde establece cuatro zonas por su grado de peligrosidad ante los efectos de los procesos tectónicos.

Guardado et al., (2000) desarrollan un Sistema de Información Geográfica (SIG) que permite cartografiar el medio natural y pone de manifiesto las características geoambientales del territorio, lo que proporciona una imagen global de sus potencialidades, grado de deterioro y vulnerabilidad ante procesos y fenómenos naturales y antrópicos que producen peligros y riesgos geoambientales en un sector de la zona costera y urbana de la ciudad de Moa. Como resultado se obtiene el mapa de riesgo geológico mediante la combinación de los mapas de vulnerabilidad de las obras ingenieriles, inestabilidad tectónica y amenaza geológica, determinándose que las áreas de mayor riesgo coinciden con aquellas donde las estructuras son desfavorables o poco competentes y las amenazas geológicas son altas.

Guardado R. y Almaguer Y. (2001), donde se presenta una primera aproximación de un mapa de riesgos para el yacimiento Punta Gorda, obtenido a partir de la superposición de varios mapas de factores como la litología, tectónica y pendientes, incluyendo en el análisis un mapa de elementos en riesgo, poniendo énfasis en la situación de los caminos mineros y la ubicación

de las excavadoras en los frentes de explotación. El análisis de la influencia de los factores sobre las inestabilidades se realizó mediante la aplicación de métodos heurísticos presentando un mapa de riesgos por bloques de explotación con muy poco detalle para la escala a la cual trabajaron.

Almaguer Y. (2001), donde se aplican métodos de cálculo de estabilidad de taludes utilizando criterios de rotura a partir del estudio integral del agrietamiento del macizo roca-suelo y de la evaluación geomecánica del macizo rocoso serpentinizado.

En el 2005, Almaguer realiza una evaluación de los niveles de susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento Punta Gorda, empleando las técnicas SIG en la obtención de los mapas de susceptibilidad, lo que permitió establecer criterios de estabilidad de taludes y laderas como base para futuras evaluaciones de riesgos y así prevenir o mitigar los daños derivados de estos fenómenos. Como resultados se presenta una caracterización de los mecanismos y tipologías de deslizamientos desarrollados en el área. Se realiza una valoración de los factores que influyen en las inestabilidades, haciendo énfasis en las características geotécnicas de la corteza laterítica y se obtiene el mapa de susceptibilidad del terreno.

Almaguer Y. y Guardado R. (2005) realizan una caracterización desde el punto de vista ingeniero geológico de las cortezas de meteorización desarrollada sobre rocas ultrabásicas serpentinizadas en la región de Moa, lo cual constituye un elemento fundamental para evaluar los riesgos asociados a movimientos de masas. Se realizó la descripción visual de los diferentes horizontes lateríticos, y se aplicaron índices relacionados con las propiedades físico-mecánicas, estructurales y texturales tales como el índice de microfractura y micropetrográfico, índice de calidad del macizo rocoso (RQD) e índice de alteración unificado. Como resultado se presenta una propuesta de clasificación ingeniero geológica del perfil en función del grado de meteorización y otros elementos relacionados con el modo de rotura de taludes y laderas y la tipología de deslizamiento.

Matos et al. (2005) realiza una caracterización de los factores condicionales de los procesos erosivos que ocasionan deslizamientos, en el yacimiento Punta Gorda, donde se determinan los ciclos lluviosos, la actividad sísmica de la zona y de los factores antrópicos como los principales factores condicionantes. Además se clasificaron los movimientos de masas que afectan las

operaciones mineras en este yacimiento Punta Gorda en desprendimiento o caída libre, vuelco, expansiones laterales y flujos, lo que permitirá tomar las medidas correctoras para cada caso.

Algunos trabajos recientes de cartografía de susceptibilidad a nivel mundial.

Cruz y Delgado (2000) realizan una cartografía de los deslizamientos más importantes a lo largo de la carretera de cuota Tijuana-Ensenada, tomando como base un estudio geológico detallado. Se reconocen deslizamientos rotacionales y desprendimientos de bloques, con cabeceras hasta de 1km de largo. Se identifica que, además de las características geológicas, las obras civiles y otros factores antrópicos, son los principales agentes promotores de los deslizamientos.

Santacana (2001) realiza el análisis de susceptibilidad de ladera a la rotura por deslizamientos superficiales a escala regional, mediante tratamiento estadístico multivariante de tipo discriminante. El procedimiento de análisis se ha realizado en formato raster (malla regular) y ha considerado las zonas de rotura como celdas inestables. Los factores utilizados están relacionados con la geometría y situación de la ladera, la cuenca vertiente, la vegetación y usos del suelo, la presencia de formación superficial y el espesor de ésta.

Donati et al (2002) presentan una metodología donde analizan la predisposición de varios factores que influyen en la ocurrencia de deslizamientos en Italia, auxiliándose del software IDRISI. La escala de trabajo 1:5 000 utilizando fotos aéreas a escala 1:13 000. El análisis de amenaza se realizó analizando factores tales como distancia a fallas normales e inversas, paralelismo entre alineaciones interpretadas en fotos aéreas y los escarpes de los deslizamientos detectados, uso del suelo, litología, distancia de la red fluvial, orientación de las pendientes, pendiente de las laderas, orientación de los estratos con respecto a los taludes y laderas. Para determinar la influencia de cada factor sobre la ocurrencia de deslizamientos se efectuó un análisis entre los mapas de cada factor y el inventario de deslizamiento para determinar el porcentaje del área de diferentes clases afectadas por deslizamientos.

Valadao et al (2002) presentan un análisis de densidad de deslizamientos a escala 1:25 000, el cual se realiza sobre la base de información existente sobre deslizamientos, además de se le incluye el inventario de deslizamientos obtenido por observación de fotos aéreas y reconocimientos de campo. La identificación de movimientos por el análisis de fotos aéreas está basada en criterios geomorfológicos, como la presencia de escarpes y en algunos lugares, la existencia de depósitos asociados. El reconocimiento de campo se realizó con el objetivo de caracterizar los eventos principales, definir su estructura geológica, tipo de depósito y la influencia de la actividad antrópica.

Kelarestaghi (2002), realiza una investigación sobre los factores efectivos en la ocurrencia de deslizamientos. Para esto hace uso de mapas tales como MDE, pendiente, pluviometría, litología, uso del suelo, distancia de la carretera, de las fallas y de la red hidrográfica. Cada factor fue analizado con respecto al mapa de deslizamientos. El método utilizado para determinar el peso de las clases de cada factor está basado en el análisis probabilístico condicional.

Morton et al (2003), presentan un trabajo sobre un mapa preliminar de susceptibilidad a deslizamientos donde analizan varios factores como la pluviometría, la condiciones geológicas, la pendiente del terreno y la dirección de las laderas. La vegetación y la concavidad-convexidad de la pendiente no tuvieron gran influencia en el desarrollo de los deslizamientos. En relación con la dirección de las pendientes se encontró una alta correlación entre los derrubios y los taludes orientados hacia el sur ya que estos soportan menos biomasas en esa dirección, además de contener mayor humedad. La valoración de los factores se realizó aplicando los métodos heurísticos, utilizando una escala entre 0 a 25, donde 0 corresponde a las unidades geológicas no susceptibles a movimientos de laderas, el valor 25 a las unidades más susceptibles, y el valor 5 a las unidades de baja susceptibilidad.

Corominas et al. (2003) presentan una metodología para realizar mapas de zonificación de peligrosidad por deslizamientos. Según este procedimiento, los autores hacen un análisis de susceptibilidad, seguido de la estimación de la probabilidad de ocurrencia de los deslizamientos según la frecuencia. Finalmente, la peligrosidad es analizada por la magnitud y la frecuencia en los sitios susceptibles, utilizando como herramienta indispensables el SIG para el procesamiento y análisis de los datos.

Sivakumar y Mukesh (2004) realizan un análisis de deslizamientos sobre un GIS mediante el empleo de métodos determinísticos para el cálculo del factor de seguridad de taludes y laderas. La información utilizada para esta análisis se relaciona con el MDE, además de otros parámetros para el modelo predictivo como una caracterización detallada de las condiciones de los suelos: resistencia (cohesión, ángulo de fricción interna, peso), características de permeabilidad, profundidad de la cubierta de suelo y patrones de vegetación.

Chau et al (2004), presentan un análisis de amenaza de deslizamientos en Hong Kong empleando datos históricos de deslizamientos acoplado con datos geológicos, geomorfológicos,

actividad antrópica, clima y pluviometría. Se analiza la relación entre 1448 deslizamientos y la variación de las lluvias por estaciones del año, resultando una fuerte correlación entre la ocurrencia de estos fenómenos y el cumulado de lluvias. Como resultado final se obtiene el mapa de amenaza y el de riesgos por deslizamientos sobre formato raster.

Guinau et al. (2005) presentan una metodología para la evaluación de las amenazas por deslizamientos, utilizando el mapa de inventario de los deslizamientos y el mapa de unidades del terreno. Estos mapas fueron realizados mediante fotointerpretación. En el mapa de inventario de los deslizamientos se cartografiaron las áreas afectadas por el fenómeno y se verificaron mediante los trabajos de campo, los que fueron digitalizados finalmente. En el mapa de unidades del terreno se muestra información sobre las características del terreno: litologías, pendientes, características de los suelos y uso de suelo. Los factores de inestabilidad fueron analizados de acuerdo a criterios de expertos, aunque no se tuvieron en cuenta las características hidrogeológicas y el método empleado fue el heurístico, donde se compararon las características del terreno y mapa de zonas de fallas utilizando un Geographic Information System (GIS).

Kamp et al. (2008) presentan una investigación sobre mapeo de susceptibilidad a deslizamientos utilizando tecnología de satélite ASTER y un GIS. Realizando una evaluación de multi-criterios aplicada para determinar los parámetros desencadenantes de los deslizamientos. Los parámetros analizados fueron la litología, fallas, gradientes de las pendientes, aspecto de las pendientes, elevación, ríos y caminos. El mapa de susceptibilidad generado en IDRISI Andes y exportado a ESRI ArcMap 9.2, se evaluó cualitativa mediante una comparación con el mapa determinado por el análisis satelital.

Dunning et al. (2009) realizan un análisis estructural y obtienen información de la geometría de un deslizamiento con técnica Terrestrial Laser Scanning (TLS). El TLS en un tiempo de vuelo puede coleccionar datos xyz de un punto dado a través de un sistema de reflectores láser. El procesamiento de estos datos se realiza en el software comercial Split FX (Split Engineering; RiSCAN Pro, Riegal Measurement Systems). Este método permite obtener información sobre la geometría de la zona deslizada, orientación de las discontinuidades e identificación del modelo. Los trabajos fueron complementados con imágenes Landsat 7 ETM, datos de elevación e interpretación de fotos aérea.

Resultados a obtener en la investigación.

En la presente investigación se pretende obtener una caracterización detallada de los deslizamientos presentes en el área de trabajo aplicando métodos geomorfológicos mediante la fotointerpretación; la obtención del inventario de deslizamientos se realiza aplicando criterios morfológicos de reconocimiento de deslizamientos en cortezas lateríticas.

Otros de los resultados a obtener es la valoración de la influencia de factores condicionantes de las inestabilidades como la litología, tectónica, geomorfología sobre los movimientos aplicando el método de probabilidad condicional los cual dará como resultado final el mapa de susceptibilidad por deslizamientos para el territorio estudiado.

CAPITULO I. CARACTERISTICAS GEOGRAFICAS Y GEOLOGICAS DEL TERRITORIO

Introducción.

En el presente capítulo se realiza una caracterización de las condiciones geográficas y geológicas del territorio teniendo en cuenta su ubicación, condiciones del relieve, clima, geomorfología, condiciones hidrológicas, así como las condiciones geológicas regionales, morfotectónicas haciendo énfasis en los sistemas de fallas regionales.

Características físico geográficas.

Ubicación geográfica.

Geográficamente el área de estudio se encuentra ubicado en el municipio de Moa, extremo oriental de la provincia de Holguín; limitado al norte por el Océano Atlántico, al sur con el municipio Yateras, al este con el municipio Baracoa y al oeste con los municipios Sagua de Tánamo y Frank País (Figura 1.1). Según el sistema de coordenadas Lambert se localiza entre los puntos: X: 692000 – 708000; Y: 212000 – 228000.

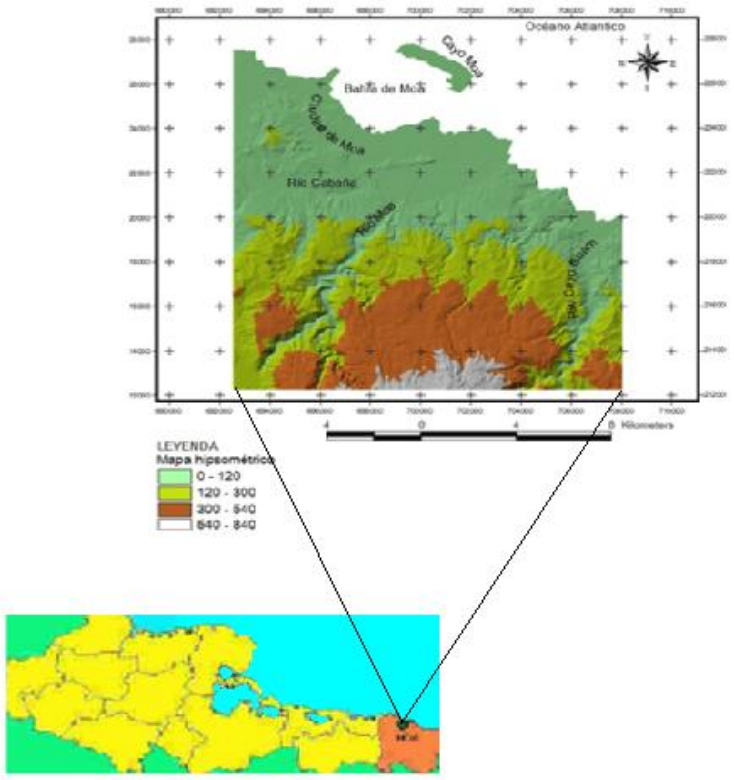

Figura 1.1 Mapa de ubicación geográfica del área de estudio. Escala 1:25 000.

Relieve.

La región se encuentra enclavada en el grupo orográfico Sagua-Baracoa, lo cual hace que el relieve sea predominantemente montañoso, principalmente hacia el sur, donde es mas accidentado en la Sierra de Moa con dirección submeridional. Hacia el norte el relieve se hace más suave con cotas que oscilan entre 40 y 50 m como máximo, disminuyendo gradualmente hacia la costa. (Figura 1.2).

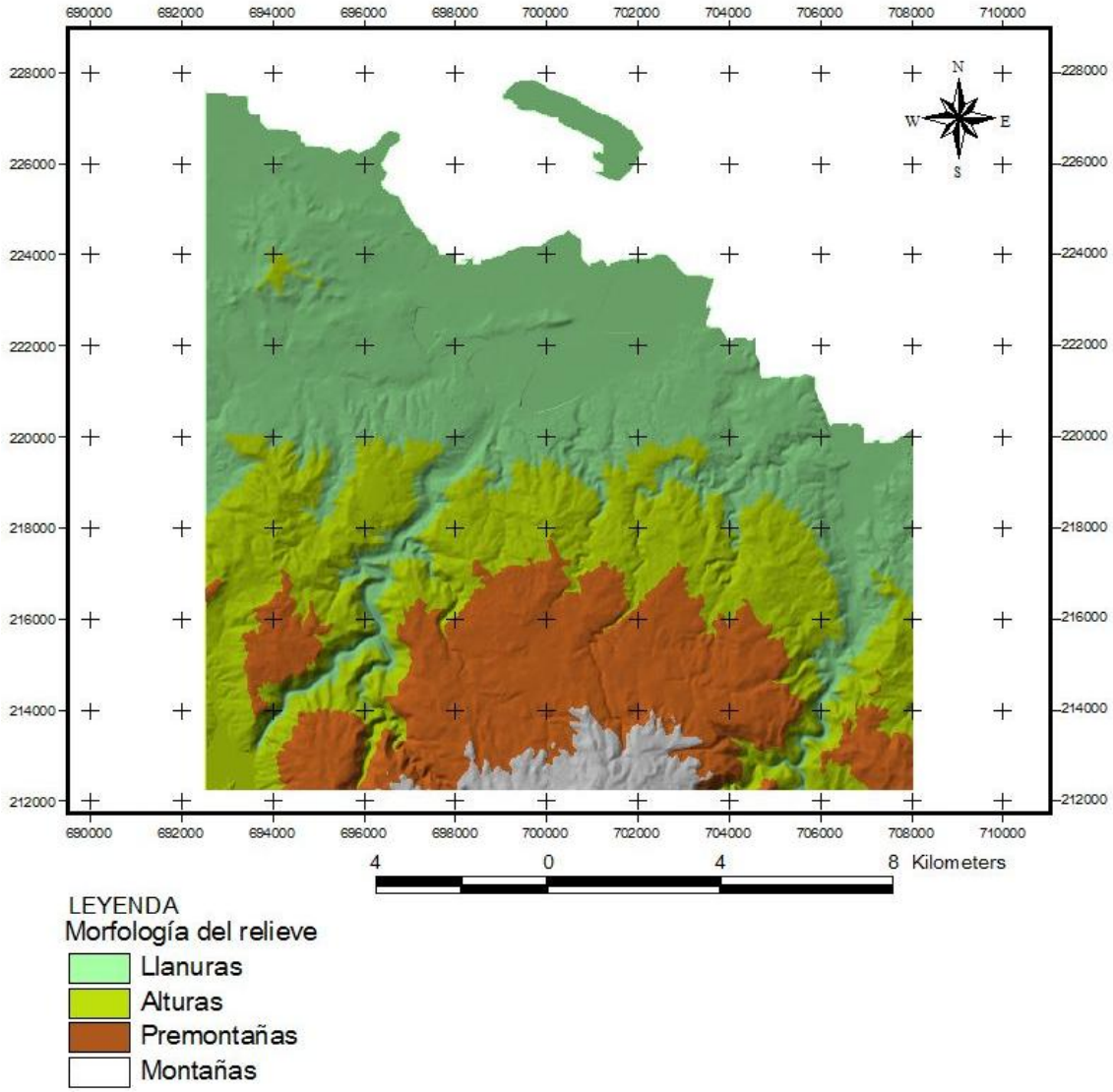

Figura 1.2 Mapa morfológico del relieve presente en el área de estudio. Escala 1.25 000.

Hidrogeología.

La red es densa y dendrítica, representada por numerosos ríos y arroyos permanentes, entre los que se encuentran los ríos Moa, con sus afluentes río Los Lirios, el cabañas, Cayo Guam, Quesigua, Yagrumaje, Arroyo Aserrío entre otros. La fuente de alimentación principal de estos ríos y arroyos, son las precipitaciones atmosféricas, desembocando las arterias principales en el

Océano Atlántico, formando deltas cubiertos de sedimentos palustres y vegetación típica de manglar.

Clima.

El clima es tropical con abundantes precipitaciones, siendo una de las áreas de mayor pluviometría del país, (Figura 1.3). Estando estrechamente relacionadas con el relieve montañoso que se desarrolla en la región y la dirección de los vientos alisios provenientes del Océano Atlántico cargado de humedad.

Según los datos aportados por la estación Hidrometeorológica. El Sitio y los datos tomados del pluviómetro Vista Alegre, desde 1995 hasta 1991, la temperatura media anual osciló entre 22.6ºc – 30.5ºC, siendo los meses más calurosos los de julio a septiembre y los más fríos enero y febrero; el promedio de precipitaciones anuales entre 1231.3 – 5212 mm, siendo los meses mas lluviosos noviembre y diciembre y los más secos marzo, julio y agosto; la evaporación media anual entre 1880 – 7134 mm.

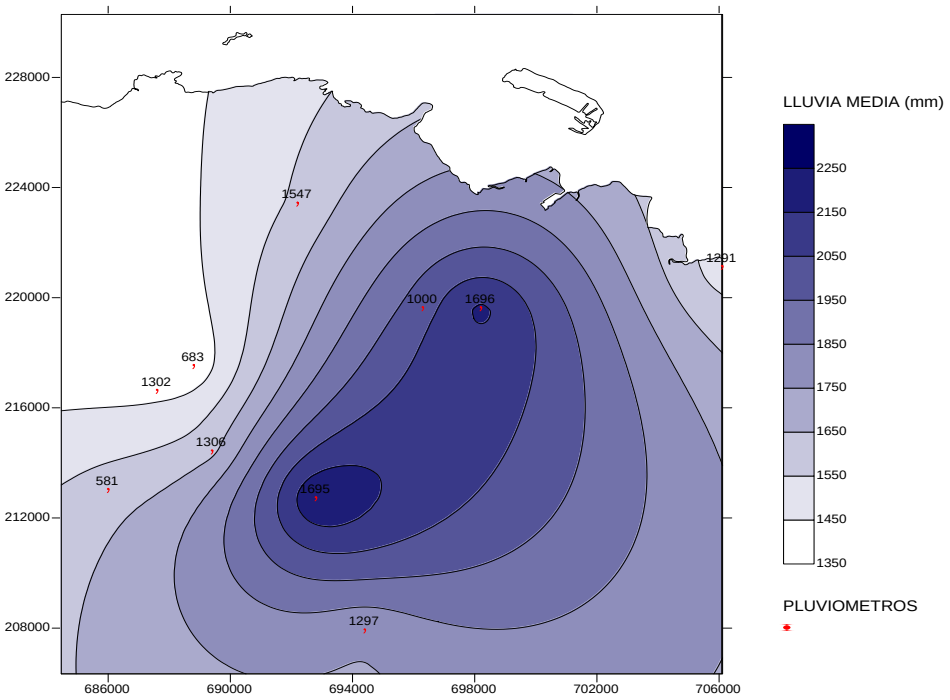

Figura 1.3 Mapa pluviométrico del territorio de Moa. Escala 1:50 000. (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Habana, 2005). (Tomado de Audia, 2007).

En los períodos 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.(Figura 1.4).

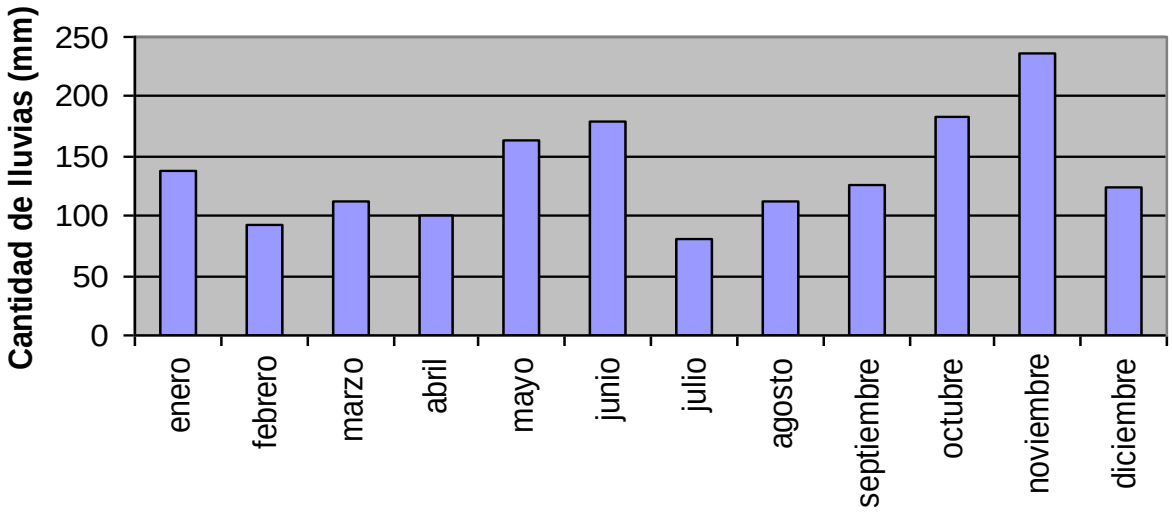

Figura 1.4 Lluvias medias mensuales para el territorio en el período 2000-2007 (tomado de Audia, 2007).

Vegetación.

La vegetación se caracteriza por la existencia de bosques de Pinus cubencis en las cortezas lateríticas y donde hay menores potencias de las mismas, matorrales espinosos típicos de las rocas ultramáficas serpentinizadas (charrasco).

Foto 1.1 Ejemplo de vegetación típica de Moa.

Sobre los gabros y depósitos aluviales, pueden aparecer algunas palmeras, cocoteros y árboles frutales. Las zonas bajas litorales, están cubiertas por una vegetación costera típica entre la que

se destaca los mangles, afectados en la actualidad por las construcción de presas de colas de las fábricas Cdte. Ernesto Che Guevara y Las Camariocas en construcción.

Características Socioeconómicas.

Económicamente la región está dentro de las más industrializadas del país, no solo por sus riquezas minerales, sino además, porque cuenta con dos plantas procesadoras de níquel en producción, la Cdte. Ernesto Che Guevara y la Pedro Soto Alba. Este renglón constituye el segundo rubro exportable del país. Además de estas industrias metalúrgicas, existen otras instalaciones de apoyo a la metalurgia y minería, tales como la Empresa Mecánica del níquel, Centro de Proyectos del Níquel (CEPRONIQUEL), la Empresa Constructora y Reparadora del Níquel (ECRIN), entre otras. Además de los yacimientos lateríticos, existen los de cromo refractario, clasificado como el mejor de su tipo en el territorio cubano, los cuales se encuentran distribuidos en las cuencas de los ríos Cayo Guam y Yamanigüey, donde una parte del mineral extraído se procesa en la planta de beneficio de Cayo Guam. Los gabroides y ultramafitas presentes en la región, pueden ser empleados como áridos en la industria de materiales de la construcción.

También existen otros organismos de los cuales depende la economía de la región tales como el establecimiento de la Empresa Geólogo Minera, la Presa Nuevo Mundo, el Tejar, el Combinado Lácteo y otros. La agricultura está poco desarrollada, aunque se hacen esfuerzos para seguir fomentándola. Existen otros sectores económicos como la ganadería que se desarrolla al sur de la región y la explotación de recursos forestales, que son abundantes en la zona, siendo un eslabón importante de la economía. La actividad pesquera está poco desarrollada.

Características Geológicas Regionales.

La geología de la región se caracteriza por una alta complejidad geológica condicionada por la variedad litológica presente y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el transcurso del tiempo geológico. En el área de estudio están representadas dos asociaciones estructuro - formacionales (A. Rodríguez, 1999). (Figura 3. 17)

En la región aparecen las siguientes asociaciones estructuro-formacionales:

- AEF del Arco Insular Volcánico del Cretácico

Formación Santo Domingo

Este nombre proviene de la localidad de Santo Domingo, al sur del caserío de Calabazas y está constituida por tobas, lavas y aglomerados, apareciendo pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas. Se incluyen calizas pizarrosas finamente estratificadas y muy plegadas de color grisáceo. Las tobas ocupan algo más del 50 % de la formación apareciendo en la parte superior preferentemente. Tienen edad entre el cretácico aptiano y el huroniano y presenta un espesor aproximado de 2100 metros. Aflora en la región de Farallones y Calentura, juntamente con un área restringida en la región de Centeno.

- AEF del Complejo Ofiolítico.

Predominan rocas ultramáficas, las que aparecen serpentinizadas en mayor o menor grado, asociadas a gabros, diabasas y basaltos, que en su conjunto forman la asociación ofiolítica y es aquí donde nos encontramos con los mayores peligros geológicos. En el complejo Moa – Baracoa están representados dos tipos de gabros que se ubican hacia la parte superior, los cuales son del tipo bandeado y masivo, a los que se asocian cromitas y otros tipos de mineralizaciones dispersas. El complejo de diques paralelos no aparece como se define clásicamente en formas de diques, lo cual se debe a su relación con la complejidad tectónica de la región.

Petrológicamente estas se caracterizan por el predominio de harzburgitas y en menor grado dunitas; también se han descrito dunitas plagioclásicas, wehrlitas, lherzolitas, y piroxenitas (Adamovich y Chejovich, 1964; Fonseca et al., 1985, 1992; Andó et al., 1989; García y Fonseca, 1994; Proenza et al., 1999).

Sobre todas las litologías antes descritas se encuentran los depósitos cuaternarios que constituyen una cobertura prácticamente continua de génesis predominantemente continental de pocas variaciones diagenéticas y pequeño espesor. Estos depósitos están constituidos por calizas organodetríticas con gran contenido de fauna, predominando los moluscos contemporáneos. Aparecen también aleurolitas calcáreas, arenas margosas y arcillas. Los depósitos ubicados en los márgenes, cauces y desembocaduras fluviales están constituidos por bloques, cantos rodados, gravas, arenas, aleurolitas y arcillas derivadas de la erosión fluvial.
Constituyen una cobertura prácticamente continua en forma de franja a lo largo de la costa y discontinua en las partes interiores. Estos depósitos se desarrollan en zonas de llanuras costeras débilmente onduladas, en zonas pantanosas parálicas y en las desembocaduras y cauces de los ríos sobre llanuras irregulares.

Características morfotectónicas y tectónicas.

El Bloque Oriental Cubano comprendido desde la falla Cauto-Nipe hasta el extremo oriental de la isla, presenta una tectónica caracterizada por su alta complejidad, dado por la ocurrencia de eventos de diferentes índoles que se han superpuesto en el tiempo y que han generado estructuras que se manifiestan con variada intensidad e indicios en la superficie (Rodríguez, 1998a, 1998b). Este bloque se caracteriza por el amplio desarrollo de la tectónica de cabalgamiento que afecta las secuencias más antiguas (Campos, 1983).

Localmente esta complejidad en la región de estudio se pone de manifiesto a través de estructuras fundamentalmente de tipo disyuntivas con dirección noreste y noroeste que se cortan y desplazan entre sí, formando un enrejado de bloques y microbloques con movimientos verticales diferenciales, que se desplazan también en la componente horizontal y en ocasiones llegan a rotar por acción de las fuerzas tangenciales que los afecta como resultado de la compresión (Campos, 1983, 1990; Rodríguez, 1998a, 1998b). También se observan dislocaciones de plegamientos complejos, sobre todo en la cercanía de los contactos tectónicos (Campos, 1983).

Sistemas de Fallas

En los estudios tectónicos precedentes del territorio se han reconocido dos sistemas de estructuras disyuntivas que corresponden a cada uno de los periodos de la evolución geotectónica (Batista, J, 1998) (Rodríguez, 1999). (Figura 3.18).

Algunas de las principales son:

- *Falla Los Indios:* Se extiende desde la parte centro meridional del área al oeste de Cayo Chiquito, atravesando hacia el norte la Bahía de Cananova y reflejándose dentro de la zona nerítica marina a través del desplazamiento de la barrera arrecifal y los depósitos litorales. En varios puntos esta estructura aparece cortada y desplazada por fallas de dirección norte-noreste. Su trazado es en forma de una línea curva cóncava hacia el oeste-sudoeste con un rumbo que oscila entre los 10º y 30º oeste en los diferentes tramos que la conforman.
- *Falla Cayo Guam*: Con una dirección N15ºW, se extiende desde la parte alta del río de igual nombre, siguiéndose con nitidez hasta Punta Yagrumaje. Al igual que la falla Los Indios, esta estructura aparece cortada y desplazada en varios tramos por fallas de dirección noreste y sublatitudinales.
- *Falla Moa:* Dentro del territorio es la estructura de mayor extensión y su trazo corresponde con una línea cóncava hacia el este con el arco mayor en la zona de

Calentura, haciéndose mas recta hacia el norte con una dirección de N48ºE, mientras que en su parte meridional tiene un rumbo N25ºW.

- *Falla Miraflores:* Se extiende en forma de arco cóncavo hacia el este-noreste con un trazo casi paralelo a la falla Moa, con un rumbo N25ºW desde el límite sur del área hasta Cayo Chiquito y desde aquí hasta Punta Majá con una orientación N35ºE. Su límite meridional al parecer lo constituye la falla Moa al sur del área de trabajo.
- *Falla Cabaña:* Se extiende desde el extremo centro occidental del área, al noroeste del poblado de Peña y Ramírez hasta el norte de la ciudad de Moa, cortando la barrera arrecifal y limitando el extremo oriental de Cayo Moa Grande.
- *Falla Quesigua:* Se expresa a través de un arco con su parte cóncava hacia el este nordeste, manteniendo en su parte septentrional, donde su trazo es más recto un rumbo N10ºE y en la meridional, N40ºW. Se extiende desde la barrera arrecifal hasta interceptar el río Jiguaní al sudeste del área de trabajo.
- *Falla Maquey:* Limita y contornea las estribaciones septentrionales de la Sierra del Maquey. Aflora desde la zona de Hato Viejo hacia el sur de La Colorada, asumiendo un rumbo N65ºE por más de siete kilómetros hasta Calentura abajo donde se cruza con las fallas Moa y Caimanes. En su parte más occidental mantiene una orientación N78ºE siendo cortada y desplazada por estructuras de orientación noroeste.

Los principales bloques morfotectónicos propuestos para el área de estudio son los siguientes (Rodríguez, 1999), (Figura 3.19):

- *Bloque Cabaña:* Este se divide en los bloques Cabaña Norte y Cabaña Sur y Grande. Situados en el extremo occidental centro y sur del área de trabajo, el primero con una orientación noreste desde la localidad de Zambumbia hasta Cayo Moa Grande y hacia su porción meridional, en la zona Cayo Grande - Caimanes Abajo mantiene una dirección noroeste. Este bloque se encuentra cortado por la falla Cananova.
- *Bloque Moa:* Se encuentra ubicado en la parte centroccidental del territorio, al oeste del bloque Cabaña con el cual contacta a través de la falla de igual nombre y al este con el bloque El Toldo según la falla Moa, extendiéndose de norte a sur en forma de una franja cóncava hacia el este.
- *Bloque El Toldo:* Ocupa la posición central del área de estudio, estando su límite occidental marcado por la falla Moa y el oriental por las estructuras Cayo Guam y Quesigua.
- *Bloque Cayo Guam*: Es el más pequeño y se dispone como una cuña entre los bloques El Toldo y Cupey a través de las fallas Cayo Guam y Quesigua respectivamente.

Características Geomorfológicas.

El relieve de la región minera de Moa, enclavada dentro del contexto de Cuba Oriental, al igual que el relieve cubano en general es el reflejo de la alta complejidad geólogo estructural resultante de la acción de procesos compresivos durante la etapa Mesozoica y el Paleógeno, (Rodríguez I. A. 1998) a los cuales se han superpuesto desplazamientos verticales, oscilatorios, diferenciados e interrumpidos así como la separación en bloques del territorio. (Figura 3.20).

Se distinguen en la región muchas morfoestructuras originadas por los procesos geodinámicos que se iniciaron a fines del Mesozoico continuaron hasta el Paleógeno, a consecuencia de los cuales se formó el sistema de escamas tectónicas que caracteriza al complejo ofiolítico y que son parcialmente enmascaradas por una vigorosa reestructuración neotectónica.

Genéticamente el relieve de Moa y sus áreas adyacentes está clasificado dentro del tipo de Horst y bloques que corresponden a los cuerpos de rocas ultrabásicas elevadas en la etapa neotectónica a lo largo de dislocaciones antiguas y rupturas nuevas, poco o ligeramente diseccionados.

Rodríguez I. A. 1998 en su Estudio Morfotectónico de la región clasificó el territorio en dos zonas geomorfológicas fundamentales: la zona de relieve de llanura y la zona de relieve de montañas, con las características generales siguientes:

- Zona de Llanuras: Se desarrolla en toda la parte norte del área ocupando la zona comprendida desde la barrera arrecifal hasta los 100-110 m de altura hacia el sur, originadas por la acción conjunta de diferentes procesos morfogénicos entre los que predominan los fluviales y marinos. Entre los tipos de llanuras se encuentran las fluviales, marinas y parálicas.

Las llanuras acumulativas marinas se ubican entre la barrera coralina y el litoral y se caracterizan por una pobre actividad erosiva. Los sedimentos que se acumulan provienen de las cortezas lateríticas y la barrera arrecifal.

Las llanuras fluviales se clasifican en acumulativas y erosivo-acumulativas en dependencia del proceso que predomine en su morfogénesis, ocupando estas últimas una posición hipsométrica superior. Los sedimentos que se acumulan en estas zonas se caracterizan por su carácter temporal y su composición limonítica.

Asociada genéticamente y espacialmente con las llanuras fluviales y marinas y en la zona de intersección entre ambas aparecen llanuras acumulativas palustres parálicas donde predominan procesos acumulativos típicos de zonas pantanosas de color oscuro y olor fétido, anegadas en agua, siendo el mangle la vegetación predominante.

- Zona de Montañas. Es la zona geomorfológica más extendida dentro del área de las investigaciones, ocupando toda la parte sur y central. Los valores morfométricos así como la configuración de las elevaciones son extremadamente variables en dependencia de las características litológicas y del agrietamiento de las rocas sobre las cuales se desarrolla así como del nivel hipsométrico que ocupan. Teniendo en cuenta esos parámetros el relieve de montaña fue clasificado en cuatro subtipos: premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas, submontañas y premontañas ligeramente diseccionadas, montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas y montañas bajas diseccionadas.

En la formación de los yacimientos lateríticos los relieves de montañas bajas y premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas constituyen las principales formas de relieve, ya que sobre éstas se desarrollan los yacimientos de corteza más perspectivos teniendo en cuenta que las superficies aplanadas favorecen la acumulación y conservación del eluvio, mientras que las alturas favorecen la circulación rápida de las aguas subterráneas, agilizando el proceso meteórico.

Conjuntamente con estas zonas, aparecen en la región un conjunto de formas menores, que constituyen elementos importantes en la caracterización geomorfológica regional, como son las formas cársicas y barrancos como elementos naturales; y las áreas minadas y presas de cola como elementos antropogénicos.

A manera de resumen, existen varios factores que inciden en la complejidad geológica de los yacimientos lateríticos que en la región se desarrollan desde el intenso agrietamiento de las rocas del substrato hasta los desplazamientos verticales, oscilatorios, la separación en bloques del territorio y el sistema de escamas tectónicas que lo caracteriza, complejidad que debe tenerse en cuenta en el diseño de las redes de exploración.

CAPITULO II. METODOLOGIA APLICADA EN LA CARTOGRAFIA DE DESLIZAMIENTOS

Introducción.

En el presente capítulo se describe la metodología aplicada en la investigación para la valoración de los niveles de susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos. Se parte de criterios de inestabilidad y de una hipótesis de rotura definida a partir de las características propias del área y de los factores que influyen en las inestabilidades observados en las campañas de reconocimiento e inventario de los movimientos. Se describe el procedimiento utilizado en el análisis de cada factor condicionante y el método estadístico empleado en la valoración de la influencia de cada factor sobre el desarrollo de deslizamientos y la obtención del mapa final de susceptibilidad.

Criterios de inestabilidad.

Cada superficie de rotura en la corteza laterítica condiciona la destrucción de la ladera o talud. Este fenómeno ocurre fundamentalmente por efecto de la gravedad, y solo es posible cuando el componente de dislocación de dicha fuerza supera la resistencia del suelo en su conjunto, o cuando resulta alterado el equilibrio límite ($\tau = c + \sigma \tan\varphi$) por las superficies preexistentes o potenciales (Sowers et al, 1976; Lomtadze, 1977). En este caso el factor de seguridad será menos que uno, es decir:

$$1 \succ FS = \frac{c + \tan\varphi \sum \sigma}{\sum \tau}$$

Donde FS es el factor de seguridad igual a la relación entre las fuerzas resistentes al movimiento y la suma de las fuerzas movilizadoras a lo largo de la superficie de deslizamiento.
De lo dicho anteriormente se desprende que en toda ladera o talud, obligatoriamente actúan los esfuerzos de ruptura debido a las fuerzas gravitacionales, no obstante, en estas condiciones no siempre pueden formarse deslizamientos porque requieren de ciertas causas de alteración del equilibrio de las masas de rocas y la acción del efecto de las fuerzas de ruptura (Lomtadze, 1977).

Las principales causas condicionales de inestabilidades se enumeran a continuación:

- Aumento de la pendiente del talud o ladera por cortes, laboreo o derrubio.
- Disminución de la resistencia de las rocas a consecuencia del cambio de su estado físico, al humectar, hinchar, descompactar, erosionar, alterar su constitución natural, así como el desarrollo de fenómenos de flujos subterráneos en las rocas y suelos.

- La acción de las fuerzas hidrostáticas e hidrodinámicas sobre las rocas y suelos que causan el desarrollo de deformaciones de filtración (erosión subterránea, abultamiento del suelo, transición al estado de fluencia, etc.)
- La variación del estado tensional de las rocas y suelos en la zona de formación de la ladera o construcción del talud.
- Los efectos exteriores: sobrecarga de la ladera o talud, así como de sus tramos adyacentes a sus bordes, las oscilaciones microsísmicas y sísmicas, etc.

Tomando como base los elementos citados anteriormente y la experiencia manifiesta sobre el conocimiento de los deslizamientos en el sector del municipio de Moa, se parte de una hipótesis de trabajo para realizar el análisis de susceptibilidad a la rotura por deslizamiento que permite orientar la selección de los parámetros que caracterizan las laderas así como su tratamiento y posterior interpretación. La hipótesis parte de un modelo con las siguientes condiciones (Almaguer, 2005):

- La base de los taludes y las laderas está constituido por un substrato rocoso impermeable compuesto por rocas ultrabásicas serpentinizadas y en menor medida por básicas. Sobre éste yace, una corteza laterítica residual y de forma discordante, una corteza laterítica redepositada. De forma intercalada, aparecen arcillas, formadas a partir de la meteorización de gabros.
- Las cortezas lateríticas, por sus propiedades físicas y composición mineralógica, presentan gran capacidad de almacenaje, acumulando considerables cantidades de aguas que son trasmitidas muy lentamente, manteniéndose con alta humedad durante todo el año. Esta situación aumenta el peso, las presiones intersticiales en los poros y disminuye las propiedades resistentes de los suelos.

Factores condicionantes utilizados en el análisis de susceptibilidad.

Teniendo en cuenta los criterios de inestabilidad y los factores condicionantes, sobre la base de los criterios de reconocimientos, se seleccionaron los factores utilizados en el análisis de susceptibilidad para su tratamiento mediante técnicas estadísticas (tabla 2.1). La utilización combinada de estos factores genera un mapa residual, que explica que lugares son mas o menos susceptibles al desarrollo de deslizamientos, a cada uno se le asigna un valor o significado, por su influencia de favorecer o reducir la posibilidad de rotura de los taludes y laderas, en función de la cantidad de área ocupada por deslizamientos en las clases de cada factor. Por el tamaño del área del sector estudiado (201.23Km^2), el grado de estudio, las características de la información de base y del sistema Hardware-Software se utilizó como

escala de trabajo 1:25 000. Los factores utilizados en el análisis de susceptibilidad y comparados con el inventario de movimientos son (Almaguer 2005, 2005a, 2005b):

1. Factor litológico.
2. Factor estructural.
3. Factor morfotectónico.
4. Factor geomorfológico.

Tabla 2.1 Relación de factores utilizados en el análisis de susceptibilidad.

FACTORES DE ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRENO A LA ROTURA	INTERNOS	Características intrínsecas	Factor litológico	Grupos lito-estructurales
			Factor tectónico	Sistemas de fallas
		Característica intrínsecas	Factor morfotectónico	Bloques morfotectónicos
		Características extrínsecas	Factor geomorfológico	Pendiente umbral de deslizamiento. Zonas geomorfológicas.

Inventario de deslizamientos.

El inventario se confeccionó a partir de las fotos aéreas a escalas 1:36 000, para realizar, el cartografiado de los movimientos de mayor extensión en esta área. Se utilizó la técnica de interpretación fotogeológica, a partir de las fotografías áreas del proyecto K-10 de 1972. Para este análisis se utilizaron los siguientes criterios de reconocimiento:

1- Laderas de altas pendientes con depósitos extensos de suelo 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. Formas topográficas onduladas no naturales semejantes a una concha.
4- Depresiones alongadas.
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 en las fotografías (tonos oscuros indican zonas húmedas).
8- Cambios bruscos de la vegetación, indicando variaciones en una unidad de terreno.

Factor litológico.

En el análisis del factor litológico, se incluyó el análisis de la litología uno de los parámetros fundamentales para que ocurran los movimientos de ladera pues todas las rocas poseen un comportamiento diferente. Para el análisis del factor litológico se tomaron las litologías presentes en el área a partir de la clasificación de las rocas, de acuerdo a grupos lito-estructurales, teniendo en cuenta sus susceptibilidade y características litológicas. El área de estudio se clasificó en roca compuesta, representada por la formación Santo Domingo, son rocas susceptibles a la meteorización y caída de bloques. Rocas debilitadas tectónicamente, se encuentran las rocas ultrabásicas serpentinizadas, son rocas trituradas o cortadas y altamente fracturadas, pueden sufrir desmoronamiento y caídas de bloques. Roca anisotrópica, constituido por la formación la Picota, son rocas que pueden ser afectadas por los procesos erosivos; materiales granulares, representada por los depósitos aluviales que son afectados por el lavado superficial y procesos de erosión.

Factor estructural.

Las estructuras seleccionadas para el análisis de este factor fueron las fallas. La información utilizada es la propuesta por Rodríguez, A. (1999) así como de investigaciones realizadas en el área y reconocimientos de campo. Las estructuras disyuntivas con desplazamiento presentes en el área son falla Cabaña, La vijía, La Veguita, Moa Cananova y falla Cayo Guam, estas estructuras actúan como zonas de debilidad o conductores de corrientes de aguas subterráneas que pueden facilitar los movimientos. Para su análisis se determinó la influencia de la tectónica sobre la susceptibilidad del terreno mediante el SIG, aplicando un buffer a partir de las estructuras principales a dos intervalos de 0,5 km de distancia (0,5 y 1 km), comparando la cantidad de deslizamientos presentes en cada intervalo.

Factor morfotectónico.

En el análisis de los bloques morfotectónicos se tomó la clasificación determinada por Rodríguez (1998), en bloques Toldo, Moa, Cabaña, Miraflores, y Cayo Guam.

Factor geomorfológico.

El elemento seleccionado para el análisis de este factor es el relieve. La información de la geomorfología se obtuvo a partir de los mapas confeccionados por (Rodríguez, 1999) y de varias investigaciones realizadas en el área. La geomorfología del área se encuentra estructurada de la siguiente forma: zona de horst y bloques en las que se encuentran las montañas bajas aplanadas y premontañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas; zonas

de llanuras en las que se desarrollan llanuras fluviales erosivas acumulativas, fluviales acumulativas, acumulativas palustres y marinas.

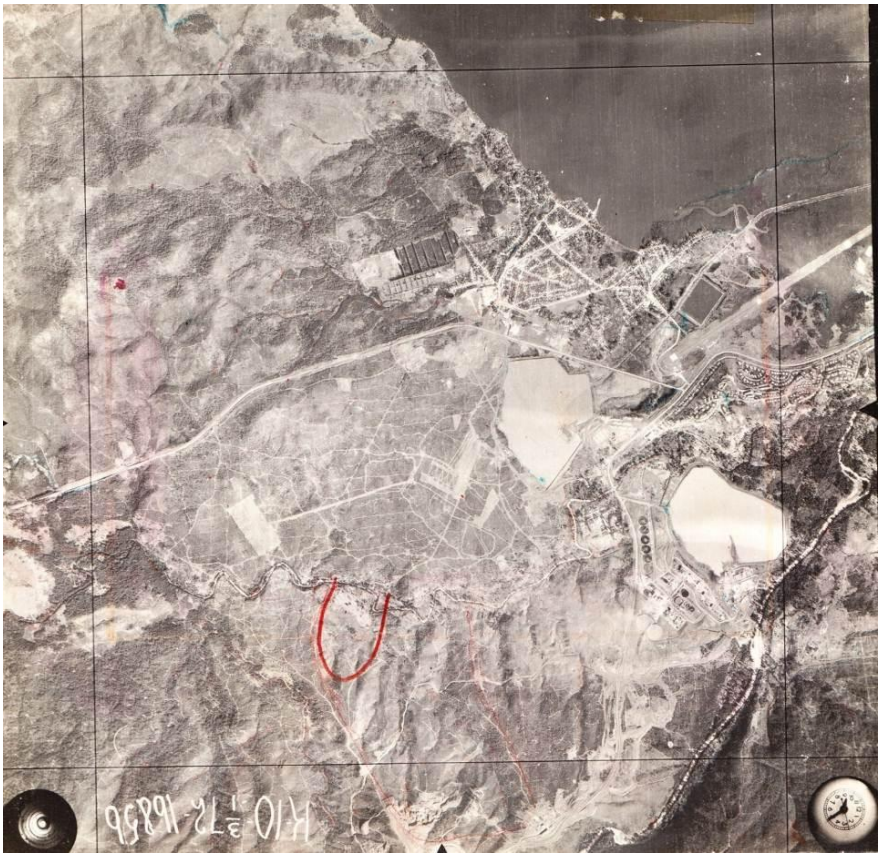

Figura 2.1 Fotografías áreas del proyecto K-10 de 1972.

Características del proyecto GIS de la investigación.

Digitalización y calibración de la información.

En el trabajo se utiliza el software Didger, eficiente y potente programa que proporciona técnicas avanzadas de digitalización; se puede usar para convertir mapas, gráficos, fotos aéreas o cualquier otro tipo de información en un formato digital versátil que puede ser utilizado con otro software de Sistemas de Información Geográfica.

Se puede digitalizar información en pantalla, desde una mesa digitalizadora o ingresar los datos directamente desde su unidad de GPS. Didger es compatible con más de 35 formatos para importar archivos y más de 25 para exportarlos. Se puede confeccionar mosaicos con imágenes

georreferenciadas o sobreponer archivos vectoriales sobre imágenes georreferenciadas. Didger permite también utilizar múltiples capas e incluye muchas herramientas de edición que ayudan a personalizar los proyectos GIS.

Características Principales

- Formatos espaciales GeoTIFF, TFW y RSF.
- Importa formato de vectores: EMF, GSI, GSB, BNA, DLG, LGO, LGS, DXF, PLT, BLN, CLP, WMF, SHP, MIF, DDF, E00.
- Formato de imágenes a Importar: TIF, BMP, TGA, PCX, GIF, WPG, DCX, EPS, JPG, PNG, PCT.
- Formato de datos a Importar: XLS, SLK, DAT, CSV, TXT, BNA, WKx, WRx, BLN.
- Formatos de Exportación: LAS, EMF, GSI, GSB, DAT, DXF, SHP, BLN, BNA, GIF, BMP, WMF, CGM, MIF, CLP, TIF, TGA, PCX, WPG, PNG, JPG, PCT, DCX.

Algunas aplicaciones de Didger permiten:

- Digitalizar pozos petroleros, pozos de prueba, líneas de contorno, fotos aéreas, imágenes satelitales, líneas sísmicas, caminos, ríos, propiedades, edificios.
- Fallas, formaciones rocosas, fronteras de vegetación, hábitat animal.
- Determinar la vertiente o área de inundación de cuerpos de agua.
- Determinar el largo de litorales, caminos, ríos, quebradas o rutas de migración
- Reproducir secciones o mapas dibujados a mano.

Es posible asignar o cambiar la proyección de los archivos vectores y raster, a una de más de 20 proyecciones distintas, o convertir el datum de su proyección a uno de más de 200 datums disponibles. Alternativamente, se puede crear el propio datum o convertir sus datos a un nuevo sistema de coordenadas utilizando uno de los 10 métodos de georreferenciación de Didger (figura 2.2).

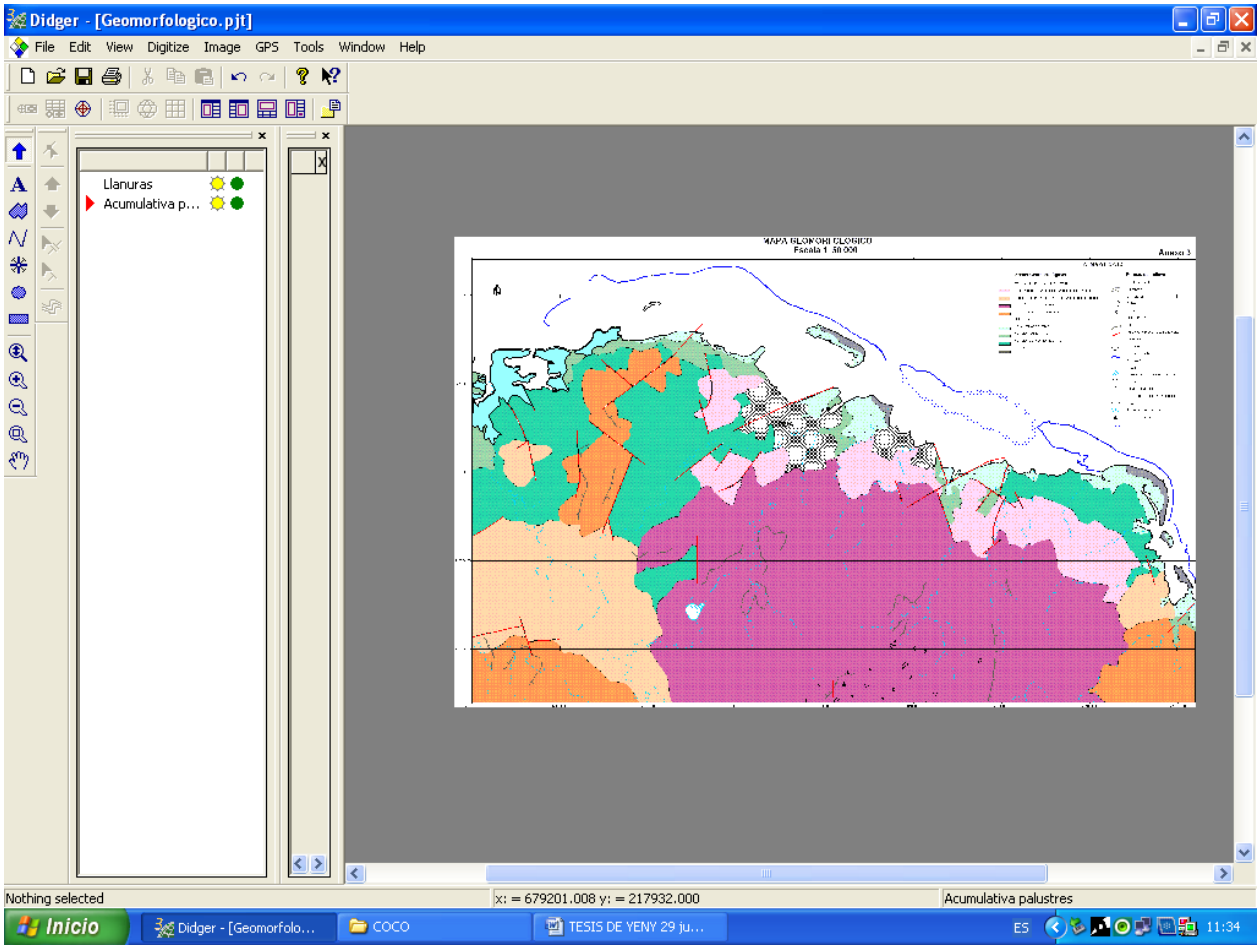

Figura 2.2 Representación gráfica del programa Didger.

Estructura del proyecto GIS.

El ArcView es el sistema utilizado en la presente investigación y toda la actividad 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 *.apr.

Vistas (VIEW). En el View se integran los diferentes temas o mapas, y en esencia es una superposición de todos temas que conforman el proyecto, (Figura 2.3).

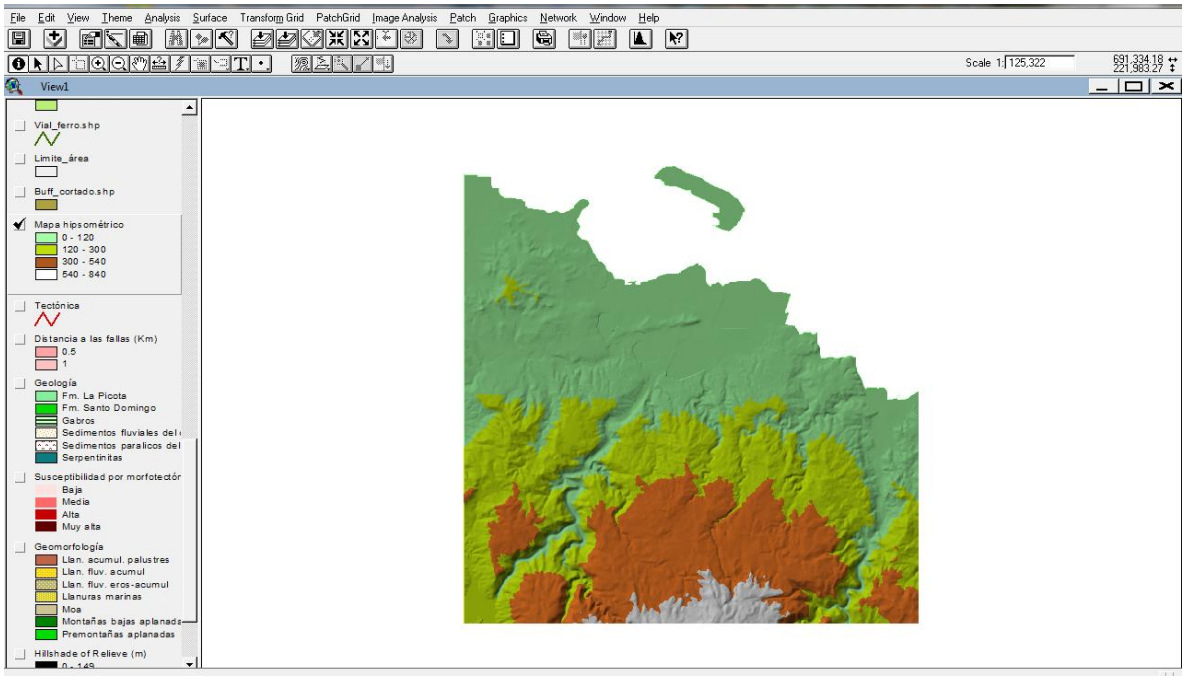

Figura 2.3 Visualización del VIEW de los mapas temáticos.

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 2.4).

En el proyecto de tesis se han utilizado las siguientes fuentes de datos tabulares: Base y archivo texto delimitado por espacios. La estructura y características del proyecto implementado para la evaluación de los niveles de susceptibilidad para el área de estudio se presentan en la tabla 3.6.

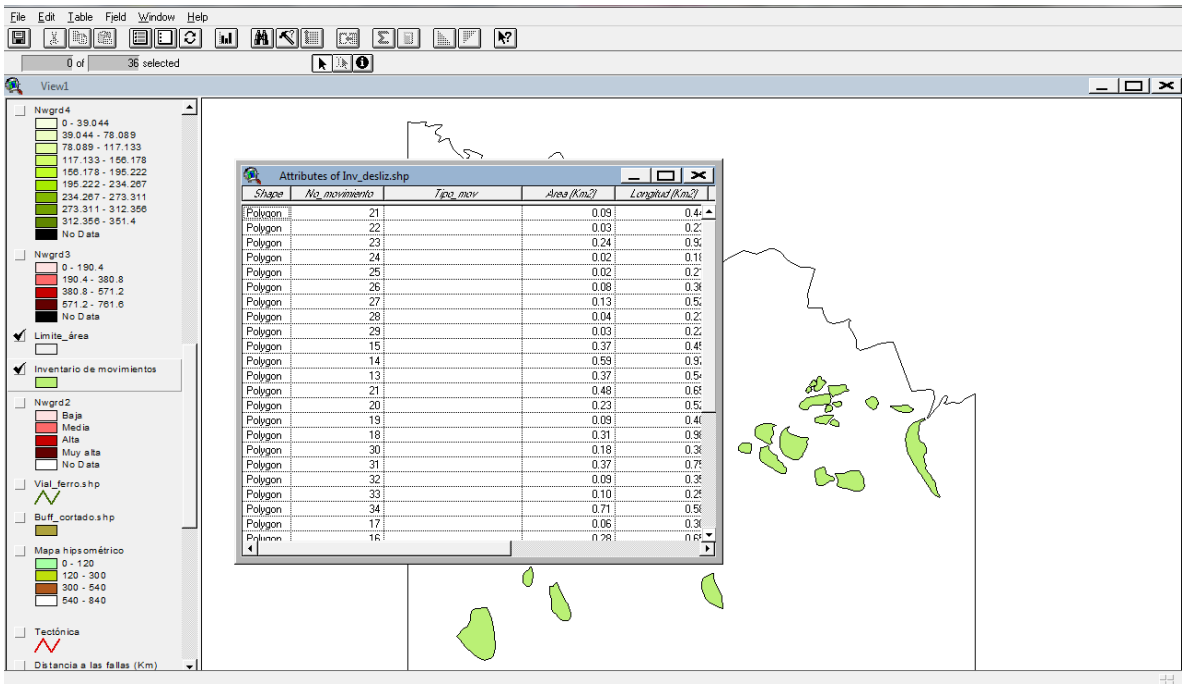

Figura 2.4 Visualización de las tablas de atributos de los mapas temáticos.

Diagramas y gráficos. Se han utilizado los Charts o diagramas para las representaciones graficas 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 temas o mapas temáticos, (Figura 2.5).

Layouts. Se utilizaron los layouts o mapas de representación para combinar los múltiples documentos o temas del proyecto para ilustrar los resultados finales de la investigación e implementación de la metodología de valoración de susceptibilidad. Esta opción del sistema nos permitió además, preparar las salidas gráficas de los mapas incluyendo la escala, leyenda, el gris y sistema de coordenadas y el formato de hoja, (Figura 2.6).

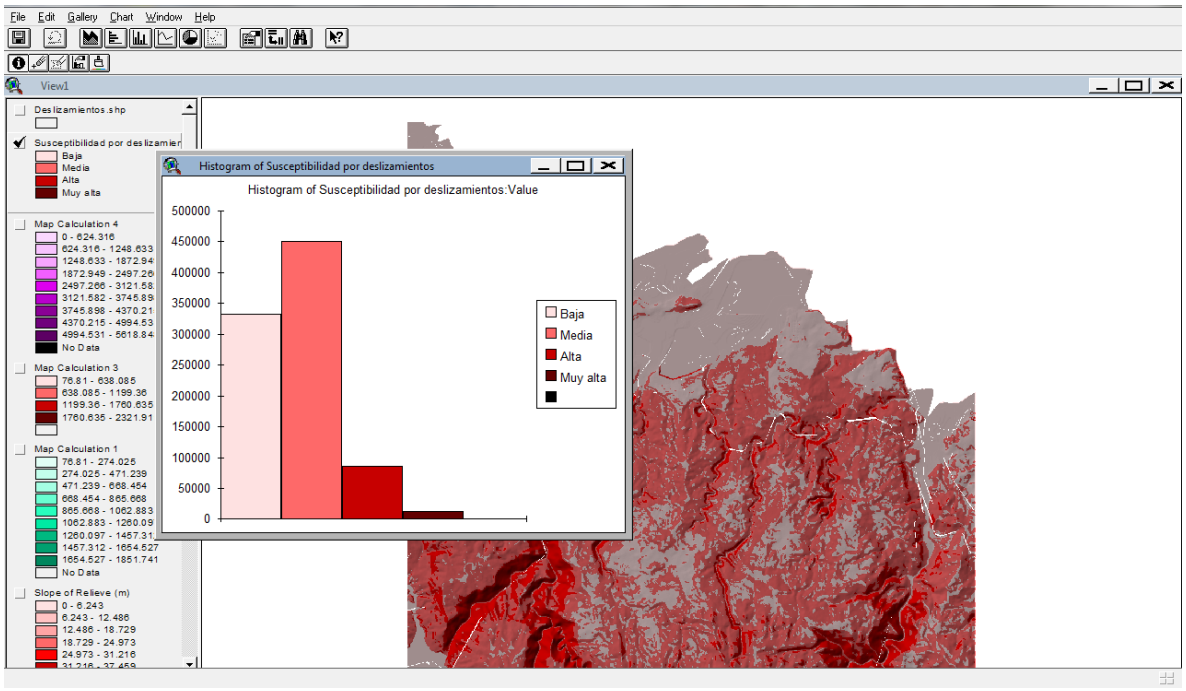

Figura 2. 5 Representación grafica para análisis estadístico de los temas.

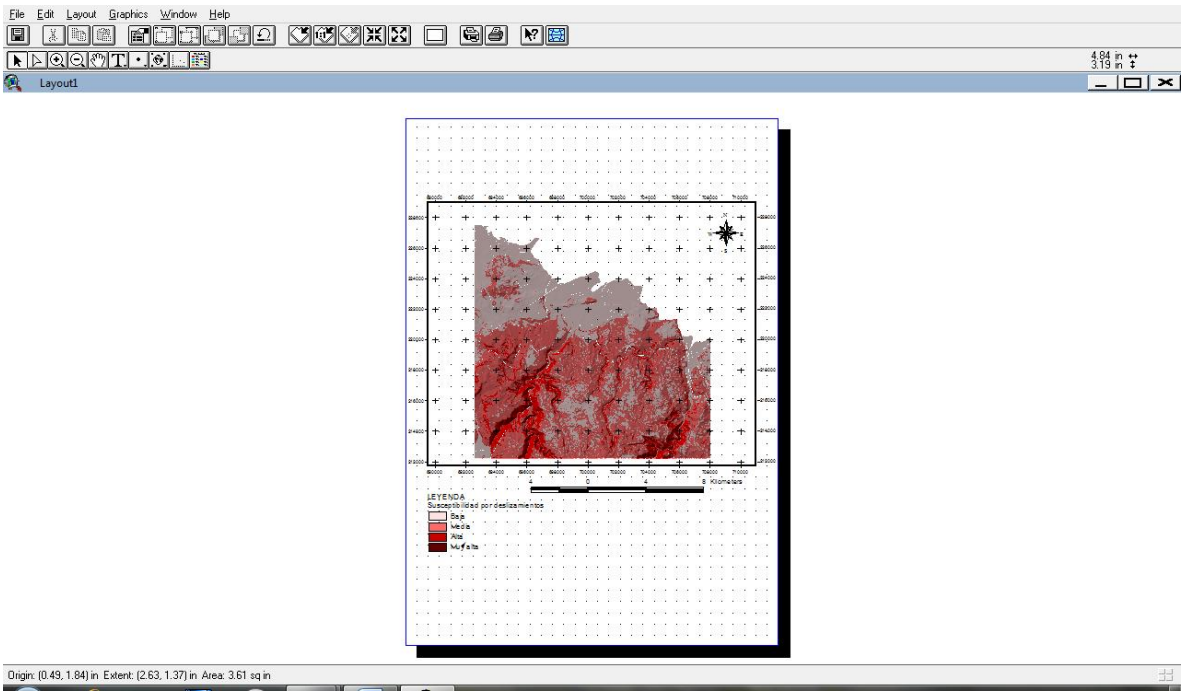

Figura 2.6 Visualización final de los mapas temáticos.

La estructura final del proyecto GIS para la evaluación de la susceptibilidad está conformado por varios mapas temáticos de primer orden relacionados con los mapas de factores

condicionantes de inestabilidades de laderas (tabla 2.2), los cuales fueron integrados con vista a compararlos con el mapa de inventario y obtener la valoración de susceptibilidad aplicando el método estadístico de análisis condicional.

Tabla 2.2. Estructura del proyecto GIS.

Objeto	Clasificación del objeto	Fuente de suministro	Atributos	Tipo de campo	Fuente de suministro
Área de trabajo	Areal	Investigación	Área	Numérico	Delimita el área de trabajo
Mapa litológico	Areal	Dpto. de geología	Formaciones Geológicas Área Susceptibilidad	Descriptivo Numérico Numérico	Mapa geológico del territorio de Moa
Mapa tectónico	Lineal	Dpto. de geología	Sistemas de fallas Área Susceptibilidad	Descriptivo Numérico Numérico	Mapa de los sistemas de fallas del territorio de Moa
Mapa morfotectónico	Areal	Dpto. de geología	Bloques Morfotectónico Área Susceptibilidad	Descriptivo Numérico Numérico	Mapa morfotectónico del territorio de Moa
Mapa geomorfológico	Areal	Dpto. de geología	Zonas Geomorfológicas Área Susceptibilidad	Descriptivo Numérico Numérico	Mapa geomorfológico del territorio de Moa
MDE	Areal	Dpto. de geología	Cotas del terreno Área Susceptibilidad	Numérico Numérico Numérico	MDE Oriente

Valoración de la susceptibilidad por deslizamientos mediante el análisis estadístico.

El análisis estadístico está fundamentado en la relación entre cada factor condicionante analizado y la distribución espacial o temporal de los deslizamientos. La fortaleza funcional del método aplicado es directamente dependiente de la calidad y cantidad de los datos disponibles para el análisis. La aproximación estadística puede ser aplicada siguiendo diferentes técnicas las cuales difieren en el procedimiento estadístico aplicado (univariado o multivariado) y del tipo de unidad de terreno utilizada.

La técnica estadística aplicada en la investigación es el análisis condicional, que aunque es simple conceptualmente, no lo es operacionalmente; intenta evaluar la relación probabilística entre los factores condicionantes relevantes seleccionados y la ocurrencia de deslizamientos en el área. El basamento teórico parte del teorema de Bayes (Parzen, 1960), conforme al cual los

datos de frecuencia, tales como área de deslizamientos o cantidad de deslizamientos, pueden ser usados para calcular probabilidades que dependen de la ocurrencia de eventos previos.

El análisis condicional, que fue usado por primera vez en la exploración de minerales sólidos e hidrocarburos, puede ser aplicado clasificando el área de estudio en unidades de condiciones únicas (UCU) (Carrara, 1995). La frecuencia de deslizamientos se determina:

LF = Área de deslizamientos / Área de UCU

Como se mencionó anteriormente, de acuerdo al teorema de Bayes, LF es igual a la probabilidad condicional (P) de ocurrencia de deslizamientos (L) dado por el grupo de factores condicionantes, obteniéndose UCU, es decir:

P (L| UCU) = Área de deslizamientos / Área de UCU

Por comparación de las diferentes probabilidades condicionales de los diferentes factores para el área de investigación, con la probabilidad de deslizamiento media para el área total de trabajo (ER), es decir:

P (LER) = Área de deslizamientos / Área total ER

Es posible clasificar el área de trabajo en zonas de niveles diferentes de susceptibilidad, y más tarde reclasificado en clases apropiadas.

Modelo estadístico empleado.

A partir de la base teórica del teorema de Bayes, y bajo varias aproximaciones probabilísticas, se seleccionó la siguiente ecuación para la valoración de las clases de los diferentes factores usados en el análisis de susceptibilidad (Modificada de Almaguer, 2005, en consulta con el autor):

$$V_c = \left(\frac{X_1}{Y_1} * \frac{X}{Y} \right) * 1000$$

Donde:

Vc: valor de la clase analizada.
X_i: área ocupada por deslizamientos en la clase.
Y_i: área total de la clase.
X: área total ocupada por deslizamientos.
Y: área total de la zona de estudio.

En la figura 2.7 Se muestra la aplicación del análisis condicional en ambiente SIG para la caracterización de los mapas temáticos de factores condicionantes y posterior valoración de susceptibilidad. La valoración de todos los factores se realizó en función de la cantidad de área ocupada por deslizamientos en cada clase, sin embargo, en el caso del factor litológico se realizó un análisis adicional, debido a la particularidad que presenta el área de poseer, además de las litologías aflorantes en superficie, la presencia de cuerpos de gabro, tanto en el substrato como intercalados en la corteza laterítica, de manera que fue preciso incluir la influencia de estos cuerpos en el análisis de susceptibilidad. Una vez valoradas todas clases de los factores analizados, se procedió a la conversión en formato raster con tamaño de celda de 5x5 m (figura 2.8) y la posterior reclasificación de cada mapa temático mediante el análisis de cluster, que es una técnica estadística multivariada, que se usa para identificar o clasificar características similares en un grupo de observaciones. De esta forma se determinaron las clases de susceptibilidad para cada factor, para las combinaciones entre estos y para la obtención del mapa final de susceptibilidad. La figura 2.9 muestra la metodología empleada en la evaluación de la susceptibilidad del terreno.

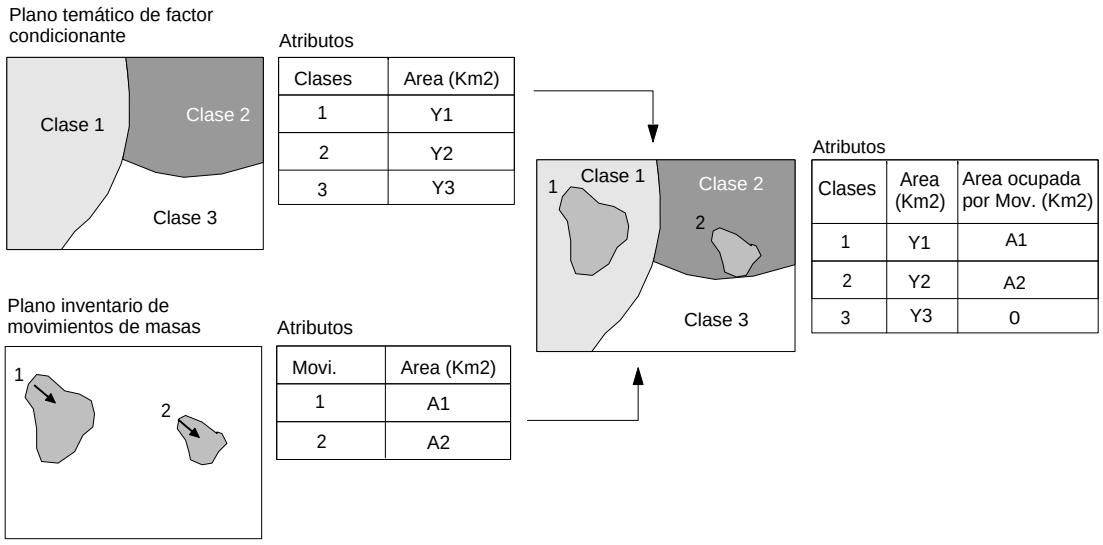

Figura 2.7 Procedimientos para la caracterización y combinación de factores condicionantes mediante técnicas SIG, a través del análisis de probabilidad condicional.

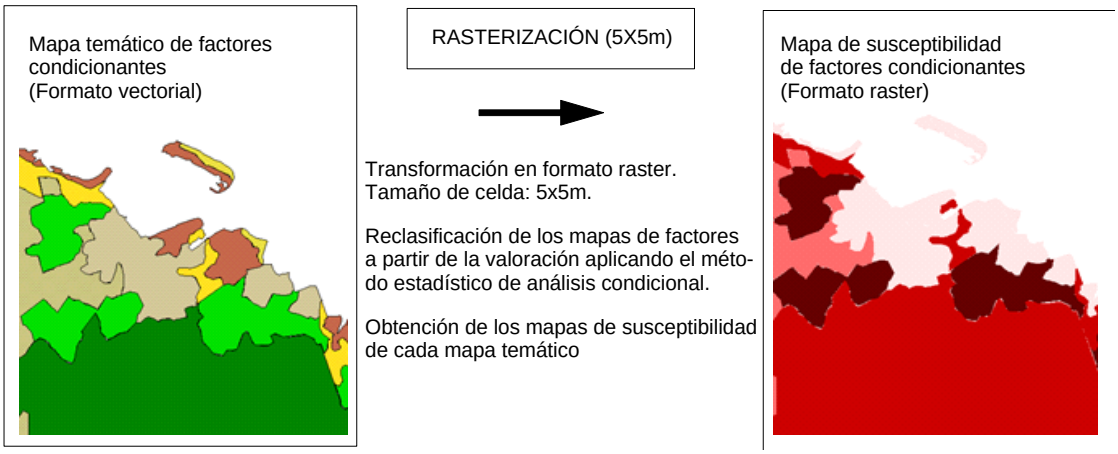

Figura 2.8. Proceso de rasterización y reclasificación para la obtención de mapas de susceptibilidad de factores condicionantes.

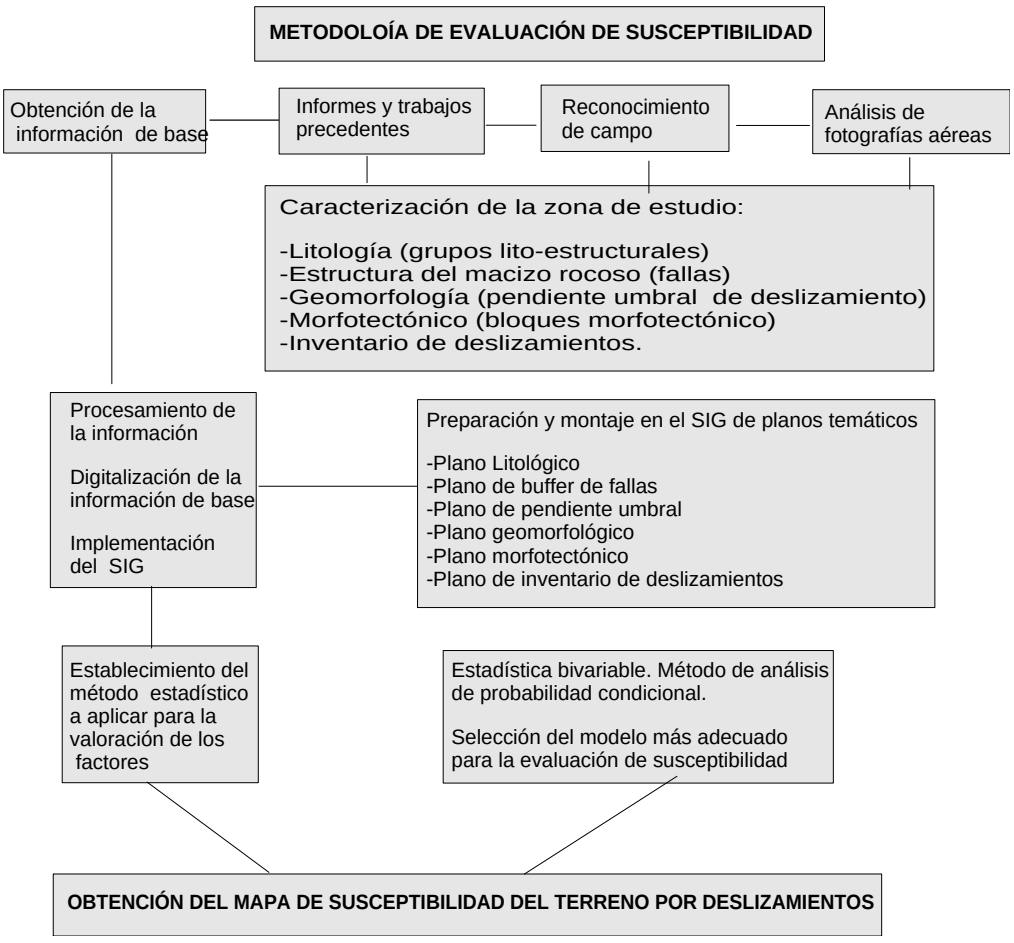

Figura 2.9 Metodología empleada en la evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura.

CAPITULO III. EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRENO POR DESLIZAMIENTOS EN EL TERRITORIODE MOA.

Introducción.

Para evaluar el grado de susceptibilidad del terreno frente a los deslizamientos existen varias aproximaciones basadas en la determinación de los factores que condicionan las roturas. La combinación de estos factores define distintos grados de susceptibilidad, expresándose los resultados de forma cartográfica mediante los mapas o mapas de susceptibilidad. El procedimiento para la realización de los mapas de susceptibilidad y la clasificación de los métodos utilizados para evaluar esta susceptibilidad ha sido valorado indistintamente por varios autores (Corominas, 1987 y 1992; Van Westen, 1993 y 1994; Carrara et al., 1995; Leroi, 1996).

El presente capítulo se refiere a los resultados del análisis de los factores condicionantes y su influencia sobre las inestabilidades, y la aplicación de los métodos estadísticos en la cartografía de susceptibilidad del terreno al desarrollo de deslizamientos.

Descripción y cartografía de los deslizamientos.

La identificación de los movimientos de masas presentes en el área de estudio se realizó mediante la fotointerpretación para ubicar y caracterizar los deslizamientos existentes y crear el mapa de inventario (figura 3.16); se describen 34 movimientos de ladera. A continuación se presenta una síntesis de las características de los movimientos registrados:

Deslizamiento 1.

Ubicado al sur del área de estudio; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 694499, y: 212598; se desarrolla sobre los bloques morfotectónicos El Toldo y Moa; ocupa un área de 1.28 km^2 y presenta una pendiente mínima de 0° y máxima de 44°, la altura mínima del deslizamiento es de 68 m y máxima de 423 m, la dirección del movimiento es hacia el noroeste. Tiene longitud máxima de 1.28 Km. y ancho de 1.04 Km. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.58 Km. Se desarrolla en montañas bajas aplanadas principalmente en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra cercano a una falla de dirección noreste-suroeste. Se realizó un perfil de sur a norte mostrando el cuerpo principal del deslizamiento, con una altura de 423 m, el escarpe principal se encuentra hacia al sur, desarrollándose en la parte intermedia del cuerpo un escarpe secundario. (Figura 3.1).

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

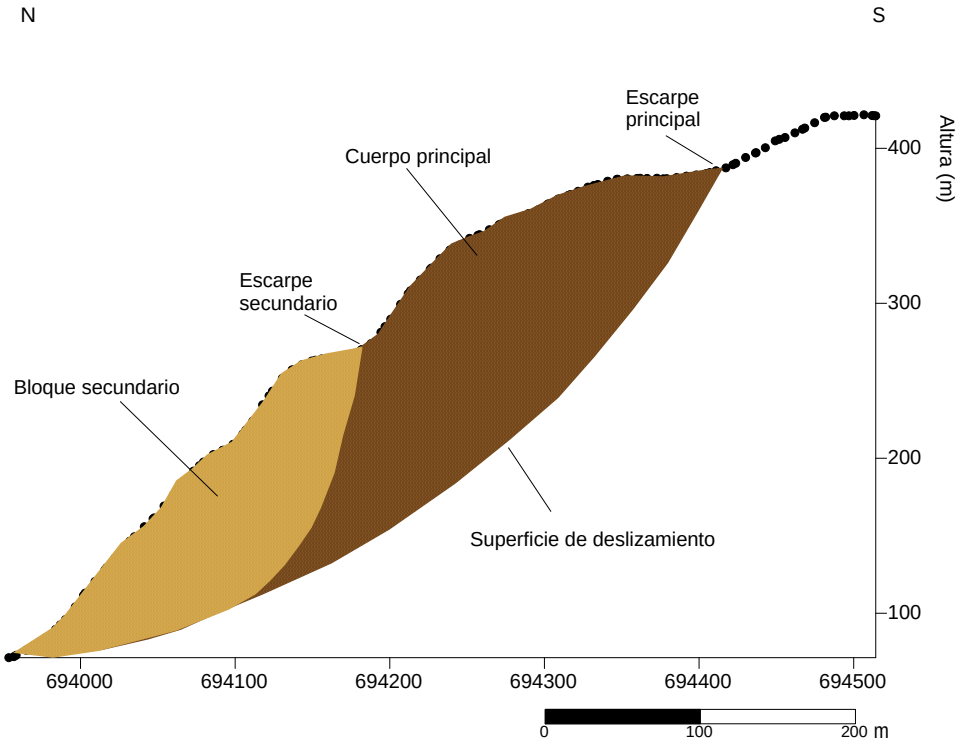

Figura 3.1 Perfil del deslizamiento 1.

Deslizamiento 2.

Se encuentra al sur del área estudiada; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 695546, y: 214629 en el bloque morfotectónico El Toldo; ocupa un área de 0.12 km^2, con pendiente mínima de 0.67° y máxima de 48.32°, la altura mínima del deslizamiento es de 39 m y máxima de 263 m, la dirección del movimiento es hacia el norte. Tiene longitud máxima de 0.45 Km. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.23 Km y el ancho es de 0.31 Km. Se encuentra cerca de una falla de dirección noreste-suroeste. Se desarrolla principalmente en montañas bajas aplanadas en rocas ultrabásicas serpentinizadas.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

Deslizamiento 3.

Ubicado al sur del área de estudio; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 696736, y: 213644 en el bloque morfotectónico El Toldo; ocupa un área de 0.39 km^2, con pendiente mínima de 2.43° y máxima de 42.05°, la altura mínima del deslizamiento es de 73 m y máxima de 432 m, la dirección del movimiento es hacia el noroeste. Tiene longitud máxima de 1.07 km y ancho de 0.46 km. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.35 km Se desarrolla en montañas bajas aplanadas en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra en la parte este de una falla de dirección norte-sur. La figura 3.2 muestra el perfil desarrollado

del sureste hacia el noroeste, el movimiento tiene una altura de 432 m, con forma lobular, el escarpe principal se encuentra hacia la parte sureste de dicho perfil.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

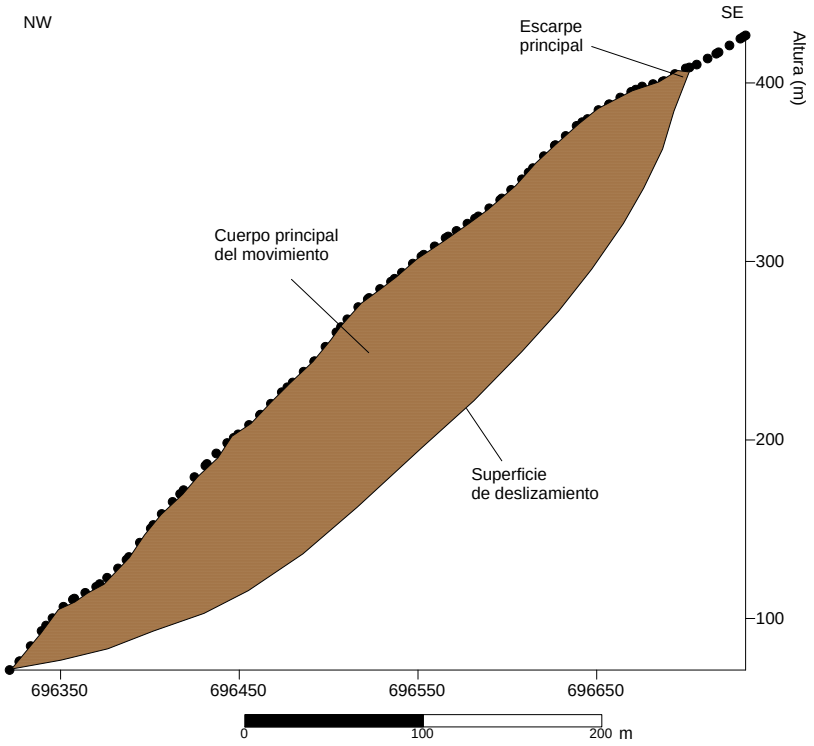

Figura 3.2 Perfil del deslizamiento 3.

Deslizamiento 4.

Se encuentra al suroeste del área estudiada; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 693699, y: 216456, en el bloque morfotectónico Moa, ocupa un área de 1.06 km^2, con pendiente mínima de 0° y máxima de 34.49°, la altura mínima del deslizamiento es de 189 m y máxima de 330 m, la dirección del movimiento es hacia el oeste. Tiene longitud máxima de 1.14 km. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.94 Km. y el ancho es de 1.16 Km. Se desarrolla principalmente en montañas bajas aplanadas en rocas ultrabásicas serpentinizadas.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

Deslizamiento 5.

Se ubica al suroeste del área estudiada; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 696962, y: 219206, en el bloque morfotectónico Moa, ocupa un área de 0.74 km^2, con pendiente mínima de 0.67° y máxima de 41.02°, la altura mínima del deslizamiento es de 69 m y máxima de 345 m, la dirección del movimiento es hacia el noreste. Tiene longitud máxima de

1.54 km. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.81 Km. y el ancho es de 0.71 Km. Se desarrolla principalmente en montañas bajas aplanadas, en las rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se desarrolla en la parte oeste de la falla Moa con dirección noreste-suroeste. Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

Deslizamiento 6.

Ubicado al oeste del área de estudio; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 694643, y: 217133, en el bloque morfotectónico Moa, ocupa un área de 0.81 km^2, con pendiente mínima de 0° y máxima de 34.67°, la altura mínima del deslizamiento es de 95 m y máxima de 279 m, la dirección del movimiento es hacia el noroeste. Tiene longitud máxima de 1.14 Km. y ancho de 0.78 Km. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.93 km. Se desarrolla en montañas bajas aplanadas, principalmente en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se desarrolla en la parte sur de la falla Cananova. El perfil se desarrolla de sur –sureste al norte- noroeste, no se observa cuerpo principal por que este se erosionó y solo quedan los depósitos remanente en la parte frontal del movimiento, el escarpe principal se encuentra hacia la parte sur-sureste del perfil con una altura de 279 m. (Figura 3.3).

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

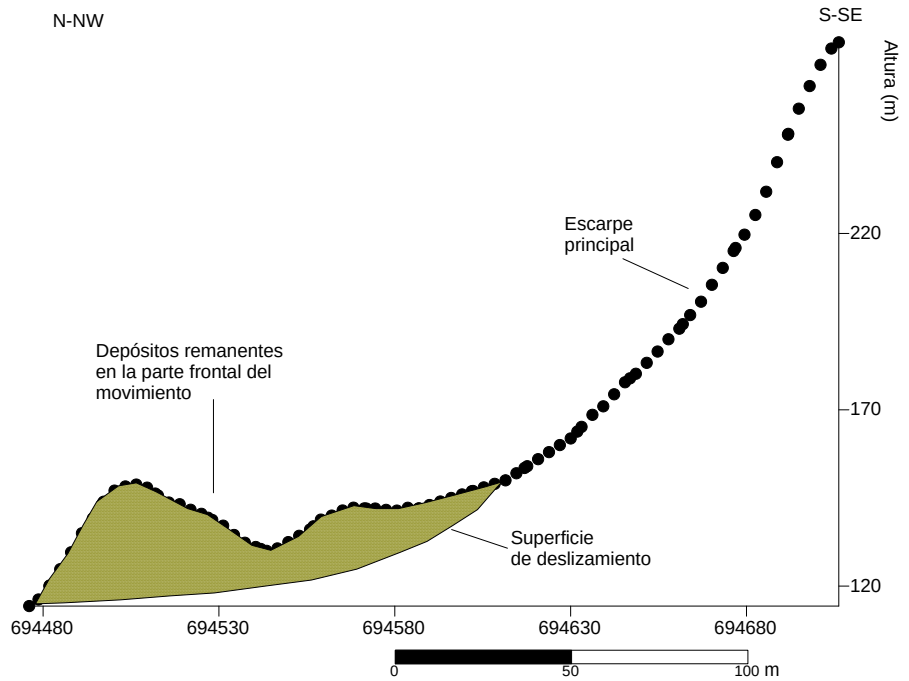

Figura 3.3 Perfil del deslizamiento 6.

Deslizamiento 7.

Se ubica al oeste del área estudiada; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 693802, y: 218693, en el bloque morfotectónico Moa, ocupa un área de 0.23 km^2, con pendiente mínima de 2.69° y máxima de 32.67°, la altura mínima del deslizamiento es de 120 m y máxima de 249 m, la dirección del movimiento es hacia el sureste. Tiene longitud máxima de 0.66 km. y ancho de 0.51 Km. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.51 km. Se encuentra en la parte norte de la falla Cananova con dirección noroeste-suroeste. Se desarrollan en el límite de montañas bajas aplanadas y premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas, en rocas ultrabásicas serpentinizadas.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional con presencia de movimientos de flujos en la parte frontal.

Deslizamiento 8.

Ubicado al oeste del área estudiada; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 695259, y: 218036, en el bloque morfotectónico Moa, ocupando un área de 0.20 km^2, con pendiente mínima de 0° y máxima de 33.40°, la altura mínima del deslizamiento es de 85 m y máxima de 217 m, la dirección del movimiento es hacia noroeste. Tiene longitud máxima de 0.65 km. y ancho de 0.36 Km. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.44 km. Se encuentra en la parte norte de la falla Cananova. Se desarrolla en montañas bajas aplanadas, principalmente en rocas ultrabásicas serpentinizadas.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

Deslizamiento 9.

Se ubica al noroeste del área de estudio; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 694007, y: 218775, en el límite de los bloques morfotectónicos Moa y Cabaña, ocupa un área de 2.27 km^2, con pendiente mínima de 0° y máxima de 29.70°, la altura mínima del deslizamiento es de 28 m y máxima de 241 m, la dirección del movimiento es hacia el norte-noreste. Tiene longitud máxima de 2.42 km. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 1.38 km y el ancho es de 1.26 Km. Se desarrolla principalmente en límite de llanuras fluviales erosivas acumulativas y premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas, principalmente en las rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra encima de dos fallas con dirección noreste-suroeste. En el perfil desarrollado de sur a norte se observa el escarpe principal que se encuentra en la parte sur del mismo, con una altura de 241 m, muestra la tipología rotacional que presenta este, también se observa la masa desplazada que se divide en varios bloques

secundarios, y los depósitos frontales del movimiento que se desplazan a través de una superficie cóncava. (Figura 3.4).

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

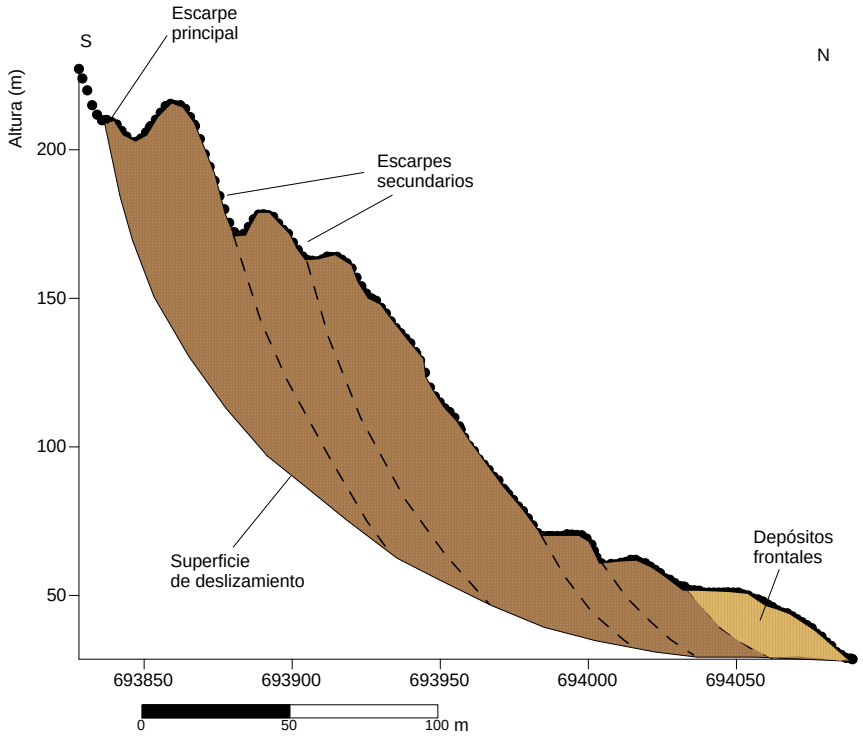

Figura 3.4 Perfil del deslizamiento 9.

Deslizamiento 10.

Se ubica al oeste del área estudiada; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 697660, y: 219883, en el bloque morfotectónico Moa, ocupa un área de 0.13 km^2, con pendiente mínima de 2.43° y máxima de 27.93°, la altura mínima del deslizamiento es de 72 m y máxima de 197 m. la dirección del movimiento es hacia el sur-suroeste. Tiene longitud máxima de 0.53 Km. y ancho de 0.35 Km. aproximadamente. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.44 km. Se desarrollan en montañas bajas aplanadas, principalmente en rocas ultrabásicas serpentinizadas y se encuentra al norte de la fallas Cananova con dirección este-oeste.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

Deslizamiento 11.

Se ubica al oeste del área estudiada; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 697807, y: 218449, en el bloque morfotectónico El Toldo, ocupa un área de 0.09 km^2, con pendiente mínima de 4.31° y máxima de 39.12°, la altura mínima del deslizamiento es de 23 m y máxima de 156 m. la dirección del movimiento es hacia el oeste. Tiene longitud máxima de 0.46 Km. y ancho de 0.21 Km. aproximadamente. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.27 km. Se desarrollan en montañas bajas aplanadas, en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra en la parte noreste de la falla Moa.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

Deslizamiento 12.

Su ubicación es al norte del área de estudio; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 695312, y: 220632, en el bloque morfotectónico El Toldo, ocupa un área de 0.28 km^2, con pendiente mínima de 0° y máxima de 18.54°, la altura mínima del deslizamiento es de 9 m y máxima de 75 m, la dirección del movimiento es hacia el norte-noreste. Tiene longitud máxima de 0.27 km. y ancho de 0.51 Km. aproximadamente. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.60 km. Se desarrollan en el límite de llanuras fluviales erosivas acumulativas y premontañas ligeramente diseccionada, en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra encima de una falla de dirección noreste-suroeste.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

Deslizamiento 13.

Ubicado en la parte central del área de estudio; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 699860, y: 217923, en el bloque morfotectónico el Toldo, ocupa un área de 0.37 km^2, con pendiente mínima de 0.67° y máxima de 20.82°, la altura mínima del deslizamiento es de 144 m y máxima de 273 m, la dirección del movimiento es hacia el oeste-suroeste. Tiene longitud de 0.54 km. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.63 Km. con un ancho de 0.62 Km. Se desarrolla principalmente en montañas bajas aplanadas, en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Además se encuentra encima de una falla de dirección norte sur.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

Deslizamiento 14.

Se ubica en la parte central del área estudiada; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 700040, y: 217661, en el bloque morfotectónico El Toldo, ocupando un área de 0.59 km^2, con pendiente mínima de 0.95° y máxima de 38.68°, la altura mínima del

deslizamiento es de 134 m y máxima de 312 m, la dirección del movimiento es hacia el este. Tiene longitud máxima de 0.97 km. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.90 Km. y el ancho es de 0.98 Km. Se desarrolla en montañas bajas aplanadas, principalmente en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra desarrollado en una falla de dirección noreste-suroeste En la figura 3.5 desarrollado de oeste a este, se observa el cuerpo principal del deslizamiento bien desarrollado en el perfil, con forma lobular, hacia la parte oeste del perfil se desarrolla el escarpe principal, con una altura de 300 m.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

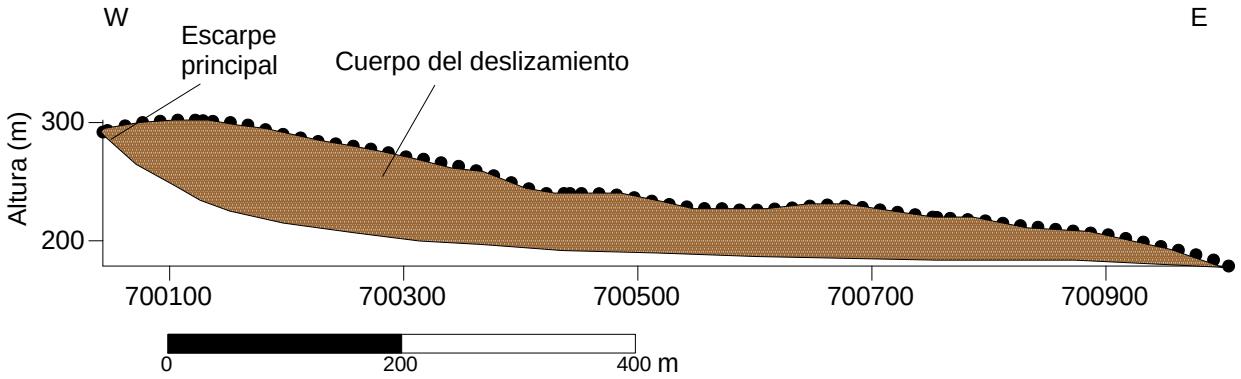

Figura 3.5 Perfil del deslizamiento 14.

Deslizamiento 15.

Se encuentra al sur del área de estudio; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 700582, y: 214476, en el bloque morfotectónico El Toldo, afecta un área de 0.37 km^2, con pendiente mínima de 1.90° y máxima de 17.60°, la altura mínima del deslizamiento es de 383 m y máxima de 480 m, la dirección del movimiento es hacia el noreste. Tiene longitud máxima de 0.45 km. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.82 km. y el ancho es de 0.47 Km. Se desarrolla principalmente en montañas bajas aplanadas, en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra en el límite de una falla de dirección norte-sur. El perfil se realizó de suroeste a noreste, muestra el escarpe principal que tiene una altura de 470 m, desarrollándose en la parte suroeste del perfil, el cuerpo principal del movimiento tiene forma lobular, en la parte frontal del movimiento se encuentran los depósitos remanente desplazándose a través de una superficie cóncava lo que genera una zona positiva del relieve. (Figura 3.6).

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

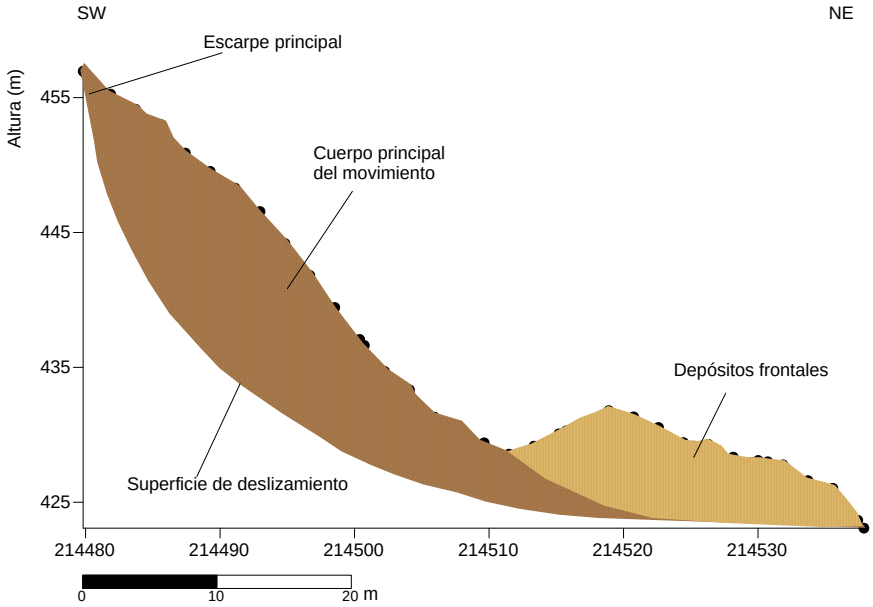

Figura 3.6 Perfil del deslizamiento 15.

Deslizamiento 16.

Se ubica al la parte central del área estudiada; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 700516, y: 218678, en el bloque morfotectónico El Toldo, ocupa un área de 0.28 km^2, con pendiente mínima de 0.67° y máxima de 34.67°, la altura mínima del deslizamiento es de 48 m y máxima de 180 m, la dirección del movimiento es hacia el noreste. Tiene longitud máxima de 0.65 km. y ancho de 0.54 Km. aproximadamente. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.74 km. Se desarrolla en montañas bajas aplanadas en las rocas ultrabásicas serpentinizadas. La figura 3.7 se realizó de suroeste a noroeste, donde se observa el escarpe principal desarrollado hacia el suroeste, con una altura de 180 m, muestra el desarrollo del cuerpo del movimiento deslizando los materiales removidos hacia el arroyo Los Lirios lo que puede generar riesgos de inundaciones.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

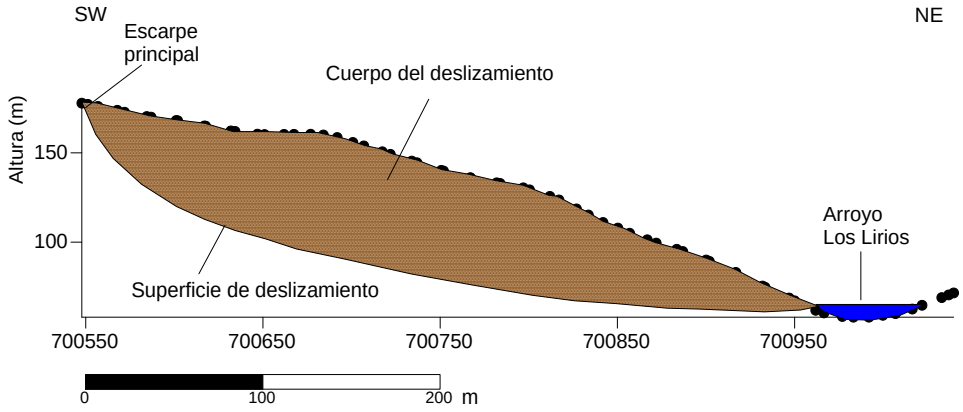

Figura 3.7 Perfil del deslizamiento 16.

Deslizamiento 17.

Ubicado en la parte central del área de estudio; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 700976, y: 219237, en el bloque morfotectónico El Toldo, ocupa un área de 0.06 km^2, con pendiente mínima de 0° y máxima de 30.34°, la altura mínima del deslizamiento es de 40 m y máxima de 98 m, la dirección del movimiento es hacia el noreste. Tiene longitud máxima de 0.30 Km. y ancho de 0.20 Km. aproximadamente. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.35 km. Se desarrolla en montañas bajas aplanadas en rocas ultrabásicas serpentinizadas.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

Deslizamiento 18.

Se encuentra al este del área estudiada; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 702979, y: 217858, en el bloque morfotectónico El Toldo, ocupa un área de 0.31 km^2, con pendiente mínima de 1.50° y máxima de 31.04°, la altura mínima del deslizamiento es de 98 m y máxima de 247 m, la dirección del movimiento es hacia el noroeste. Tiene longitud máxima de 0.98 km. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.49 km. y el ancho es de 0.36 Km. Se desarrolla principalmente en montañas bajas aplanadas en las rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra al sur de una falla de dirección noreste-suroeste. La figura 3.8 muestra un perfil desarrollado de este a oeste, el cuerpo principal del movimiento tiene forma lobular, en la parte frontal del movimiento se encuentran los depósitos remanente desplazándose a través de una superficie cóncava, donde se desarrollan flujos de estos materiales.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

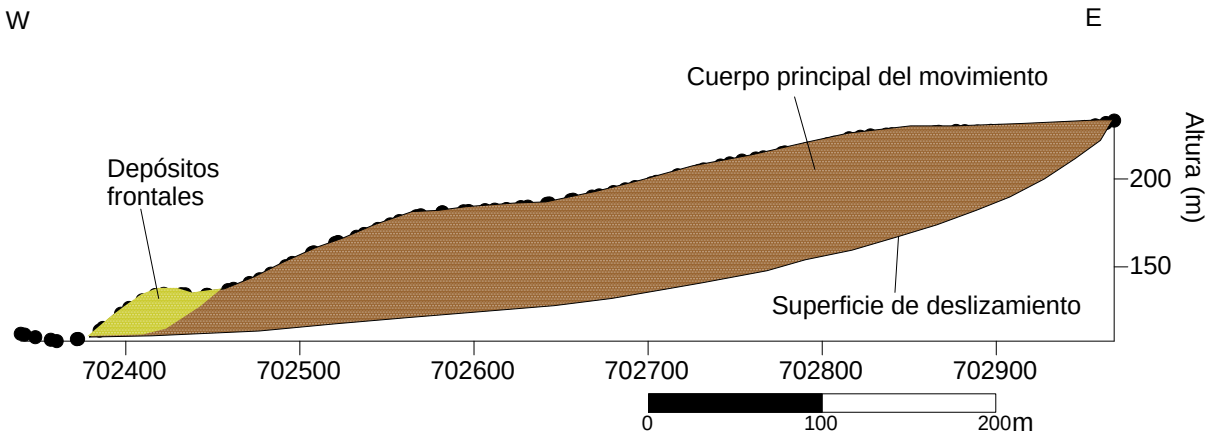

Figura 3.8. Perfil del deslizamiento 18.

Deslizamiento 19.

El cuerpo del deslizamiento se encuentra al este del área de estudio; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 701649, y: 218596, en el bloque morfotectónico El Toldo, ocupa un área de 0.09 km^2, con pendiente mínima de 0° y máxima de 24.28°, la altura mínima del deslizamiento es de 124 m y máxima de 181 m, la dirección del movimiento es hacia el este. Tiene longitud máxima de 0.40 km. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.41 km. y el ancho es de 0.24 Km. Se desarrolla en montañas bajas aplanadas en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra al norte de una falla de dirección noreste-suroeste. En la figura 3.9 se observa un perfil desarrollado de oeste a este, se observa el cuerpo principal del deslizamiento bien desarrollado en el perfil, con forma lobular, hacia la parte oeste del perfil se desarrolla el escarpe principal, con una altura de 180 m.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

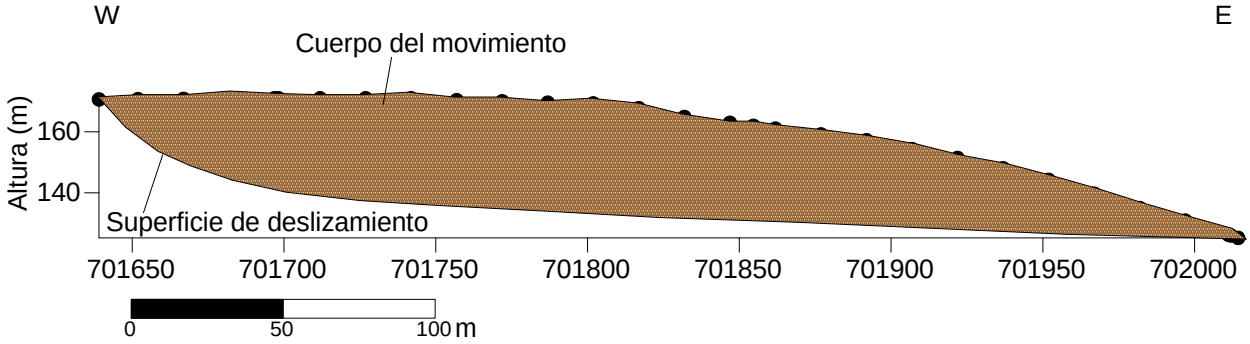

Figura 3.9. Perfil del deslizamiento 19.

Deslizamiento 20.

Se desarrolla al este del área estudiada; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 702125, y: 219122, en el bloque morfotectónico El Toldo, ocupa un área de 0.33 km^2, con pendiente mínima de 0° y máxima de 23.12°, la altura mínima del deslizamiento es de 92 m y máxima de 172 m, la dirección del movimiento es hacia el este. Tiene longitud máxima de 0.52 km. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.52 km. y el ancho es de 0.51 Km. Se desarrolla principalmente en premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra al norte de una falla de dirección noreste-suroeste.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

Deslizamiento 21.

Se encuentra en la parte este del área de estudio; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 703849, y: 219401, en el bloque morfotectónico El Toldo, ocupa un área de

0.09 km^2, con pendiente mínima de 0° y máxima de 36.16 °, la altura mínima del deslizamiento es de 30 m y máxima de 210 m, la dirección del movimiento es hacia el norte-noreste. Tiene longitud máxima de 0.44 km. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.37 Km. y el ancho es de 0.21 Km. Se desarrolla principalmente en montañas bajas aplanadas, en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra al oeste de una falla de dirección noroeste-suroeste. Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

Deslizamiento 22.

Ubicado al este del área estudiada; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 704128, y: 219680, en el bloque morfotectónico El Toldo, ocupa un área de 0.03 km^2, con pendiente mínima de 4.10° y máxima de 15.28°, la altura mínima del deslizamiento es de 30 m y máxima de 70 m, la dirección del movimiento es hacia el noreste. Tiene longitud máxima de 0.23 km. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.22 km. y el ancho es de 0.20 Km. Se desarrolla en premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas principalmente en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra al oeste de una falla de dirección noroeste-sureste. Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

Deslizamiento 23.

El cuerpo del deslizamiento se encuentra ubicado al este del área estudiada; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 703455, y: 219746, en el bloque morfotectónico El Toldo, ocupa un área de 0.24 km^2, con pendiente mínima de 0.67° y máxima de 19.68°, la altura mínima del deslizamiento es de 17 m y máxima de 146 m, la dirección del movimiento es hacia el este-noreste. Tiene longitud máxima de 0.92 km. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.56 km. y el ancho es de 0.25 Km. Se desarrolla en premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas principalmente en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se desarrolla sobre una falla con dirección noroeste-sureste. En la figura 3.10 muestra un perfil desarrollado de suroeste-noreste, se observa el cuerpo principal del deslizamiento con forma lobular, hacia la parte suroeste del perfil se desarrolla el escarpe principal, con una altura de 140 m.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

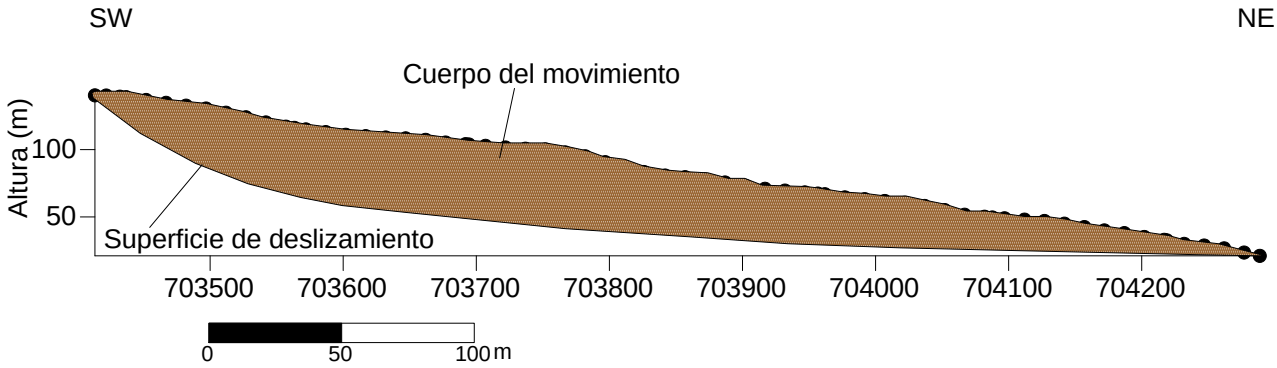

Figura 3.10. Perfil del deslizamiento 23.

Deslizamiento 24.

Ubicado en la parte este del área de estudio; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 703619, y: 220205, en el bloque morfotectónico El Toldo, ocupa un área de 0.02 km^2, con pendiente mínima de 2.78° y máxima de 17.65°, la altura mínima del deslizamiento es de 77 m y máxima de 103 m, la dirección del movimiento es hacia el noreste. Tiene longitud máxima de 0.18 km. y ancho de 0.11 Km. aproximadamente. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.18 km. Se desarrollan en premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra al oeste de una falla de dirección noroeste-sureste

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

Deslizamiento 25.

Se ubica al este del área de estudio; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 703218, y: 220369, en el bloque morfotectónico El Toldo, ocupa un área de 0.02 km^2, con pendiente mínima de 4.90° y máxima de 13.26°, la altura mínima del deslizamiento es de 42 m y máxima de 75 m, la dirección del movimiento es hacia el noreste. Tiene longitud máxima de 0.21 km. y ancho de 0.16 Km. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.19 km. Se desarrollan en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra al oeste de una falla de dirección noroeste-sureste

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

Deslizamiento 26.

Se desarrolla en la parte este del área estudiada; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 703849, y: 220238, en el bloque morfotectónico El Toldo, ocupa un área de 0.08 km^2, con pendiente mínima de 3.37° y máxima de 18.86°, la altura mínima del deslizamiento es de 8 m y máxima de 74 m, la dirección del movimiento es hacia el norte-

noreste. Tiene longitud máxima de 0.36 km. y ancho de 0.21 Km. aproximadamente. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.30 km. Se desarrollan en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra sobre una falla de dirección noroeste-sureste.
Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

Deslizamiento 27.
Se encuentra al este del área de estudio; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 704719, y: 220337, en el bloque morfotectónico El Toldo, ocupa un área de 0.13 km^2, con pendiente mínima de 0° y máxima de 23.92°, la altura mínima del deslizamiento es de 9° y máxima de 71 m, la dirección del movimiento es hacia el suroeste. Tiene longitud máxima de 0.52 km. y ancho de 0.24 Km. aproximadamente. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.45 km. Se desarrollan en premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas principalmente en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra cercana a dos fallas de dirección noroeste-sureste. La figura 3.11 se realizó de noreste a suroeste, donde se observa el escarpe principal desarrollado hacia el noreste, con una altura de 70 m, muestra el desarrollo del cuerpo del movimiento deslizando los materiales removidos hacia el Río Yagrumaje lo que puede generar riesgos de inundaciones.
Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

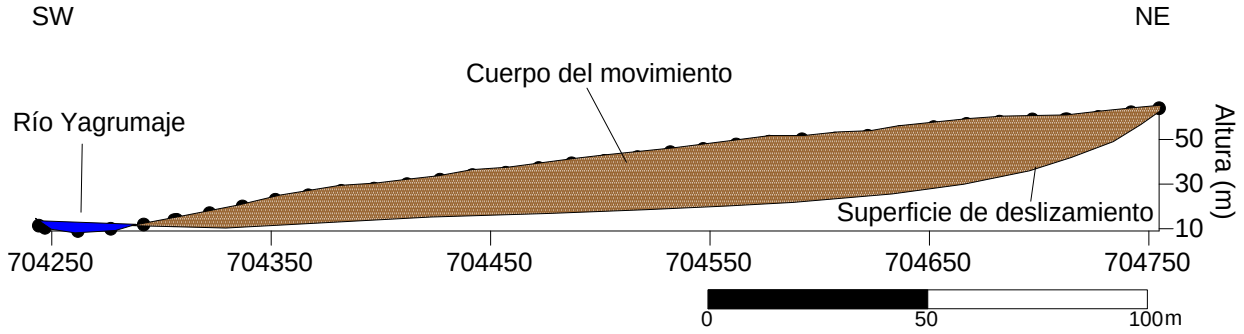

Figura 3.11 Perfil del deslizamiento 27.

Deslizamiento 28.
Su ubicación es al este del área estudiada; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 704522, y: 219237, en el bloque morfotectónico El Toldo, ocupa un área de 0.04 km^2, con pendiente mínima de 1.90° y máxima de 26.32°, la altura mínima del deslizamiento es de 30 m y máxima de 68 m, la dirección del movimiento es hacia el noreste. Tiene longitud máxima de 0.23 km. y ancho de 0.16 Km. aproximadamente. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.26 km. Se desarrollan en premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas principalmente en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra en la parte oeste de una falla de dirección noroeste-sureste.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

Deslizamiento 29.

Ubicado en la parte este del área de estudio; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 704571, y: 219811, en el bloque morfotectónico El Toldo, ocupa un área de 0.03 km^2, con pendiente mínima de 1.50° y máxima de 18.43°, la altura mínima del deslizamiento es de 19 m y máxima de 58 m, la dirección del movimiento es hacia el oeste. Tiene longitud máxima de 0.22 Km. y ancho de 0.15 Km. aproximadamente. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.21 km. Se desarrollan en premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas en las rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra al este de una falla de dirección noroeste-sureste

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

Deslizamiento 30.

Se ubica al este del área de estudio; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 703865, y: 217726, en el bloque morfotectónico El Toldo, ocupa un área de 0.18 km^2, con pendiente mínima de 2.02° y máxima de 35.19°, la altura mínima del deslizamiento es de 96 m y máxima de 231 m, la dirección del movimiento es hacia el este-noreste. Tiene longitud máxima de 0.38 Km. y ancho de 0.34 Km. aproximadamente. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.62 km. Se desarrollan en montañas bajas aplanadas, principalmente en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra encima de una intersección de dos fallas de dirección noroeste-sureste y noreste-suroeste. La figura 3.12 muestra un perfil desarrollado de oeste-suroeste hacia el este-noreste, el cuerpo principal del movimiento tiene forma lobular, en la parte frontal del movimiento se encuentran los depósitos remanente desplazándose a través de una superficie cóncava, donde se desarrollan flujos de estos materiales.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

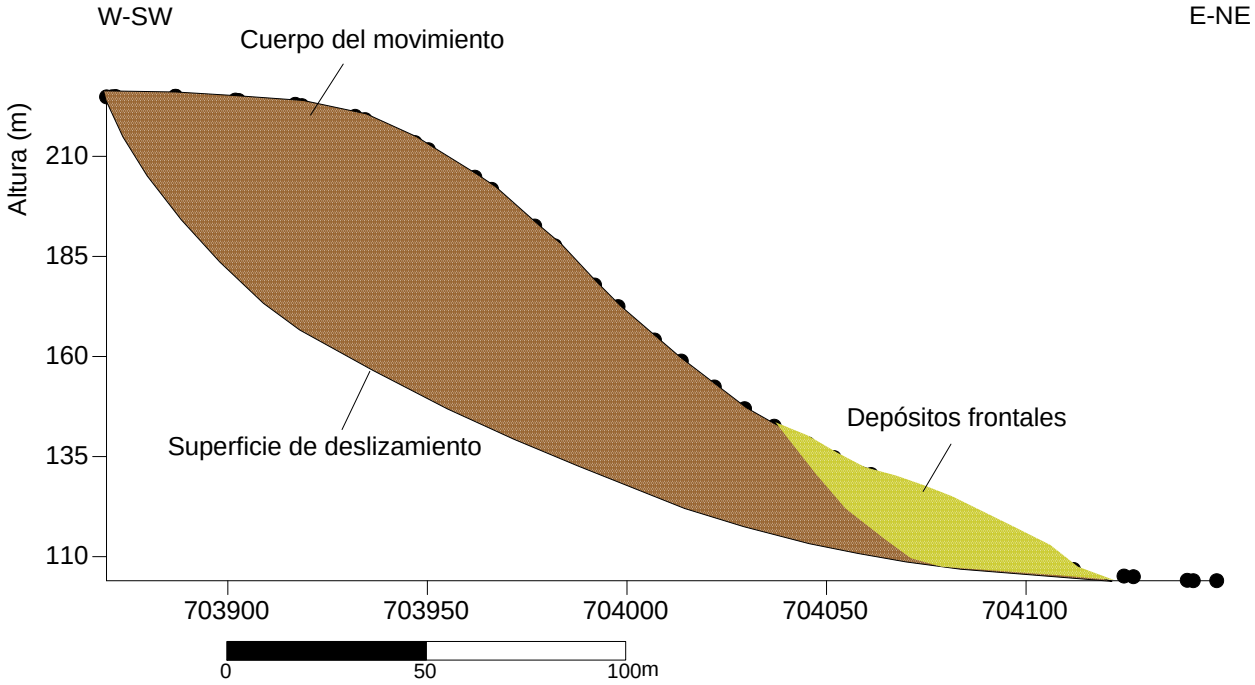

Figura 3.12 Perfil del deslizamiento 30.

Deslizamiento 31.

Se encuentra al este del área de estudio; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 705212, y: 217677, en el bloque morfotectónico El Toldo, ocupa un área de 0.37 km^2, con pendiente mínima de 0° y máxima de 33.33°, la altura mínima del deslizamiento es de 114 m y máxima de 222 m, la dirección del movimiento es hacia el oeste. Tiene longitud máxima de 0.75 km. y ancho de 0.52 Km. aproximadamente. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.77 km. Se desarrollan en montañas bajas aplanadas, principalmente en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra al este de una falla de dirección noreste-suroeste. La figura 3.13 muestra el perfil desarrollado del este hacia el oeste, el movimiento tiene una altura de 220 m, con forma lobular, el escarpe principal se encuentra hacia la parte este de dicho perfil.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

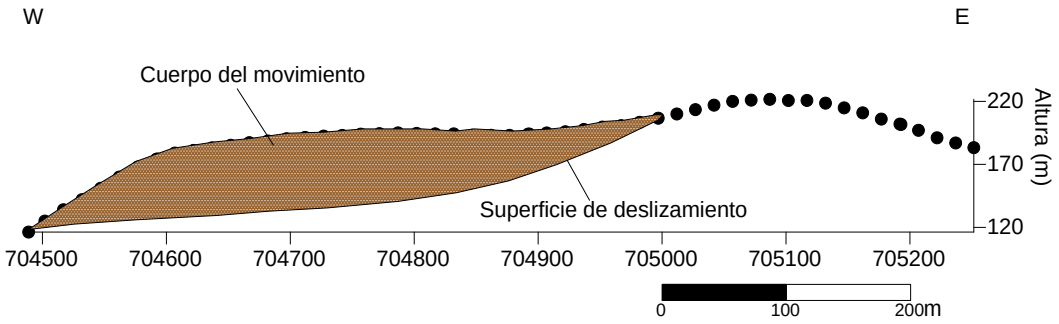

Figura 3.13 Perfil del deslizamiento 31.

Deslizamiento 32.

El deslizamiento se encuentra al este del área de estudio; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 705409, y: 220025, en el bloque morfotectónico El Toldo, ocupa un área de 0.09 km^2, con pendiente mínima de 1.50° y máxima de 23.62°, la altura mínima del deslizamiento es de 6 m y máxima de 82 m, la dirección del movimiento es hacia el sureste. Tiene longitud máxima de 0.35 Km. y ancho de 0.36 Km. aproximadamente. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.51 km. Se desarrollan principalmente en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra en la parte sur de una falla de dirección noroeste-sureste.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

Deslizamiento 33.

Se ubica al este del área de estudio; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 706427, y: 219598, en el bloque morfotectónico El Toldo, ocupa un área de 0.10 km^2, con pendiente mínima de 0.67° y máxima de 19.23°, la altura mínima del deslizamiento es de 6° y máxima de 45 m, la dirección del movimiento es hacia el norte. Tiene longitud máxima de 0.25 km. y ancho de 0.23 Km. aproximadamente. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 0.61 km. Se desarrollan en premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas principalmente en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Se encuentra en la parte este de una falla de dirección noroeste-sureste. La figura 3.14 muestra el perfil desarrollado del sureste hacia el noroeste, el movimiento tiene una altura de 45 m, con forma lobular, el escarpe principal se encuentra hacia la parte sureste de dicho perfil.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

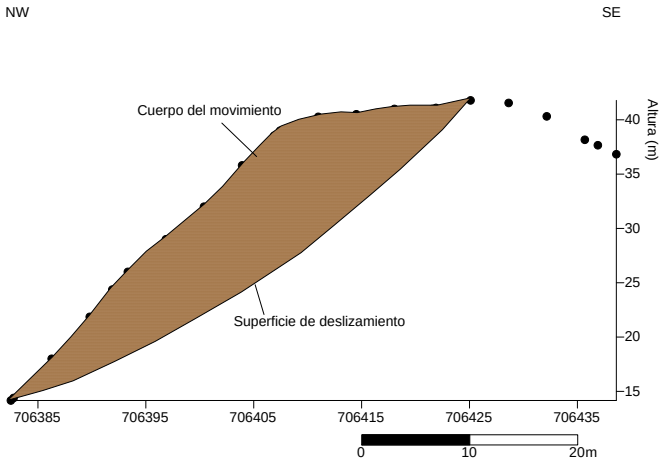

Figura 3.14 Perfil del deslizamiento 33.

Deslizamiento 34.

Se desarrolla al este del área estudiada; el centro del escarpe se encuentra en las coordenadas x: 706492, y: 218613, limitado por los bloques morfotectónicos El Toldo y Cayo Guam en el bloque morfotectónico, ocupa un área de 0.71 km^2, con pendiente mínima de 0° y máxima de 24.79°, la altura mínima del deslizamiento es de 0 m y máxima de 59 m, la dirección del movimiento es hacia el este-noreste. Tiene longitud máxima de 0.58 km. y ancho de 0.56 km. aproximadamente. El escarpe principal tiene una longitud máxima de 2.91 km. Se desarrolla en el contacto litológico entre las rocas ultrabásicas serpentinizadas y los sedimentos fluviales del cuaternario desarrollándose en las premontañas aplanada ligeramente diseccionadas. Se encuentra encima de la falla Cayo Guam. La figura 3.15 muestra el perfil desarrollado del oeste-suroeste hacia el este-noreste, el movimiento tiene una altura de 30 m, con forma lobular, el escarpe principal se encuentra hacia la parte oeste-suroeste de dicho perfil, observándose en la parte frontal del movimiento que los materiales arrastrados han sido erosionados. En esta zona se desarrolla la carretera Moa-Punta Gorda.

Tipología: presenta componente de deslizamiento rotacional.

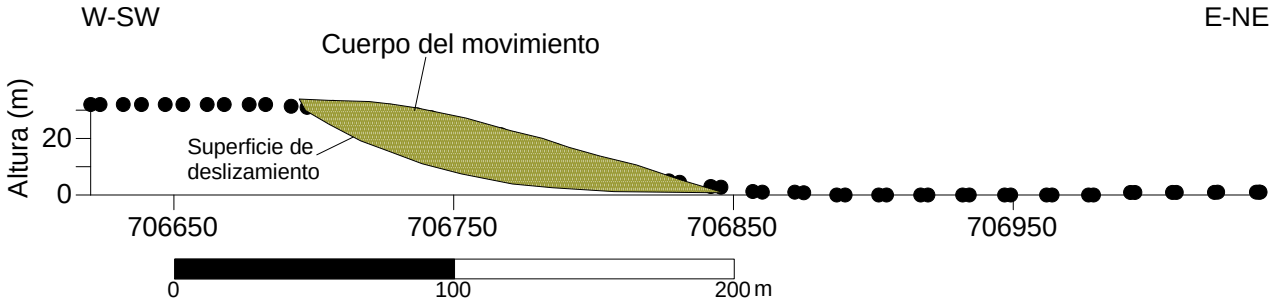

Figura 3.15 Perfil del deslizamiento 34.

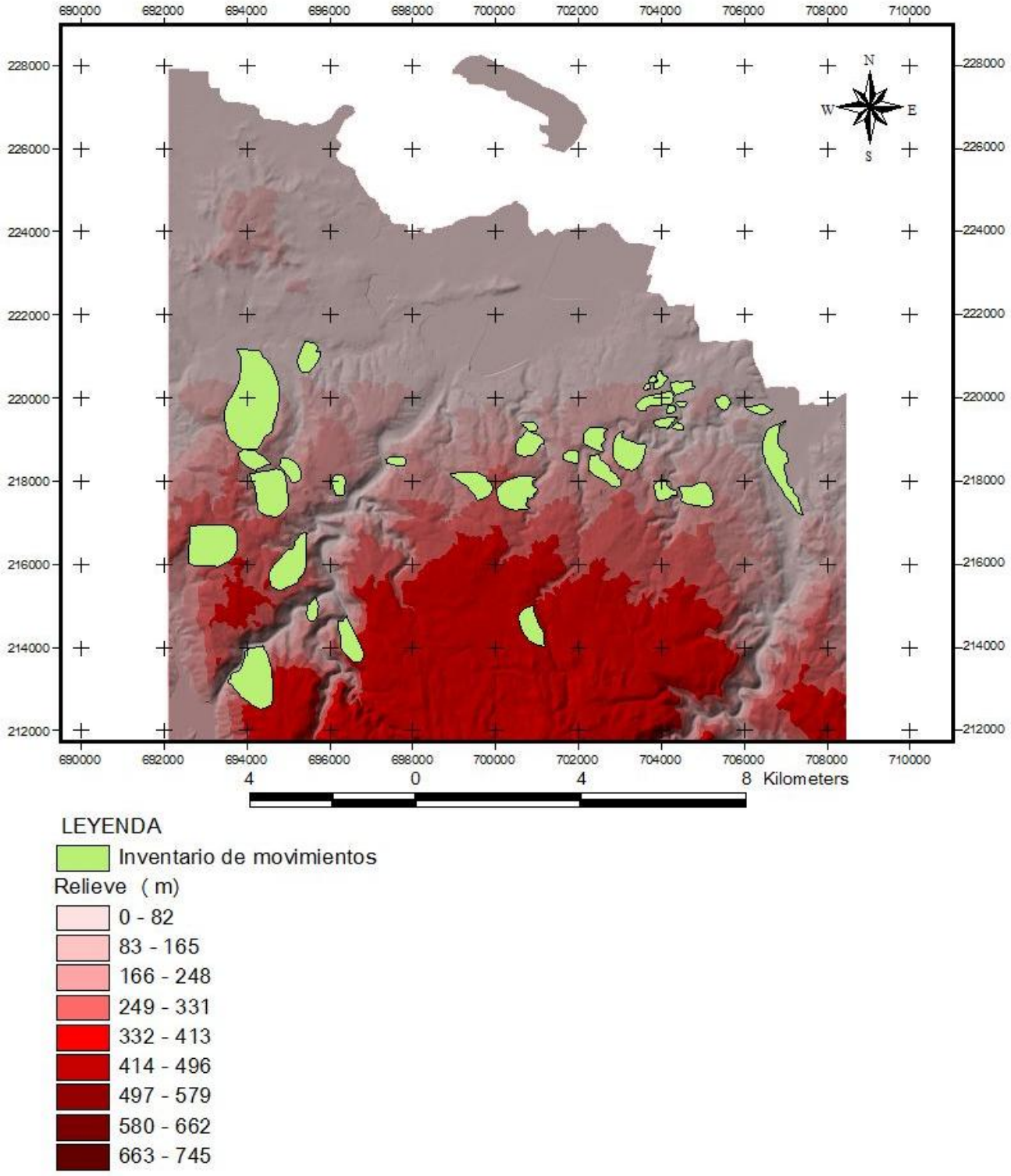

Figura 3.16 Mapa de inventario de deslizamientos del área de estudio (escala original 1:25 000).

Caracterización de los mapas temáticos.

Para el análisis de la susceptibilidad del terreno frente al desarrollo de deslizamientos se realizó a partir de los factores condicionantes como la litología, las condiciones tectónicas, la geomorfología y las condiciones morfotectónica.

Análisis del factor geológico sobre el desarrollo de deslizamientos.

Para el estudio del factor litológico el área estudiada se dividió de acuerdo al mapa geológico a escala 1:25 000, en el cuál están presentes las rocas ultrabásicas serpentinizadas, ocupando un 85.25 % del área total, distribuidas hacia la parte central y sur del área de estudio; sedimentos fluviales del cuaternario, se desarrolla hacia la parte norte del área, y ocupa el 7.27 % del área total; sedimentos parálicos del cuaternario ocupa un 4.37 %, y se distribuye en la parte norte del área; gabro: esta litología ocupa 2.84 %, distribuidas en el área de estudio hacia la parte este y oeste; Fm. La Picota: ocupa un 0.25 %, distribuidas hacia la parte suroeste del área; Fm. Santo Domingo: ocupa 0.004% y se localiza hacia la parte noroeste del área estudiada, (Figura 3.17, Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Caracterización de las clases litológicas en relación al desarrollo de deslizamientos.

Litología	Área (Km^2)	% del área	Cantidad de píxel por deslizamientos	% de área ocupada por deslizmientos
Rocas ultrabásicas serpentinizadas	172.13	**85.25**	487287	**98.91**
Sedimentos fluviales del cuaternario.	14.69	7.27	5306	1.07
Sedimentos parálicos del cuaternario.	8.83	4.37	30	0.006
Gabros	5.74	2.84	0	0
Fm La Picota	0.51	0.25	0	0
Fm Santo Domingo	0.01	0.004	0	0

Como resultado del análisis realizado de cada una de las litologías y la comparación con el mapa de inventario de deslizamientos, hay un predominio de desarrollo de estos fenómenos en las rocas ultrabásicas serpentinizadas, ocupando un 98.91% del área total ocupada por deslizamientos y en segundo lugar sobre sedimentos fluviales del cuaternario con 1.07%; lo cual no significa que los movimientos se desarrollen sobre estos sedimentos, sino que los materiales arrastrados en los frentes de los deslizamientos van a depositarse en los cauces fluviales a los cuales se relacionan estos depósitos.

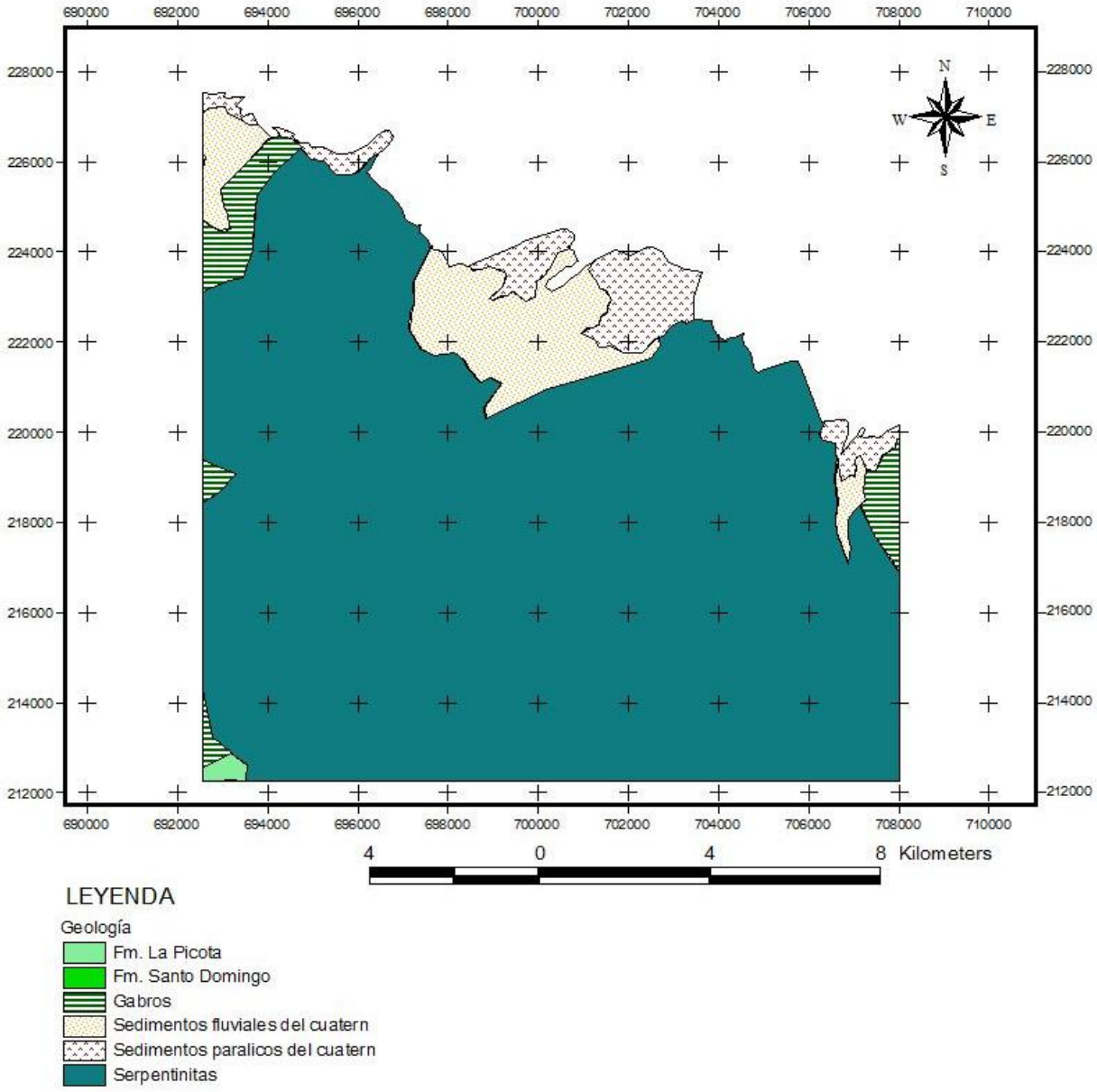

Figura 3.17 Mapa litológico del área de estudio. (Escala original 1:25 000).

Análisis del factor tectónico sobre el desarrollo de deslizamientos.

El análisis del factor tectónico se realizó aplicando una comparación del comportamiento de los deslizamientos con relación a la distancia a fallas presentes en el área. En los buffer realizados para el estudio de la influencia de la tectónica sobre la susceptibilidad del terreno (Figura 3.18), se comparó la cantidad de deslizamientos existentes en cada intervalo (Tabla 3.2). El intervalo de 0.5 Km., ocupa un área de 144.64 km^2, lo que representa el 54.29 % del área total, manifestándose un 84.76 % del área total ocupada por movimientos de masas; el intervalo de

1.0 Km., presenta un área de 121.76 km^2, de las cuales el 45.70 % está ocupado por deslizamientos, representando el 15.23 % del área total ocupada por deslizamientos.

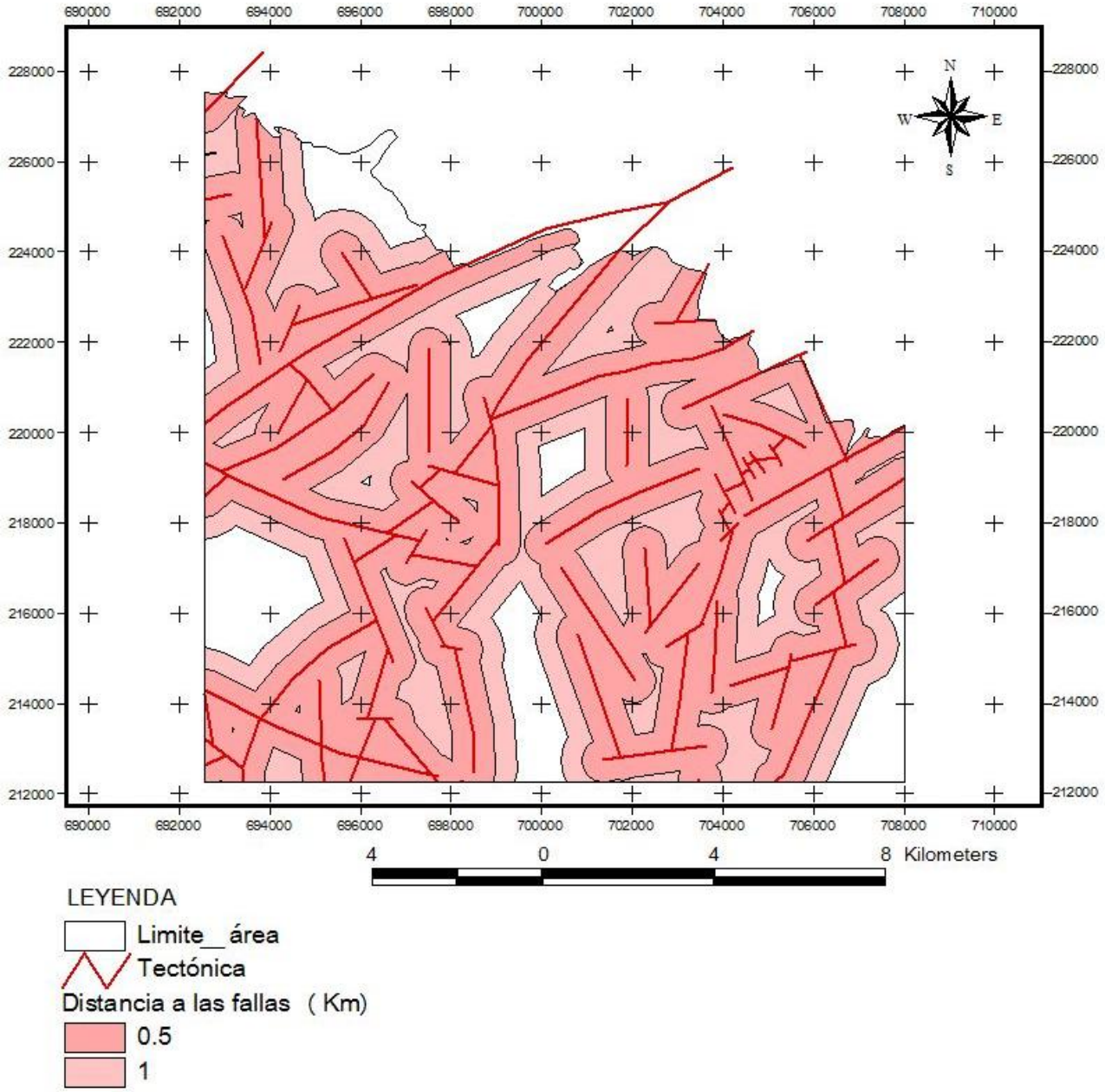

Figura 3.18 Mapa de distancia (buffer) a las fallas principales, presentes en el área de estudio. (Escala original 1:25 000).

Tabla 3.2. Caracterización de las clases de distancia a fallas en relación al desarrollo de deslizamientos.

Distancia (Km)	Área (Km^2)	% del área total	Cantidad de píxel ocupados por deslizamientos	% de área ocupada por deslizamiento
0.5	144.64	**54.29**	376031	**84.76**
1	121.76	45.70	67577	15.23

Análisis del factor morfotectónico sobre el desarrollo de deslizamientos.

Para determinar la influencia de morfotectónica del territorio con relación al desarrollo de movimientos, se comparó el inventario de deslizamientos (Figura 3.19). Los resultados del análisis de este factor se plasmaron en la tabla 3.3.

El bloque El Toldo ocupa un área de 100.79 km^2, distribuidas hacia la parte central y sur del área de estudio; Moa Aeropuerto ocupa un área de 30.63 km^2, se desarrollan hacia la parte noroeste del área; Cabaña Norte ocupa un área de 27.21 km^2, distribuidas hacia la parte norte-noreste del área estudiada; Moa Caimanes ocupa un 17.58 km^2, se desarrolla hacia la parte suroeste; El bloque Cayo Guam se desarrolla en la parte este del área de estudio y ocupa un área de 16.45 km^2; Moa la Vijía ocupa un 7.12 km^2, distribuida en la parte norte del área; Miraflores ocupa un 2.89 km^2, distribuido en la parte norte-noroeste de área; Cabaña Sur se encuentra espacialmente hacia el oeste del área estudiada, ocupando un área de 0.66 km^2, El bloque Moa Calentura ocupa 0.53 km^2, y se desarrolla en la parte sur-suroeste del área de estudio. Lo que representa el 49.44 %, 15.02 %, 13.34 %, 8.62 %, 8.06 %, 3.49 %, 1.41 %, 0.32 % y 0.25 %, del área total de estudio. De los cuales el más afectado por la ocurrencia de los movimientos de ladera es El Toldo con 48.27 %, del área ocupada por deslizamientos seguido del bloque Moa Aeropuerto con un 27.12 %, Moa Caimanes con 21.89 %, Cayo Guam con 2.36 % y Cabaña Norte con 0.34 %.

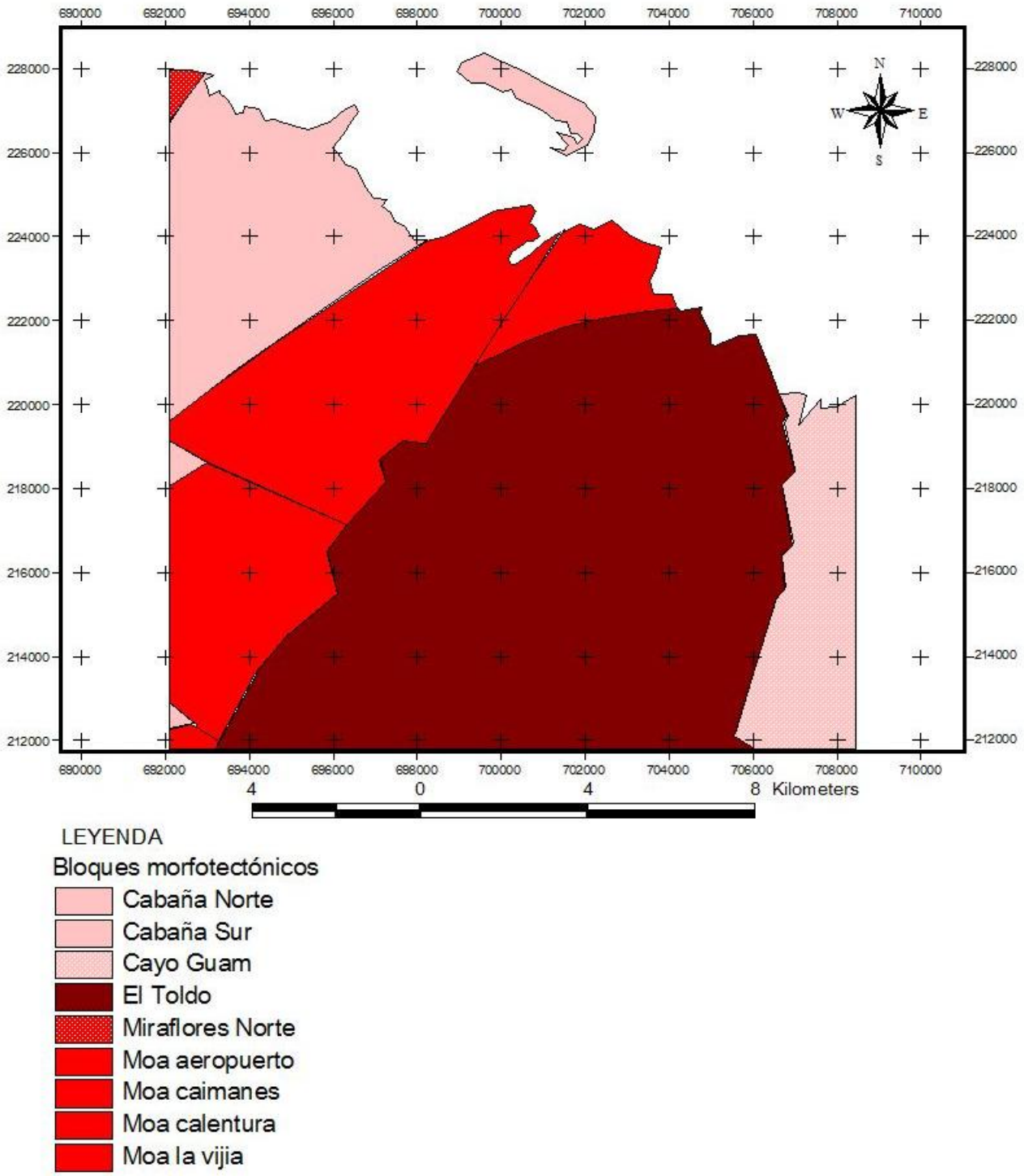

Figura 3.19 Mapa de bloques morfotectónicos del área de estudio. (Escala original 1:25 000). (Tomado de Rodríguez, 1999).

Tabla 3.3. Caracterización de las clases de bloques morfotectónicos en relación al desarrollo de deslizamientos.

Bloques morfotectónicos	Área (Km^2)	% del área	Cantidad de píxel por deslizamientos	% del área ocupada por deslizamientos
El Toldo	100.79	**49.44**	237185	**48.27**
Moa Aeropuerto	30.63	15.02	133291	27.12
Cabaña Norte	27.21	13.34	1673	0.34
Moa Caimanes	17.58	8.62	107595	21.89
Cayo Guam	16.45	8.06	11600	2.36
Moa la Vijía	7.12	3.49	0	0
Miraflores	2.89	1.41	0	0
Cabaña Sur	0.66	0.32	0	0
Moa Calentura	0.53	0.25	0	0

Análisis del factor geomorfológico sobre el desarrollo de deslizamientos.

Para el análisis del factor geomorfológico se realizó la comparación con el inventario de los deslizamientos (Figura 3.20, Tabla 3.4). El área de trabajo está dividida en montañas bajas aplanadas, ocupando un área de 116.70 km^2, distribuidas hacia la parte central y sur del área de estudio, premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas desarrollada en la parte central, noreste y noroeste del área, ocupa un área de 31.09 km^2; en la llanura donde se encuentra la ciudad de Moa ocupa un área de 22.39 km^2, distribuida en la parte norte del área de estudio; llanuras fluviales erosivas acumulativas ocupa un 14.99 km^2, y se desarrolla en la parte oeste del área; llanura acumulativas palustres ocupa un 10.63 km^2, distribuida hacia norte del área; llanura fluviales acumulativas ocupa un 8.11 km^2 ,se distribuye en la parte norte y noreste de área y las llanuras marinas se encuentra hacia el norte del área, ocupando un área de 1.48 km^2, lo que representa el 56.81 %, 15.13 %, 10.90 %, 7.29 %, 5.17 %, 3.94 % y 0.72 % del área total de estudio.

La zona geomorfológica en la cual se desarrollan más inestabilidades de laderas son las montañas bajas aplanadas con un 62.62 %, del área ocupada por deslizamientos y las premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas con un 28.02 %; este resultado está condicionado a varios factores como el desarrollo de potentes cortezas lateríticas, presencia de laderas con altas inclinaciones, en ocasiones superiores a 30 grados y por su disposición

espacial con sistemas de fallas que en ocasiones limitan están zonas geomorfológicas y en algunos sitios es contrastante en relación a valores hipsométricos.

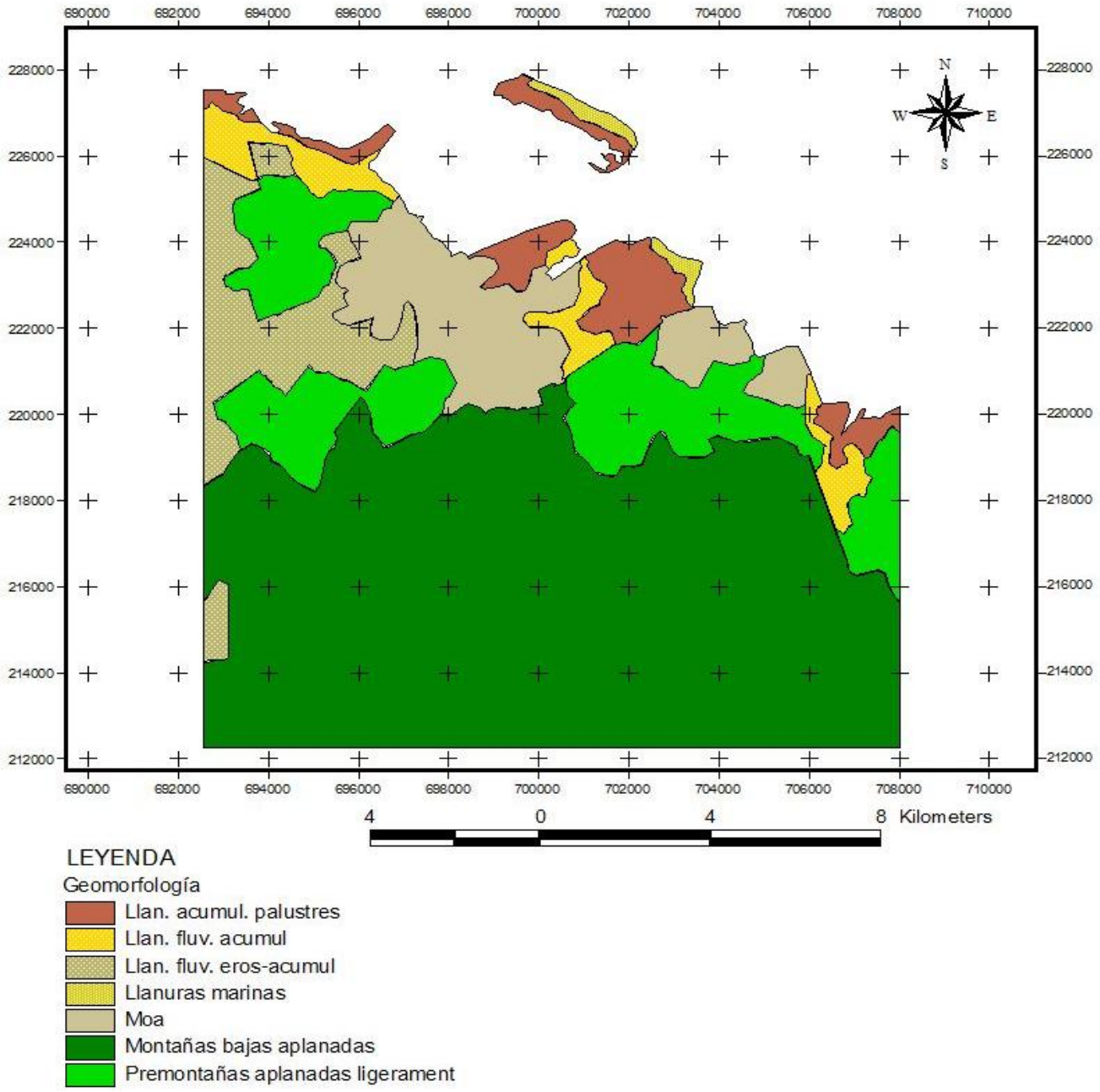

Figura 3.20. Mapa geomorfológico del área de estudio. (Escala original 1:25 000)

Tabla 3.4 Caracterización de las clases geomorfológicas en relación al desarrollo de deslizamientos.

Geomorfología	Área (Km^2)	% del área total	Cantidad de píxel ocupados por deslizamientos	% de área ocupada por deslizamiento
Montañas bajas aplanadas	116.70	**56.81**	307572	**62.62**
Premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas	31.09	15.13	137653	28.02
Ciudad de Moa	22.39	10.90	0	0
Llanuras Fluviales erosivas acumulativas	14.99	7.29	19997	4.07
Llanuras Acumulativas palustres	10.63	5.17	1664	0.33
Llanuras Fluviales acumulativas	8.11	3.94	24258	4.93
Llanuras Marinas	1.48	0.72	0	0

Análisis de las pendientes sobre el desarrollo de deslizamientos.

Otro factor analizado es la inclinación de las laderas (Figura 3.21) Para el análisis del mapa de pendiente obtenido a partir del procesamiento del modelo digital de elevaciones (MDE), se utilizaron 6 clases fundamentales: 0°-10°, 10°-20°, 20°-30°, 30°-40°, 40°-50° y 50°-60°. (Tabla 3.6). En este mapa se observa que los mayores grados de pendiente se encuentran distribuidos hacia el sur del área de estudio. Las pendientes predominantes están en el rango de 0^o – 10^o y 10^o -20^o, siendo estas las más afectadas por los movimientos de ladera. Se debe prestar atención, a los rangos de pendientes de 20^o-30^o que son afectadas en un 7.86 %, por estos fenómenos.

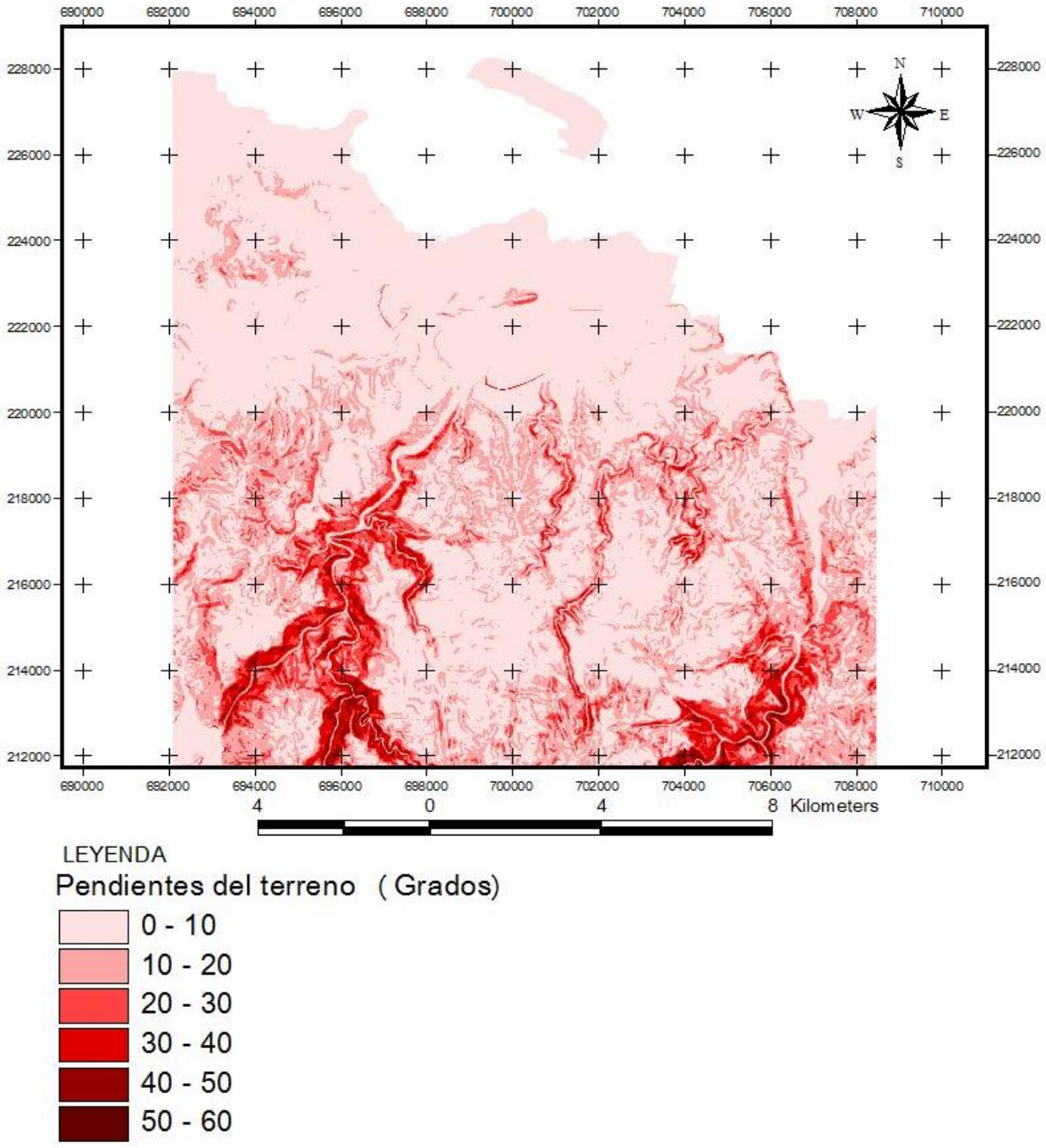

Figura 3.21. Mapa de pendiente del área de estudio. (Escala original 1:25 000).

Tabla 3.6 Caracterización de las clases de pendiente en relación al desarrollo de deslizamientos.

Pendiente (grados)	Cantidad de píxel ocupados por deslizamientos	% de área ocupada por deslizamentos
0-10	553573	61.01
10-20	236429	26.05
20-30	71336	7.86
30-40	35542	3.91
40-50	9897	1.09
50-60	516	0.05

Valoración y reclasificación de los mapas de factores condicionantes.

Valoración de los factores condicionantes.

Partiendo del análisis de los factores condicionantes de los deslizamientos en el área de estudio, se realizó la valoración de los mismos de acuerdo al análisis estadístico utilizado, teniendo en cuenta las áreas de cada clase y el área ocupada por deslizamientos en las mismas. Los resultados de este procesamiento se resumen en la tabla 3.7.

Según las características litológicas, los mayores valores de probabilidad de ocurrencia de los deslizamientos se encuentran en las rocas ultrabásicas serpentinizadas, el alto grado de agrietamiento que presentan estas rocas, facilita la infiltración del agua superficial, aumentando la presión de poros en las zonas de debilidad, favoreciendo la ocurrencia de los movimientos de laderas. El amplio desarrollo de movimientos dentro del área que ocupan estas litologías va a influir probabilísticamente en este resultado. Los sedimentos fluviales del cuaternario, presenta los menores valores de probabilidad, debido a que en este sitio es donde se depositan los materiales de las partes frontales de los movimientos.

La alta complejidad tectónica del sector influye notablemente en la ocurrencia de los deslizamientos, con los mayores valores de probabilidad hasta los 0.5 Km de distancia de las zonas de fallas, donde el agrietamiento es más intenso, la infiltración del agua, la meteorización y la erosión. En el mapa de los bloques morfotectónico, Moa caimanes, Moa aeropuerto y El toldo, son los de mayores probabilidades en cuanto a la ocurrencia de los deslizamientos en el área estudiada, ubicándose el movimiento de mayor extensión en el bloque Moa, al noreste de la falla Cabaña, Rodríguez (1998). Los menores valores de probabilidad los experimentan los bloques Cabaña y Cayo Guam. En la valoración según la geomorfología las mayores

probabilidades de ocurrencia de deslizamientos se desarrollan en las premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas y en las montañas bajas aplanadas. La valoración disminuye en las áreas ocupadas por las llanuras fluviales erosivas acumulativas y las fluviales acumulativas. La valoración de la pendiente resultó que tiene alta probabilidad en los rangos de 10º – 20º, 20º – 30º y 30º – 40º, en las cuales se desarrollan los mayores deslizamientos reportados en el área de estudio.

Tabla 3.7 Valoración de los factores condicionantes de las inestabilidades en el sector del municipio de Moa.

Factor de susceptibilidad	Clases del factor	Valor de susceptibilidad
Geología	Rocas ultrabásicas serpentinizadas	351.4
	Sedimentos fluviales del cuaternario.	44.5
	Sedimentos parálicos del cuaternario.	0.041
	Gabros	0
	Fm La Picota	0
	Fm Santo Domingo	0
Tectónica	0.5 km	358.4
	1 km	76.4
Morfotectónico	El Toldo	292.9
	Moa Aeropuerto	541.5
	Cabaña Norte	7.5
	Moa Caimanes	761.6
	Cayo Guam	0.8
	Moa la Vijía	0
	Miraflores	0
	Cabaña Sur	0
	Moa Calentura	0
Geomorfología	Montañas bajas aplanadas	328.1
	Premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas	551.2
	Ciudad de Moa	0
	Llanuras Fluviales erosivas acumulativas	166
	Llanuras Acumulativas palustres	18.9
	Llanuras Fluviales acumulativas	371.7
	Llanuras Marinas	0

Reclasificación de los mapas de factores.

El paso siguiente al proceso de valoración de las clases de cada factor analizado, a partir de la técnica probabilística utilizada, es la reclasificación de cada mapa de susceptibilidad temático, en las clases, baja, media, alta y muy alta, en función de los valores obtenidos en el paso previo (Tabla 3.8).

Tabla 3.8. Resultados del proceso de reclasificación de los mapas de susceptibilidad temáticos.

Factor de susceptibilidad	Clases del factor	% de área total	Susceptibilidad
Geología	Fm La Picota	3.09	Baja
	Fm Santo Domingo		
	Gabros		
	Sedimentos parálicos del cuaternario.	4.37	Media
	Sedimentos fluviales del cuaternario.	7.27	Alta
	Rocas ultrabásicas serpentinizadas	85.25	Muy alta
Tectónica	Distancia 1 km	45.70	Media
	Distancia 500 Km.	54.29	Alta
Morfotectónico	Cayo Guam	13.53	Baja
	Moa la Vijía		
	Miraflores		
	Cabaña Sur		
	Moa Calentura		
	Cabaña Norte	13.34	Media
	El Toldo	49.44	Alta
	Moa Aeropuerto		Muy alta

	Moa Caimanes	23.64	
Geomorfología	Llanuras Acumulativas palustres	16.79	Baja
	Ciudad de Moa		
	Llanuras Marinas		
	Llanuras Fluviales erosivas acumulativas	7.29	Media
	Montañas bajas aplanadas	60.75	Alta
	Llanuras Fluviales acumulativas		
	Premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas	15.13	Muy alta

El mapa del factor lito-estructural se reclasificó en 4 clases de susceptibilidad: baja, media, alta y muy alta (figura 3.22. a). La clase de baja susceptibilidad, se encuentra ubicada hacia la parte este-oeste del área de estudio. Corresponde con el área ocupada por la formación La Picota, Santo Domingo y rocas de gabros. Esta clase ocupa el 3.094 % del área total de trabajo. La clase media de susceptibilidad, se ubica en la parte norte, noreste y noroeste del área estudiada. Se corresponde con el área ocupada por sedimentos parálicos del cuaternario. Ocupa el 4.37 % del área total. El área de susceptibilidad alta, se ubica hacia el norte, noreste y noroeste del área. Ocupa el 7.27% y corresponde con los sedimentos fluviales del cuaternario. El área de susceptibilidad muy alta, se desarrolla hacia la parte central y sur del área de estudio. Se corresponde con el área ocupada por las rocas ultrabásicas serpentinizadas. Ocupa el 85.25 % del área total.

El mapa de factor tectónico se reclasificó en dos clases: media y alta (figura 3.22. b). La clase de susceptibilidad madia corresponde con la distancia de 500 Km. de las fallas. Ocupa el 54.29% del área total. La clase de susceptibilidad alta, se corresponde con la distancia de 1 Km. y ocupa el 45.70% del área total.

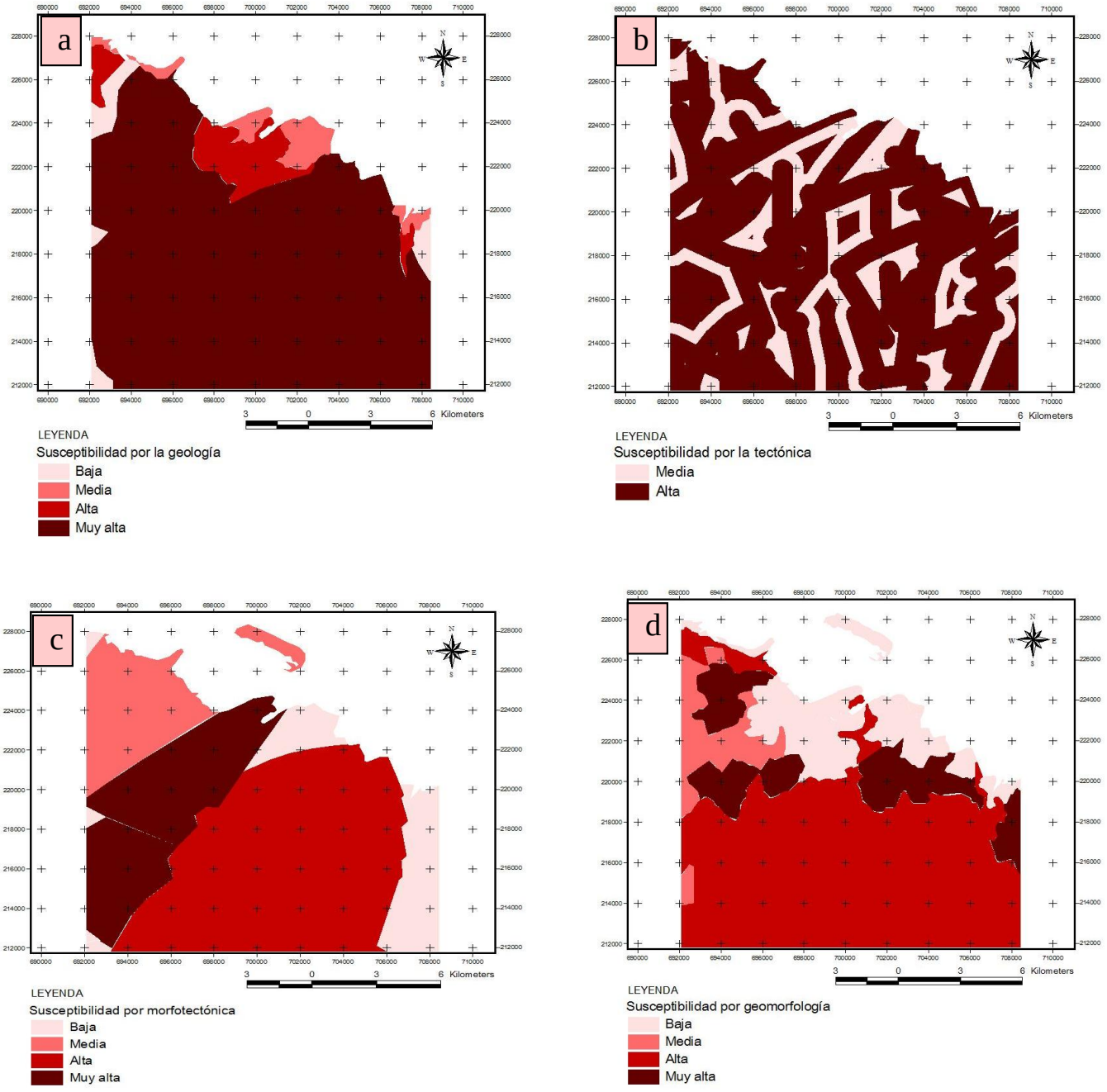

Figura 3.22 Desarrollo de la susceptibilidad del terreno por desarrollo de deslizamientos en el área de estudio (Escala original: 1:25 000).a- Mapa de susceptibilidad por deslizamiento debido a las condiciones geológicas. b- Mapa de susceptibilidad por deslizamiento debido a las condiciones tectónicas. c- Mapa de susceptibilidad por deslizamiento debido a las condiciones morfotectónicas. d- Mapa de susceptibilidad por deslizamiento debido a las condiciones geomorfológica.

El mapa que caracteriza los bloques morfotectónico, se reclasificó en cuatro clases de susceptibilidad: baja, media, alta y muy alta (figura 3.22.c). La clase de susceptibilidad baja, se relaciona con los bloques Cayo Guam, Moa La Vijía, Miraflores, Cabaña Sur, Moa Calentura y

ocupa el 13.53 % del área total. La clase media se relaciona con Cabaña Norte, y ocupa el 13.34 %. La tercera clase, de susceptibilidad alta, está representada por el bloque El Toldo, ocupando un área de 49.44 %. La clase muy alta de susceptibilidad se encuentra los bloques Moa aeropuerto y Moa caimanes, ocupando el 23.64 % del área total.

El mapa de factor geomorfológico, que caracteriza las condiciones de relieve del área de estudio, se reclasificó en cuatro clases: baja, media, alta y muy alta (figura 3.22.d). La clase de menos susceptibilidad (baja), se relaciona con las áreas ocupadas por las llanuras acumulativas palustres, llanura Moa y las llanuras marinas. Esta ocupa el 16.79 % del área de trabajo. La clase de susceptibilidad media, está representada por la llanura fluviales erosivas acumulativas y ocupa el 7.29 % del área. La clase alta, ocupa el 60.75 % del área total y está representada por montañas bajas aplanadas y por llanura fluviales acumulativas. La clase de mayor susceptibilidad (muy alta), ocupa el 15.13 % del área total y está representada por premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas.

Descripción del mapa de susceptibilidad.

El mapa de susceptibilidad del terreno por deslizamientos, se obtuvo a partir de la combinación de los mapas temáticos analizados en el epígrafe anterior. Este mapa se clasificó en cuatro clases: Susceptibilidad baja, media, alta y muy alta (Figura 3.23, Figura 3.24, Tabla 3.9). Las mismas se describen a continuación:

- Susceptibilidad baja: ocupa un 37.69 % del área total. De forma espacial se distribuye en la parte norte y en algunas zonas al sur del área de estudio. En esta zona (norte) se ubica la ciudad de Moa y las plantas procesadoras del níquel empresa Cdte. Ernesto Che Guevara y la Pedro Soto Alba, con sus respectivas presas de colas. Además se relaciona con zona de sedimentos aluviales de los ríos Moa, los Lirios y Cabaña. Se encuentran los menores valores de la pendiente y se desarrollan los bloques La Vigía, Moa aeropuerto y Cabaña norte.

- Susceptibilidad media: ocupa un 50.99 %, del área total, lo que significa que existe un mayor predominio de esta susceptibilidad. De forma espacial se desarrolla hacia la parte central y sur del área. En esta zona se encuentran desarrolladas las mayores potencias de lateritas de los yacimientos ferroniquelíferos. Además se encuentran zonas aisladas hacia la parte norte-noroeste, en la cuales se encuentran la Loma de la Vigía (norte), el reparto Miraflores y el Instituto Superior Minero Metalúrgico donde se manifiesta los desprendimientos de rocas serpentinizadas. Morfológicamente se desarrollan las

montanas bajas aplanadas y las premontañas aplanadas, morfotectónicamente los bloques El Toldo y Moa. Para esta susceptibilidad las pendientes predominantes son de 0º-20 º.

- Susceptibilidad alta: ocupa un 9.79 % del área. Se distribuye hacia la parte sur del área, relacionado con los causes de los ríos Moa, Cayo Guam y en sitios aislados en el cauce del Yagrumaje. Estos altos índices de susceptibilidad se desarrollan en zonas de mesetas donde existe amplio desarrollo de movimientos y en montañas bajas aplanadas. En estas zonas se combinan altos valores de susceptibilidad de algunos mapas temáticos debido a la coincidencia del bloque el toldo y la zona de montañas bajas aplanadas.

- Susceptibilidad muy alta: ocupa 1.51 % del área. De forma espacial se encuentra también en la parte sur del área relacionado con los cauces fluviales Moa y Cayo Guam.

Tabla 3.9 Caracterización del mapa de susceptibilidad a la rotura.

Características	Susceptibilidad			
	Baja	Media	Alta	Muy alta
No. píxel	333393	450967	86581	13391
% del área	37.69	**50.99**	9.79	1.51

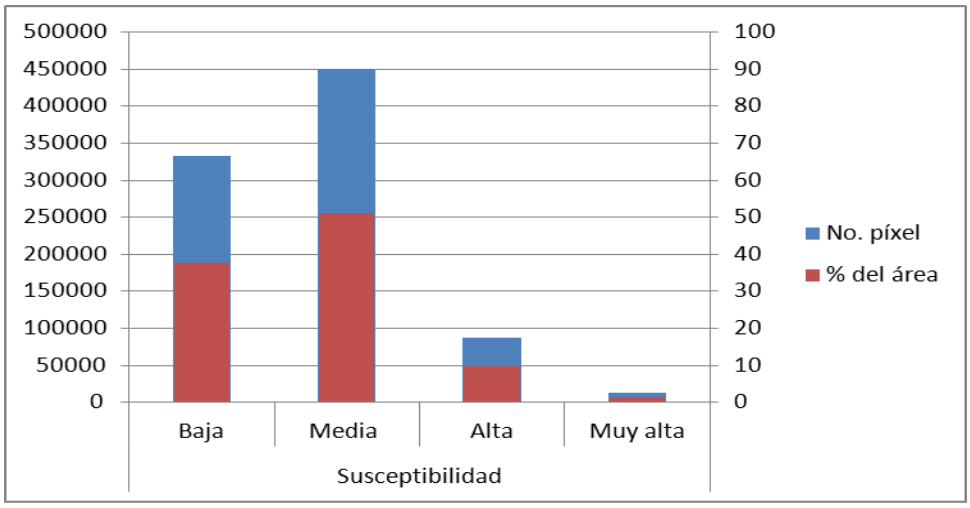

Figura 3.23 Gráfico que representa los numeros de píxel y los porciento de cada susceptibilidad.

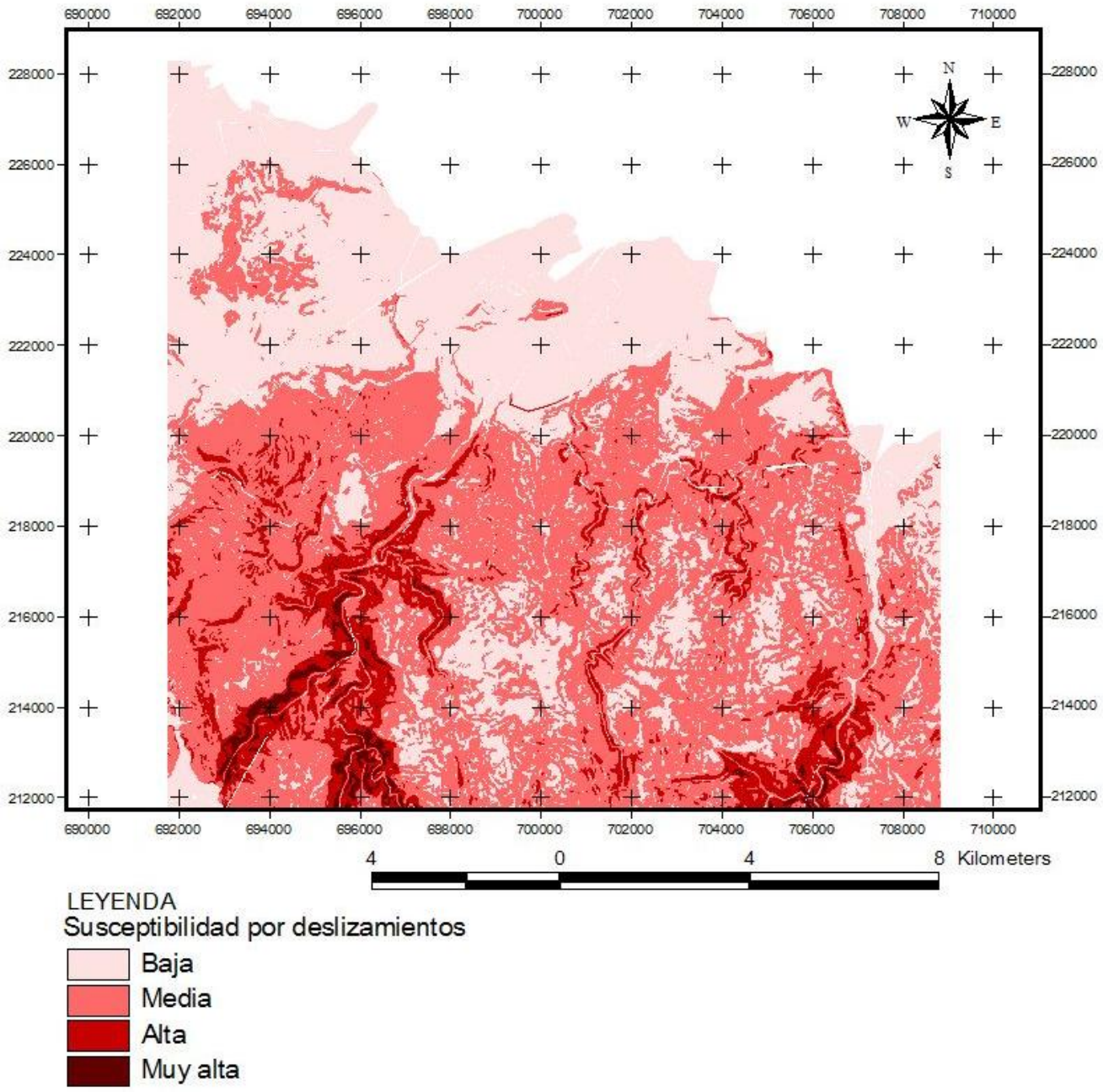

Figura 3.24. Mapa de susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el área de estudio. (Escala original: 1:25 000. Formato raster, tamaño de píxel: 5x5 m).

Conclusiones.

Después de analizados los resultados obtenidos de la aplicación del conjunto de métodos de investigaciones utilizados en el desarrollo del trabajo, se llegaron a las siguientes conclusiones:

En el área investigada del municipio de Moa se reportan la existencia de 34 deslizamientos desarrollados espacialmente en la parte central, con dirección noreste principalmente, estos movimientos están condicionados por diferentes mecanismos y se manifiesta principalmente la tipología rotacional con presencia de flujos en la parte frontal de los movimientos. A partir de los criterios geomorfológicos de cartografía se concluye que los movimientos manifiestan líneas nítidas relacionadas con escarpes, depresiones alongadas en el terreno, superficies onduladas formadas por el deslizamiento de las masas de suelo desde los escarpes, acumulación de detritos en canales de drenajes y valles, presencia de tonos claros donde la vegetación y el drenaje no han sido restablecidos, cambios bruscos de tonos claros a oscuros en las fotografías y cambios bruscos de la vegetación, indicando variaciones en una unidad de terreno.

Analizando los factores que generan las inestabilidades, las condiciones geológicas se caracterizan por una alta complejidad, desarrollándose la mayor cantidad de movimientos sobre las cortezas lateríticas formadas sobre las rocas ultrabásicas serpentinizadas. En relación a la tectónica hay un predominio de movimientos sobre o cerca de estructuras de primer orden en el área estudiada; de acuerdo ala morfotectónica hay predominio de movimientos en le bloque el Toldo, condicionado por los mayores valores de elevación del bloque en la región lo que acelera la acción de los agentes erosivos, provocando inestabilidades de las laderas.

La aplicación de la metodología de análisis de los factores condicionantes, ha permitido valorar la influencia de cada una de sus clases sobre el desarrollo de los deslizamientos y la obtención de los mapas de susceptibilidades de factores. El método estadístico de análisis condicional ha permitido la obtención del mapa de susceptibilidad del terreno para el territorio de Moa, con cuatro clases de susceptibilidad: baja, media, alta y muy alta, mostrando las zonas de susceptibilidad o predisposición del terreno a estos eventos, donde las zonas más susceptibles se localizan en la parte central y sur del área estudiada.

Recomendaciones.

Realizar un estudio de vulnerabilidad frente a deslizamientos a escala semidetallada (1:25 000) para el municipio Moa, haciendo énfasis en los viales que comunican las comunidades de montaña y áreas de minería.

Realizar un plan de gestión de riesgos y desastres por deslizamientos en el municipio Moa a partir de un estudio de encadenamiento de riesgos, teniendo en cuenta la sismicidad, deslizamientos e inundaciones.

El uso de la metodología empleada en la investigación para su generalización en otros sectores de la región.

Referencias Bibliografías.

Alfonso H. M. 2005. "Análisis de susceptibilidad a los movimientos de laderas en la parte oriental de la cuenca del río Almendares y la llanura marina adyacente". Cuba. VI Congreso de Geología y Minería. Simposio de sismicidad y riesgos geológicos.

Almaguer Y. 2001. "Análisis de estabilidad de taludes a partir de la evaluación geomecánica del macizo rocoso". Tesis de maestría. Departamento de Geología. 110 p.

Almaguer Y. y R. Guardado. 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. *http://ismm.edu.cu/revistamg/v21-n3-2005/art2-3-2005.pdf [consulta: 5 mayo. 2009] ISSN 0258 5979.*

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. Moa (Tesis doctoral) 108p.

Almaguer, Y. y R. Guardado. 2006. Tipología de movimientos de masas en cortezas lateríticas residuales del territorio de Moa. Cuba. *Minería y Geología* [en línea] Vol. 1, No. 1. *http://ismm.edu.cu/revistamg/v1-n1-2006/art1-1-2006.pdf [consulta: 20 marzo. 2009] ISSN 0258 5979.*

Andó, J.; M. Kozák y Y. Ríos. 1989. Caracterización general de la asociación ofiolítica de la zona Holguín-Moa y el papel de las ofiolitas en el desarrollo estructural de Cuba. *Minería y Geología*, 1:15-33.

Audia, B. Y. 2008. Evaluación de susceptibilidad por inundación en la cuenca del río Cabaña, Moa. (Tesis de diploma).

Baeza, C. 1994. Evaluación de las condiciones de rotura y la movilidad de los deslizamientos superficiales mediante el uso de técnicas de análisis multivariante. (Tesis doctoral). Departamento de Ingeniería del Terreno y Cartográfica ETSECCPB-UPC.

Batista, J. 1998. Caracterización geológica y estructural de la región de Moa a partir de la interpretación del levantamiento aeromagnético 1: 50 000. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa (Tesis de maestría) 79p.

Brass, A.; G. Wadge y A.J Reading. 1989. Designing a Geographical Information System for the prediction of landsliding potential in the West Indies. Proced: Economic Geology and Geotechnics of Active Tectonic Regions. University College, London, 3-7 April, 13 p.

Campos, M. 1983. Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de Holguín y Guantánamo. *Minería y Geología*, 2: 51-76.

Carmenate, J. A. 1996. Evaluación de las condiciones ingeniero-geológicas para la zonificación de los fenómenos geológicos en áreas urbanas y suburbanas de la cuidad de Moa. (Tesis de maestría). Departamento de geología, ISMM. 108 p.

Carmenate, J.A. y A.B. Riverón. 1999. Zonificación de los fenómenos geológicos que generan peligros y riesgos en la cuidad de Moa. *Minería Y Geología*. 16 (2): 21-31.

Carrara, A. 1983a. Multivariate models for landslide hazard evaluation. Math. Geology. 15, 403-426 p.

Carrara, A. 1983b. Geomathematical assessment of regional landslide hazard. 4th Int. Conf. Applic. Stat. Probable. In Soil and Estruct. Eng. Firenze. 3-27 p.

Carrara, A.; M. Cardinali; F. Guzzetti y P. Reichenbach. 1995. GIS technology in mapping landslide hazard. En: Carrara A, Guzzetti F (Eds) *Geographical information systems in assessing natural hazards*, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands. 135-175 p.

Carreño B., García M. y Alvelo N., "Pronóstico de deslizamientos con el empleo de sistemas computarizados". VI Congreso Cubano de Geología y Minería. Geomática. Habana, 2005.

Castellanos, E. 2005. Processing SRTM DEM data for national landslide hazard assessment. VI Congreso de Geología. La Habana, Cuba, 5-8 de abril. (Memorias).

Chigira, M.; T. Chiba y S. Matsuura.1998. Landslide-triggered steam explosion and debris flow at the Sumikawa Spa, Akita, Northern Japan, May 1997 (1) general view and geological background. Landslide News 11, 6–8.

Chung, C.F. y Y. Leclerc. 1994. A quantitative technique for zoning landslide hazard. En: Int. Ass. Math. Gol. Annual Conf., Mont Tremblant, Quebec, Canada. 3-5, 87-93 p.

Chung, C.F., y A. G. Fabbri. 1993. The representation of geoscience information for data integration. *Nonrenewable Resources*, V. 2:2, 122-139 p.

Chung, C.F.; A.G. Fabbri y C.J. Van Westen. 1995. Multivariate regression analysis for landslide hazard zonation". En: A. Carrara and F. Guzzetti (Eds), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Kluwer Academic Publishers. 107-133 p.

Chuy T. J., Puente G., Baza R., Seisdedos J. L., Reyes C., Rivera Z., Borges E., Regal A., Sanloy D., Imbert C., Limeres T., Zapata J., Despaigne G., Velázquez V., Martel Y. 2005. "Fenómenos naturales en el municipio Guantánamo. Valoración e impactos negativos". VI Congreso de Geología y Minería. Simposio de sismicidad y riesgos geológicos.

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.

Corominas, J., 1992. Movimientos de ladera: predicción y medidas preventivas. 1r Congreso Iberoamericano sobre Técnicas aplicadas a la Gestión de emergencias para la Reducción de Desastres Naturales, Valencia. 55-77 p.

Corominas, J.; R. Copons; J. M. Vilaplana; J. Altimir y J. Amigó. 2003. Integrated landslide susceptibility analysis and hazard assessment in the principality of Andorra. *Natural Hazards* 30: 421–435.

Crozier, M.J. 1986. Landslides. Causes, consecuences & environment. Ed. Routledge. London & New York. 252 p.

Cruden, D.M. y D.J. Varnes. 1996. Landslide types and processes. En: Turner, A.A.K. and Schuster, R.L. (Eds.): *Landslides: Investigation and Mitigation. Transportation Research Board*; Special Report. National Academy Press, Washington, DC. 247, 36-75 p.

Cruz Castillo, M. y L. A. Delgado Argote. 2000. Los deslizamientos de la carretera de Cuota Tijuana-Ensenada, Baja California. GEOS, Unión Geofísica Mexicana. D.F., México. Diciembre. (Memorias). pp. 418-432.

Del Puerto J. A. y Ulloa D. 2003. "Identificación de los peligros geólogo-geomorfológicos de la cuenca de Santiago de Cuba. V Taller Internacional de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. V Congreso Cubano de Geología y Minería. Habana,

Domínguez Cuesta, M. J.; M. Jiménez Sánchez y E. Berrezueta. 2007. Landslides in the Central Coalfiel (Cantabrian Mountains, NW Spain): Geomorphological features, conditioning factors and methodological implications in susceptibility assessment. Geomorphology (89): 358-369.

Donati L. y Turrini M. C., "An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy)". Engineering Geology. 63, 277-289 p. 2002.

Dunning, S.A.; C.I. Massey y N.J. Rosser. 2009. Structural and geomorphological features of landslides in the Bhutan Himalaya derived from Terrestrial Laser Scanning. Geomorphology (103):17–29.

Escobar, E. M. 2005. Variantes geofísicas en la solución de algunas tareas de valoración de la vulnerabilidad sísmica. VI Congreso de Geología. La Habana, Cuba, 5-8 de abril. (Memorias).

Febles D. y Rodríguez J. 2005. "Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos de la república de cuba a escala 1:250 000" VI Congreso de Geología y Minería. Simposio de sismicidad y riesgos geológicos.

Fonseca, E.; V.N. Zelepugin y M. Heredia. 1985. Structure of the ophiolite association of Cuba. *Geotectonic*, 19: 321-329.

García, I. y E. Fonseca. 1994. La mineralización cromítica y su relación con las cloritas en el yacimiento Amores. *Minería y Geología*, 11: 50-54.

Guardado, R. y Y. Almaguer. 2001. Evaluación de riesgos por deslizamiento en el yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín. *Minería y Geología*. 17(1): 49-60.

Guardado, R.; A. Kempena Y A. Martínez. 2000. Cartografía y evaluación del impacto geoambiental a través de un sistema de información geográfica. *Minería y Geología*. 17 (3-4): 23-31.

Guinau, M.; R. Pallá y J. M. Vilaplana. 2005. A feasible methodology for landslide susceptibility assessment in developing countries: Acase – study of NW Nicaragua after Hurricane Mitch. Engineering Geology (80): 316–327.

Hansen, A. 1984. Landslide hazard analysis". En: D. Brundsen and D.B. Prior (Editors), *Slope Stability*. John Wiley and Sons, 523-602 p.

Hansen, A. y C.A.M. Franks. 1991. Characterization and mapping of earthquake triggered landslides for seismic zonation. Proceed. IV. Int. Conf. Seismic Zonation, Stanford, California, 149-195 p.

Heckerman, D. 1986. Probabilistic interpretation of MYCIN's certainty factors. En: L.N. Kanal and J.F. Lemmer (editors) *Uncertainty in Artificial Intelligence*. Elsevier, 167-196 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.

Irigaray, C.1995. Movimientos de ladera: inventario, análisis y cartografía de susceptibilidad mediante un Sistema de Información Geográfica. Aplicación a las zonas de Colmenar (Málaga), Rute (Córdoba) y Montefrío (Granada). (Tesis Doctoral). Univ. De Granada.

Jones, F.O.; D.R. Embody y W.C. Peterson. 1961. Landslides along the Columbia river valley, Northeastern Washington. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 367, 98.

Kamp, U.; B. J. Growley; G. A. Khattak y L. A. Owen. 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region. Geomorphology (101): 631-642.

Kelarestaghi A., "Investigation of Effective Factors on Landslides Occurrence and Landslide Hazard Zonation – Case Study Shirin Rood Drainage Basin, Sari, Iran". 2004, (2004-04-23). Disponible en: http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/landslides/ma03003.htm

Lomtadze, V. D. 1977. Geología aplicada a la ingeniería. Geodinámica aplicada a la ingeniería. Ed. Pueblo y Educación, 560 p.

Lucini, P. 1973. The potential landslides forecasting of the Argille Varicolori Scagliose complex in IGM 174 IV SE Map, Saviano di Puglia (Compania). Geol. Appl. Idrogeol., 8, 311-316 p.

Luzi, L. y A.G. Fabbri. 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.

Mahdavifar, M.R. 2000. Fuzzy information Processing in Landslide Hazard Zonation and Preparing the Computer System. En: A.E. Bromhead, N. Dixon and M.L. Ibsen (Eds): Landslides in research, theory and practice. Tomas Telford. London. 2, 993-998 p.

Matos, G L.; M. I. De la Cruz y R. Guardado. 2005. Estudio de evaluación de los riesgos geológicos en los taludes de los yacimientos lateríticos. VI Congreso de Geología. La Habana, Cuba, 5-8 de abril. (Memorias).

Mora, S. y Vahrson, W. G. 1994. Macrozonation methodology for landslide hazard determination. Bull. Of the Assoc. Eng. Geology. XXXI (1), 49-58 p.

Morton D. M., Alvarez R. M., Campbell., R. H., Bovard K. R., Brown D. T., Corriea K. M. y Lesser J. N., "Preliminary soil-slip susceptibility maps, south-western California ". File report OF 03-17. USGS. 67 p. 2003.

Mulder, H.F.H.M. 1991. Assessment of landslide hazard. Nederlandse Geografische Studies. PhD Thesis, University of Utrecht. 150 p.

Murphy, W. y C. Vita-Finzi. 1991. Landslides and seismicity: an application of remote sensing. Proc. 8th. Thematic Conference on Geological Remote Sensing (ERIM), Denver, colorado, USA. 2, 771-784 p.

Neuland, H., 1976. A prediction model for landslips. Catena. 3, 215-230 p.

Noas, J. L. y T L. Chuy. 2005. Caracterización de la amenaza sísmica de la ciudad de Moa, provincia Holguín. VI Congreso de Geología y Minería. Simposio de sismicidad y riesgos geológicos.

Okimura, T. y T. Kawatani. 1986. Mapping of the potential surface-failure sitges on granite mountain slopes. En: V. Gardiner (Editor), International Geomorphology. Part 1. Wiley, New York. 121-138 p.

Ost, L.; M. Van Den Eeckhaut; J. Poesen y M.C. Vanmaercke-Gottigny. 2003. Characteristics and spatial distribution of large landslides in the Flemish Ardennes (Belgium). *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.* 47, 329–350.

Proenza, J.; F. Gervilla; J.C. Melgarejo y J.L. Bodinier. 1999. Al- and Cr-rich chromitites from the Mayarí-Baracoa ophiolitic belt (Eastern Cuba): Consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotites in suprasubduction mantle. *Economic Geology*, 94: 547-566.

Reyes P., Ríos Y., Vega N., Arango E., "Peligro geológico de la red vial de las provincias orientales para caso de sismos de gran intensidad". VI Congreso de Geología y Minería. Simposio de sismicidad y riesgos geológicos. 2005.

Rocamora E., "Evaluación de los fenómenos de desprendimientos de bloques en las laderas verticales. Casos de estudio". VI Congreso de Geología y Minería. Simposio de sismicidad y riesgos geológicos. 2005.

Rodríguez, A. 1998a. Estilo tectónico y geodinámico de la región de Moa. *Minería y Geología*, 15(2): 37-41.

Rodríguez, A. 1998b. Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa (Tesis doctoral) 137p.

Rodríguez, A. 2001. Peligro sismotectónico en la región de Moa. IV Taller Internacional de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. La Habana, Cuba, 19-23 de marzo. (Memorias), 32-41.

Rodríguez, A. y J. A. Batista. 2007. Falla Moa: caracterización geodinámica y riesgos tectónicos asociados. *Minería y Geología* [en línea] Vol. 23, No. 2. *http://ismm.edu.cu/revistamg/v23-n2-2007/art3-2-2007.pdf [consulta: 24 feb. 2009] ISSN 0258 5979.*

Rodríguez, A. y J. Blanco. 2001. Fallas de deslizamiento por el rumbo en la región de Moa. *Minería y Geología* [en línea] Vol. 18, No. 1. *http://ismm.edu.cu/sites/revistamg/v18-n1-2001/art4-1-2001.pdf [consulta: 24 feb. 2009] ISSN 0258 5979.*

Rodríguez, A.; N. M. Carralero Y M. Conde. 2000. Estudio de las estructuras sismogeneradoras Quesigua y el Medio, al este de la ciudad de Moa. Minería y Geología. 17(3-4): 87-90.

Rodríguez, R. 2000. Estudio petrológico de las rocas de afinidad ofiolítica portadoras de ilmenita en la zona de Cayo Grande en el macizo Moa-Baracoa. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa (Tesis master) 69p.

Rodríguez W. y Valcarce R. M. 2005. "Aplicación SIG para evaluar el peligro de inundaciones". VI Congreso Cubano de Geología y Minería. Geomática.

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.

Sivakumar G. L. y Mukesh M. D. 2004. "Landslide analysis in Geographic Information Systems". (2004-06-10). Disponible en: http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/landslides/nhls0011.htm

Vallejo, O. y A. Martínez. 2000. Metodología para la cartografía digital de la erosión hídrica del suelo en un sector del municipio de Moa. *Minería y Geología* [en línea] Vol. 17, No. 3_4. *http://ismm.edu.cu/sites/revistamg/v17-n3_4-2000/art2-3_4-2000.pdf [consulta: 1 mar. 2009] ISSN 0258 5979.*

Varnes, D.J. 1978. Slope movement tyoes and processes. En: Landslides analysis and control. Special Report. 176, 11-33 p.

Varnes, D.J. 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Natural Hazards. nº 3. UNESCO, Paris. 63 p.

Vega M. N. e I. Y. Ríos. 2005. Caracterización sismotectónica de la zona sismogeneradora Sabana del Norte de Cuba Oriental. VI Congreso de Geología. La Habana, Cuba, 5-8 de abril. (Memorias).

Vilaplana, J. M.; R. Pallás; M. Guinau; E. Falgás y X. Alemany. 2002. Propuesta para una cartografía de peligrosidad geológica asociada a los movimientos de ladera en el noroeste de Nicaragua. *Serie Geográfica* (10):109-119.

Valadao P., Gaspar J. L, Queiroz G. y Ferreira T., "Landslide map of San Miguel island, Azores archipiélago". Natural Hazard and Earth System Sciences. European Geophysical Society. (2), 51-56 p. 2002.

Ward, T.J.; L. Ruh-Ming y D.B Simons. 1982. Mapping landslide hazards in forest watershed. Journal of Geotechnical Engineering Division, Proc. of the American Society of Civil Engineers, 108 (GT2), 319-324 p.