



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR**  
**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA**  
**“Dr. Antonio Núñez Jiménez”**  
**FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

**Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Geólogo**

**Título: Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector Oeste del Municipio Moa.**

**Diplomante: Reynier Pintón Castro**

**Tutor: Dr. C. Rafael Guardado Lacaba**

**Julio del 2010**

## AGRADECIMIENTOS

*A todas aquellos que me ayudaron a culminar este trabajo. En especial a mi novia Yexenia y a mis amistades Puig, Yosbanis, Yalina, Tatiana, Aliuska, Urra, Ciri3n y Mandela. A todos mis profesores del ISMM y en especial a mi tutor Guardado, Virginia, Jos3, Iv3n, Yaniel, Orozco, Constantino, Blanco, Alianna, Yurisley y Alina. En el poder popular del municipio de Moa a Ramiro Chac3n. Gracias a mi familia y a la familia de mi novia.*

*Tambi3n agradezco a la Revoluci3n Cubana por convertirme en un profesional.*

## DEDICATORIA

*Dedico esta tesis a mis padres Carlos Rafael Pintón Abreu, Sara Castro Sánchez y Leonardo Matos King, por confiar en mí y ayudarme siempre en cada momento.*

*A mi novia Yexenia Viltres Milán, por quererme y estar siempre conmigo, por ayudarme y comprenderme.*

*A mis abuelos y en especial a mi abuelito Rubén Díaz Suárez.*

*A mis hermanos Yanet Matos Castro, Julien Pintón y Rubén Díaz Vargas.*

*A mis amigos de siempre Jakcin y Jarles.*

*A mis amigos Yoeldis, Yoendris, Grisel, Mailín, Noldis, Irina, Jorlis, Kennis, Sergio, Jonson, Maydonis, Yordan, Yunieski, Arieski, Yoniel, Gutiérrez, Lisandro, al Negro y Arelis.*

*A toda mi familia (Matos King, Pintón, Castro y Díaz), sin su apoyo no sería quien soy hoy en día.*

## *PENSAMIENTO*

*“No hay problemas sin solución, lo que se trata es de buscar alternativas”.*

*“(...) La vida presenta innumerables alternativas y acciones posibles frente a cada problema concreto. Lo que no debe nunca aceptarse ninguna excusa para dejar de cumplir la tarea ni permitir que las dificultades se conviertan en pretextos justificados y conformistas. (...)”*

*Fidel Castro Ruz*

## RESUMEN

Los deslizamientos son movimientos de masas que generan trastornos en las comunidades, la economía y el medio ambiente, por lo que la existencia de estos fenómenos en el municipio de Moa deben ser estudiados. El presente trabajo titulado **“Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del Sector Oeste del municipio de Moa”**, tiene como objetivo general evaluar los niveles de riesgos por deslizamiento en este sector, y como objetivos específicos diagnosticar los diferentes tipos de deslizamientos, determinar los factores causales y detonantes, aplicar la metodología cubana para el cartografiado de los riesgos por deslizamientos, confeccionar el mapa de riesgos por deslizamiento, determinar y evaluar los riesgos por deslizamientos.

Para dar cumplimiento a los objetivos se trabajó según la metodología propuesta por el Grupo Nacional de Evaluación de Riesgo de la AMA-CITMA, versión 3, de abril del 2009, la cual se distribuyó en cuatro fases: Inventario de los deslizamientos, evaluación del peligro, de la vulnerabilidad y del riesgo por deslizamiento.

Toda la información se procesó en formato digital, la que se aprovechó como plataforma para la implementación de un Sistema de Información Geográfica. La valoración y clasificación de cada mapa de factores, se obtiene mediante el análisis heurístico (criterio de experto).

Como resultado se obtuvieron varios mapas en cada una de las evaluaciones, incluyendo el Mapa de Riesgos por deslizamiento, se determinaron los factores causales y detonantes. Con estos resultados el Centro de Gestión para la Reducción del Riesgo en el Municipio de Moa cuenta con una herramienta clave, la que se incorporará a los planes de reducción de desastres para aquellas zonas y objetivos económicos que presenten el mayor riesgo, en los diferentes consejos populares.

## ABSTRACT

Landslides are mass movements that generate problems in the community, economy and environment for this reason the existence of these phenomena in the town of Moa should be studied. The present investigation titled “**Evaluation of landslide risks in the slopes and cliffs of the Western Sector of the town of Moa**”, has as its general objective to evaluate the levels of landslide risks in this sector, and as specific objectives, to diagnose the different types of landslides, to determine the causing and detonating factors, to apply the Cuban methodology for the cartography of landslide risks, to create a landslide risk map and to determine and evaluate landslide risks.

In order to comply with the objectives, this investigation was carried out following the methodology proposed by the National Group of Risk Evaluation of AMA-CITMA, version 3, of April 2009, which was distributed into four phases: Landslide inventory, hazard evaluation, vulnerability evaluation and evaluation of landslide risks.

All the information was processed in digital format, which served as the platform for the implementation of a Geographical Information System (G.I.S). The valuation and classification of each factor map was obtained by means of heuristic analysis (expert criteria).

As a result various maps were obtained in each of the evaluations, including a Landslide Risk Map, the causing and detonating factors were determined. These results serve as an important tool to the Center of Management for the Reduction of Risks in the town of Moa and will be used in their disaster reduction plans for these zones and economic objects that present the most risks in the different suburbs.

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
PRINCIPALES RESULTADOS.....	11
REVISIÓN DE LA LITERATURA .....	11
<i>Estado del arte</i> .....	11
<i>Antecedentes</i> .....	13
<b>CAPÍTULO I. CONDICIONES INGENIERO-GEOLÓGICAS REGIONALES Y SU INCIDENCIA EN LOS DESLIZAMIENTOS DEL SECTOR OESTE DEL MUNICIPIO MOA.....</b>	<b>15</b>
INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....	15
1.2 CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS REGIONALES.....	16
1.3 PARTICULARIDADES CLIMÁTICAS DE LA REGIÓN.....	17
1.4 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.....	18
1.5 GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL .....	19
1.6 TECTÓNICA REGIONAL .....	23
1.7 CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS REGIONALES.....	26
1.8 HIDROGEOLOGÍA REGIONAL Y SU INFLUENCIA EN LA INESTABILIDAD DE TALUDES Y LADERAS .....	26
1.9 PROCESOS Y FENÓMENOS GEODINÁMICOS .....	28
1.10 CONDICIONES GEOAMBIENTALES .....	31
1.11 VEGETACIÓN REGIONAL. SU IMPORTANCIA EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y LADERAS .....	32
1.12 CARACTERÍSTICAS INGENIERO-GEOLÓGICAS REGIONALES .....	33
<b>CAPÍTULO II. VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS Y METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN DE RIESGOS POR DESLIZAMIENTO.....</b>	<b>35</b>
INTRODUCCIÓN.....	35
2.1. VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.....	35
2.1.1. <i>Etapas de trabajo</i> .....	35
2.2. METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN DE RIESGOS POR DESLIZAMIENTO .....	38
2.2.1. <i>Implementación del Sistema de Información Geográfica (S.I.G.)</i> .....	38
2.2.2. <i>Descripción de los factores utilizados en el Análisis de Peligrosidad</i> .....	39
2.2.3 <i>Valoración de los mapas de factores</i> .....	44
2.2.4 <i>Análisis de las condiciones de vulnerabilidad</i> .....	45
2.2.5 <i>Análisis de riesgos por deslizamiento</i> .....	45

<b>CAPÍTULO III. EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS POR DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR OESTE DEL MUNICIPIO MOA.....</b>	<b>47</b>
INTRODUCCIÓN.....	47
3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS DESLIZAMIENTOS DEL SECTOR OESTE DEL MUNICIPIO MOA.....	47
3.1.1 <i>Descripción de los movimientos y las tipologías</i> .....	48
3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MAPAS DE PELIGROSIDAD .....	54
3.3 CARACTERIZACIÓN DEL MAPA DE PELIGROSIDAD TOTAL .....	59
3.4 CARACTERIZACIÓN DEL MAPA DE VULNERABILIDAD TOTAL.....	63
3.6 CARACTERIZACIÓN DEL MAPA DE RIESGOS.....	66
3.7 PROPUESTA DEL PLAN DE MEDIDAS PARA MITIGAR O PREVENIR LOS DESLIZAMIENTOS.....	69
3.7.1 <i>Medidas no Estructurales</i> .....	69
3.7.2 <i>Medidas Estructurales</i> .....	71
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>75</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>88</b>

## INTRODUCCIÓN

El municipio Moa se ha convertido desde el punto de vista del desarrollo minero-metalúrgico en la región de mayor importancia económica-social del país. Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb, E., 1989); sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su importancia. El 90% de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control.

En Cuba, no existe un registro de deslizamientos del terreno como desastre natural, aunque un informe presentado por EMNDC (Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil), en el 2002 reporta que existen 45,000 personas como población vulnerable por deslizamientos del terreno (Batista, Y., 2009). En nuestro país las zonas montañosas son susceptibles a la ocurrencia de deslizamientos, esto se debe a los siguientes elementos fundamentales: el relieve, las lluvias intensas, las condiciones ingeniero-geológicas, la sismicidad y la acción antrópica.

### **Planteamiento del problema:**

Para determinar el peligro por deslizamientos, se requiere identificar aquellas zonas que poseen potencialidades de surgimiento y desarrollo de estos fenómenos geológicos. El área de estudio no queda exenta de los peligros y riesgos ocasionados por movimientos de masas en sus taludes y laderas.

El autor, ante la existencia de deslizamientos en el Sector Oeste del municipio Moa, que generan situaciones de riesgos a las comunidades rurales, las actividades socio-económicas y al medio ambiente, ha tomado esto como el ***problema fundamental***.

**Objeto de estudio:** Las laderas y taludes generadoras de deslizamientos, donde la ocurrencia de estos eventos se manifiesta en amplias zonas de la región y afectan diversos sectores del municipio.

**Objetivo General:** Evaluar los niveles de riesgos por deslizamiento en el Sector Oeste del municipio Moa.

### **Objetivos Específicos:**

- Ø Diagnosticar los diferentes tipos de deslizamientos (ubicación, forma, tipo y tamaño), determinando los factores causales y condicionantes.
- Ø Aplicar la metodología cubana de cartografiado de los riesgos por deslizamiento empleando los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.).

- Ø Confeccionar el mapa de riesgos por deslizamiento del Sector Oeste del municipio Moa. Determinar y evaluar los riesgos por deslizamiento del área en estudio.

**Hipótesis:** Si se evalúan las condiciones ingeniero-geológicas del terreno, y se aplican los S.I.G. apropiados para el análisis del surgimiento y desarrollo de los movimientos de masas en las laderas y taludes como premisas a la susceptibilidad del peligro, la vulnerabilidad de los elementos en riesgo, podemos obtener el mapa de riesgos por deslizamiento para el sector Oeste del Municipio Moa, lo que permitirá la mejor toma de decisiones por las autoridades competentes.

**Novedad Científica:** La cartografía de riesgos por deslizamiento aplicando por primera vez de un Sistema de Información Geográfica (S.I.G.) para el municipio de Moa (Sector Oeste) escala 1: 100 000, empleando la guía metodológica para el estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo por deslizamientos del terreno a nivel municipal (Versión 3 – Abril 2009).

### **Fundamentación teórica de la investigación**

Se establece la fundamentación teórica de la investigación basado en las consultas de las bibliografías relacionadas con la temática tratada, empleando la base teórica de las mismas.

#### ***Talud o ladera:***

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

#### ***Deslizamientos:***

Sharpe en 1938 definió los deslizamientos como la caída perceptible o movimiento descendente de una masa relativamente seca de tierra, roca o ambas. Según Lomtadze (1977), es una masa de roca que se ha deslizado o desliza cuesta abajo por la ladera o talud al efecto de la fuerza de gravedad, presión hidrodinámica, fuerzas sísmicas, etc. Crozier (1986), define un deslizamiento como el movimiento gravitacional hacia el exterior de la ladera y descendente de tierras o rocas sin la ayuda del agua como agente de transporte. A pesar que el término deslizamiento, se utiliza para movimientos de ladera que se producen a lo largo de una superficie de rotura bien definida, en la presente investigación se utiliza de forma genérica para cualquier tipo de rotura.

Los deslizamientos tienen la propiedad de destruir las laderas y los taludes, cambian sus configuraciones y crean un relieve característico. Además generan formas peculiares de la estructura de las acumulaciones de la masa deslizada. Por consiguiente estos fenómenos cambian el relieve del terreno, su estructura geológica señalando la pérdida de resistencia y estabilidad de estas rocas ante la influencia de determinados factores. Los deslizamientos resultan muy variables por las

dimensiones (escalas) del fenómeno, el tipo de dislocación de la masa de roca o suelo, causa de alteración de su equilibrio, dinámica del desarrollo del proceso y otras características. Todo esto se ha considerado en la evaluación ingeniero-geológica del municipio de Moa empleando los Sistemas de Información Geográfica.

El autor subraya que cada deslizamiento abarca una extensión pequeña o grande en la ladera, una forma determinada, un mecanismo y una dinámica.

Cada deslizamiento posee uno u otro grado de estabilidad. Cuando las masas de rocas se han deslizado y las causas del fallo quedan eliminadas por completo o temporalmente el deslizamiento resulta estable. Cuando las causas quedan eliminadas parcialmente el deslizamiento resulta inestable.

Al diseñar, construir y explotar cualquier tipo de obra ingenieril es importante revelar la propagación de los deslizamientos, pronosticar la posible ocurrencia, evaluar el grado de estabilidad a fin de prevenir y mitigar cualquier acción ante un movimiento de esta magnitud.

Para evaluar los deslizamientos es necesario conocer sus elementos estructurales. En la figura 1 se muestran estos elementos, los cuales se describen a continuación:

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

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

*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.

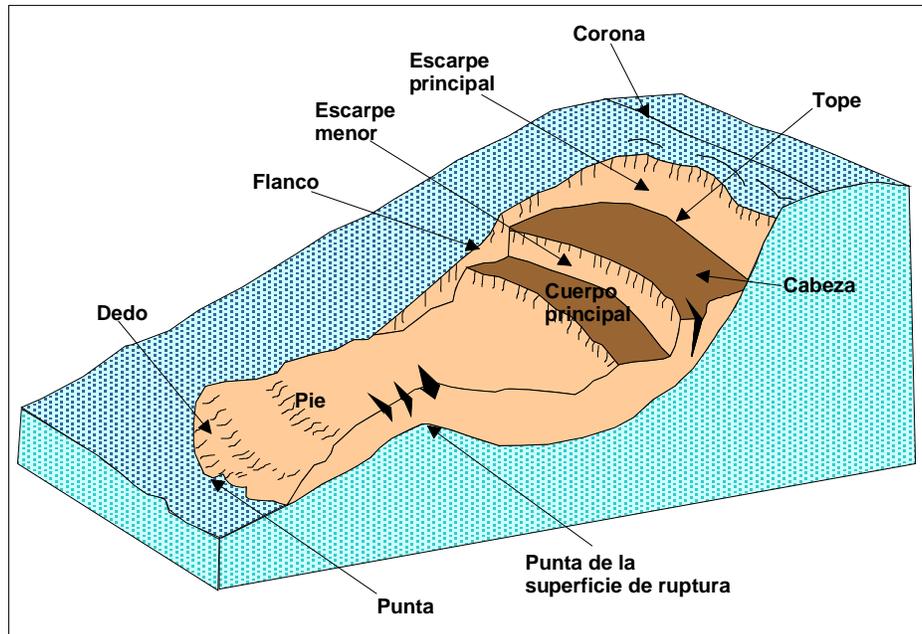
*Cuerpo principal:* la parte del material desplazado que sobreyace la superficie de ruptura localizada entre el escarpe principal y la punta de la superficie de ruptura.

*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).

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:

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

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

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

*Desprendimientos:* es aquel movimiento de una porción de suelo o roca, en forma de bloques aislados o masivamente que, en una gran parte de su trayectoria desciende por el aire en caída libre, volviendo a entrar en contacto con el terreno, donde se producen saltos, rebotes y rodaduras.

*Vuelcos:* son movimientos de rotación hacia el exterior, de una unidad o de un conjunto de bloques, alrededor de un eje pivotante situado por debajo del centro de gravedad de la masa movida.

*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.

#### ***Factores condicionantes y desencadenantes en la formación de deslizamientos:***

Por las condiciones que favorecen a la formación de deslizamientos se entiende todo el conjunto de elementos naturales y antrópicos que facilitan la acción de fuerzas que alterarán el equilibrio en el macizo rocoso, por consiguiente las causales de la formación de los deslizamientos y las condiciones que lo favorecen no siempre son las mismas. Tal diferenciación de los conceptos puede parecer algo condicional, no obstante la experiencia del estudio de los deslizamientos nos lleva a tal afirmación.

Las condiciones que con mayor frecuencia favorecen la formación de deslizamientos en el territorio son: 1) Las particularidades climáticas de la región; 2) el régimen hidrológico de las cuencas, sus arroyos y ríos con sus tramos deslizables; 3) el relieve del terreno; 4) la estructura geológica de las laderas y taludes; 5) los movimientos neotectónicos y los fenómenos sísmicos a ellos asociados; 6) las particularidades de las propiedades físico-mecánicas de las rocas y suelos; y 7) la actividad antrópica. Más adelante el autor realiza una descripción detallada de estos factores condicionantes generadores de los deslizamientos en el territorio de Moa.

**Conceptos y definiciones de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo:**

Los procesos geodinámicos que afectan la superficie del terreno tienen diferentes magnitudes, intensidad, mecanismos, dinámica, que pueden constituir un riesgo geológico al afectar de forma directa o indirecta la actividad humana. La ingeniería geológica, como ciencia aplicada al estudio y solución de los problemas producidos por la interacción entre el medio geológico y la actividad humana, tiene una de sus principales aplicaciones en la evaluación, prevención, mitigación y gestión de los riesgos geológicos, es decir, de los daños ocasionados por los procesos geodinámicos.

Los daños asociados a los procesos de deslizamientos dependen de:

- Ø La velocidad, magnitud y extensión del deslizamientos, el cual puede ocurrir de forma violenta y catastrófica (grandes deslizamientos) o lentas (flujos y otros movimientos de laderas).
- Ø La posibilidad de prevención, predicción y el tiempo de aviso; los deslizamientos en el territorio de Moa requieren de un proceso de prevención que permita en un corto tiempo alertar a las autoridades de su posibilidad de ocurrencia.
- Ø La posibilidad de actuar sobre el proceso y controlarlo o de proteger los elementos expuestos a sus efectos.

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

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

*Peligrosidad (P)*: es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente perjudicial dentro de un período de tiempo determinado y en un área específica.

*Vulnerabilidad (V)*: es el grado de pérdida provocado por la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud determinada sobre un elemento o conjunto de elementos.

*Riesgo específico (Rs)*: es el grado de pérdida esperado debido a un fenómeno natural y se expresa como el producto de  $P * V$ .

*Los elementos bajo riesgo (E)*: son la población, las propiedades, etc.

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

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

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

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

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

***Métodos de estimación de la peligrosidad por deslizamientos:***

Existen cuatro procedimientos utilizados en la evaluación y confección de mapas de peligrosidad 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; Bosi, 1984; Stevenson, 1997). 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). El análisis heurístico introduce un grado de subjetividad que imposibilita comparar documentos producidos por diferentes autores.

*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 peligrosidad, 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), según conjuntos difusos (Zadeh, 1965, 1978; MahdaviFar, 2000) o según plausibilidad (Shafer, 1976). Otros modelos estadísticos, no basados en las funciones de favorabilidad, son el modelo basado en la combinación de tres factores en Brabb et al., 1972 considerado como el primer análisis cuantitativo de peligrosidad a deslizamientos y su modificado (Irigaray, 1990), el modelo del valor de información (Yin y Yan, 1988; Kobashi y Suzuki, 1991; Irigaray, 1995), el modelo de mensaje lógico entre otros.

*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. 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 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.

#### ***Escalas utilizadas en la cartografía de peligrosidad:***

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

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

En la escala regional, los mapas se usan para identificar áreas con problemas de deslizamiento de una forma genérica. Son utilizados por organizaciones que trabajan con planificación regional (Luzi, 1995; Rengers et al., 1992). Utilizan métodos semicuantitativos como la superposición de mapas, y las unidades del terreno se basan en características morfológicas obtenidas de imágenes estereográficas a pequeña escala (1:60:000 a 1:50.000) (Rengers et al., 1992). La escala media es utilizada para planificación intermunicipal y para estudios ingenieriles locales. Se emplean distintos métodos analíticos, principalmente estadísticos, así como modelos digitales de elevaciones detallados y otros mapas temáticos. Se usan imágenes estereográficas a escalas 1:15.000 a 1:25.000 (Rengers, et al., 1992). Los métodos estadísticos de análisis de peligrosidad son apropiados para esta escala (Mulder, 1991; Dhakal et al., 2000). En la cartografía a gran escala, los mapas son

creados para estudiar problemas locales de inestabilidad, para planificar infraestructuras de proyectos de edificios e industriales (Luzi, 1995). Los métodos de análisis utilizados son métodos cuantitativos que incluyen estadística multivariante y modelos numéricos de estabilidad. Esta escala requiere información cartográfica de muy buena calidad, así como imágenes estereográficas de 1:5000 a 1:10.000) (Rengers et al., 1992). La escala detallada es utilizada para evaluar la peligrosidad de áreas concretas y se utilizan los mismos métodos de la escala anterior (Luzi, 1995).

### ***Definición de los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.):***

Se han realizado varias definiciones en torno a los Sistemas de Información Geográfica (Cebrián y Mark, 1986; Burrough, 1988; Bracken y Webster, 1990; NCGIA, 1990). Un S.I.G. se puede considerar esencialmente como una tecnología (un sistema de *hardware* y *software*) aplicada a la resolución de problemas territoriales (Bosque, 1992).

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

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

A todo objeto se le asocian atributos que pueden ser:

- Ø Gráficos
- Ø No gráficos o alfanuméricos.

### ***Atributos gráficos***

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

### ***Atributos no gráficos***

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

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

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

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

### Principales resultados

1. Evaluación de las características y condicionales ingeniero-geológicas en el medio geológico del sector Oeste del municipio Moa y su incidencia en el surgimiento y desarrollo de deslizamientos.
2. Análisis cartográfico de los principales factores: climáticos, morfométricos, geológicos y antrópicos para la obtención de los mapas de peligrosidad por deslizamiento.
3. Cartografía de los elementos en riesgo con vista a la elaboración de un mapa de vulnerabilidad por deslizamientos.
4. La implementación de un Sistema de Información Geográfica en el sector de estudio a escala 1: 100 00, con vista a obtener el mapa de riesgos por deslizamiento.
5. Evaluación de riesgos por deslizamiento y propuesta de un plan de medidas de prevención y mitigación de riesgos por deslizamiento.

### Revisión de la literatura

#### **Estado del arte:**

Los primeros trabajos en el uso espacial de la información en el contexto digital para la cartografía de la susceptibilidad por deslizamientos aparecen en los años 70. Entre los pioneros se destacan Brabb et al, (1978) en California y Carrara et al, (1977) en Italia. En la actualidad, prácticamente todas las investigaciones de susceptibilidad por deslizamientos y su cartografía de peligrosidad se realiza empleando los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.) como los GPS y Sensores Remotos, estas herramientas han logrado desarrollarse en los últimos 10 años. Por ejemplo los S.I.G. han alcanzado su desarrollo en el estado del arte sobre todo en la evaluación de la peligrosidad y los

riesgos, basada en Van Westen et al., (2004) que brinda un análisis esquemático de los componentes que intervienen en el riesgo por deslizamiento. Estos trabajos han servido de fundamento para elaborar las “Guías para la susceptibilidad por deslizamientos, zonación por peligrosidad y riesgo, uso de suelos y planeación”, elaboradas por la Comisión y el Comité Técnico de Deslizamientos e Ingeniería de Taludes (JTC-1, 2008). Estos nuevos conceptos fueron aplicados en Tegucigalpa para la capital de Honduras, a raíz de los fenómenos de deslizamientos ocurridos en 1998 por el paso del huracán Mich y que causó más de 1000 muertes y pérdidas incalculables en la ciudad (Harp et al., 2002; Mastin, 2002). Van Westen et al., (2004-2005) ofrece una tabla donde se toma en consideración cuatro grupos para la evaluación de la susceptibilidad, la peligrosidad y el riesgo por deslizamiento. En los trabajos presentados por Cruden y Varnes en 1996 aparecen los factores y mecanismos de fallas de los diferentes tipos de deslizamientos que tienen lugar en el medio geológico. Estos autores incluyen además los elementos de geomorfometría, geología, tipo de suelo e hidrología. (Glade y Crozier 2005) publican un artículo tomando los diferentes factores que inciden en los tipos y mecanismos por deslizamientos a analiza su incidencia con los elementos meteorológicos y los efectos hidrológicos según los diferentes meses del año y propone un análisis geodinámico en un periodo de 10 años. (Soeters y Van Westen, 1996 y Metternich et al., 2005) en su trabajo exponen los resultados de la cartografía por deslizamientos basada en el análisis de imagen en los laboratorios y los sensores remotos aplicando métodos geomorfológicos y el análisis de suelos en laderas. Ibens y Brunsden, (1996); Lang et al., (1999); Glade, (2001), en este orden de aparición se destacan los trabajos la cartografía según un inventario de deslizamientos (diagnostico por deslizamientos de un área). Se han hecho esfuerzos por estandarizar a través de una nomenclatura para la valoración de los deslizamientos (IAEG- Comisión de deslizamientos, 1990; UNESCO-WP/WLI, 1993 a; Cruden y Barnes, 1996, Actividad de los deslizamientos (UNESCO-WP/WLI, 1993 b), Causas de los deslizamientos (UNESCO- WP/WLI, 1994), Tamaño del Deslizamiento (IUGS-Grupo de trabajo de los deslizamientos, 1995) y Medidas para mitigar y disminuir la acción de los deslizamientos (IUGS-Grupo de trabajo de los deslizamientos, 2001)

En Cuba el estudio de los fenómenos geológicos ha ido aumentando progresivamente, pero no hasta la década de los 90 que el tema de los riesgos geológicos comienza a tener, auge al realizarse varios trabajos en diferentes partes de nuestro país y algunos de estos, ya con la implementación de los S.I.G. Dentro de estas investigaciones se encuentran las realizadas por Castellanos E., en el 2005, donde muestra los resultados del procesamiento de datos del SRTM para obtener la evaluación geomorfométrica de amenaza de deslizamiento de terreno. El análisis y procesamiento se realiza empleando técnicas S.I.G. y software de sensores remotos. En el 2007 Mesa A. en su tesis de maestría realiza la “Evaluación de Riesgo Específico por deslizamiento en el Municipio de Yateras. Guantánamo”, la metodología empleada parte de los criterios de inestabilidad, analizando los factores

condicionantes y aplicando como herramienta para su combinación un S.I.G. Batista, Y., en opción al título de máster en el 2009 efectúa la investigación “Evaluación del riesgo por deslizamiento del municipio Bartolomé Masó. Provincia Granma”. El método que usa para la evaluación de la peligrosidad es el de criterio de expertos y la metodología utilizada está basada en la implementación de un S.I.G., lo que le permitió la combinación de los mapas de factores, para obtener el mapa de riesgo final.

### **Antecedentes:**

En el área de estudio se han realizado varias investigaciones relacionadas con los fenómenos geológicos que generan situaciones de peligros y riesgos, dentro de estos fenómenos se encuentran los deslizamientos, los que son evaluados en esta investigación. A continuación, el autor menciona los trabajos realizados por investigadores del Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa, relacionados con esta temática:

La cartografía y evaluación del impacto geoambiental a través de un Sistema De Información Geográfica (S.I.G.), de Guardado, R., et al., 2000, aborda los 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. Se desarrolla un S.I.G. 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 naturales exógenos y endógenos. La implementación del S.I.G. permitió la combinación de diferentes tipos de mapas para determinar el grado de amenaza y riesgo geológico por terremotos, inundación y movimiento de masas, entre otros. Los mapas se confeccionaron tomando como base los indicadores geoambientales de mayor incidencia, lográndose separar espacialmente las zonas con diferente intensidad de ocurrencia de peligros y riesgos geológicos y ambientales.

Vega, K., 2006, en su tesis de grado “Evaluación de la peligrosidad del terreno ante la rotura por desarrollo de deslizamientos en el territorio de Moa”, evalúa los niveles de peligrosidad del terreno ante la rotura por desarrollo de deslizamientos en un sector del municipio Moa con la utilización de un S.I.G., lo que permite establecer criterios de estabilidad de taludes y laderas y sirva de base para futuras evaluaciones de riesgos y para 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 morfotectónicas, geotécnicas e hidrogeológicas y se obtiene el mapa de peligrosidad del terreno para el área de estudio.

Puig, R., 2007, en su tesis de grado “Evaluación de riesgos múltiples por desarrollo de fenómenos naturales en el municipio Moa”, realiza el análisis de situaciones de riesgo por la vulnerabilidad para las actividades socioeconómicas, la población y el medio ambiente, que se generan en el municipio de Moa por la ocurrencia de fenómenos naturales como sismicidad, deslizamientos, erosión e inundaciones. Para la evaluación del riesgo aplica un S.I.G. y toma en cuenta una serie de variables e indicadores geoambientales como la geomorfología, tectónica, litología, características hidrogeológicas, climáticas y condiciones geotécnicas. Como resultado de su investigación propone un plan de gestión de riesgos según diferentes fases de aplicación para los asentamientos rurales, urbanos y áreas industriales.

Recientemente, Peña, A., 2009, en su tesis en opción al título de máster en la mención de Geología Ambiental, “Evaluación de la susceptibilidad del terreno por deslizamientos en el Sector Nuevo Mundo, Moa”, evalúa la susceptibilidad del terreno por deslizamientos en el Sector Nuevo Mundo. La metodología empleada se fundamenta en la aplicación de un S.I.G. para determinar y representar espacialmente la susceptibilidad por deslizamientos, a partir de los factores que los condicionan, como litologías, fallas, bloques morfoTECTÓNICOS, pendientes, aspecto de las pendientes, distancias a las redes fluviales, direcciones de los flujos superficiales y la densidad de la vegetación. Utiliza el método estadístico de análisis condicional para determinar la influencia de estos factores. Como resultados presenta una caracterización de los mecanismos y tipologías de deslizamientos desarrollados en el área. Realiza una valoración de los factores que influyen en las inestabilidades y obtiene el mapa de susceptibilidad del terreno para el sector Nuevo Mundo.

En estos trabajos se utilizan los S.I.G., lo que posibilita un mejor manejo de la información y la obtención de mapas que reflejan una zonificación del peligro, vulnerabilidad y del riesgo, ocasionados por los fenómenos naturales, en este caso los deslizamientos. Los mismos, representan un valor práctico en la realización de esta investigación, pero al mismo tiempo, estos trabajos se han realizado por separados y solamente para pequeños sectores del municipio, quedando zonas que aún no se han investigado. De aquí la novedad científica del trabajo, el cual realiza a escala regional (1:100 000) la “Evaluación de riesgos por deslizamientos en el Sector Oeste de municipio de Moa”, con la aplicación de un Sistema de Información Geográfica.

**CAPÍTULO I****CONDICIONES INGENIERO-GEOLÓGICAS REGIONALES Y SU INCIDENCIA EN LOS DESLIZAMIENTOS DEL SECTOR OESTE DEL MUNICIPIO MOA****Introducción**

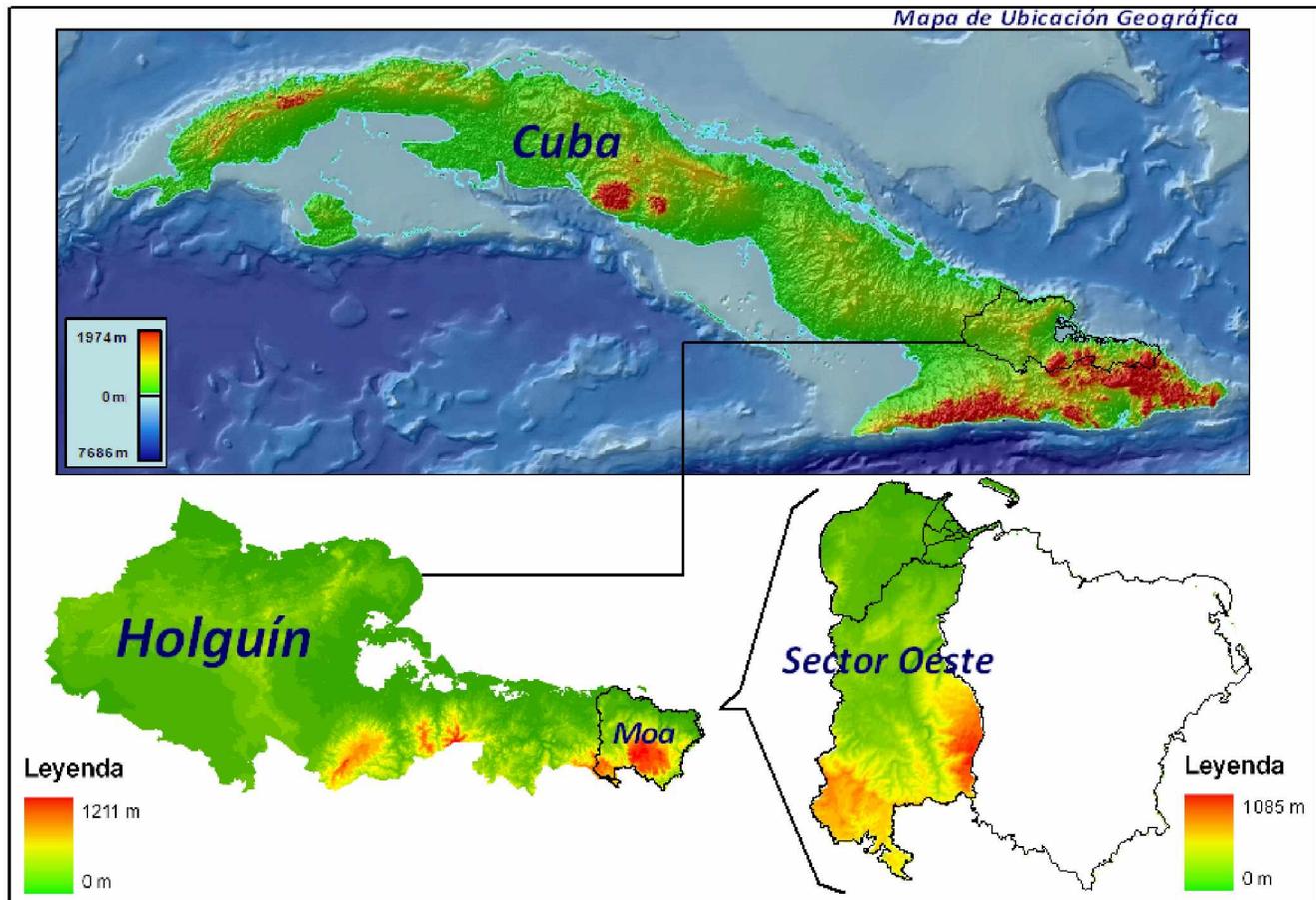
En el presente capítulo se ofrecen detalles sobre las características climáticas, hidrológicas, geomorfológicas, geológicas, tectónicas, ingeniero-geológicas, geoambientales y otras. Que permiten obtener una visión general del territorio en vista a evaluar las condiciones ingeniero-geológicas y su incidencia en la formación de deslizamientos en el Sector Oeste del municipio de Moa.

Al estudiar y evaluar la peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo por deslizamientos, es necesario conocer las condiciones ingeniero-geológicas que favorecen a la formación de los mismos, éstas son las siguientes:

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

**1.1 Ubicación geográfica**

Esta investigación se realizó en el Sector Oeste del Municipio Moa, Provincia de Holguín. El límite del área se seleccionó a partir de los Consejos Populares del Oeste del Municipio Moa (Farallones, Centeno, 26 de Junio, Joselillo-Los Mangos, Moa Centro, Coloradas, Caribe y Miraflores), (Anexo 21). Limita al Este con el río Arroyón y parte del curso del río Moa que limitan los consejos populares del Este del municipio Moa (Rolo-Veguita, Punta Gorda y La Melba); al Oeste con los municipios Sagua de Tánamo y Frank País; al Sur con el municipio de Yateras, cuya frontera la establece el origen del río Toa; y al Norte con el Océano Atlántico. El municipio posee una franja costera de unos 40 Km, que se extiende desde Playa La Vaca hasta la desembocadura del río Jiguaní. Próximos a la costa se encuentran Cayo Moa Grande, Cayo Chiquito y Cayo del Medio, este último en la Bahía de Yamanigüey. La zona de estudio tiene un área de 295,91 kilómetros cuadrados (Km<sup>2</sup>), forma parte del grupo montañoso Sagua - Moa - Baracoa, (Figura 1.1).



**Figura 1.1** Mapa de ubicación geográfica del sector Oeste del municipio Moa, escala 1: 100 000.

## 1.2 Características socioeconómicas regionales

El municipio Moa se caracteriza por la complejidad de los procesos geológicos-geomorfológicos que le dieron origen. En él existen extensas cortezas de meteorización, lo que ha permitido el desarrollo de la minería y metalurgia en la región y por ende su desarrollo económico, social y cultural.

En 1963 se crea el municipio de Moa perteneciente a la región minera de la provincia de Oriente y en 1976 por división política administrativa, pasa a la provincia de Holguín. En la actualidad Moa posee una población de 72 414 habitantes.

Hoy, Moa cuenta con varios centros de enseñanza, hospitales, hoteles, un aeropuerto y otras instalaciones que favorecen el desarrollo económico, social y cultural en el municipio. Cuenta además con las plantas procesadoras de níquel Comandante Pedro Sotillo Alba y Ernesto Guevara. La ciudad y las instalaciones mineras son visitadas por intereses económicos, solo algunos espacios son utilizados para fines turísticos y ecológicos.

### 1.3 Particularidades Climáticas de la Región

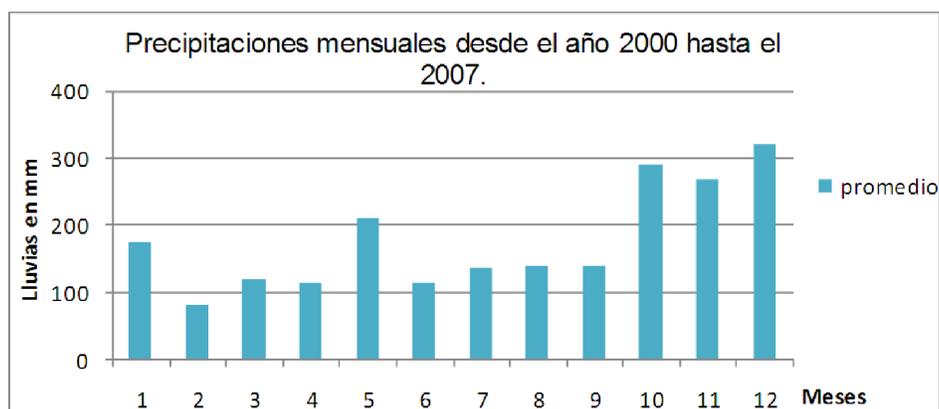
El clima de la zona de estudio es tropical con abundantes precipitaciones, estando estrechamente relacionadas con el relieve montañoso y la dirección de los vientos alisios provenientes del Océano Atlántico cargados de humedad.

#### **Precipitaciones:**

Las precipitaciones poseen un promedio anual entre 2000-2400mm, siendo la mayor pluviometría del país, con una media histórica de 2 500 mm /año (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos I.N.R.H., base de datos 2000-2007). Se identifican dos períodos de lluvia (Mayo-Junio) y (Octubre-Febrero) y dos de sequías (Marzo-Abril) y (Julio-Septiembre). En el verano las lluvias tienen carácter de aguaceros y en el invierno son menos intensas pero más permanentes, (Chiu. 1996). Como se aprecia, la lluvia constituye uno de los factores desencadenantes de los deslizamientos en el municipio, sobre todo en los períodos lluviosos.

Los períodos de formación de los deslizamientos coinciden con los períodos de lluvias prolongadas, fundamentalmente de noviembre a enero. En las zonas con abundantes precipitaciones en el territorio la mayor parte del agua fluye desde las divisorias de las aguas, al sur del municipio, hacia la costa.

En la figura 1.2 se muestra un promedio de las precipitaciones mensuales, desde el año 2000 hasta el 2007.



**Figura 1.2** Promedio de lluvias mensuales desde el año 2000 hasta el 2007 (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Moa 2007).

#### **Humedad y evaporación:**

La humedad relativa media anual es de 85%, los meses de mayor humedad son diciembre con un 94%, noviembre con un 86% y octubre con un 90%. Siendo estos tres meses el período de mayor humedad relativa del territorio. La evaporación anual presenta valores entre 2200 - 2400 mm; los meses de julio y agosto son los más secos.

**Vientos:**

Los vientos son de moderada intensidad, en superficie presentan dirección noreste-este fundamentalmente. La distribución frecuencial anual de la dirección e intensidad del viento durante el año muestra que el sur es la más notable, con un 37.41 %, seguido de los vientos de sentido noreste con 32.52 %, mientras que el resto de las direcciones poseen una frecuencia inferior al 10 %, siendo la dirección oeste la de menor ocurrencia, con un 0.41 %.

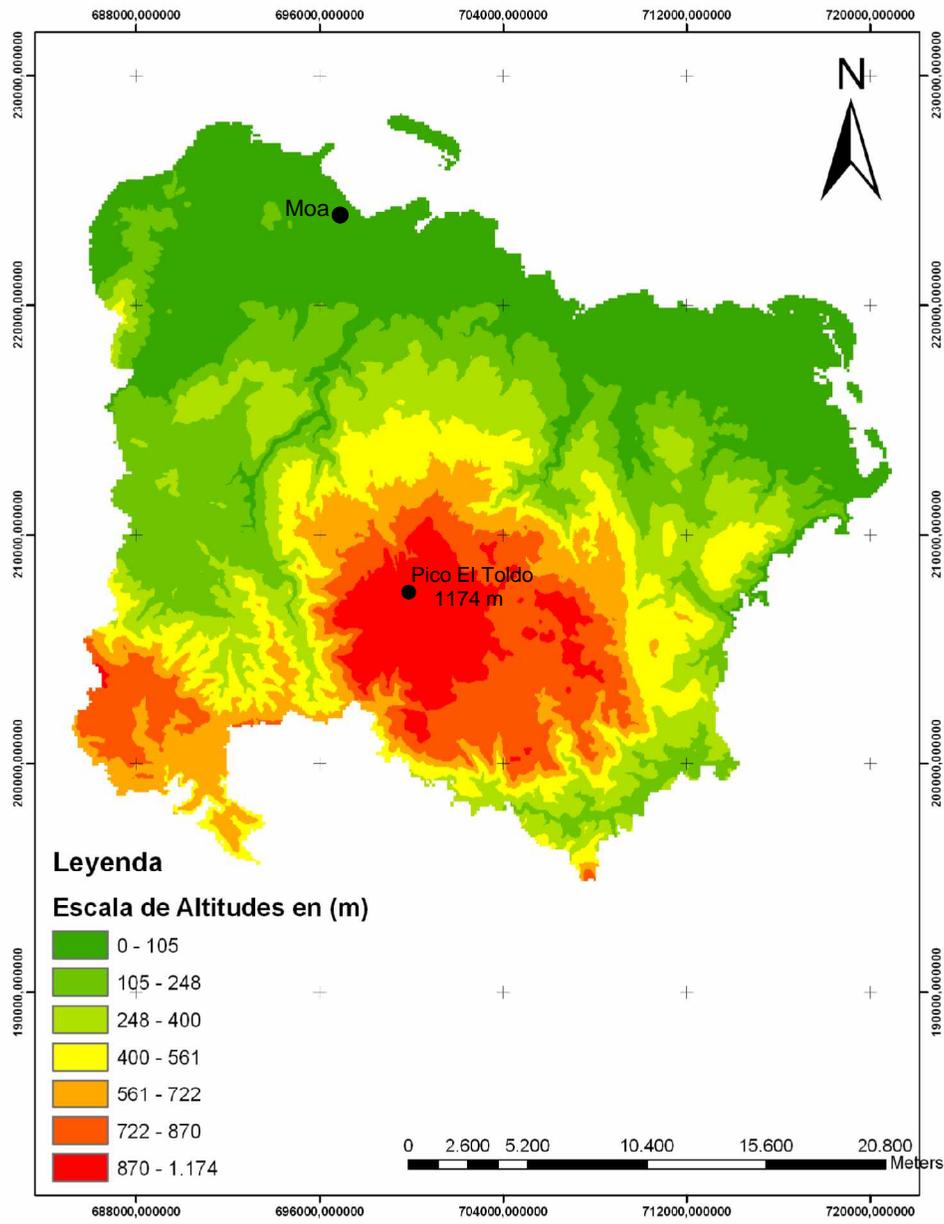
**Temperaturas y presiones atmosféricas:**

La temperatura media anual oscila entre 22.6°C - 30.5°C, en el verano se alcanzan valores de 30°C hasta 32°C y en el invierno de 22°C a 26°C, siendo los meses más calurosos desde julio hasta septiembre y los fríos de enero a febrero. Las presiones atmosféricas presentan una media anual de 1017.3 hP, siendo la media máxima mensual de 1022.2 hP en el mes de septiembre.

**1.4 Geomorfología regional**

Geomorfológicamente el territorio de Moa está caracterizado por un relieve escarpado donde el 6% de la superficie es llanura aluvial y el 94% montañoso (Rodríguez, R., 2002). En un perfil norte-sur perpendicular a la costa se pasa de la cota cero (NMM) a 1174 m en una distancia horizontal de 16 km, sobre el plano topográfico; al sur el relieve está determinado por el macizo montañoso Sagua-Moa-Baracoa, con la cota máxima de 1174 metros sobre el nivel del mar (Pico El Toldo), figura 1.3. Las pendientes presentan valores promedios de 5 a 20%, en regiones muy elevadas pueden alcanzar valores muy superiores (Rodríguez, A., et al., 1996; Rodríguez, R., 2002). Al sur, en el valle de los ríos Moa y Cayo Guam se pueden apreciar taludes casi verticales. El relieve de llanura, se ubica en la zona de costa, aparecen llanuras abrasivas marinas, denudativas y ligeramente diseccionadas con alturas de 20 – 25 metros. (Rodríguez, A., et al., 1996).

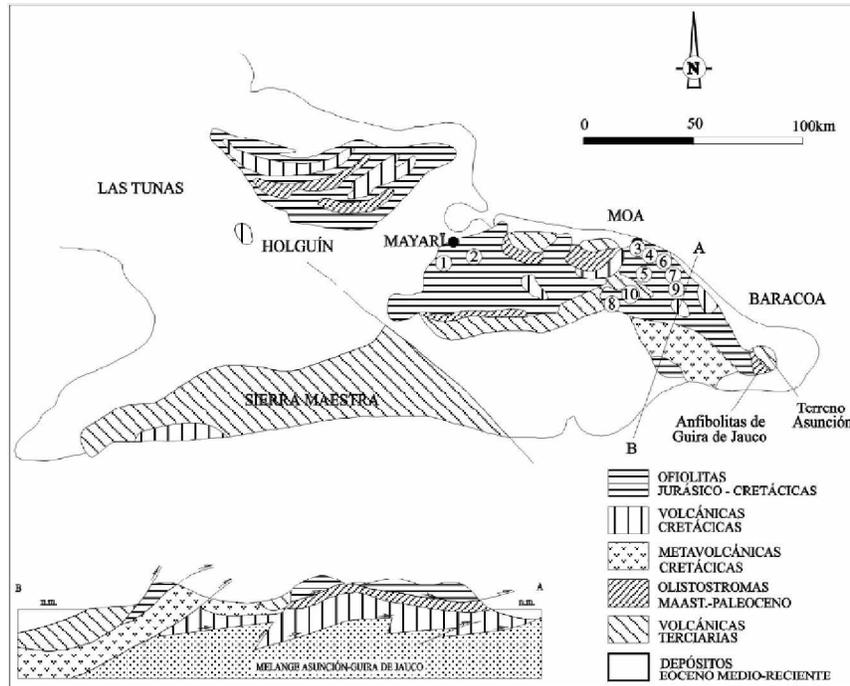
El relieve constituye una condición importantísima que favorece la formación de deslizamientos. De clara evidencia sirven su propagación geográfica y la ubicación geomorfológica. Las observaciones revelan que con mayor frecuencia los deslizamientos están propagados en regiones montañosas, en tramos con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



**Figura 1.3** Mapa de altitudes del Municipio Moa. Escala 1: 100 000.

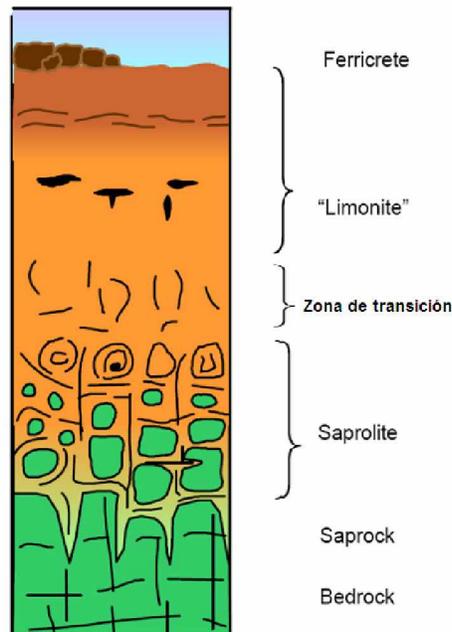
### 1.5 Geología regional y local

El municipio Moa se encuentra ubicado en el complejo ofiolítico Mayarí-Baracoa, el cual se localiza en el extremo oriental de la Isla de Cuba. En este macizo se pueden distinguir diferentes mantos de cabalgamiento, en los que se aprecian espejos de fricción y escamas tectónicas de diferentes espesores (figura 1.4). En los estudios realizados por Proenza en la región, este divide las fajas ofiolíticas en dos grandes macizos: 1) El macizo Moa-Baracoa y 2) El Macizo Mayarí-Cristal.



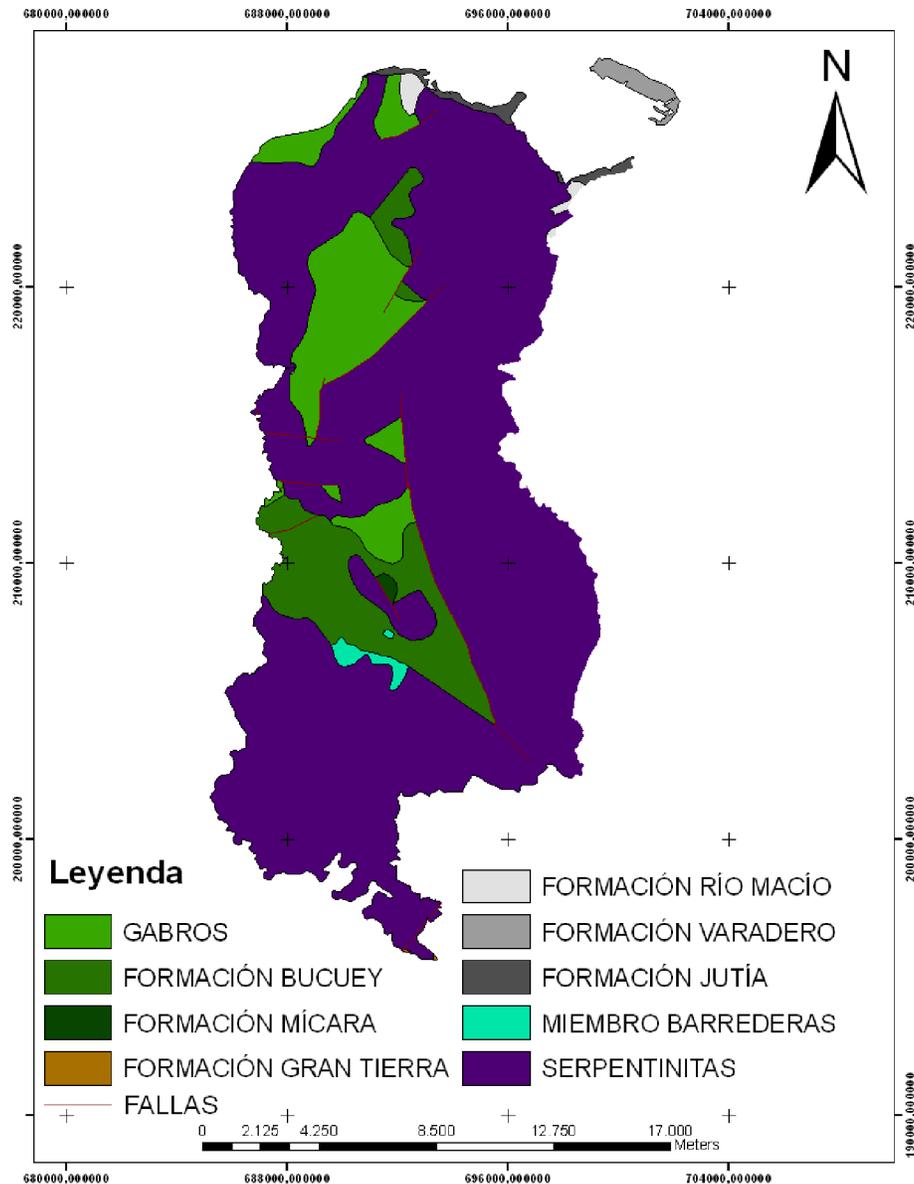
**Figura 1.4** Ubicación de la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Iturralde-Vinent, 1996). Los números indican la ubicación de las principales áreas de distribución de los depósitos lateríticos de níquel y cobalto: 1- Pinares de Mayarí, 2- Nicaro, 3- Moa, 4- Punta Gorda-Yagrumaje, 5- Las Camariocas, 6-Cantarrana-La Delta, 7- Santa Teresita, 8- La Fangosa, 9- Iberias y 10- Piloto.

En la zona se desarrollan extensas cortezas de intemperismo en regiones de clima húmedo con un relieve suave, poco inclinado o por descomposición química de las rocas (figura 1.5).



**Figura 1.5** Perfil general laterítico de los suelos de la región de Moa. La dimensión en vertical no está a escala. Tomado de Muñoz, N., 2004.

La geología del Sector Oeste del municipio Moa se describe según la información del Esquema geológico del área de estudio, escala original 1:100 000, tomado del Instituto de Geología y Paleontología (I.G.P.) 2001 y modificado por el autor (figura 1.6).



**Figura 1.6** Esquema geológico del área de estudio. Escala Original 1:100 000. Tomado del I.G.P. 2001.

**Formación Varadero (Holoceno):** Depósitos marinos de playas: arenas calcáreas y cuarzosas con restos de conchas.

**Formación Río Macío (Holoceno):** está integrada por materiales aluviales de las terrazas de los ríos Moa, Cabañas y Cayo Guam, aparecen ocho capas de estrato. Está formada por sedimentos arenosos, areno-arcillosos y conglomerados, estos últimos conforman fragmentos de rocas ultramáficas serpentinizadas (peridotitas y harzburgitas). Mineralógicamente se pueden describir por

la presencia de óxido e hidróxido de hierro y aluminio. Los minerales de hierro son hematita, goethita, magnetita, y de aluminio principalmente gibbsita. Las arcillas están representadas por montmorillonita. En la parte superior del perfil aparecen materiales orgánicos.

**Formación Jutía (Pleistoceno-Holoceno):** Depósitos de pantanos, de mangles, limos, limos arenosos.

**Formación Gran Tierra (Paleoceno Inferior):** compuesta por calizas brechosas, conglomerados vulcanomícticos, brechas, margas, tobas, calizas órgano- detríticas, areniscas vulcanomícticas de cemento calcáreo, aleurolitas y tufitas. Es una secuencia terrígena-carbonatada que aflora en los flancos meridionales de la Sierra de Nipe y Sierra Cristal, constituyendo en Cuba oriental un límite concordante entre el cretácico y el terciario. En las rocas arcillosas y margosas de esta formación se han registrado los primeros vestigios del vulcanismo paleogénico en forma de tobas.

**Formación Mícara (Cretácico Superior-Paleoceno Inferior):** Por su composición esta unidad se puede dividir en tres partes: inferior, media y superior.

*Inferior:* Constituida por aleurolitas masivas, mal estratificadas; brechas; areniscas; arcillas y calizas.

*Media:* Secuencia olistostrómica compuesta por margas, areniscas, aleurolitas, gravelitas y conglomerados. Los olistolitos son de brecha y ultrabasitas serpentinizadas. La estratificación es buena.

*Superior:* Predominan las aleurolitas y subordinadamente brechas y areniscas tobáceas, en su parte más alta, con intercalaciones de tobas ácidas bentonizadas y calizas. Presentan buena estratificación.

Las areniscas, aleurolitas, brechas, gravelitas y conglomerados son polimícticos. Las calizas son biodetríticas, arenosas y brechosas. Algunas veces en la parte alta de la formación las areniscas y aleurolitas tienen un contenido alto de tobas vitroclásticas y cristaloclásticas y de tufitas psammíticas.

**Formación Bucuey (Cretácico):** Tobas y lavobrechas, tufitas, argilitas, limolitas, lavas, conglomerados y calizas.

**Miembro Barrederas (Cretácico):** Tobas y lavobrechas, tufitas, argilitas, limolitas, lavas, conglomerados y calizas.

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

escamas tectónicas muy fracturadas (Fonseca *et al.*, 1985; Torres, 1987; Rodríguez y Proenza, 1992).

**Gabros del Complejo Ofiolítico:** Los cuerpos de gabros forman grandes bloques y diques incluidos en el macizo ofiolítico, cuyos contactos con los otros tipos litológicos son generalmente tectónicos, las dimensiones de los cuerpos de gabros varían de uno a tres kilómetros de ancho y de 10 a 15 kilómetros de longitud. Se estima que presentan un espesor medio de 500 metros (Fonseca *et al.* 1985). Muchas veces los cuerpos de gabros están cubiertos por las rocas ultramáficas fundamentalmente peridotitas.

Se sabe que los deslizamientos están relacionados con las laderas y taludes de una estructura geológica determinada. En la mayoría de los casos, los deslizamientos están propagados en laderas compuestas por suelos arcillosos donde en el grueso de las rocas que los constituyen, se encuentran capas, intercalaciones, zonas de suelos arcillosos, aditivos arcillosos u otras rocas que forman las superficies de discontinuidad y zonas de debilitamiento; por último, en lugares de las laderas donde hay acumulaciones considerables de facies eluviales, diluviales y proluviales arcillosas. El análisis de las condiciones de formación de deslizamientos en los suelos rocosos enseña que en estos casos el relleno arcilloso en las grietas y los aditivos arcillosos en las superficies de las grietas facilitan de modo considerable la alteración del equilibrio de las masas de rocas. La formación de deslizamientos resulta más favorable en tramos donde en la estructura geológica de las laderas o taludes hay superficies potenciales de resbalamiento, orientadas de modo desfavorable, es decir, que su pendiente está dirigida en el sentido de las pendientes de las laderas.

### **1.6 Tectónica regional**

Desde el punto de vista geotectónico, en el municipio Moa existen cuatro sistemas principales de fallas (Rodríguez, A. 1998). El sistema más antiguo de los reflejados actualmente en la superficie tiene su origen asociado al cese de la subducción que generó la colisión entre el arco insular y el margen continental, originando el emplazamiento del complejo ofiolítico, por lo cual las fallas de este sistema se encuentran espacial y genéticamente relacionadas con los límites de los cuerpos máficos y ultramáficos dentro del complejo.

Un ejemplo de estas estructuras es la falla ubicada al sur de Quesigua, al este del río de igual nombre, que pone en contacto las serpentinitas ubicadas al norte con los gabros que afloran al sur, así como las fallas que en El Lirial Abajo, Peña y Ramírez y Caimanes Abajo ponen en contacto a las serpentinitas con las rocas de las formaciones La Picota, Mícara y Quibiján respectivamente.

Estas fallas en su mayoría se encuentran pasivas lo que se demuestra por su pobre reflejo en el relieve, pudiendo notarse su presencia fundamentalmente por el contacto alineado y brusco entre litologías diferentes. Excepción de lo anterior lo constituye la falla ubicada al sur de Quesigua que aún se refleja a través de un escarpe pronunciado arqueado, con su parte cóncava hacia el norte que sigue la línea de falla, lo que consideramos está asociado a la actividad geodinámica actual del sector, que es considerado uno de los más activos dentro del territorio (Rodríguez, 1998).

El segundo sistema y de mayor importancia en el territorio está constituido por fallas de dos direcciones: noreste y norte - noroeste que se desplazan mutuamente y se cortan entre sí, constituido por las dislocaciones más abundantes y de mayor extensión de la región, que indistintamente afectan todas las litologías presentes y son a su vez los límites principales de los bloques morfotectónicos. Su origen se encuentra asociado al proceso de colisión del Arco Volcánico del Cretácico sobre el Paleomargen de Bahamas en el Eoceno Medio. Las principales estructuras representativas de este sistema son las fallas Los Indios, Cayo Guam, Moa, Cabaña, Quesigua, Miraflores y Maquey.

*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 10° y 30° oeste en los diferentes tramos que la conforman.

*Falla Cayo Guam:* Con una dirección N15°W, 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 más recta hacia el norte con una dirección de N48°E, mientras que en su parte meridional tiene un rumbo N25°W.

En la parte norte esta estructura se bifurca en dos tramos, uno de rumbo N35°E denominado La Vigía y el otro de rumbo N74°E nombrado La Veguita, el que atraviesa la zona marina perilitoral, hasta cortar la barrera arrecifal a la cual limita y afecta, pues en el bloque oriental de la falla la barrera como tal desaparece, quedando reflejada sólo como un banco de arenas, lo que constituye un indicador del sentido de los desplazamientos.

*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.

En su parte meridional presenta una orientación N70°E hasta la zona de Zambumbia donde es truncada por un sistema de fallas submeridionales, aflorando nuevamente con nitidez al nordeste del

poblado de Conrado donde inicia su control estructural sobre el río Cabaña. En las cercanías de Centeno esta estructura es cortada y desplazada por la falla Cananova tomando una orientación N56°E la que mantiene hasta penetrar en el océano Atlántico.

*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 N10°E y en la meridional, N40°W. Se extiende desde la barrera arrecifal hasta interceptar el río Jiguaní al sudeste del área de trabajo.

*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 N25°W desde el límite sur del área hasta Cayo Chiquito y desde aquí hasta Punta Majá con una orientación N35°E. Su límite meridional al parecer lo constituye la falla Moa al sur 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 N65°E 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 N78°E siendo cortada y desplazada por estructuras de orientación noroeste.

El tercer sistema de estructuras está constituido por dos fallas de tipo strike-slip denominadas Cananova y El Medio. Por la posición que ocupan, orientación y componentes fundamentales de los desplazamientos no tienen similitud con las fallas antes descritas y su origen corresponde al Mioceno medio, cuando se inician los movimientos hacia el este de la placa Caribeña a través de la falla Oriente, lo que desarrolla un campo de esfuerzo que provoca la compresión del bloque oriental cubano en la zona de sutura de éste con la Plataforma de Bahamas, lo que originó la ruptura y el reajuste de la corteza.

*Falla Cananova:* presenta un rumbo predominante N53°W. Es cortada en diferentes puntos por estructuras submeridionales, caracterizándose toda la zona de falla por el grado de cizallamiento de las rocas que corta.

*Falla El Medio:* con un rumbo aproximado de N40°E. Al igual que la Falla Cananova, origina un alto cizallamiento de las rocas a través de todo su trazo.

El cuarto sistema de fracturas que aparece desarrollado en el territorio, corresponde a estructuras sublongitudinales que aparecen en toda el área pero que tienen su máxima expresión en las zonas periféricas de los sectores de máximo levantamiento, como por ejemplo las fallas a través de las cuales corren algunos tributarios como el arroyo La Veguita del río Moa, el arroyo La Vaca, arroyo Colorado al oeste del Cerro Miraflores y la de mayor envergadura que se encuentra al sur de Caimanes, lo cual permite considerar su origen asociado a procesos de descompresión o expansión

de bloques al disminuir las tensiones horizontales que mantienen cohesionado los macizos rocosos debido a los movimientos verticales diferenciales, lo que justifica la ausencia de desplazamientos geológicos y geomorfológicos apreciables. La edad de este sistema es considerado post Mioceno, cuando se inicia el proceso de ascenso definitivo del territorio actual de Cuba oriental.

### **1.7 Características hidrográficas regionales**

La abundancia de precipitaciones en casi todo el año, conjugado con las características del relieve y del clima favorecen la existencia de una red hidrográfica que corre de sur a norte, la misma es de tipo dendrítica, aunque en algunos casos se observa la red subparalela (Domínguez, L., 2005).

Según el trabajo de Batista, (1987) presenta una densidad con valores entre 1,5 y 2 km de río por km<sup>2</sup>, lo que es un indicativo de una importante escorrentía superficial y está caracterizada por una gran cantidad de ríos y arroyos permanentes durante todo el año. La variación local en la dirección del flujo de las aguas superficiales está controlada por las fracturas tectónicas del territorio. De acuerdo a la extensión superficial de las cuencas hidrográficas los ríos más importantes son el río Moa, con un área de 156 km<sup>2</sup> y los ríos Cayo Guam, Cabañas, Quesigua, Yagrumaje, Yamanigüey y Punta Gorda con cuencas hidrográficas muy inferiores, pues ninguna supera los 100 km<sup>2</sup>.

El río Cayo Guam, nace en la cota 820 m y desemboca en el Océano Atlántico, su área de alimentación es de 57,71 Km<sup>2</sup>. La principal fuente de alimentación de este son las precipitaciones atmosféricas. El río Quesigua nace en la cota 420 m desemboca en el Océano Atlántico, su área de alimentación asciende a 26.7 Km<sup>2</sup>. El río Yagrumaje tiene su nacimiento en la cota 620 m y su desembocadura en el Océano Atlántico. Forma barrancos casi verticales, su longitud es de 11 Km, su cuenca tiene un área aproximada de 12 Km<sup>2</sup>. El río Moa, nace en la cota 950 m y desemboca en la bahía de Moa, tiene 21 Km de extensión y corre en dirección Noroeste–Noreste, se alimenta de los ríos Cabaña, Los Lirios y de arroyos y cañadas que bajan desde regiones montañosas. El río Cabañas, nace en la cota 320 m se une al río Moa, presenta numerosos meandros, sus orillas son abruptas y de erosión en las zonas montañosas, mientras que en las partes bajas es llano y acumulativo, su fuente de alimentación principal son las precipitaciones atmosféricas. El arroyo Los Lirios, tiene su nacimiento en la cota 380 m, forma parte de la alimentación del río Moa y su valle es estrecho con pendientes suaves.

### **1.8 Hidrogeología regional y su influencia en la inestabilidad de taludes y laderas**

Debido al régimen de precipitaciones, particularidades hidrogeológicas regionales, características de las rocas acuíferas y parámetros hidrogeológicos existentes en el territorio, se considera como una zona de elevada complejidad hidrogeológica. Se ha establecido la existencia de cinco complejos acuíferos fundamentales, a partir de la caracterización del tipo de rocas presentes y de su capacidad

para el almacenamiento de aguas subterráneas (Sidimohamed, O., 2002) los mismos son descritos a continuación:

*Complejo acuífero de las ofiolitas:* Se extiende en dirección noroeste-sudeste, al oeste del río Moa. Litológicamente se encuentra constituido por serpentinitas alteradas, peridotitas serpentinizadas y piroxenitas. La capacidad acuífera ha sido poco estudiada; su profundidad de yacencia es de 1.3 - 12 metros. El coeficiente de filtración (K) oscila entre 1 - 14.7 m/día, el gasto de aforo (Q) entre 1.2 - 4 L/s.

*Complejo acuífero de los sedimentos costeros:* Se extiende por casi todo el norte del área, formando una franja estrecha que presenta dimensiones de 1 - 2 Km. de ancho. El relieve es costero con cotas de 0 - 2m sobre el nivel del mar; su edad se corresponde con el Cuaternario. Su composición litológica integrada por depósitos arcillosos contiene fragmentos angulosos de composición múltiple. Las rocas acuíferas se asocian a calizas organógenas, en menor escala sedimentos no consolidados, así como, depósitos arcillo - arenosos con fragmentos angulosos de composición variada. Predominan aguas cársticas y de grietas, y en algunos casos intersticiales. Por lo general tienen interrelación hidráulica con el agua de mar. A una profundidad comprendida entre los 1 - 5 m yace el nivel freático. El coeficiente de filtración (K) de estas rocas alcanza valores hasta los 268.4 m/días, el gasto (Q) es aproximadamente de 14 L/seg.

*Complejo acuífero de los sedimentos aluviales:* Se extiende en dirección norte-sur formando una franja ancha en su parte inferior, y estrecha en la superior, ocupando prácticamente la totalidad de las terrazas de los ríos más importantes, así como, los valles de sus afluentes. Constituido por gravas, arenas, cantos rodados y arenas arcillosas, con 15 m de potencia aproximadamente, estos sedimentos son de edad cuaternaria y se caracterizan por su alta capacidad para el almacenamiento de agua. El coeficiente de filtración (K) varía de 13 - 290 m/días, mientras que su gasto de aforo (Q) oscila entre 2 - 57 L/seg. Estas aguas yacen a una profundidad comprendida entre los 1 - 5 m.

*Complejo acuífero de las lateritas:* Se extiende por casi toda la zona ocupando gran parte del área. Su composición litológica se corresponde con potentes cortezas de intemperismo, representando a un acuitardo, debido al predominio de aguas capilares y de potencias considerables de lateritas que alcanzan los 30 m, con un marcado desarrollo de procesos de capilaridad, donde los ascensos capilares de las aguas pueden alcanzar alrededor de 20 m. Las precipitaciones atmosféricas son la fuente principal de alimentación de estas aguas.

*Complejo acuífero de los sedimentos terrígenos – carbonatados:* Aparece este complejo sólo en una pequeña porción al norte del poblado de Cañete. Constituido geológicamente por margas

estratificadas, calizas compactas, depósitos brechosos de carácter tanto tectónico como sedimentarios, aleurolitas y conglomerados. Las rocas acuíferas se corresponden con los conglomerados brechosos y las calizas, y en menor medida, las margas estratificadas.

Los flujos hídricos provocan cambios físico-químicos en el terreno que disminuyen la resistencia del mismo. La absorción y pérdida del agua de infiltración produce una continua expansión y contracción de los suelos lateríticos (por su alto porcentaje de arcillas).

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

### **1.9 Procesos y fenómenos geodinámicos**

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

*Meteorización:* Es el fenómeno físico-geológico más importante en el área de estudio está vinculado con la formación de potentes cortezas lateríticas sobre rocas ultrabásicas y básicas. Las condiciones climáticas, geomorfológicas, tectónicas y características mineralógicas de las rocas existentes favorecieron los procesos de meteorización química del medio (ver foto 1). La corteza de meteorización está desarrollada principalmente sobre peridotitas de tipo harzburgitas serpentinizadas en distinto grado y por serpentinitas, las cuales ocupan la mayor parte del territorio y en menor grado por materiales friables producto del intemperismo químico.

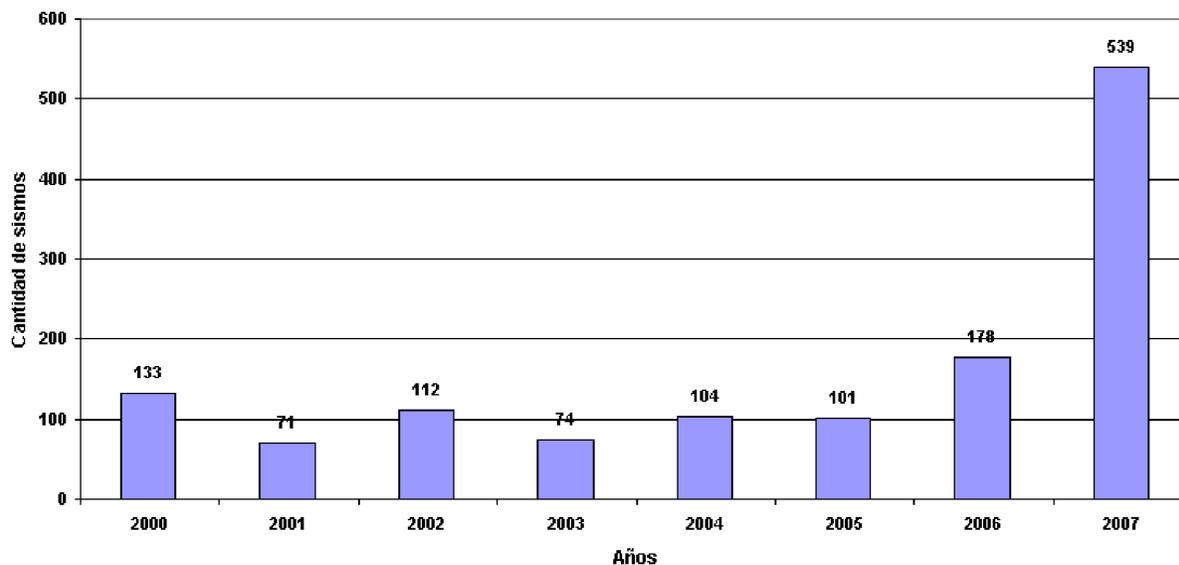
*Movimientos de masas:* Este proceso está vinculado a los movimientos de laderas naturales y taludes condicionados naturalmente o generados por actividades mineras o construcciones civiles (ver foto 2). Los mecanismos de rotura y las tipologías de los movimientos de masas desarrollados en las

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

*Erosión:* Es un proceso, que aunque se produce de forma natural en la potente corteza lateríticas, se ha visto incrementado por la actividad antrópica, vinculada a la minería a cielo abierto y a la deforestación. Se observa además, un amplio desarrollo del acaravamiento, que aumentan sus dimensiones rápidamente en el tiempo (ver foto 3). La dirección de las cárcavas está condicionada fundamentalmente por las condiciones estructurales de los suelos residuales.

*Sismicidad:* Moa al estar ubicada dentro del contexto de Cuba Oriental y partiendo de los estudios que se han realizado (Rodríguez, A., 1998) se ha considerado que existen tres zonas sismogeneradoras, coincidentes con fallas profundas que constituyen límites entre o interplacas. Las zonas que se deben tener en cuenta para los estimados de la peligrosidad sísmica son: Zona sismogeneradora Oriente (Bartlett-Caimán, Zona sismogeneradora Cauto-Nipe y la Zona sismogeneradora Sabana, la que se ubica muy próxima a la región de estudio, asociada a la falla Sabana o Norte Cubana, zona de sutura entre la microplaca cubana y la norteamericana, presentando un contraste significativo entre el bloque nororiental cubano y la depresión submarina del canal viejo de Bahamas.

Después de las series de terremotos ocurridos en los años 1998-1999, ha continuado la actividad sísmica de manera significativa en la región del nordeste holguinero, siendo una de las zonas sísmicas más activas del país, prueba de esto es que durante el año 2005 se registraron un total de 101 sismos, de ellos uno de 3.7 de magnitud en la escala de Richter, el de más alta energía registrado en ese año en todo el país. Los datos estadísticos de los sismos ocurridos en la zona de monitoreo Moa-Purial desde el año 2000 hasta el 2007 (Figura 1.7) refleja que esta zona ha continuado activa, destacándose significativamente el año 2007 donde han ocurrido la mayor cantidad de terremotos en los últimos 8 años, aunque los mismos han sido de baja energía.



**Figura 1.7** Cantidad de sismos registrados en la zona de monitoreo sismológico Moa-Purial entre los años 2000 al 2007. Se observa un aumento significativo en el año 2007 de la cantidad de sismos. (I.G.P., et al., 2008).

*Actividad antrópica:* La actividad antrópica desarrollada en el área está representada por la actividad minera, la deforestación con el objetivo de construcción y preparación de tierras para la siembra y preparación de canteras para extracción de material para el mejoramiento de los viales u otros fines (ver foto 4). La minería se desarrolla en varias etapas que afectan en mayor o menor grado el entorno. Primeramente se desarrollan actividades de destape de las menas lateríticas, eliminando la cobertura vegetal. En esta etapa, y producto a las grandes precipitaciones, se generan arrastres de grandes volúmenes de sedimentos hacia los cauces de los ríos y arroyos. Luego continúa la actividad extractiva, que genera una cantidad considerable de taludes con pendientes elevadas, relacionados con los frentes de explotación y la construcción de caminos mineros. Además, otro de los elementos negativos es la formación de embalses de aguas en áreas de minas. Como actividad paralela, se realiza la formación de escombreras, con los materiales estériles donde se desarrolla el proceso de reforestación y restauración. Sin embargo, en ocasiones estos sitios no se construyen con parámetros de altura, pendiente de los taludes y compactaciones óptimas para su conservación en el tiempo. No obstante, como política ambiental, se le ha prestado mayor atención en los últimos años, mejorando los parámetros de construcción y aumentando las áreas reforestadas, disminuyendo de esta forma la exposición de las áreas a los agentes erosivos (Almaguer, 2005).



**Foto 1.** Fenómenos de meteorización.



**Foto 2.** Deslizamiento en cortezas lateríticas.



**Foto 3.** Erosión en cárcavas.



**Foto 4.** Actividad antrópica.

La actividad antrópica con frecuencia crea las condiciones que favorecen a la formación de los deslizamientos. El recorte de las laderas, la construcción de taludes abruptos, alteración de la escorrentía superficial y subterránea y muchas otras acciones del hombre son conmensuradas por su propagación, envergadura e importancia con los fenómenos naturales y constituyen condiciones importantes de la alteración del equilibrio de las masas de rocas en las laderas y taludes, que favorecen la formación de deslizamientos.

### **1.10 Condiciones Geoambientales**

Dentro del territorio los principales problemas geoambientales han sido estudiados con cierta profundidad, analizándose los factores que le dan origen y el impacto que estos tienen desde el punto de vista socioeconómico.

Teniendo en cuenta la metodología aplicada por el C.I.T.M.A., para la evaluación del medio ambiente, podemos señalar que los elementos más afectados son:

*Suelos:*

La principal problemática ambiental que presentan los suelos de Moa es el deterioro, ocasionado principalmente por los procesos degradativos de origen antrópico. En los suelos las causas de degradación por los índices naturales e incidencias antrópicas han provocado que se aceleren procesos dañinos como la erosión y los movimientos de masas, debido a la pérdida de la cohesión interna de las rocas.

Esta situación desfavorable del suelo en el área de estudio está determinada por el empleo de prácticas laborales erróneas, que van deteriorando la conservación del mismo, dentro de las que se encuentran movilización de las capas de suelos en las zonas mineras, dejando el área carente de vegetación, amplio desarrollo urbanístico y presencia de infraestructuras económicas con sus desechos.

*Bosques:*

Como es conocido en este sector la vegetación más difundida es la de pinares, pluvisilvas charrasco y bosques de galerías, que se encuentran sobre el complejo ofiolítico. Aquí se desarrollan unos de los yacimientos ferroniquelíferos más grandes del mundo y por ende, la explotación de estos recursos traen consigo la destrucción de la vegetación en las áreas minadas y las infraestructuras económicas tales como son las presas de cola, industrias y un importante factor es el antrópico, teniendo en cuenta el crecimiento de la población, la tala indiscriminada y en menor grado el cultivo en las zonas rurales.

*Agua:*

El problema principal está dado por el aporte de residuales sólidos y líquidos a los ríos durante el procesamiento de las Plantas Metalúrgicas, Combinado Mecánico y por los desperdicios urbanos. Esto ha llevado a que gran parte de las aguas superficiales y subterráneas estén altamente contaminadas y en gran parte de ellas no exista vida. Además, al llegar estas aguas al mar se afecta considerablemente el hábitat marino, principalmente los corales y los peces.

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

La vegetación comprende un 33 % del endemismo cubano. Se caracteriza por la existencia de bosques de *Pinus cubensis* en las cortezas lateríticas y donde hay menores potencias de las mismas, matorrales espinosos, típicos de las rocas ultramáficas serpentinizadas. Las zonas bajas, litorales, están cubiertas por una vegetación costera típica entre las que se destacan los mangles. Existen algunos sectores donde la vegetación es prácticamente nula producto de la actividad antropogénica del hombre.

La cubierta vegetal constituye un factor importante para la estabilidad de taludes y laderas, produciendo indudables efectos beneficiosos, sobre todo en lo que se refiere a la protección de la superficie. Las raíces de las plantas producen un aumento de la resistencia a esfuerzo cortante en la zona de suelo que ocupan, de forma que la resistencia de un suelo con raíces puede llegar a ser del orden de dos veces la del mismo suelo sin ellas. Las raíces de ciertas hierbas pueden llegar a alcanzar profundidades de 0,5 a 0,75 metros, y en algunos casos concretos hasta más de 1,5 metros. En definitiva el efecto de las raíces se puede considerar como una aportación al suelo de una cohesión aparente, de forma que el aumento de la resistencia al corte a que da lugar se traduce en un aumento del coeficiente de seguridad del talud frente a posibles inestabilidades superficiales.

### **1.12 Características ingeniero-geológicas regionales**

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

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

Los potentes horizontes lateríticos de las cortezas reflejan la combinación de estos factores en el territorio, con particularidades en sus propiedades geotécnicas, considerándose en ocasiones suelos especiales. Estos suelos presentan particularidades específicas en cuanto a su densidad seca ( $\gamma_d$ ), composición granulométrica e índice plástico ( $I_p$ ). La densidad seca ( $\gamma_d$ ) se caracteriza en estos suelos por disminuir con respecto a la profundidad, aumentando a su vez el índice de poros ( $e$ ); la composición granulométrica manifiesta una variación con la profundidad similar a la densidad seca, es decir, es gruesa hacia la superficie disminuyendo con la profundidad estableciéndose una relación biunívoca entre la densidad y la composición granulométrica, correspondiendo a los suelos gruesos densidades altas y a los suelos finos densidades más bajas. (Riverón, 1996; Carmenate, 1996).

En el desarrollo de deslizamientos, ejercen una gran influencia las particularidades de las propiedades físico mecánicas de las rocas que forman las laderas y taludes, en su conjunto o algunas capas, intercalaciones, zonas, paquetes de capas, zonas de fallas tectónicas o que forman el relleno de las grietas y planos de debilidad. Son de suma importancia la resistencia de las rocas a la compresión, al cortante, así como las propiedades que caracterizan su tendencia a reducir la

resistencia bajo el efecto de diversos factores con el tiempo. Al respecto es importante tener en cuenta la composición mineral y fábrica de las rocas, su estado físico (humedad, densidad y agrietamiento), susceptibilidad al hinchamiento y a las deformaciones plásticas.

**CAPÍTULO II****VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS Y METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN DE RIESGOS POR DESLIZAMIENTO****Introducción**

En el presente capítulo se describe el volumen de los trabajos realizados, que corresponden con las etapas de la investigación (búsqueda bibliográfica, análisis de la información, trabajos de campo y trabajos de gabinete). Y se explica la metodología utilizada en la evaluación del riesgo por deslizamiento en el sector de estudio, implementando un S.I.G. que sirve de base para la obtención e interpretación de los resultados finales, descritos en el próximo capítulo.

Para el desarrollo de la metodología de estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo (P.V.R.) por deslizamientos de terreno, en este caso el sector Oeste del municipio de Moa, se han seguido las recomendaciones generales de los “lineamientos metodológicos para estudios de P.V.R.” realizados por la AMA (2007), “la guía de estudios de riesgo” realizado por el EMNDC (2005), así como los trabajos desarrollados en Cuba y en el exterior sobre esta temática. Esta guía la confeccionó el grupo de expertos creado para este fin por el Grupo Nacional de Evaluación de Riesgo de la AMA-CITMA. Los estudios de PVR se realizaron de manera compartida por el autor y el grupo de gestión de riesgos del ISMM, y del territorio de Moa.

**2.1. Volumen de los trabajos realizados****2.1.1. Etapas de trabajo:****Búsqueda bibliográfica:**

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

El autor visitó las Instituciones Gubernamentales del Municipio como: Planificación Física, CITMA, Poder Popular, el Fondo Geológico del Departamento de Geología del I.S.M.M. y otros. Donde se

recopilaron varios mapas que sirven de base al desarrollo de las etapas posteriores de la investigación (tabla 2.1).

**Tabla 2.1** Bases cartográficas obtenidas en la búsqueda de información.

Mapas	Fuente información	Escala	Información del Área de estudio
M.D.T.	Defensa Civil, Moa	1:100 000	Ángulo de la pendiente, Dirección de laderas, Altitudes.
Municipio	Defensa Civil, Moa	1: 25 000	Límite del área y Consejos Populares.
Geológico	I.G.P. (2001)	1:100 000	Formaciones geológicas
Topográfico	I.C.G.C. (1985)	1: 25 000	Red fluvial (ríos y arroyos)
Tectónico	Rodríguez, A., 1998.	1: 50 000	Fallas
Pluviométrico	I.N.R.H. (2005)	1: 50 000	Precipitación media anual

Análisis de la información:

Con el objetivo de identificar aquellas zonas que puedan presentar movimientos de masas, el autor se apoyó en trabajos precedentes realizados dentro del sector en estudio y observación del Modelo Digital del Terreno (M.D.T.). Además, se ejecutó un análisis de los mapas topográficos del Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (I.C.G.C.) de 1985 a escala 1: 25 000, y fotos aéreas del municipio Moa realizadas por la Empresa GEOCUBA, La Habana, el 25-7-2007, con 8 líneas de vuelo.

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

### *Interpretación cartográfica:*

1. La presencia de escarpes (líneas de nivel muy cercanas), cambios en la dirección y la presencia de esquemas no - simétricos de estas depresiones.
2. Formas topográficas onduladas en forma de concha, semicirculares donde la longitud y el ancho varían según el mecanismo de desplazamiento de la roca.
3. Líneas discontinuas o cambios de dirección brusca de vías, de canales o cuerpos de agua.
4. Presencia de (Bosques borrachos).

### *Interpretación fotogeológica:*

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

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

### Trabajos de campo:

Se realizaron marchas de reconocimiento en el sector con el objetivo de corroborar las ubicaciones de los deslizamientos y determinar las características de los mismos. Para facilitar la documentación de los movimientos de masas durante los trabajos de campo, se utilizó la planilla de inventario de deslizamientos de terreno para la República de Cuba (Anexo 22), en la cual se incluye: 1. Localización, 2. Clasificación, 3. Daños ocasionados y 4. Otros datos de interés. Como resultado se localizaron 88 movimientos de masas, que serán representados en un mapa de inventario para el Sector Oeste del Municipio Moa.

### Trabajos de gabinete:

En esta etapa se implementó el S.I.G., para dar cumplimiento a la metodología propuesta para la evaluación del riesgo por deslizamiento, luego se interpretaron los resultados obtenidos, lo que dio paso a la confección de un plan de medidas para la gestión del riesgo por la influencia de estos

fenómenos, lo cual será una herramienta para la toma de decisiones por los directivos de la Defensa Civil y el Gobierno.

## 2.2. Metodología de la evaluación de riesgos por deslizamiento

### 2.2.1. Implementación del Sistema de Información Geográfica (S.I.G.):

#### Estructura del proyecto:

El ArcGIS es el S.I.G. utilizado en la presente investigación y toda la información se localiza en un proyecto, el cual está formado por diferentes documentos como vistas, tablas, diagramas o gráficos, y presentaciones. La información integrada en el proyecto se almacena en un archivo con extensión \*.mxd.

*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 2.1).

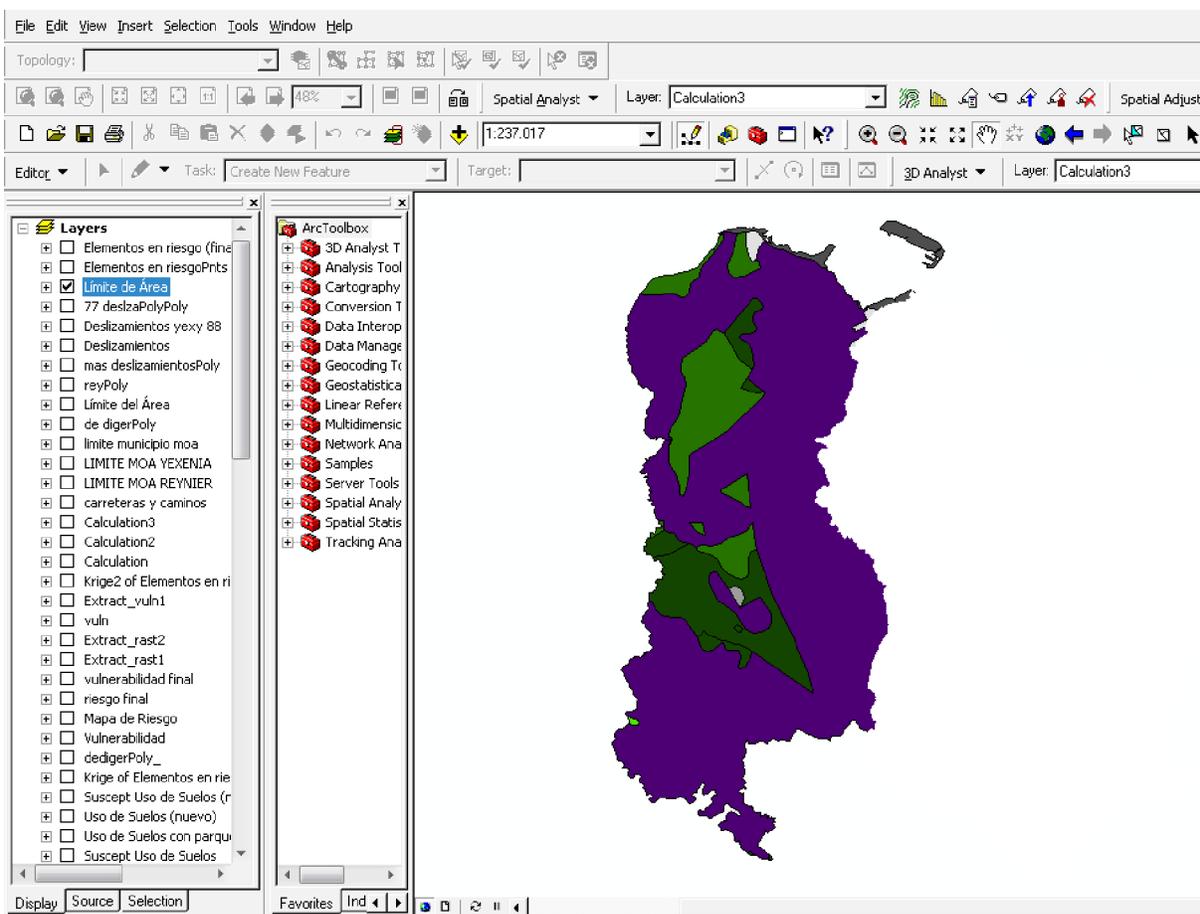


Figura 2.1 Visualización del VIEW de los mapas temáticos.

*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 2.2).

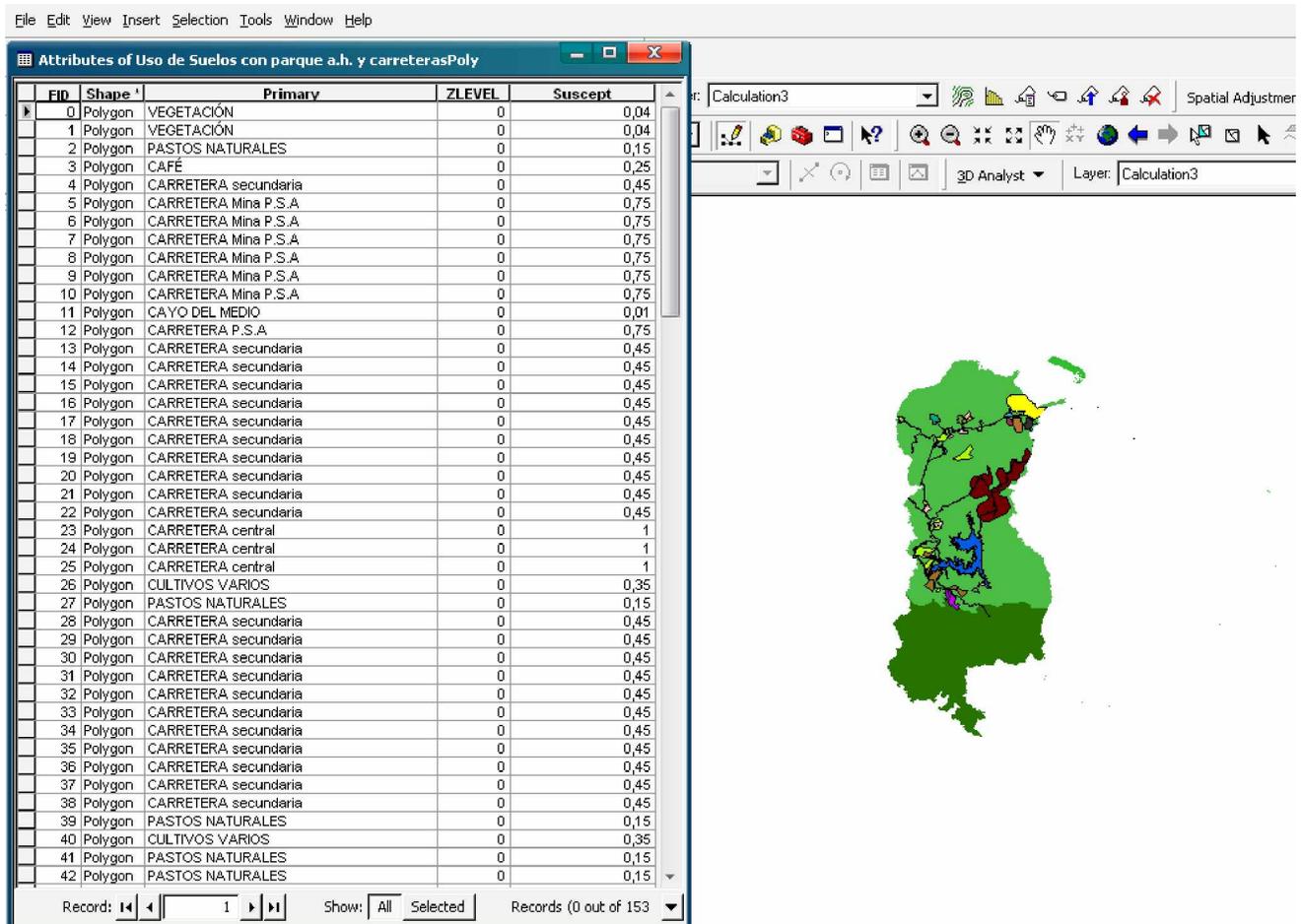


Figura 2.2 Visualización de la tabla de atributos de los mapas temáticos utilizados.

*Diagramas y gráficos:* Se han utilizado los 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 mapas temáticos.

**2.2.2. Descripción de los factores utilizados en el Análisis de Peligrosidad**

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

**Peligro = Factores de susceptibilidad \* Factores disparadores**

Los factores de susceptibilidad son aquellos que forman parte de las propiedades y comportamiento del medio (ej. geología, geomorfometría, etc.). Ellos hacen que la ladera pase de estable a marginalmente estable. Los factores disparadores son aquellos que inducen el movimiento por hacer pasar la ladera de semi-estable a inestable, en este estudio se consideraran solo las lluvias (tabla 2.2). Los factores están relacionados entre sí y cada uno de ellos influye directamente en la formación de deslizamientos, (figura 2.3).

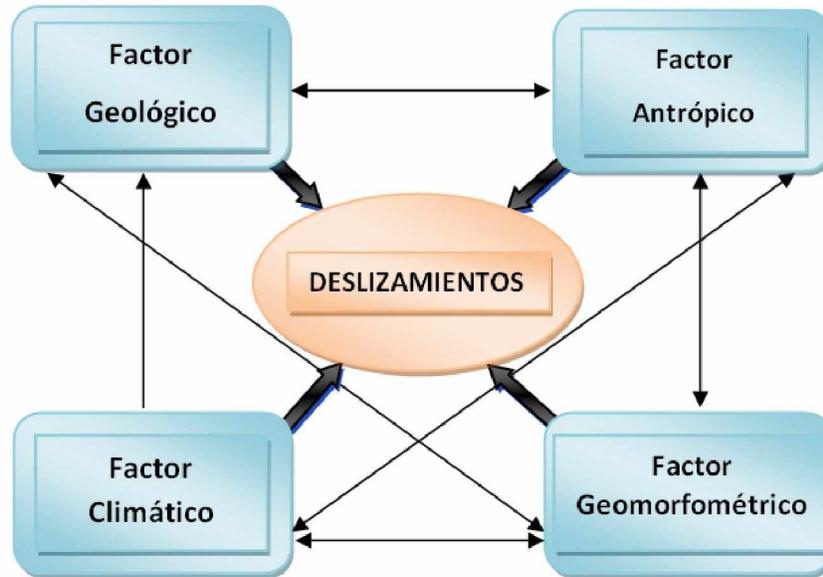
La utilización combinada de los factores de susceptibilidad y disparadores generan un mapa, que indica cuales son los lugares con mayor probabilidad de desarrollo de deslizamientos, a cada uno se le asigna un valor o peso, por su influencia de favorecer o reducir la posibilidad de rotura de los taludes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

Los factores utilizados en el análisis son:

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

**Tabla 2.2** Factores utilizados en el análisis de peligrosidad.

Factores		Peso	Estandarización
Geológicos	Grupos litológicos	0,9	5 clases de peligrosidad
	Distancia a las fallas	0,1	5 cuántiles
Geomorfométricos	Ángulo de la pendiente	0,7	5 cuántiles
	Distancia a la red fluvial	0,2	5 cuántiles
	Orientación de la pendiente	0,1	9 clases por orientación
Antrópicos	Uso de suelos	0,5	5 clases de peligrosidad
	Distancia a la red vial	0,5	5 cuántiles
Climáticos	Precipitación media anual.	1,0	5 cuántiles



**Figura 2.3** Modelo para la valoración de la peligrosidad por deslizamientos.

Factor Geológico:

*Grupos litológicos*

En el análisis litológico, se tuvo en consideración la clasificación propuesta por Mora Castro y Vahrson en 1993, teniendo en cuenta las características geológicas y geotécnicas (tabla 2.3), El área se clasificó en seis grupos litológicos: sedimentos costeros, sedimentos de ríos, carbonatada terrígena, vulcanógena sedimentaria, gabros del complejo ofiolítico, peridotitas y harzburgitas del complejo ofiolítico (Anexo 1).

**Tabla 2.3** Clasificación de los grupos litológicos (modificado de Mora Castro y Vahrson, 1993).

Grupos litológicos	Características geológicas	Características geotécnicas
Sedimentos Costeros	Sedimentos marinos friables: arenas calcáreas con restos de conchas. Muy permeables.	Suelos arenosos calcáreos friables no cohesivos, con granulometría homogénea ninguna meteorización, deformables y resistencia al corte elevado.
Sedimentos de Ríos	Sedimentos aluviales friables de granulometría variable heterogéneas, muy permeables	Suelos areno- gravosos de granos grandes, medianos y finos; granulometría heterogénea, friables, densidad entre 1.67-1.87g/cm <sup>3</sup> y con media resistencia al cortante.

<p>Carbonatada Terrígena</p>	<p>Rocas sedimentarias sin o con muy poca alteración, estratificación maciza (decimétrica o métrica), poco fisuradas, nivel freático bajo. Rocas intrusivas, calizas duras. Aluviones con compactaciones leves, con proporciones considerables de finos, drenaje moderado, nivel freático a profundidades intermedias.</p>	<p>Resistencia al corte mediana, fracturas cizallables.</p>
<p>Vulcanógena Sedimentaria</p>	<p>Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, tobas e ignimbritas, tobas poco consolidadas, drenaje poco desarrollado, niveles freáticos relativamente altos.</p>	<p>Resistencia al corte de moderada a media, fracturación importante.</p>
<p>Gabros del Complejo Ofiolítico</p>	<p>Rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente y con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros.</p>	<p>Resistencia al corte de moderada a baja, con la presencia frecuente a arcillas.</p>
<p>Peridotitas y Harzburgitas del Complejo Ofiolítico</p>	<p>Muy susceptibles a la meteorización (amplio desarrollo de cortezas de intemperismo). Zonas trituradas e intensamente fracturadas con presencia de espejos de fricción y foliación secundaria. Se comportan como rocas acuíferas.</p>	<p>Resistencia al corte baja, materiales blandos con muchos finos.</p>

*Distancia a las fallas*

El análisis de distancia a fallas fue realizado por la interpretación del mapa tectónico del Sector Oeste del municipio Moa (Anexo 2). La información se obtuvo del trabajo realizado por Rodríguez A., 1998 en su tesis doctoral, por alineamientos de los ríos, y a partir de la correlación con el Modelo Digital del Terreno (M.D.T.) del área en estudio a escala 1:100 000. Como resultado se obtuvo un buffer de distancia a fallas, con un espaciamiento de 100 metros, el mapa fue dividido en 5 intervalos (100, 200, 300, 400 y 500 m), (Anexo 3).

### Factor Geomorfométrico:

#### *Ángulo de la pendiente*

Para analizar este factor se utilizó la pendiente del terreno. El mapa se realizó a partir del (M.D.T.) del sector a escala 1: 100 000. Los intervalos de pendiente seleccionados, se tomaron según Kamp et al. (2008). De esta forma se presenta un mapa clasificado en cinco intervalos 0°-15°, 15°-25°, 25°-35°, 35° -45° y >45° (Anexo 4).

#### *Distancia a la red fluvial*

Para analizar este factor se utilizó la red fluvial, en la que se representan los principales ríos del área estudiada, así como sus afluentes secundarios. Según el mapa, la red fluvial es muy densa, hacia el norte y sur, estas son de tipo dendrítica y los ríos principales corren siguiendo las principales direcciones de las fallas. La información se obtuvo mediante la interpretación de cartas topográficas del Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (I.C.G.C.) a escala 1: 25 000 y a partir de la correlación con el M.D.T. a escala 1:100 000, (Anexo 5). Se realizó un análisis de la influencia de la distancia a los ríos y arroyos en la ocurrencia de deslizamientos. Para ello, se confeccionó un buffer de la red fluvial con una distancia de 100 metros y fue dividido en 5 intervalos (100, 200, 300, 400 y 500 m), (Anexo 6).

#### *Orientación de la pendiente*

Para analizar este factor se utilizó la dirección de laderas. El mapa se realizó a partir del M.D.T. a escala 1: 100 000. El mapa se divide en 9 clases para cada dirección y la clase 1 para los pixeles planos. (Anexo 7).

### Factor Antrópico:

#### *Uso de suelos*

El factor de uso de suelos se trabajó a partir de fotos cósmicas y fue enriquecido con bases cartográficas digitales del Sector Oeste municipio Moa (Anexo 8). La información procesada referente al uso de suelo está dividida en 15 clases, estas son: asentamiento poblacional, café, cultivos varios, frutales, presas, pastos naturales, minas, empresas, depósito de cola, granja avícola, porcino, carreteras, cayos, vegetación y parque nacional Alejandro Humboldt.

#### *Distancia a la red vial*

El mapa de red vial se modificó del mapa brindado por la Defensa Civil, Moa. El mismo brinda la información de las carreteras principales y secundarias, así como los caminos de este sector (Anexo 9). Este factor se utilizó mediante el análisis de la distancia de la red vial a la ocurrencia de

deslizamientos. Como resultado se obtuvo un buffer a las carreteras y caminos con un espaciamiento de 100 metros, el mapa fue dividido en 5 intervalos (100, 200, 300, 400 y 500 m), (Anexo 10).

**Factor climático:**

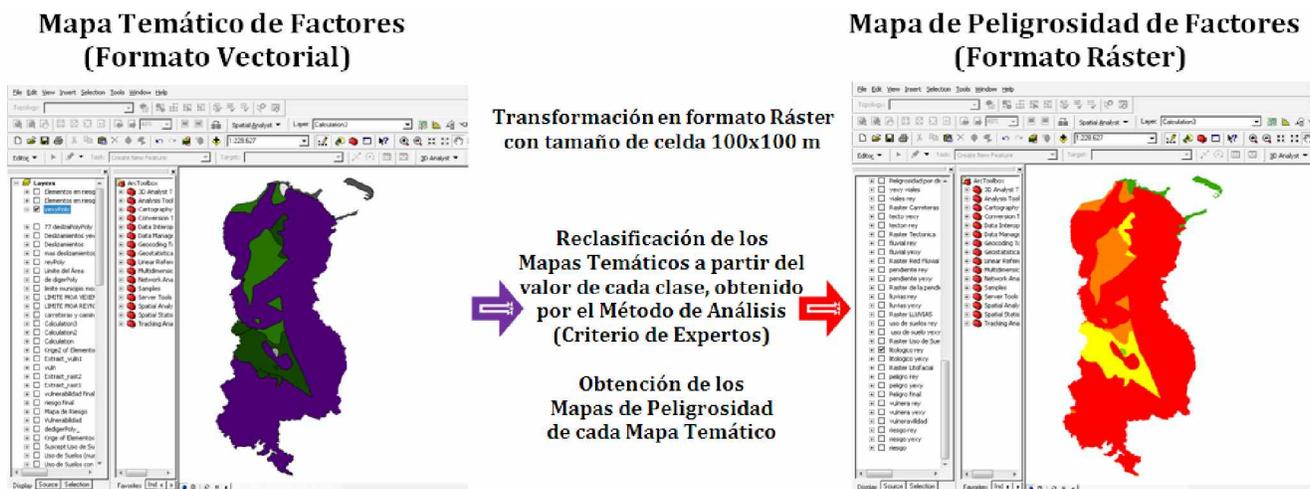
*Precipitación media anual*

En este factor se consideró el periodo de ocurrencia de las lluvias medias anuales. El mapa se confeccionó a partir del mapa pluviométrico realizado por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (I.N.R.H.) en el año 2005 (ANEXO 11). Además, este factor se analiza debido a la influencia que ejerce sobre el macizo al aumentar la presión de poros del mismo y provocar los deslizamientos.

**2.2.3 Valoración de los mapas de factores:**

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

Una vez valoradas todas clases de los indicadores analizados, se procedió a la conversión en formato ráster con tamaño de celda de 100x100 m, y la posterior reclasificación de cada mapa temático (figura 2.4). De esta forma se determinaron las clases de peligrosidad de cada factor para la obtención del mapa final de peligrosidad frente a deslizamientos.



**Figura 2.4** Proceso de rasterización y reclasificación para la obtención de mapas de peligrosidad de factores.

**2.2.4 Análisis de las condiciones de vulnerabilidad:**Mapa de elementos en riesgo:

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

La mayor concentración de estos elementos se aprecia en la parte central y norte del área, con una alineación este a oeste y norte sur fundamentalmente. Los asentamientos poblacionales están distribuidos de forma desigual en mayor o menor medida y en ocasiones forman áreas considerables, como es el caso del Consejo Popular Farallones, que ocupa la mayor extensión del área. El análisis del proceso de inventario permitió identificar las principales afectaciones provocadas por los deslizamientos. En este caso, ninguna vivienda o construcción no residencial, pero si se afectaron considerablemente los viales y áreas mineras, aspectos que se discutirán en el próximo capítulo en el estudio de la vulnerabilidad del sector estudiado.

**2.2.5 Análisis de riesgos por deslizamiento:**

Como se explicó anteriormente, el riesgo no es más que el grado de pérdida esperado debido a un fenómeno natural y se expresa como el producto del peligro por la vulnerabilidad ( $P * V$ ). Mediante la utilización del S.I.G. se combinaron los indicadores de peligrosidad y vulnerabilidad con el objetivo de generar un mapa en el que quede representado el riesgo por deslizamientos. Todo el procedimiento metodológico empleado en la investigación para la obtención final del “Mapa de Riesgos por Deslizamiento del Sector Oeste del municipio Moa”, queda reflejado en la figura 2.5.

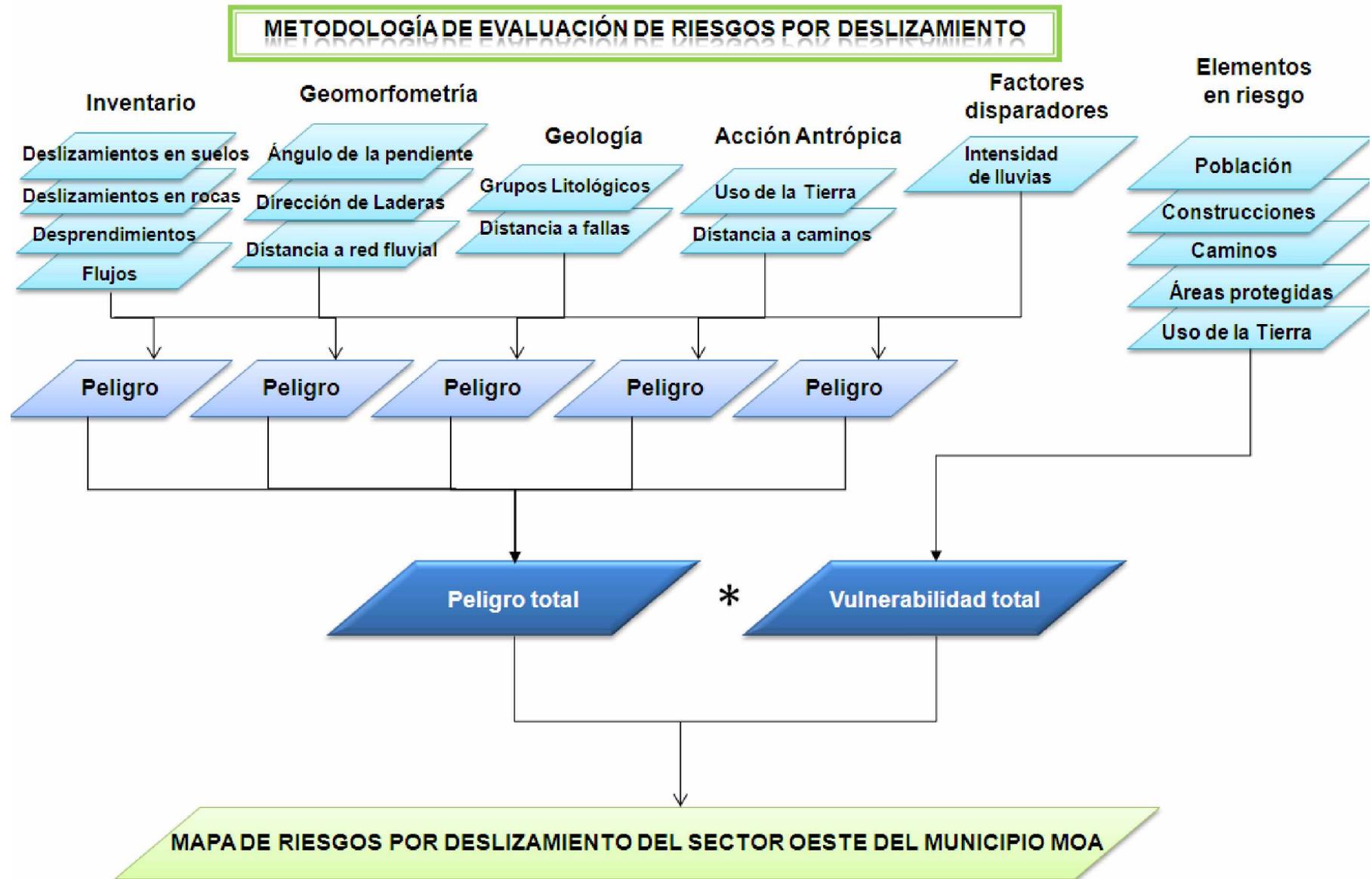


Figura 2.5 Metodología de Evaluación de Riesgos por Deslizamiento del Sector Oeste del municipio Moa.

## **CAPÍTULO III**

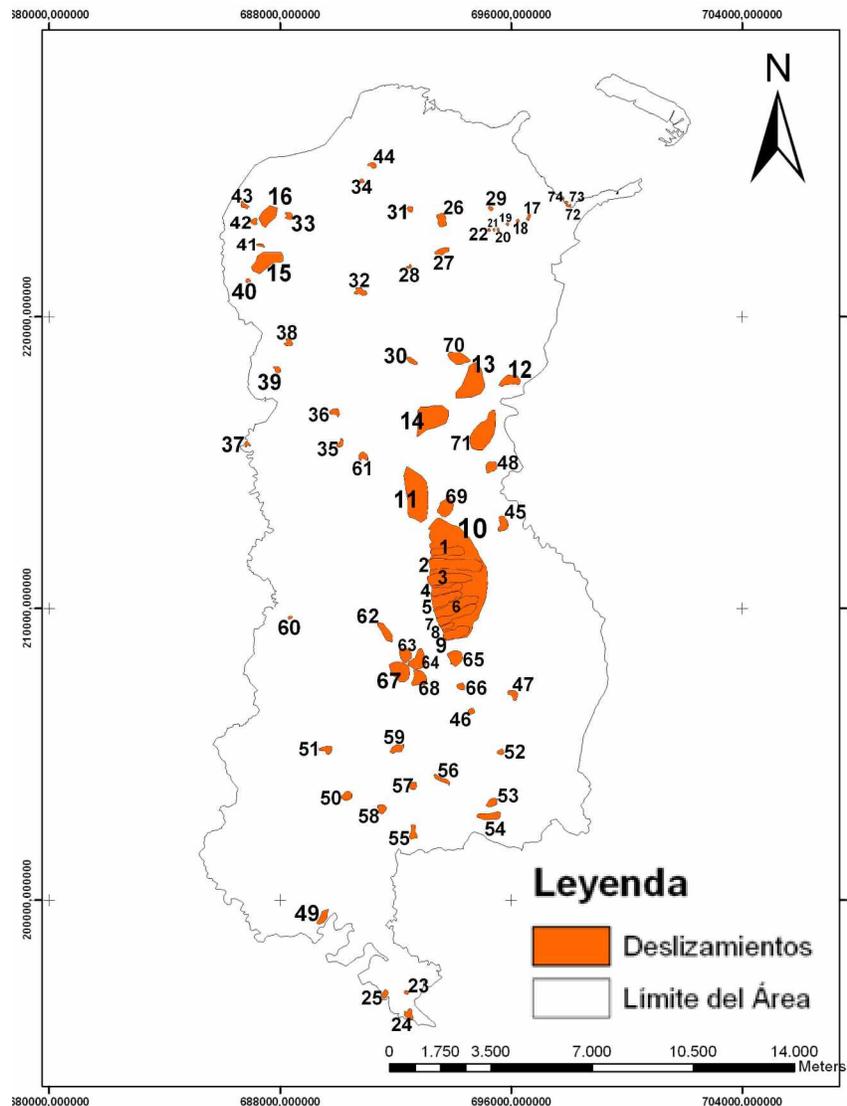
### **EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS POR DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR OESTE DEL MUNICIPIO MOA**

#### **Introducción**

En el presente capítulo se realiza la interpretación de los resultados obtenidos y tiene como objetivo reflejar todos los pasos procedentes de la metodología propuesta en el capítulo anterior, y que fueron empleados en el proceso de la investigación. Primeramente se ofrece la descripción del proceso de inventario de los deslizamientos. También se muestra la interpretación de toda la cartografía obtenida y la obtención del mapa de riesgo por deslizamiento para el Sector Oeste del municipio Moa, con la utilización de un Sistema de Información Geográfica, que resulta la novedad científica de este trabajo. Por último se propone un plan de medidas para la mitigación y gestión del riesgo a nivel de municipio que debe implementarse para disminuir las vulnerabilidades existentes.

#### **3.1 Características de los deslizamientos del Sector Oeste del municipio Moa**

Para determinar las particularidades de los deslizamientos, el autor se basó en las etapas de análisis de la información y trabajos de campo, se consultaron además expertos en la temática. Se ubicaron 74 movimientos de masas en taludes y laderas. La figura 3.1 muestra el mapa de inventario de los deslizamientos del Sector Oeste del municipio Moa. De acuerdo al tamaño del área de estudio (295,91 Km<sup>2</sup>) y la escala del trabajo (1: 100 000), se decidió hacer una caracterización general de estos fenómenos.



**Figura 3.1** Mapa de inventario de los deslizamientos. Escala 1: 100 000.

**3.1.1 Descripción de los movimientos y las tipologías:**

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

Para realizar la descripción de los movimientos y las definiciones de los distintos mecanismos y tipologías, se ha tomado como base los trabajos y las clasificaciones propuestas por Varnes (1978), Lomtadze (1977), y Cruden y Varnes (1996). A continuación se muestra la caracterización ingeniero-geológica de las tipologías y mecanismos de los deslizamientos que tienen lugar en el sector Oeste del municipio de Moa (tabla 3.1).

**Tabla 3.1:** Caracterización ingeniero geológica de la tipología y los mecanismos de los deslizamientos que tienen lugar en el Sector Oeste del municipio Moa.

Tipo de movimiento	Caracterización	Factores que intervienen	Condiciones ingeniero-geológicas	Visualización del fenómeno
<p><b>Desprendimientos</b></p> <p><u>Mecanismos:</u></p> <p><b>Caída de bloques, Desprendimientos periódicos, Desprendimientos en masa, Formación de escarpes y acantilados, Avalanchas.</b></p>	<p>Movimiento rápido, de ruptura y caída sorpresiva de rocas, rocas-suelos desde laderas, y taludes abruptos. Ocurren en rocas intensamente agrietadas, alteradas y muy deterioradas. Los bloques poseen diversos tamaños desde grandes a pequeños. Los lugares más representativos son: Parque Alejandro Humboldt, mina Moa Níquel S.A.</p>	<p>La forma del movimiento está gobernada por la morfología del terreno. Pendientes elevadas &gt;60°. Precipitaciones por encima de los 220 mm. Aumento de la presión de agua en las fisuras y grietas. Sistemas de grietas tectónicas bien definidas en las rocas. Vibraciones por sismo, explosivos, tráfico de vehículos pesados, maquinarias, etc.</p>	<p>Ocurren en laderas de los cauces de ríos y arroyos, en las rocas serpentinizadas y cortezas lateríticas, con superficie de deslizamiento contacto roca/suelo. Las rocas poseen un determinado sistema de grietas, estas son de alta intensidad, poca resistencia y a través ellas se mueven las aguas subterráneas.</p>	 <p><b>Desprendimientos</b></p>

**Deslizamientos  
EN ROCAS**

**Mecanismos:**

**Superficie plana,  
Superficie en cuña.**

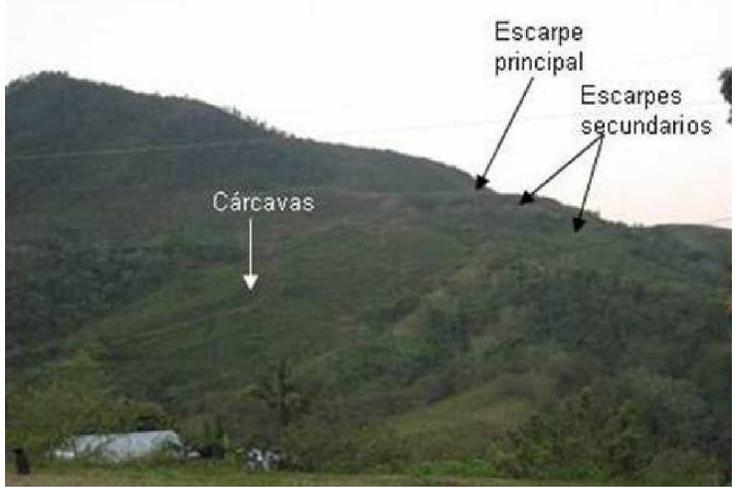
Movimiento de masa de velocidad moderada a través de unas superficies de fallas, planas o de cuñas, que siguen una dirección determinada según los planos de deslizamientos. Ocurren en rocas intensamente agrietadas. Los lugares más representativos son: Farallones, Cerro Miraflores. Se presentan además en las minas de Moa Níquel S.A.

Pendientes entre 20<sup>0</sup>-40<sup>0</sup> fundamentalmente. Con dirección NE, NW y N. Precipitaciones por encima de los 145 y 250 mm. Disminución de la resistencia de las rocas. Aumento de sobrecarga en la cresta de los taludes. Vibración por sismos, voladuras, etc. Cortes al pie de los taludes y laderas.

Se manifiestan en laderas de los cauces de ríos y arroyos y en las rocas serpentizadas, en ella aparecen planos de espejos de fricción bien definidos. Estas rocas poseen un sistema de grietas bien definido: N13E-N42W, NS y WE. La permeabilidad es por grietas.



**Deslizamientos en Rocas**

<p><b>Deslizamientos</b></p> <p><b>EN SUELOS:</b></p> <p><b>Mecanismos:</b></p> <p><b>Rotacional, Traslacional</b></p>	<p>Movimiento de masa de velocidad moderada en superficies de fallas circular, rotacional y traslacional. Se forman grietas de tracción en la cresta. Los desplazamientos son menos anchos que largos.</p> <p>Los lugares más representativos son: Calentura, Presa Nuevo Mundo, Minas de E.C. Moa Níquel S.A.</p>	<p>Pendientes entre 20<sup>o</sup>-40<sup>o</sup>. Las direcciones están en NE, NW, N y EW.</p> <p>Precipitaciones por encima de los 120-220 mm.</p> <p>Aumento de sobrecarga en la cresta de los taludes.</p> <p>Cortes en el pie los taludes y laderas en viales.</p> <p>Vibración por sismos, voladuras, etc.</p>	<p>Suelos areno-arcillosos, arcillas. Formando parte del perfil laterítico.</p> <p>Se manifiestan en laderas y cuencas hidrográficas, Las arcillas poseen una alta plasticidad y capilaridad. Son suelos poco permeables, generan alta carga hídrica. Poca resistencia al corte, alta deformabilidad e inestabilidad. Disminución de la resistencia de los suelos.</p>	 <p><b>Deslizamiento rotacional</b></p>
--	--	--	--	--

<p><b>Flujos</b></p> <p><b>Mecanismos:</b></p> <p><b>Flujo de derrubios y bloques, Coladas de suelos y rocas.</b></p>	<p>La masa en movimiento totalmente dislocada, fluye como un cuerpo viscoso. El límite entre las masas móviles y el terreno en sitio está bien definido. La velocidad con que ocurre el movimiento varía en función de la naturaleza del material transportado y de la topografía y pendientes del terreno. El rango de velocidad va desde un flujo plástico extremadamente lento hasta una colada catastrófica de materiales sueltos compuestos por una mezcla de rocas, árboles y suelos con humedades variables. La gran energía</p>	<p>Pendientes entre Fuertes precipitaciones durante períodos prolongados de lluvia anormalmente, mas de 400mm Fenómenos meteorológicos. Sismicidad: sismos, terremotos, vibraciones, etc.</p>	<p>Se desarrollan en materiales con diversas granulometrías, dispersándose cuando se desarrollan en suelos de granulometrías más gruesas. Posen mecanismo catastrófico, reducción de la fricción interna en pendientes fuertes y disminución de la resistencia al deslizamiento de los materiales sobre el sustrato rocoso. Al llegar a una superficie menos inclinada, hay un aumento repentino de la fricción interna y disipación rápida de la energía cinética y en consecuencias una</p>	 <p><b>Flujos</b></p>
---	---	---	---	--

	<p>cinética desarrollada permite largos recorridos sobre superficies poco inclinadas con formación de conos de eyección que cubren grandes áreas. Los lugares más representativos son: parque Alejandro Humboldt y Presa Nuevo Mundo.</p>		<p>acumulación de la masa al pié de la ladera. No presentan superficie de rotura definida. Para pendientes y topografía abrupta la masa puede desarrollar grandes velocidades y altos niveles de energía cinética. Materiales de alta porosidad. La masa está compuesta por finos mezclados con guijarros y bloques. La ruptura deja en el suelo nichos en forma de "V".</p>	
--	---	--	--	--

### 3.2 Caracterización de los mapas de peligrosidad

#### **Peligrosidad por el factor Geológico:**

##### *Grupos litológicos*

Como se reflejó en la tabla 2.3 del Capítulo II, el análisis litológico del área de estudio se dividió en seis grupos litológicos principales según la clasificación de Mora Castro y Vahrson en 1993. Del análisis realizado a cada uno de los grupos litológicos, y la comparación del plano correspondiente con el inventario de deslizamientos, las más afectadas son las peridotitas y harzburgitas del complejo ofiolítico, debido a que generalmente estas rocas se encuentran muy agrietadas y meteorizadas. Como se representa en la tabla 3.2, los grupos litológicos se clasificaron de acuerdo a la peligrosidad que representan cada uno de ellos en el desarrollo de deslizamientos, y se clasifica en (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja). Las peridotitas y harzburgitas del complejo ofiolítico representan un 77,65% del área total, representando peligrosidad de muy alta; los gabros del complejo ofiolítico representan un 10,01% del área total y se clasifican con peligrosidad alta; la vulcanógena sedimentaria ocupa el 10,18% del área total y la peligrosidad que representan es moderada; el grupo de la carbonatada terrígena es el que representa menor por ciento del área total, con solo 0,16% y peligrosidad baja; los sedimentos costeros y sedimentos de ríos se agruparon dentro del mismo grupo litológico, pues ambos representan una peligrosidad muy baja frente al desarrollo de deslizamientos, representando el 1,99% del área total. (ANEXO 13)

**Tabla 3.2** Caracterización de la peligrosidad por grupos litológicos.

<b>Clases de Peligrosidad</b>	<b>Peso</b>	<b>Grupos Litológicos</b>	<b>No. de Píxel</b>	<b>Por ciento del área total</b>
Muy Alta	0.46	Peridotitas y Harzburgitas del Complejo Ofiolítico.	1 017 719	77,65
Alta	0.26	Gabros del Complejo Ofiolítico.	131 235	10,01
Moderada	0.16	Vulcanógena Sedimentaria.	133 472	10,18
Baja	0,09	Carbonatada Terrígena.	2 085	0,16
Muy baja	0.04	Sedimentos Costeros, Sedimentos de Ríos.	26 107	1,99

*Distancia a las fallas*

Para analizar la influencia del factor distancia a las fallas sobre la peligrosidad del terreno mediante el S.I.G., se aplicó un buffer a partir de las estructuras principales del plano tectónico. La tectónica del área se caracteriza por una elevada complejidad con la presencia de varios sistemas de fallas de gran importancia e influencia en el debilitamiento del macizo estudiado y en la formación de deslizamientos. El buffer se dividió en cinco intervalos de 100 metros de distancia (100, 200, 300, 400 y 500 m) y se clasificó en cinco clases de peligrosidad (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja), tabla 3.3. La peligrosidad muy alta frente al desarrollo de deslizamientos la representa la distancia 100 m, ocupa 14,78% del área total; la distancia a 200 m representa peligrosidad alta, ocupa 14,34% del área total; la clase moderada es a 300 m de distancia y contiene 13,15% del área total; la peligrosidad baja representa la distancia 400 m y contiene 11,48% del área; por último la peligrosidad muy baja correspondiente con la distancia 500 m y es la que ocupa mayor extensión (46,25%) del área total. (ANEXO 14).

**Tabla 3.3** Caracterización de la peligrosidad por distancia a las fallas.

<b>Clases de Peligrosidad</b>	<b>Distancias</b>	<b>No. de Píxel</b>	<b>Por ciento del área total</b>
Muy Alta	100 m	194 210	14,78
Alta	200 m	188 412	14,34
Moderada	300 m	172 824	13,15
Baja	400 m	150 814	11,48
Muy baja	500 m	607 656	46,25

***Peligrosidad por el factor Geomorfométrico:***

*Ángulo de la pendiente:*

La pendiente del terreno es uno de los elementos geomorfológicos más importantes en el análisis del riesgo por deslizamiento. Para el análisis del mapa de pendiente obtenido a partir del procesamiento del modelo digital del terreno (M.D.T.), escala 1: 100 000, se utilizaron 5 clases fundamentales: 0°-15°, 15°-25°, 25°-35°, 35°-45° y >45°. En este mapa se observa que los mayores grados de pendientes se encuentran hacia el sur y parte central del área de estudio, aunque al sureste y al noroeste se encuentran zonas que presentan características similares.

El mapa de pendiente se clasificó en cinco clases de peligrosidad (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja), de acuerdo al peligro que representan frente a los movimientos de masas (tabla 3.4). La clase de peligrosidad muy baja se relaciona con el intervalo de pendiente 0°-15°, y ocupa la mayor extensión, 33,55% del área total. La clase baja se relaciona con pendientes de 15°-25°, y ocupa el

20,29% del área. La clase moderada se relaciona con las pendientes 25°-35°, ocupando el 14,43% del área total. La clase de alta peligrosidad se relaciona con las pendientes de 35°-45° y ocupa el 11,29% del área. La peligrosidad muy alta se relaciona con las mayores pendientes >45°. Ocupando el 18,45% del área total. (Anexo 15).

**Tabla 3.4** Caracterización de la peligrosidad por el ángulo de la pendiente.

Clases de Peligrosidad	Ángulo de inclinación	No. de Píxel	Por ciento del área total
Muy baja	0°-15°	465 124	33,55
Baja	15°-25°	265 460	20,29
Moderada	25°-35°	188 825	14,43
Alta	35°-45°	147 713	11,29
Muy Alta	>45°	241 382	18,45

*Distancia a la red fluvial:*

Para incluir este factor en el S.I.G. y analizar la influencia del mismo sobre el desarrollo de deslizamientos, se aplicó un análisis de distancia, utilizando la herramienta buffer.

El buffer se dividió en cinco intervalos de 100 metros de distancia (100, 200, 300, 400 y 500 m) y se clasificó en cinco clases de peligrosidad (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja), tabla 3.5. La peligrosidad muy alta frente al desarrollo de deslizamientos la representa la distancia 100 m, es la que ocupa mayor extensión (26,2%) del área total; la distancia a 200 m representa peligrosidad alta, ocupa 21,45% del área total; la clase moderada es a 300 m de distancia y contiene 15,64% del área total; la peligrosidad baja representa la distancia 400 m y contiene 10,64% del área; por último la peligrosidad muy baja correspondiente con la distancia 500 m ocupa un 26,07% del área total. (Anexo 16).

**Tabla 3.5** Caracterización de la peligrosidad por la distancia a la red fluvial.

Clases de Peligrosidad	Distancia	No. de Píxel	Por ciento del área total
Muy Alta	100 m	344 226	26,2
Alta	200 m	281 892	21,45
Moderada	300 m	205 534	15,64
Baja	400 m	139 780	10,64
Muy baja	500 m	342 484	26,07

*Dirección de laderas:*

El mapa de peligrosidad por dirección de laderas se clasificó en cinco clases de peligrosidad (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja), de acuerdo al peligro que representan frente a los movimientos de masas (tabla 3.6). Predominan las direcciones hacia el norte (14,47%), noroeste (14,04%) y noreste (14,82%). Dentro de los agentes que influyen en la formación de deslizamientos por la dirección de laderas se incluyen la exposición a la luz del sol, los vientos y las lluvias (Dai et al., 2001). Es por consiguiente razonable asumir que las direcciones de laderas norte, noreste y noroeste son más susceptibles a sufrir deslizamientos detonados por lluvias; considerando que las menos susceptibles son suroeste, sureste y sur, pues permanecen bajo la sombra de lluvia por lo que son zonas más secas. La dirección de laderas del área de estudio se muestra en el ANEXO 17.

**Tabla 3.6** Caracterización de la peligrosidad por dirección de laderas.

Clases de Peligrosidad	Dirección	No. de Píxel	Por ciento del área total
Muy baja	Flat	134 445	10,27
	Sur		
Baja	Sureste	275 857	21,08
	Suroeste		
Moderada	Este	331 162	25,31
	Oeste		
Alta	Noreste	377 632	28,86
	Noroeste		
Muy Alta	Norte	189 408	14,47
	Norte		

***Peligrosidad por el factor Antrópico:***

*Uso de Suelos*

El mapa de uso de suelos se reclasificó en cinco clases de peligrosidad (muy baja, baja, moderada, alta y muy alta), tabla 3.7. La clase de peligrosidad muy baja representa el 28,61% del área total, representada en el área fundamentalmente por el parque nacional Alejandro de Humboldt; mientras que la peligrosidad baja ocupa la mayor extensión del área (59,17%), representada generalmente por la vegetación. La clase moderada contiene el 2,49% del área total, del mismo modo las peligrosidades alta y muy alta ocupan un 1,86 % y 7,87% del área total respectivamente, representadas fundamentalmente por minas, presas, empresas, cultivos y asentamientos poblacionales. (Anexo 18).

**Tabla 3.7** Caracterización de la peligrosidad por el uso de suelos.

Clases	No. de Píxel	Por ciento del área total
Muy Baja	375 601	28,61
Baja	776 760	59,17
Moderada	32 682	2,49
Alta	24 394	1,86
Muy Alta	103 334	7,87

*Distancia a la red vial*

Para analizar este factor, se toma en consideración la influencia que tienen los viales sobre el desarrollo de deslizamientos, pues en ocasiones se construyen carreteras y caminos cortando laderas de altas pendientes y formando taludes abruptos, favorables a la ocurrencia estos movimientos. Para ello se aplicó un análisis de distancia utilizando la herramienta buffer.

El buffer se dividió en cinco intervalos de 100 metros de distancia (100, 200, 300, 400 y 500 m) y se clasificó en cinco clases de peligrosidad (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja), (tabla 3.8). La peligrosidad muy alta frente al desarrollo de deslizamientos la representa la distancia 100 m, ocupa 21,13% del área total; la distancia a 200 m representa peligrosidad alta, ocupa 13,78% del área total; la clase moderada es a 300 m de distancia y contiene 9,77% del área total; la peligrosidad baja representa la distancia 400 m y contiene 6,98% del área; por último la peligrosidad muy baja correspondiente con la distancia 500 m y es la que ocupa mayor extensión (48,35%) del área total. (Anexo 19).

**Tabla 3.8** Caracterización de la peligrosidad por la distancia a la red vial.

Clases de Peligrosidad	Distancia	No. de Píxel	Por ciento del área total
Muy Alta	100 m	277 703	21,13
Alta	200 m	181 084	13,78
Moderada	300 m	128 371	9,77
Baja	400 m	91 727	6,98
Muy baja	500 m	635 628	48,35

***Peligrosidad por el factor Climático:****Precipitación media anual*

De acuerdo al análisis realizado, este factor ejerce gran influencia en el desarrollo de los movimientos de masas, al incidir directamente sobre el medio geológico. El mapa muestra que hacia las zonas noreste, centro y sureste, los valores de lluvia media anual son muy elevados, llegando alcanzar

rangos entre 1600 y mayores de 2150 mm (ver anexo 11). Al correlacionar esta información con el mapa de inventario de deslizamientos, se observa claramente que por encima de estos valores se originaron la mayoría de los deslizamientos reportados. Este factor actúa principalmente provocando una saturación del macizo rocoso, al infiltrarse al agua a través de las grietas y poros va lixiviando el relleno que mantiene unido al material rocoso lo que origina un aumento de la masa del macizo provocando el desprendimiento del mismo a través de zonas de debilidad.

El mapa de peligrosidad por precipitación media anual se divide en cinco clases (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja), (tabla 3.9). La clase de peligrosidad muy baja representa el 7,9% del área total; la peligrosidad baja, representada un 27,66% del área total; la clase moderada ocupa la mayor extensión del área (39,85%); las peligrosidades alta y muy alta ocupan un 16,99% y 7,6% del área total respectivamente. (Anexo 20).

**Tabla 3.9** Caracterización de la peligrosidad por la precipitación media anual.

Clases de Peligrosidad	No. de Píxel	Por ciento del área total
Muy Alta	99 825	7,6
Alta	223 077	16,99
Moderada	523 231	39,85
Baja	363 247	27,66
Muy baja	103 770	7,9

### 3.3 Caracterización del mapa de peligrosidad total

El mapa de peligrosidad por desarrollo de deslizamientos en el Sector Oeste del municipio Moa, se obtuvo a partir de la integración de los mapas de peligrosidad de cada factor condicionante y desencadenante analizado (mapa de grupos litológicos, mapa de ángulo de la pendiente, mapa dirección de laderas, mapa de uso de suelos, mapas de influencia de la red fluvial y red vial, mapa de distancia a fallas y mapa pluviométrico), utilizando el S.I.G., (figura 3.3). El mapa posee un alto valor práctico desde el punto de vista geoambiental, porque delimita las áreas en las que puede existir la mayor probabilidad de ocurrencia de deslizamientos.

Se establecen niveles de peligrosidad a partir del peso asignado a cada factor. Las zonas con peligrosidad de moderada hasta muy alta se localizan hacia la parte central, noreste y sur del área

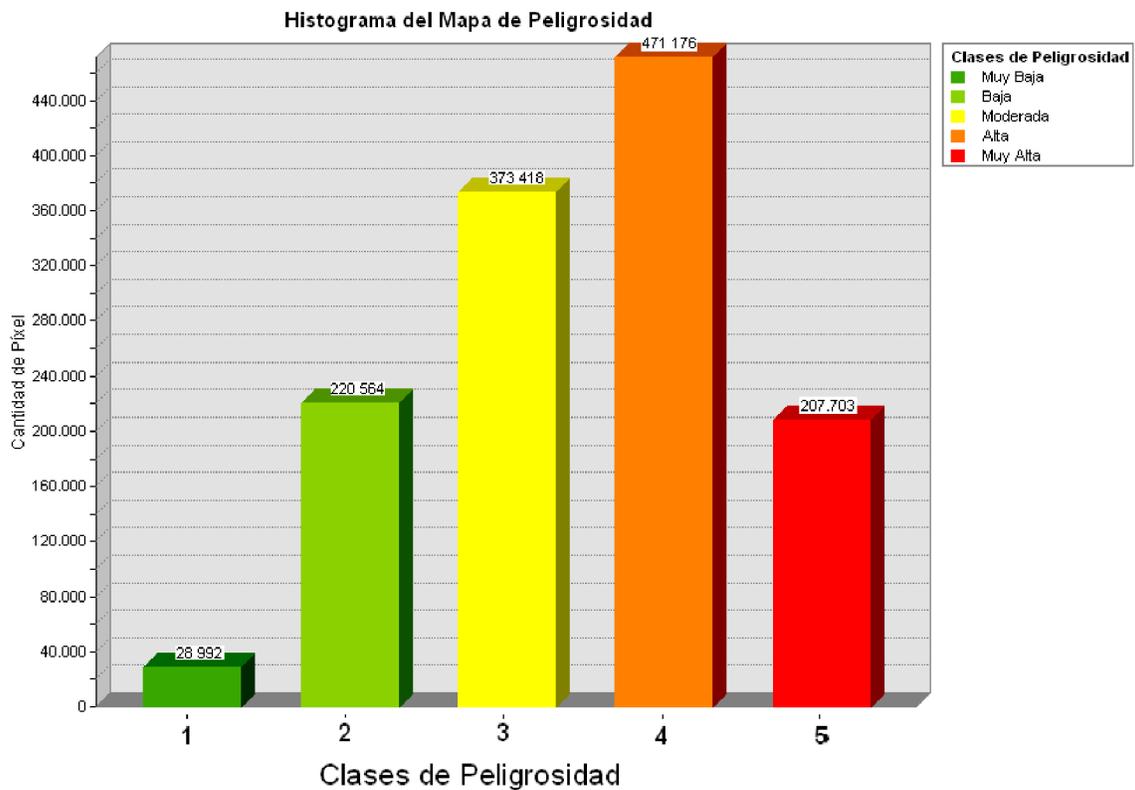
fundamentalmente. Las zonas con peligrosidad alta y muy alta se relacionan generalmente con rocas ultrabásicas serpentinizadas con alto grado de agrietamiento e intemperismo; estas zonas se localizan en laderas de altas pendientes y donde se tienen los mayores valores pluviométricos reportados; además, se relacionan con zonas de fallas, nudos tectónicos o cercanos a causes de ríos.

El uso de suelo es también determinante, pues el manejo minero-productivo genera la aceleración de los agentes exógenos, condicionan los procesos erosivos, y en ocasiones, provocan deslizamientos o inestabilidades de taludes y laderas. Otra de las condicionantes son las intensas lluvias que se manifiestan en el territorio, donde las precipitaciones medias anuales sobrepasan los 1000 mm. Esto genera un aumento, en un corto tiempo, del peso del suelo y de las presiones neutras o de poros, disminuyendo la cohesión y fricción interna de las rocas arcillosas y areno-arcillosas. La tabla 3.10 y la figura 3.2 muestran la caracterización del mapa de peligrosidad en cuanto a cantidad de píxel y porcentaje de área que ocupa.

**Tabla 3.10** Caracterización del mapa de peligrosidad total frente a deslizamientos del sector Oeste del municipio Moa.

Clases de Peligrosidad	Descripción	No. de Píxel	Por ciento del área total
Muy Baja	La peligrosidad es muy baja, es poco probable la ocurrencia de deslizamientos aunque pueden originarse pequeños movimientos fundamentalmente en las laderas de las márgenes de los ríos.	28 992	2,23
Baja	Bajo grado de peligrosidad por deslizamientos. Se pueden manifestar algunos movimientos de pequeñas dimensiones.	220 564	16,94
Moderada	Grado medio de peligrosidad. De acuerdo a la distribución en el mapa de estas zonas se pueden manifestar movimientos de medianas dimensiones provocados por inestabilidad en el macizo rocoso. Son comunes los pequeños desprendimientos.	373 418	28,68

Alta	Peligrosidad alta. El terreno es susceptible a los deslizamientos y a los procesos erosivos intensos. La combinación de indicadores como el uso de suelo, la geología, la pendiente, la hidrografía y la tectónica influyen directamente en las inestabilidades. En estas áreas las lluvias son intensas y este es otro indicador detonante. Los movimientos son de grandes dimensiones y en muchos casos obstruyen las vías de comunicación.	471 176	36,19
Muy Alta	Peligrosidad total. Se pueden generar deslizamientos debido a las condiciones geológicas, geomorfométricas, actividad antrópica e intensas lluvias. No se deben ubicar instalaciones, carreteras y viviendas en estas áreas, porque estarán expuestas a los movimientos.	207 703	15,95



**Figura 3.2** Histograma de frecuencia del mapa de peligrosidad total por deslizamiento del sector Oeste del municipio Moa.

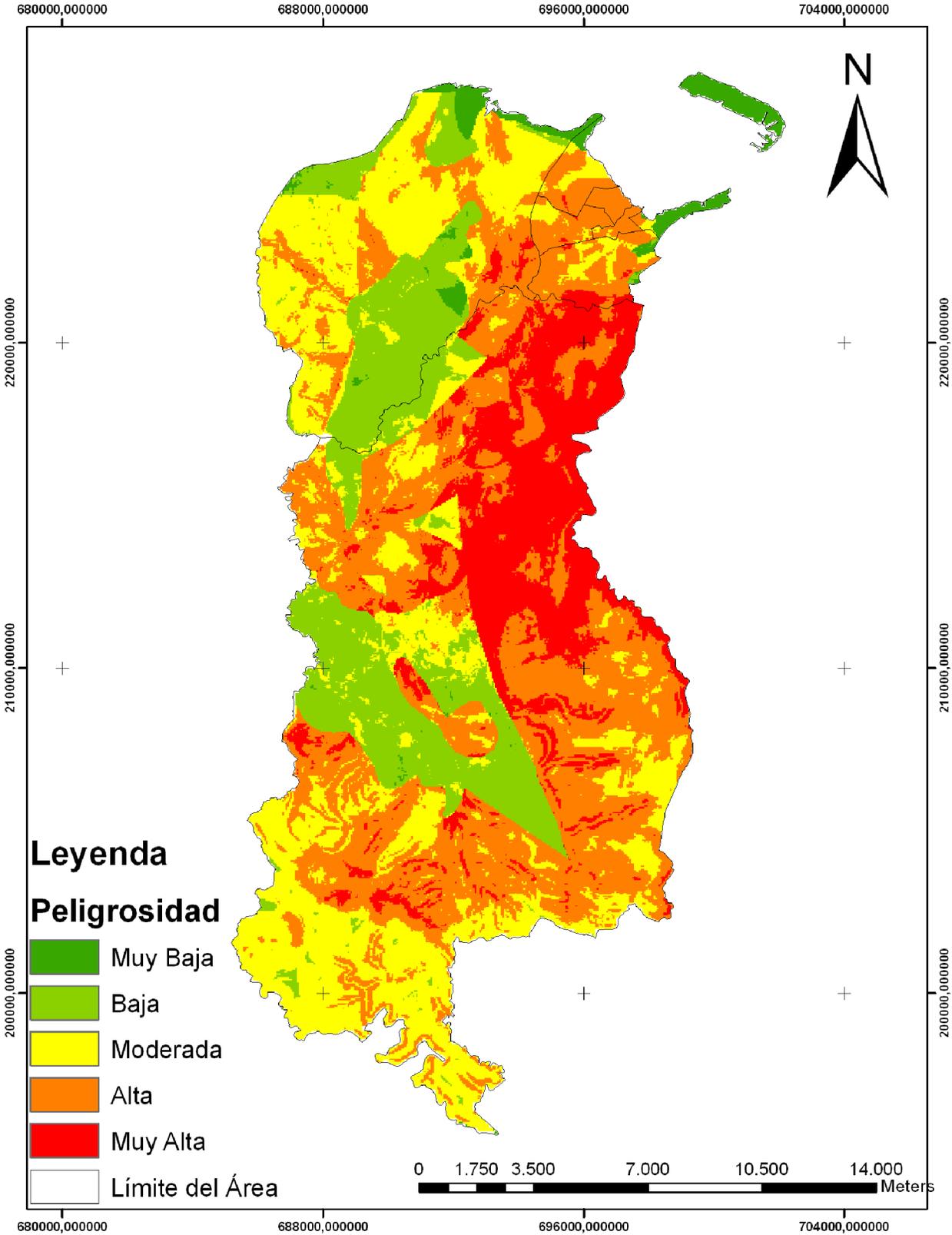


Figura 3.3 Mapa de Peligrosidad Total por Deslizamiento del Sector Oeste del municipio Moa.

Escala 1: 100 000.

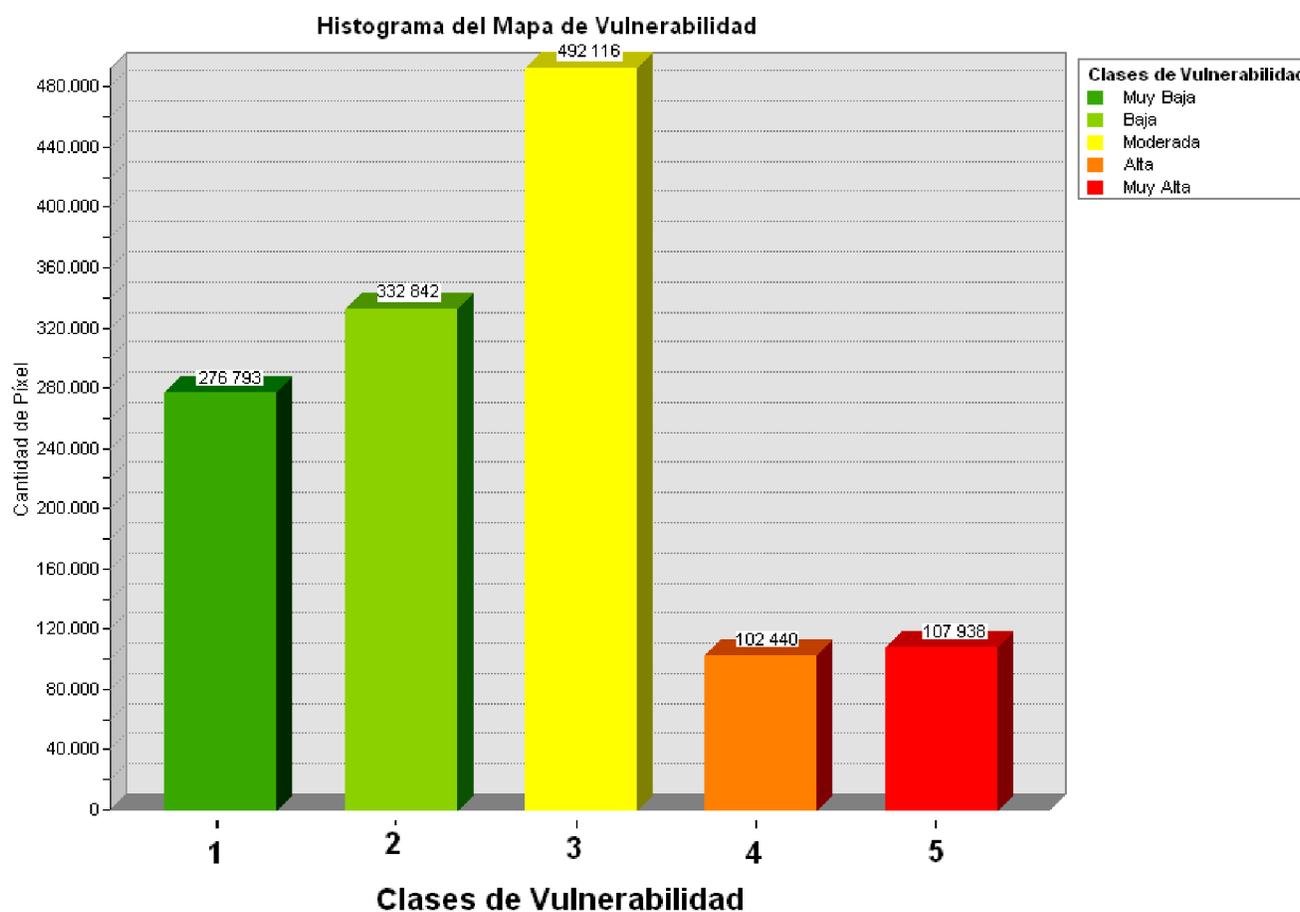
### 3.4 Caracterización del mapa de vulnerabilidad total

El concepto vulnerabilidad es uno de los más tratados en la actualidad, según Varnes (1984) *no es más que el grado de pérdida provocado por la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud determinada sobre un elemento o conjunto de elementos*. Actualmente se trabajan y estudian varios tipos de vulnerabilidad de acuerdo al objetivo que persiga la investigación, por ejemplo; la vulnerabilidad estructural que está referida específicamente a las construcciones y su estado técnico, la vulnerabilidad funcional que no es más que los niveles de respuesta de ciertos servicios vitales como la salud, los servicios básicos (agua, energía etc.), la vulnerabilidad económica, dada por elementos en riesgo como plantaciones, industrias, las actividades mineras y agropecuarias, entre otras, y la social, que está dada por las insuficiente calidad de vida de los pobladores y por consiguiente su desconocimiento con respecto a los niveles de riesgo al que están expuestos.

El mapa de vulnerabilidad por deslizamientos para el sector Oeste del municipio de Moa se realizó a partir del mapa de elementos en riesgos, el mismo se dividió en 5 clases para una mejor interpretación (tabla 3.11 y la figura 3.4). Según nos muestra la figura 3.5, los mayores índices de vulnerabilidad se encuentran hacia la parte central, y de forma aislada hacia el noreste y al noroeste del área, y corresponde al (8,23%) del área total, que afecta sectores de los consejos populares de Farallones y hacia el oeste del consejo popular de Centeno; además hacia el noreste del área. En el mapa la vulnerabilidad alta representa un 7,81% del área total correspondiente con los consejos populares Farallones hacia la parte central y al noreste y pequeños sectores de los consejos populares de la cabecera municipal (Joselillo-Los Mangos y Caribe) fundamentalmente. El mayor por ciento del área total es 37,51 y se corresponde con vulnerabilidad moderada, esta se ubica mayoritariamente al sur del sector de estudio, en el consejo popular Farallones y de forma aislada afecta algunas partes de los demás consejos populares. La vulnerabilidad baja con 25,37% del área total se encuentra distribuida hacia el norte del área. Por último la vulnerabilidad muy baja, representa un 21,09% del total, se encuentra distribuida en los consejos populares de Centeno hacia el norte, y en una pequeña parte del consejo popular de Farallones hacia el este.

**Tabla 3.11** Caracterización de mapa de vulnerabilidad total frente a deslizamientos del sector Oeste del municipio Moa.

Clases de Vulnerabilidad	No. De Píxel	Por ciento área total
Muy baja	276 793	21,09
Baja	332 842	25,37
Moderada	492 116	37,51
Alta	102 440	7,81
Muy Alta	107 938	8,23



**Figura 3.4** Histograma de frecuencia del mapa de vulnerabilidad total frente a deslizamientos del sector Oeste del municipio Moa.

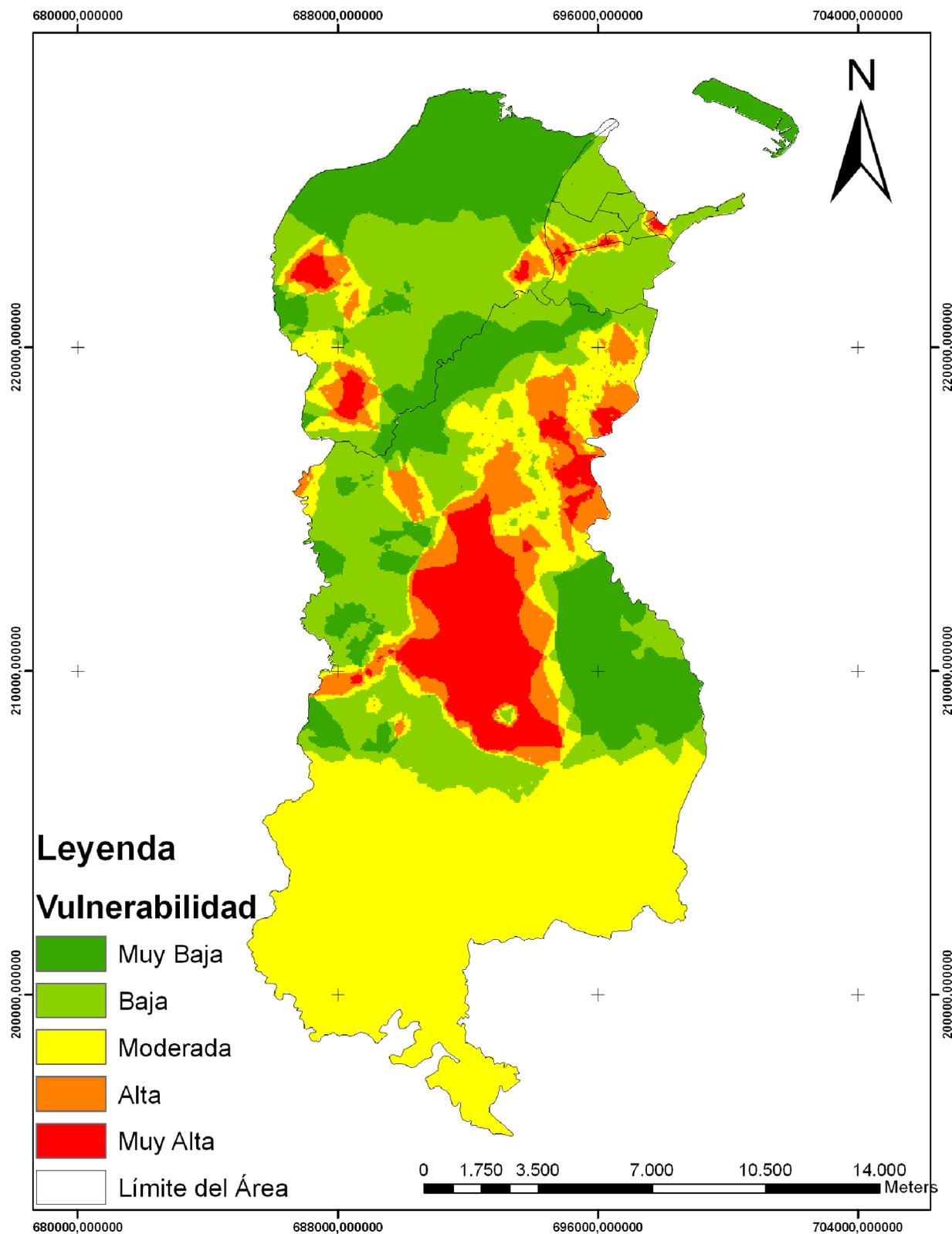


Figura 3.5 Mapa de Vulnerabilidad Total por Deslizamientos del Sector Este del Municipio Moa. Escala 1: 100 000.

### **3.6 Caracterización del mapa de riesgos**

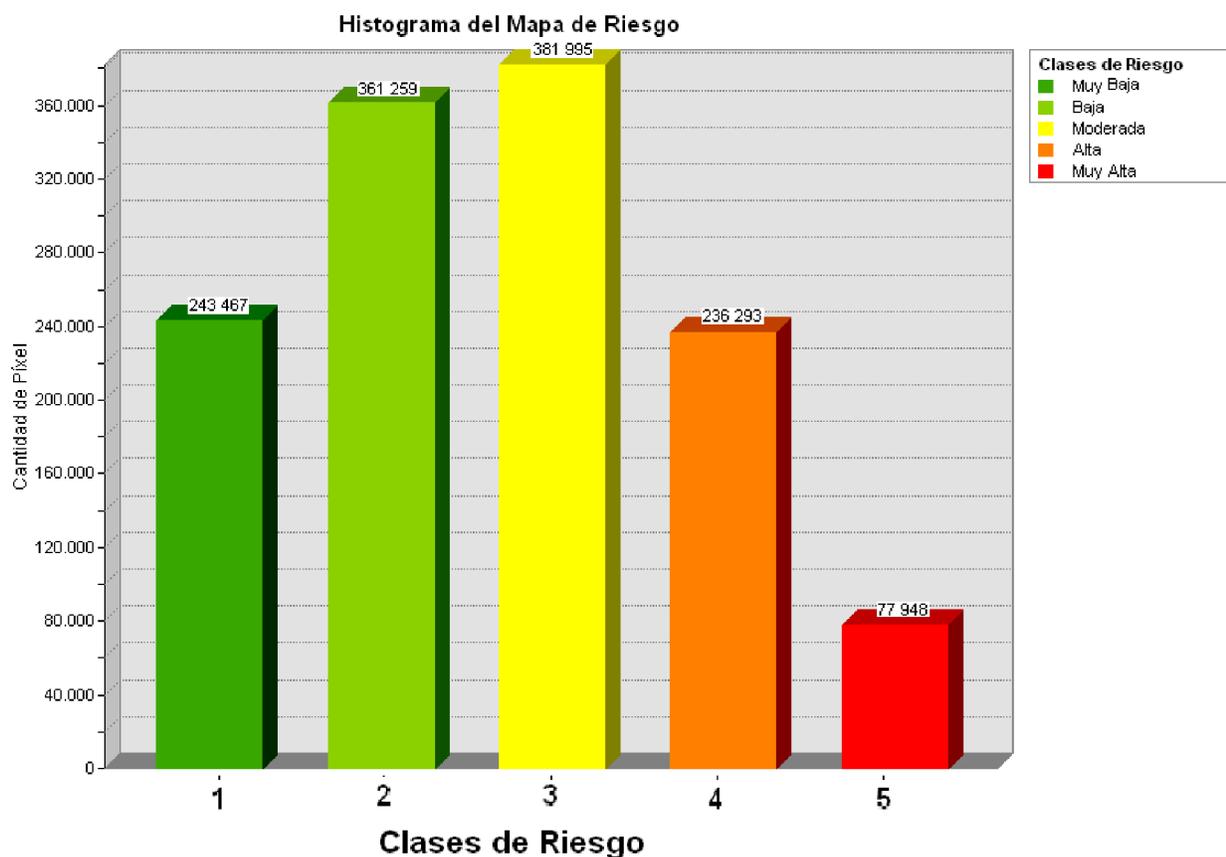
El riesgo se define como un peligro latente asociado con un fenómeno de origen natural o tecnológico, que puede ocurrir en un área en específico y en un momento dado, que produce efectos adversos en las personas, propiedades y/o el ambiente, matemáticamente expresado como la probabilidad de ocurrencia de un desastre en determinado lugar, de cierta intensidad y un cierto período.

El mapa de riesgos representa el proceso de integración por superposición de los mapas de factores y el mapa de vulnerabilidad (figura 3.7). Obtenido a partir del producto del mapa de peligrosidad con el mapa de vulnerabilidad, indicando el estado de riesgo presente en el área de estudio. El mapa de riesgos por deslizamiento para el Sector Oeste del municipio de Moa se divide en 5 clases de riesgo (muy alto, alto, moderado, bajo y muy bajo). La clase de riesgo muy alto ocupa un 5,99% del área total, se corresponde con el consejo popular Farallones hacia la parte centro y noreste, coincidiendo con la presa Nuevo Mundo, el poblado Calentura y parte de la mina de la empresa Pedro Sotto Alba, además se encuentra en el consejo popular de Centeno hacia la parte oeste, predomina en el Cerro de Miraflores. El riesgo es muy elevado en la presa Nuevo Mundo, pues en esa zona las lluvias son muy intensas (+2150 mm) y existe un gran número de deslizamientos, con la activación de algún deslizamiento cercano a la presa, puede provocar una disminución de la capacidad de embalse o puede ocasionar una rotura en la cortina de la presa, lo que provocaría inundaciones en la ciudad de Moa. La clase alta ocupa un 18,16% del total y se encuentra también en el consejo popular Farallones hacia la parte central y al noreste y coincide con la presa Nuevo Mundo y la mina de la empresa Pedro Sotto Alba, así como hacia el sur del área de forma aislada y se corresponde con el parque nacional Alejandro de Humboldt. El riesgo moderado ocupa la mayor extensión en la zona con 29,36%, y se localiza hacia el sur del sector y a la vez se corresponde con el parque nacional Alejandro de Humboldt. La tabla 3.12 y la figura 3.6 muestran la caracterización del mapa de riesgo en cuanto a cantidad de píxel y por ciento de área que ocupa.

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

**Tabla 3. 12** Caracterización de mapa de riesgos frente a deslizamientos del sector Oeste del municipio Moa.

Clases de Riesgo	No. De Píxel	Por ciento área total
Muy baja	243 467	18,71
Baja	361 259	27,77
Moderada	381 995	29,36
Alta	236 293	18,16
Muy Alta	77 948	5,99



**Figura 3. 6** Histograma de frecuencia del mapa de riesgos por deslizamientos del sector Oeste del municipio Moa.

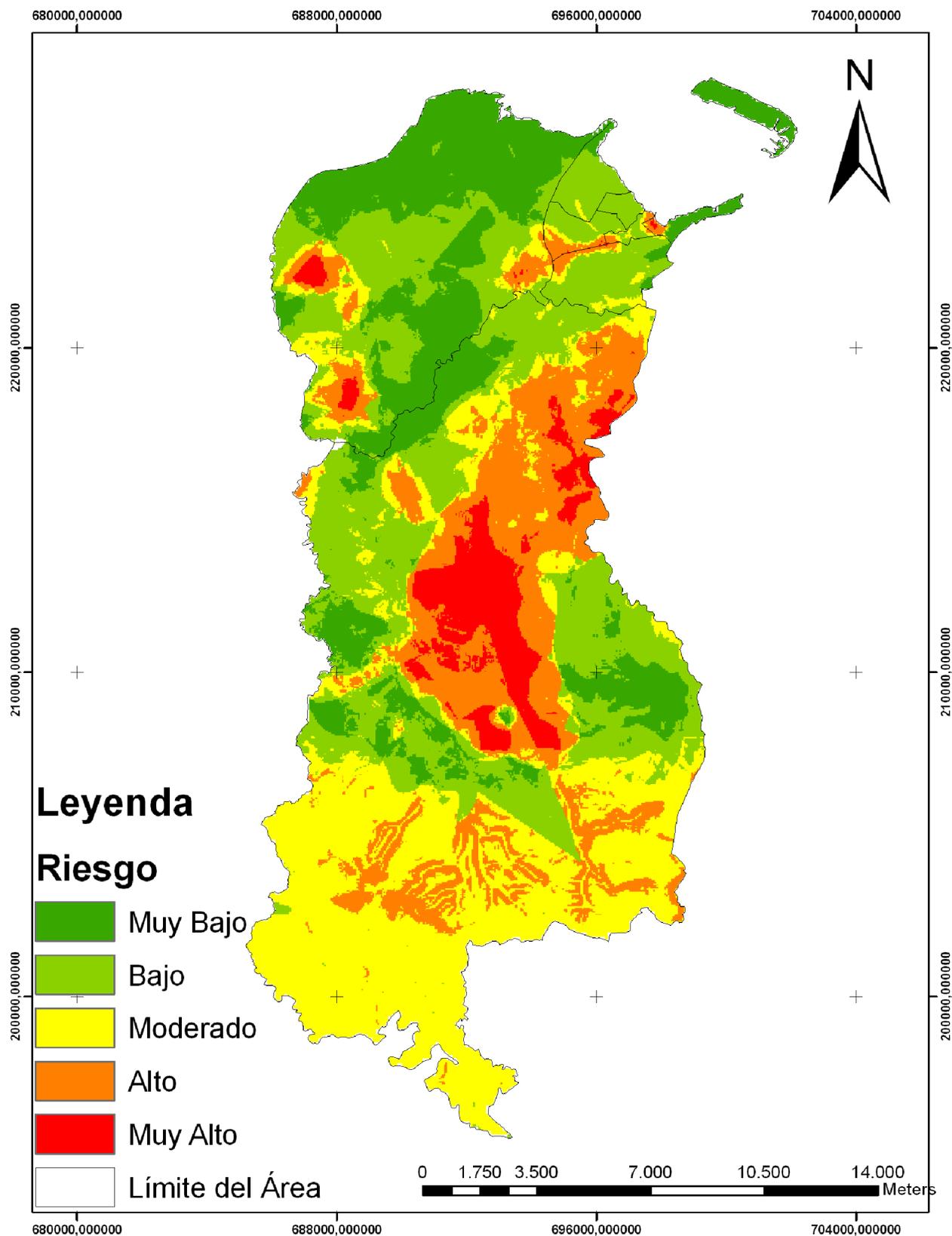


Figura 3.7 Mapa de Riesgos por Deslizamiento del Sector Oeste del Municipio Moa. Escala 1: 100 000.

### **3.7 Propuesta del plan de medidas para mitigar o prevenir los deslizamientos**

Los deslizamientos pueden ser previstos, o sea, se puede conocer previamente, donde, en qué condiciones van a ocurrir y cuál será su magnitud. En tal caso se utiliza principalmente el monitoreo de lluvias.

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

Las medidas que pueden tomarse ante los movimientos de masas pueden dividirse en dos tipos, de acuerdo a los materiales y las distintas vías de procedimientos que se utilicen para mitigarlos.

#### **3.7.1 Medidas no Estructurales**

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

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

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

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

##### 2. Investigaciones:

Estudio de los fenómenos, sus causas, localización espacial, análisis de casos del pasado y posibles consecuencias. Uno de los productos es el Mapa de Peligros o Amenazas donde es determinado el nivel de exposición al deslizamiento, tomando en cuenta, por ejemplo, frecuencia e intensidades de las lluvias. El Mapa de Vulnerabilidad es el instrumento donde se estudia el nivel de daños a la que la

ocupación está sujeta. El Mapa de Riesgo es un producto de Mapa de Peligro y del Mapa de Vulnerabilidad, teniendo como resultado la probabilidad de que ocurra un deslizamiento y la magnitud de las pérdidas materiales y vidas humanas. Las investigaciones deben incluir bases para los Sistemas de Prevención y Gestión de Riesgos (Defensa Civil). Los estudios sobre soluciones de ingeniería, materiales más adecuados, soluciones no estructurales, también deben ser hechos. Por otra parte es preciso realizar las siguientes acciones:

- Ø *Evaluaciones críticas y detalladas del sector realizadas por personal especializado.* Esto comprende inspecciones técnicas y evaluaciones por parte de los expertos. Se requiere en sectores tales como el suministro de agua, energía eléctrica y otros sistemas de “recursos vitales” Una evaluación crítica del sector puede recopilarse de los informes del personal especializado en estos sistemas o de las visitas realizadas por equipos especializados.
- Ø *Entrevistas con informadores claves.* En gobiernos y dentro de grupos particulares de personas afectadas: funcionarios locales, jefes de comunidades locales, y otras.

*Actores:* Sectores del gobierno municipal; Instituto de Planificación Física a nivel municipal, centros de gestión de riesgo en los municipios, vivienda, CITMA, universidades y centro de investigaciones.

### 3. Educación y Capacitación:

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

- Ø Incluir en el programa de educación ambiental acciones relacionadas con el tema de vulnerabilidad y riesgos.
- Ø Capacitar sectores que realizan labores en la montaña así como otros que diseñan o ejecutan obras en estas áreas.
- Ø Difusión de los sistemas para la población por medio de charlas (conferencias), folletos, cartillas.
- Ø Realización de simulacros (ensayos) de evacuación de áreas.
- Ø Capacitación a los responsables en estas temáticas en áreas que se encuentran bajo riesgo por deslizamiento.
- Ø Elaborar proyectos para presentar al Programa de Desarrollo Humano Local (P.D.H.L.) enfocados en estas temáticas.
- Ø Establecer en las áreas de riesgo indicadores con materiales rústicos que permitan monitorear los movimientos de laderas.

*Actores:* Consejos populares, sectores del gobierno municipal, Defensa Civil, MINED, promotores ambientales, centros de gestión de riesgos, universidades y centros de investigaciones.

#### 4. Señalización:

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

*Actores:* Consejos populares, comunales, vialidad, gobiernos municipales.

### **3.7.2 Medidas Estructurales**

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

#### 1. Obras:

Estas obras incluyen los retaludamientos y rellenos, las obras con estructuras de contención y de protección (además del sistema de drenaje que, por su importancia, será tratado separadamente). Los retaludamientos están representados por cortes de taludes y rellenos compactados. Las obras de contención incluyen los muros de gravedad (muros de piedras secas, de piedras argamasadas, de gavión, de concreto armado) cuyas dimensiones hace suponer que el propio peso de la estructura soportará los esfuerzos del macizo que necesita ser estabilizado.

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

#### *Ø Retaludamientos*

Entre las obras de estabilización de taludes los retaludamientos son las más utilizadas, debido a su simplicidad y eficacia. Para cualquier tipo de suelo o roca, en cualquier condición de ocurrencia y bajo la acción de cualquier esfuerzo siempre existirá una condición geométrica de talud que ofrecerá estabilidad al macizo. Este tipo de obra se aplicará para áreas pequeñas, en caso de que las áreas sean grandes se recurrirá a las obras de contención o a las de drenaje.

En realidad un retaludamiento es un proceso de movimiento de tierra, a través del cual se alteran, por cortes, los taludes originalmente existentes en un determinado local.

#### *Ø Obras de Contención*

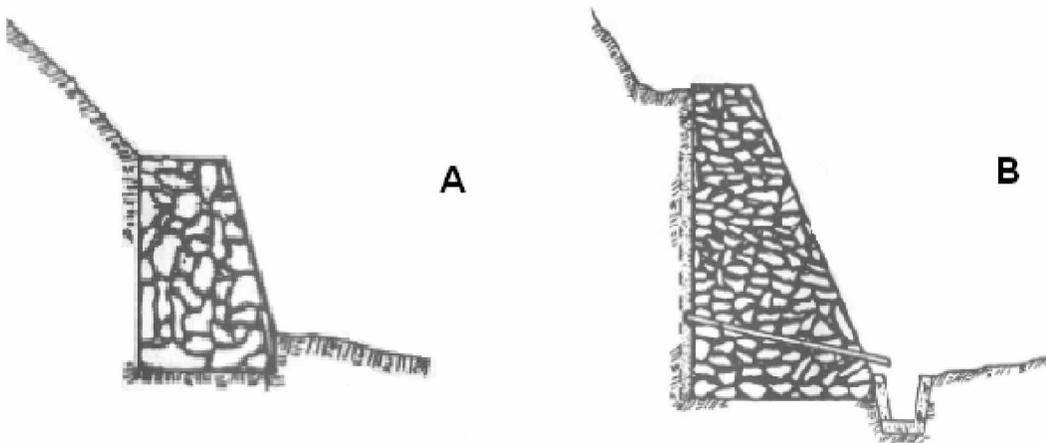
Entre los procesos de estabilización de taludes más difundidos y que más se han desarrollado, están los métodos que utilizan obras de contención para estabilizar taludes. Se entiende por obras de contención, todas aquellas estructuras que una vez implantadas en un talud ofrecen resistencia al movimiento de su ruptura y además refuerzan una parte del macizo de modo que esta parte pueda resistir a los esfuerzos tendentes a la inestabilidad del mismo.

#### Ø Muros de Piedra

Consiste en piedras colocadas manualmente, siendo que su resistencia resulta únicamente del imbricado de esas piedras. Este tipo de muro necesita de bloques de dimensiones regulares para su estabilidad lo que acarrea disminución del roce entre esas piedras. Se recomienda su uso para la contención de taludes de pequeña altura (aproximadamente uno y medio metros). Presenta las siguientes ventajas: facilidad de construcción (pues no requiere mano de obra especializada), bajo costo y capacidad autodrenante, evitando así la acción de presiones neutras contra el muro. (Figura 3.8 A).

#### Ø Muros de Piedra Argamasada

Obra semejante a un muro de piedra seca, los vacíos son rellenados con argamasa de cemento y arena. Un arreglo de piedras de dimensiones variadas, así como su unión, confiere mayor rigidez al muro, posibilitando su uso en la contención de taludes con alturas hasta tres metros. Debido a su relativa impermeabilidad debe implantarse drenaje. (Figura 3.8 B).



**Figura 3.8** Muros de Gravedad. **A)** De piedra seca y **B)** De piedra argamasada.

#### Ø Muros de Concreto

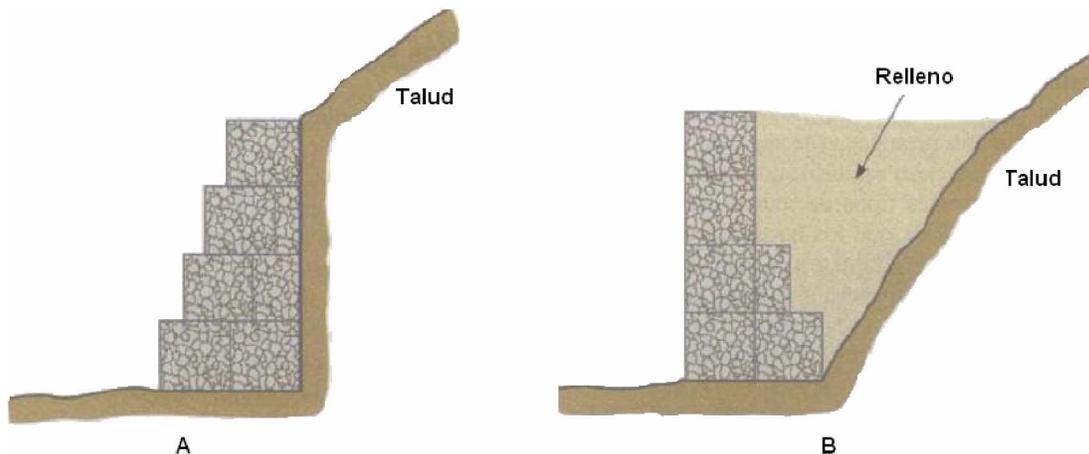
Tipo de estructura constituida de concreto y agregados de grandes dimensiones, su ejecución consiste en un procedimiento con concreto y bloques de roca de dimensiones variadas. Puede ser usado en la contención de taludes con alturas superiores a tres metros. (Figura 3.9)



**Figura 3.9** Muros de Gravedad de Concreto.

Ø *Muros de Gaviones*

Los muros de gaviones son muros flexibles que consisten en rellenos de fragmentos rocosos o escollera contenidos en una malla de acero, trabajan por gravedad y pueden ser construidos con escalonamiento hacia el exterior o el interior del talud (figura 3.10 A y B). Tienen la ventaja de permitir la circulación de agua procedente del talud.



**Figura 3.10** Muros de gaviones escalonados. A) Escalonado sin relleno y B) Escalonado con relleno entre el muro y el talud.

2. Drenaje:

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

una de las más importantes medidas complementarias. Existen varios tipos de obras de drenaje. El drenaje superficial puede utilizar zanjas revestidas, canaletas moldeadas in situ, canaletas pre-moldeadas, guías y alcantarillas, tubos de concreto, escaleras de agua, cajas de disipación, cajas de transición. El drenaje de las aguas subterráneas utiliza las trincheras drenantes y los desagües profundos. Todos estos tipos de obras de drenaje deben ser debidamente dimensionadas en función de la cantidad de agua que debe conducir.

#### *Ø Drenaje Superficial*

Con el drenaje superficial se pretende realizar la captación del escurrimiento de las aguas superficiales a través de canaletas y conducir las para el lugar conveniente. A través del drenaje superficial se evitan fenómenos de erosión en la superficie de los taludes y se reduce la infiltración del agua en los macizos, resultando una disminución de los efectos dañinos de la saturación del suelo sobre su resistencia. La ejecución de obras de drenaje superficial en caso de estabilización de taludes naturales o de cortes, representa elevada relación beneficio-costos, pues con las inversiones reducidas, se consiguen excelentes resultados y en muchos casos, basta la realización de estas obras y su asociación con medidas de protección superficial para una completa estabilización de los taludes.

#### 3. Protección de superficie:

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

## CONCLUSIONES

1. El sector Oeste del municipio de Moa se caracteriza por una alta complejidad geológica y tectónica, por la presencia de varios grupos litológicos, diferenciados por su composición litológica y características físico-mecánicas. De acuerdo con sus comportamientos frente a los movimientos de masas, existen litologías más inestables, en este caso las rocas del complejo ofiolítico (gabros, harzburgitas y peridotitas), las cuales se presentan como escamas tectónicas muy fracturadas y representan una peligrosidad muy alta por deslizamientos.
2. Se realizó una caracterización ingeniero-geológica de la tipología y los mecanismos de los deslizamientos que tienen lugar en el sector Oeste del municipio de Moa, las tipologías predominantes de estos movimientos son deslizamientos en rocas y suelos, desprendimientos y flujos, cada uno de ellos asociado a un mecanismo de formación.
3. Se determinaron los factores geológicos, geomorfométricos, antrópicos y climáticos, como los causales y detonantes de los deslizamientos, los que se combinaron para la obtención del mapa de peligrosidad por deslizamiento, dividido en cinco clases, donde la mayor influencia estuvo dada por el factor geológico y climático, este último como factor desencadenante de los movimientos de masas.
4. A partir de la confección del mapa de elementos en riesgos, se elaboró el mapa de vulnerabilidad por la ocurrencia de deslizamientos, donde los elementos más vulnerables estuvieron relacionados con las áreas de asentamiento poblacional, minas, presas, así como las vías de comunicación (carreteras y caminos).
5. La utilización de la guía metodológica cubana para los estudios de P.V.R. por deslizamientos del terreno, conjuntamente con el método de análisis criterio de expertos y las técnicas del S.I.G., han permitido la obtención del mapa de riesgos por deslizamiento del sector Oeste del municipio Moa, dividido en cinco clases de riesgo: muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto.
6. Se realizó por primera vez una "Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector Oeste del municipio de Moa". La Presa Nuevo Mundo y la mina de la Empresa Pedro Sotto Alba, parte sur del parque nacional Alejandro de Humboldt, la carretera Holguín - Moa en el tramo de Centeno y el Cerro Miraflores, se corresponden con los riesgos más altos. Los consejos populares más afectados son Farallones y Centeno respectivamente.

## **RECOMENDACIONES**

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

## BIBLIOGRAFÍA

1. Alfonso-Roche, J. R., 1989. "Estadísticas en las ciencias geológicas", 2 t., Ed. ISPJAE, Ciudad de La Habana.
2. 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>.
3. Almaguer, Y. 2005. "Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento Punta Gorda". Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Dpto. Geología. (Tesis doctoral) 108p.
4. Almaguer, Y. y R. Guardado. 2006. "Tipología de movimientos de masas en cortezas lateríticas residuales del territorio de Moa". Cuba. Minería y Geología. Vol. 1No. 1. ISSN 0258 5979.
5. 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.
6. Batista, J.L. 1987. "Densidad de la red fluvial de Cuba". Ciencia de la Tierra y el Espacio, 13, 35-38.
7. Batista, Y., 2009. "Evaluación del riesgo por deslizamiento del municipio Bartolomé Masó. Provincia Granma". Tesis de Maestría. Dpto. Geología. ISMM. Moa. 97 p.
8. Bosi, C., 1984. "Considerazioni e proposte metodologiche sulla elaborazione di carte di stabilita". Geol. Appl. Ed Idrogeol. 13, 246-281.
9. Bosque, J. 1992. "Sistemas de información geográfica". Madrid, Ediciones Rialp, 451 p.
10. Brabb, E. E.; E.H. Pampeyan y M. G. Bonilla., 1972. "Landslide susceptibility in San Mateo Country, California". US Geol. Surv. Misc. Field Studies Map MF 360 scale 1:62.500. caused by rainfall. Proc. Int. Symp. Erosion, Debris Flows and Disaster Prevention. Tsukuba, Japan. 347-350 p.
11. Brabb, E.E., Pampeyan, E.H., Bonilla, M.G., 1978. "Landslide susceptibility in San Mateo County, California". US Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map, MF-360, Map at 1: 62,500 scale. Tomado de "Cees J. van Westen, Enrique Castellanos, Sekhar L. Kuriakose. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands. Engineering Geology 102 (2008) 112–131p".
12. Brabb, E.E. y Harrod, B.L., 1989. "Landslides: extent and economic significance". Balkema, Rotterdam. 385 p.

13. Bracken, y Webster. 1990. "Information technology in Geography and planning. Including principles of G.I.S.". London: Routledge. 444 p.
14. Brass, A.; G. Wadge y A.J Reading, 1989. "Designing a Geographical Information System for the prediction of landsliding potential in the West Indies". Economic Geology and Geotechnics of Active Tectonic Regions. University College, London, 3-7 April. 13 p.
15. Burrough, P.A. 1988. "Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment". Oxford, Oxford University press. 194 p.
16. Campus, S.; Forlati, F. y Scavia, C., 2000. "Preliminary Study for Landslide Hazard Assessment: GIS Techniques and a Multivariate Statistical Approach". A.E. Bromhead, N. and M.L. Ibsen (Eds): Landslides in research, theory and practice. Tomas Telford. London. 2, 621-626 p.
17. Carmenate, J. A. 1996. "Evaluación de las condiciones ingeniero-geológicas para la zonificación de los fenómenos geológicos en áreas urbanas y suburbanas de la ciudad de Moa". Tesis de maestría. Departamento de geología, ISMM. 108 p.
18. Carmenate M. y Riverón A. B, 1999. "Zonificación de los fenómenos geológicos que generan peligros y riesgos en la ciudad de Moa". Geología y Minería, Cuba, Vol. XVI (No. 2, p: 21 - 31).
19. Carrara, A., Carratelli, E.P., Merenda, L., 1977. Computer-based data bank and statistical analysis of slope instability phenomena. Zeitschrift für eomorphologie 21, 187–222. Tomado de "Cees J. van Westen, Enrique Castellanos, Sekhar L. Kuriakose. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands. Engineering Geology 102 (2008) 112–131p".
20. Carrara, A., 1983 a. "Multivariate models for landslide hazard evaluation". Math. Geology. 15, 403-426 p.
21. Carrara, A., 1983 b. "Geomathematical assessment of regional landslide hazard". 4th Int. Conf. Applic. Stat. Porbabil. In Soil and Estruct. Eng. Firenze. 3-27 p.
22. Carrara, A.; Cardinali, M.; Detti, R.; Guzzetti, F.; Pasqui, V. y Reichenbach, P., 1991. "GIS techniques and statistical models in evaluating landside hazard". Earth Surf. Proc. And Landforms. 16(5), 427-445 p.
23. Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P., 1995. "GIS-based techniques for mapping landslide hazard". In: Carrara, A., Guzzetti, F. (Eds.), "Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards". Kluwer Academic Publications,. s.l. : Dordrecht, The Netherlands, pp. 135–176.
24. Carrara, A., Guzzetti, F., Cardinali,M., Reichenbach, P., 1999. "Use of GIS technology in the prediction and monitorino of landslide hazard". Natural Hazards 20, 117–135.

25. Castellanos E., 2005. "Processing SRTM DEM data for national landslide hazard assessment". VI Congreso de Geología y Minería. Simposio de sismicidad y riesgos geológicos. 12 p.
26. Castellanos, E., et al., Versión 3-Abril 2009. "Guía metodológica para el estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo por deslizamientos de terreno a nivel municipal". Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Agencia de Medio Ambiente. Grupo Nacional de Evaluación de Riesgo. Cuba.
27. Cebrián, J.A. y Mark, D. 1986. "Sistemas de Información Geográfica. Funciones y estructuras de datos". Estudios Geográficos. (188), 277-299 p.
28. Cees J. van Westen, Enrique Castellanos, Sekhar L. Kuriakose. (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands. Engineering Geology 102, 112–131p".
29. Chejovich, Adamovich A. & V.D., 1963. "Estructuras geológicas y minerales útiles de la región Nipe - Cristal, provincia de Oriente".
30. Chiu, J., 1996. "Influencia sobre el Medio Ambiente de la actividad minera en el Yacimiento de la planta Las Camariocas". Trabajo de Diploma. Ingeniera en minas. Moa. ISMM.
31. Chung, C.F., y A. G. Fabbri., 1993. "The representation of geoscience information for data integration". Nonrenewable Resources, V. 2:2, 122-139 p.
32. Chung, C.F. y Y. Leclerc., 1994. "A quantitative technique for zoning landslide hazard". En: Int. Ass. Math. Geol. Annual Conf., Mont Tremblant, Quebec, Canada. 3-5, 87-93 p.
33. 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.
34. 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.
35. Corominas J. y García, A., 1997: "Terminología de los movimientos de laderas (conferencia)". IV Simp. Nac. Sobre taludes y laderas inestables, Granada. Vol (2): 320-329.
36. Cotilla, M.O.; H.J. Franzke y D. Cordoba. 2007. Seismicity and seismoactive faults of Cuba. Russian Geology and Geophysic. 48: 505–522.
37. Crozier, M.J. 1986. Landslides. Causes, consequences & environment. Ed. Routledge. London & New York. 252 p.
38. Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996. Landslide types and processes. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), Landslides, Investigation and Mitigation. Transportation Research Board, Special Report 247, Washington D.C., USA, pp. 36–75.

39. Dai, F.C., Lee, C.F., Xu, Z.W., 2001. Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental Geology* 40 (3), 381–391.
40. Dhakal, S.; Amada, T. y Aniya, M., 2000. "Databases and Geographic Information Systems for Medium Scale Landslide Hazard Evaluation: an Example from Typical Mountain Watershed in Nepal". s.l. : En: A.E. Bromhead, N. Dixon and M.L. Ibsen (Eds): *Landslides in research, theory and practice*. Tomas Telford. London. 1, 457-462 p.
41. Domínguez, L., 2005. Potencial geológico-Geomorfológico de la región de Moa para la propuesta de un modelo de gestión de los sitios de interés patrimonial. (Tesis de Maestría). Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa.
42. Fonseca, E., Zelepugin, V.N y Heredia, M., 1985. Structure features of the ophiolite association of Cuba. *Geotectonic*. 19(4):321-329.
43. Gaston Armel, E.1996. Estudio de los impactos medioambientales en el Municipio de Moa. Trabajo de Diploma. 1996.p.40-56.
44. Glade, T., Crozier, M.J., 1996. Towards a national landslide information base for New Zealand. *New Zealand Geographer* 52 (1), 29–40.
45. Glade, T., 2001. Landslide hazard assessment and historical landslide data—an inseparable couple? In: Glade, T., Albini, P., Frances, F. (Eds.), *The Use of Historical Data in Natural Hazards Assessment (Advances in Natural and Technological Hazard. Research)*. Kluwer Academic Publications, Dordrecht, The Netherlands, pp. 153–168. Tomado de "Cees J. van Westen, Enrique Castellanos, Sekhar L. Kuriakose. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands. *Engineering Geology* 102 (2008) 112–131p".
46. Glade, T., 2003. Landslide occurrence as a response to land use change: a review of evidence from New Zealand. *CATENA* 51 (3–4), 297–314.
47. Glade, T., Crozier, M.J., 2005. A review of scale dependency in landslide hazard and risk analysis. In: Glade, T., Anderson, M., Crozier, M.J. (Eds.), *Landslide Hazard and Risk*. Tomado de "Cees J. van Westen, Enrique Castellanos, Sekhar L. Kuriakose. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands. *Engineering Geology* 102 (2008) 112–131p".
48. González de Vallejo, L. I., 2002. "Investigaciones in situ en Ingeniería Geológica". ISBN: 84-205-3104-9. Pearson Educación, Madrid. 715 Págs.

49. Guardado, R., Kempena, A., Martines, A., 2000. "Cartografía y evaluación del impacto geoambiental a través de un sistema de información geográfica". Cuba, REVISTA MINERÍA Y GEOLOGÍA, XVII (3-4).
50. Guardado R. y Almaguer, Y., 2001: "Evaluación de riegos por deslizamiento en el yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín". Minería y Geología, Cuba, vol. XVIII (1): 1-12.
51. Hammond, C.J.; Prellwitz, R.V. y Miller, S. M., 1992. "Landslide hazard assessment using Monte Carlo simulation". Proc. 6th. Int. Symp. on Landslides, Christchurch, New Zealand. 2, 959-964 p.
52. Hansen, A., 1984. "Landslide hazard analysis". En: D. Brundsen and D.B. Prior (Editors), Slope Stability. John Wiley and Sons, 523-602 p.
53. 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.
54. Harp, E.L., Castañeda, M.R., Held, M.D., 2002a. Landslides triggered by Hurricane Mitch in Tegucigalpa, Honduras. U.S. Geological Survey Open-File Report 02-33. 11 pp., 1 plate. Tomado de "Cees J. van Westen, Enrique Castellanos, Sekhar L. Kuriakose. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands. Engineering Geology 102 (2008) 112–131p".
55. Harp, Edwin L., Held, Matthew D., Castañeda, Mario, McKenna, Jonathan, P., Jibson, Randall, W., 2002b. Landslide hazardmap of Tegucigalpa, Honduras. U.S. Geological Survey Open-File Report 02-219. 9 pp., 2 plates.
56. Hartlén, J. y Viberg, L., 1988. "Evaluation of landslide hazard". En: Ch. Bonnard (Ed): 5th. International Congress on Landslides. Lausanne. I (2), 1037-1057 p.
57. 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.
58. 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.
59. I.C.G.C., 1985. "Mapas Topográficos de la República de Cuba, Provincia Holguín. Escala 1:25 000. Edición 1 E-821, Cuba.
60. I.G.P., 2001. "Mapa Geológico de las Provincias Orientales". Escala 1:100 000. Edición digital por el grupo CASIG-IGP, Cuba.
61. I.G.P., CENAI, GEOCUBA ORIENTE NORTE, 2008. "Valoración de la amenaza sísmica en la región minera del noreste de Holguín". Reporte Etapa I: Grado de estudio geólogo - geofísico, geodinámico y sismológico. Obtención del modelo sismotectónico preliminar. s.l. : 44 p.

62. IAEG.,1976. "Engineering geological maps. A guide to their preparation". International Association of Engineering Geologists. The UNESCO Press, Paris, 79 p.
63. IAEG-Commission on Landslides, 1990. Suggested nomenclature for landslides. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 41, 13–16. Tomado de "Cees J. van Westen, Enrique Castellanos, Sekhar L. Kuriakose. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands. Engineering Geology 102 (2008) 112–131p".
64. Ibsen, M., Brunsden, D., 1996. The nature, use and problems of historical archives for the temporal occurrence of landslides, with specific reference to the south coast of Britain, Ventnor, Isle of Wight. Geomorphology 15, 241–258. Tomado de "Cees J. van Westen, Enrique Castellanos, Sekhar L. Kuriakose. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands. Engineering Geology 102 (2008) 112–131p".
65. IGOS, 2003. In: Marsh, S., Paganini, M., Missotten, R. (Eds.), Geohazards Team Report. <http://igosg.brgm.fr/>. Accessed on 30th June 2007.
66. INETER, 2006. Inventario nacional de deslizamientos en Nicaragua. Instituto Nicaragüense De Estudios Territoriales. URL: <http://mapserver.ineter.gob.ni/website/Mapas/desli/viewer.htm>. Accessed on 30th June 2007.
67. Irigaray, C., 1990. "Cartografía de Riesgos Geológicos asociados a movimientos de ladera en el sector de Colmenar (Málaga)". Tesis de Licenciatura. Univ. De Granada, 390 p.
68. 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.
69. Iturralde-Vinent, M.A., 1996: "Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba". I.G.C.P. Proyect 364, Special Contribution No. 1.
70. IUGS-Working group on landslide, 1995. "A suggested method for describing the rate of movement of a landslide". Bulletin of the International Association of Engineering Geology 52, 75–78. Tomado de "Cees J. van Westen, Enrique Castellanos, Sekhar L. Kuriakose. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands. Engineering Geology 102 (2008) 112–131p".
71. IUGS-Working group on landslide, 2001. A suggested method for reporting landslide remedial measures. Bulletin of Engineering Geology and Environment 60, 69–74.

72. John Wiley and Sons Ltd, West Sussex, England, pp. 75–138.
73. 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.
74. JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes, 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning, for land use planning. *Engineering Geology* 103, 85–98 (this volume). Tomado de "Cees J. van Westen, Enrique Castellanos, Sekhar L. Kuriakose. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands. *Engineering Geology* 102 (2008) 112–131p".
75. 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.
76. Kobashi, S. y M. Suzuki., 1991. "Hazard Index for judgement of slope stability in the Rokko mountain region". Proc. INTERPRAEVENT 1988, Graz, Austria, Band. 1, 223-233 p.
77. Lang, A., Moya, J., Corominas, J., Schrott, L., Dikau, R., 1999. Classic and new dating methods for assessing the temporal occurrence of mass movements. *Geomorphology* 30 (1–2), 33–52. Tomado de "Cees J. van Westen, Enrique Castellanos, Sekhar L. Kuriakose. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands. *Engineering Geology* 102 (2008) 112–131p".
78. Lee, H.J.; Locat, J.; Dartnell, P.; Minasian, D. y Wong, F., 2000. "ArGIS-Based Regional analysis of the Potential for Shallow-Seated Submarine Slope Failure". En: A.E. Bromhead, N. Dixon and M.L. Ibsen (Eds): *Landslides in research, theory and practice*. 2, 917-922 p.
79. Leroi, E., 1996. "Landslide hazard-Risk maps at different scales: objectives, tools and developments". Proc. 7th. Int. Symp. on Landslides, Trondheim, v.1, 35-51 p.
80. Lomtadze, V. D. 1977. "Geología aplicada a la ingeniería. Geodinámica aplicada a la ingeniería". Ed. Pueblo y Educación, 560 p.
81. 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.
82. Luzi, L. y Fabbri, A.G., 1995. "Application of Favourability Modelling to Zoning of Landslide Hazard in the Fabriano Area, Central Italy". 1st. Joint European Conference and Exhibition on Geographical Information, The Hague, NL. 398-403 p.
83. Luzi, L. y Pergalani, F., 1996. "Applications of statistical and GIS techniques to slope instability zonation (1:50.000 Fabriano geological map sheet)". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 15, 83-94 p.

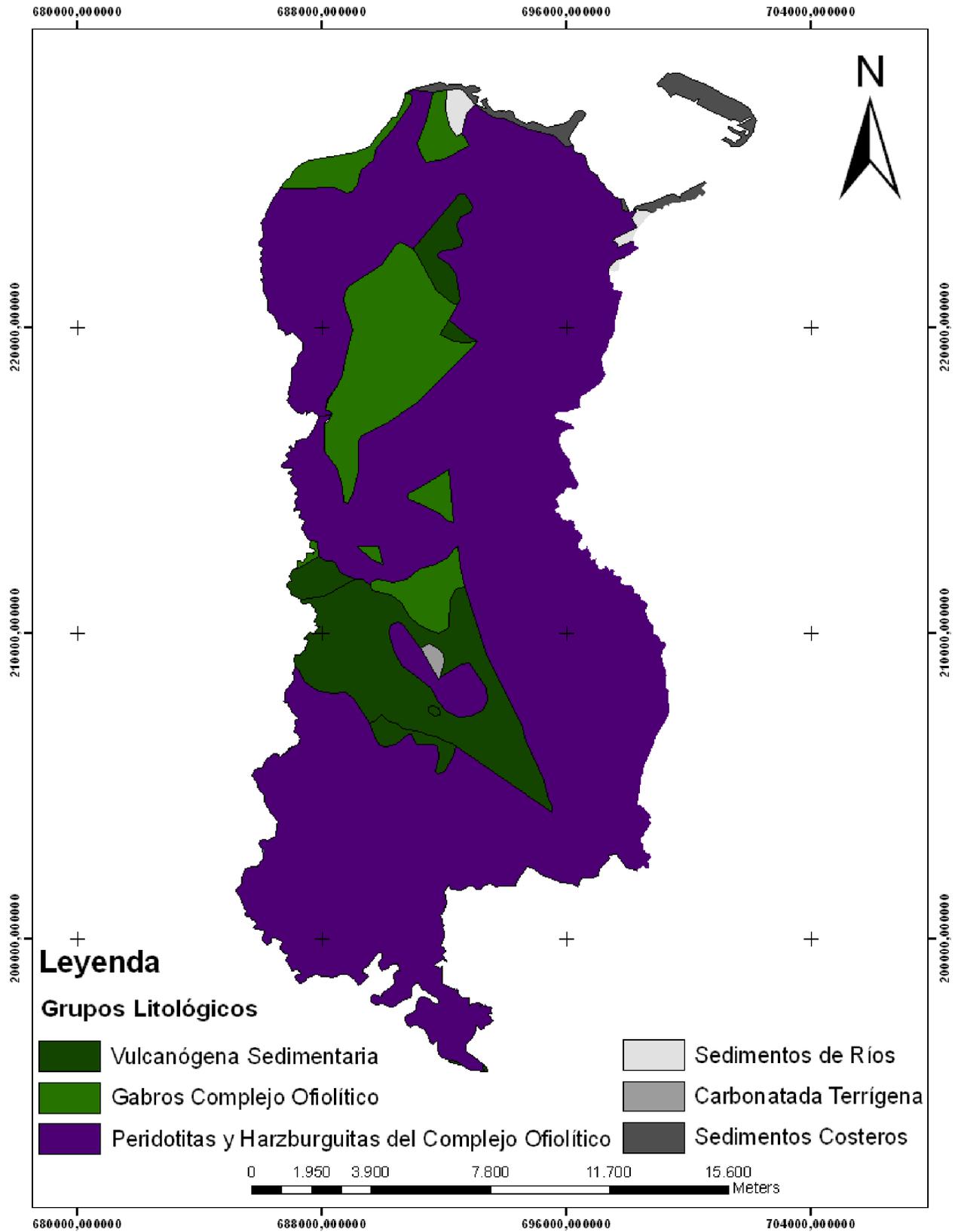
84. MahdaviFar, M.R., 2000. "Fuzzy information Processing in Landslide Hazard Zonation and Preparing the Computer System". En: A.E. Bromhead, N. Dixon and M.L. Ibsen (Eds): Landslides in research, theory and practice. Tomas Telford. London. 2, 993-998 p.
85. Mastin, M.C., 2002. "Flood-hazard mapping in Honduras in response to Hurricane Mitch". U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 01-4277, 46 p. Tomado de "Cees J. van Westen, Enrique Castellanos, Sekhar L. Kuriakose. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands. Engineering Geology 102 (2008) 112–131p".
86. Metternicht, G., Hurni, L., Gogu, R., 2005. "Remote sensing of landslides: an analysis of the potential contribution to geo-spatial systems for hazard assessment in mountainous environments". Remote Sensing of Environment 98 (23), 284–303. Tomado de "Cees J. van Westen, Enrique Castellanos, Sekhar L. Kuriakose. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands. Engineering Geology 102 (2008) 112–131p".
87. Mojena, M., 2009. "Estudio geoambiental del parque nacional Alejandro de Humboldt, Sector la Melba". Trabajo de Diploma. Dpto. Geología. ISMM. Moa. 88 p.
88. Mora, S. ,Vahrson, W.G., 1993. Determinación "a priori" de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos. Tecnología ICE 3, 32-42.
89. Mora, S. y Vahrson, W. G., 1994. "Macrozonation methodology for landslide hazard determination". Bull. Of the Assoc. Eng. Geology. XXXI (1), 49-58 p.
90. Morgan, B. W., 1968. "An introduction to Bayesian statistical decision process". Ed. Prentice-Hall, New York. 116 p.
91. Mulder, H.F.H.M., 1991. "Assessment of landslide hazard". Nederlandse Geografische Studies. PhD Thesis, University of Utrecht. 150 p.
92. Muñoz, N., 2004. "Geología y mineralogía de yacimientos residuales de menas lateríticas de Fe-Ni-Co". Geología de Yacimientos Minerales. ISMM. 25 p.
93. Murphy, W. y Vita-Finzi, C., 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.
94. NCGIA., 1990. "Core Curriculum ". Tres volúmenes: I. Introducción to GIS. II. Technical issues in GIS. III. Application issues in GIS". Santa Bárbara, CA. National Center for Geographic Information and Analysis / University of California.
95. Neuland, H., 1976. "A prediction model for landslips". Catena. 3, 215-230 p.

96. Niemann, K.O. y Howes, D.E., 1991. "Applicability of digital terrain models for slope stability assessment". ITC-Journal. 3, 127-137 p.
97. Okimura, T. y T. Kawatani, 1986. "Mapping of the potential surface-failure sites on granite mountain slopes". En: V. Gardiner (Editor), International Geomorphology. Part 1. Wiley, New York. 121-138 p.
98. Peña, A., 2009: "Evaluación de la Susceptibilidad del terreno por deslizamientos en el Sector Nuevo Mundo, Moa. ISMM, Moa (Tesis De Maestría). 109 p.
99. Proenza, J., 1998. "Mineralización de cromitas en la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba). El ejemplo del Yacimiento Mercedita". Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. 227 p.
100. Puig, R., 2007. "Evaluación de riesgos múltiples por desarrollo de fenómenos naturales en el municipio Moa". Trabajo de diploma, Departamento de Geología, ISMM. 75 p.
101. Rengers, N.; Soeters, R. y Van Westen, C.J., 1992. "Remote sensing and GIS applied to mountain hazard mapping". Episodes. 15 (1), 36-45 p.
102. Ríos, Y. I. y Cobiella, J. L., 1984. "Estudio preliminar del macizo de gabroides Quesigua de las Ofiolitas del Este de la provincia de Holguín". Minería y Geología. 2,109-132.
103. Riverón, A.B., 1996. "Caracterización de la respuesta dinámica de los suelos en la ciudad de Moa".(Tesis de Maestría), ISMMM, Dpto. de Geología. Moa.
104. Rodríguez, A., Mundi, M. y Castillo, J.L., 1996. "Morfotectónica y sismotectónica de la ciudad de Moa". Minería y Geología. 13(2), 13-16.
105. Rodríguez A., 1998. "Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica". Tesis doctoral. Departamento de geología, ISMM, Cuba.
106. Rodríguez, R., 2002. "Estudio experimental de flujo y transporte de cromo, níquel y manganeso en residuos de la zona minera de Moa (Cuba): Influencia del comportamiento hidromecánico". Departamento de Ingeniería del Terreno y Cartográfica. Universidad Politécnica de Cataluña. Tesis doctoral. 459 p.
107. Rodríguez, R.L. y Proenza, J., 1992. Levantamiento geológico del baso de la presa del Complejo Energético Toa-Duaba. Documento interno. ISMM. Moa. Cuba.
108. 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.
109. Shafer, G., 1976. "A Mathematical Theory of Evidence". Princenton University Press, Princenton N.J. 297 p.
110. Sharpe, C.F.S. 1938. Landslides and their control. Academia & Elsevier, Prague. 205 p.

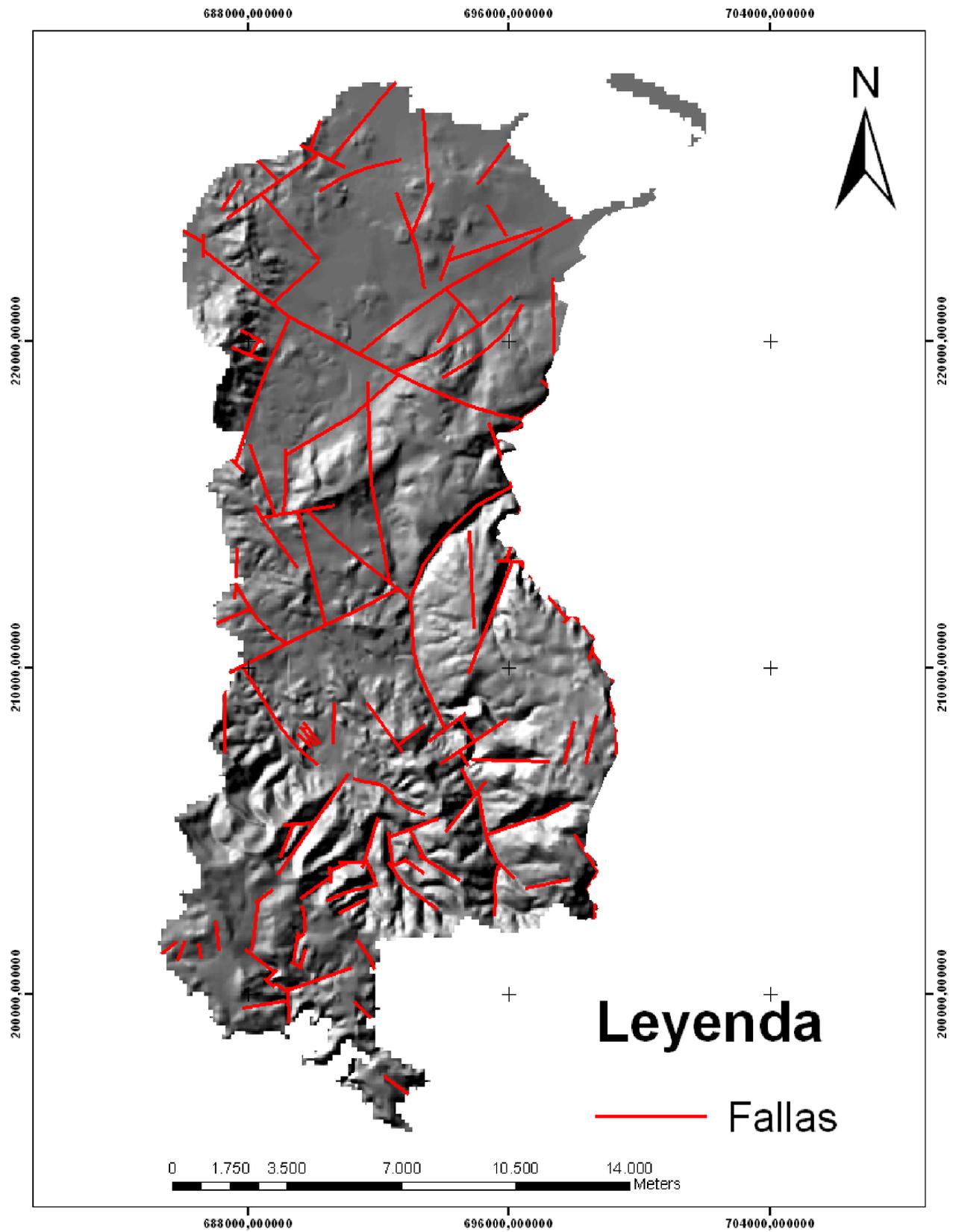
111. Sidimohamed, O., 2002: "Caracterización hídrica e hidroquímica del río Cayo Guam". ISMMM. Facultad de Geología. Trabajo de Diploma.
112. Soeters, R., Van Westen, C.J., 1996. Slope instability recognition, analysis and zonation. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), Landslides, investigation and mitigation. Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247. s.l. : National Academy Press, Washington D.C., U.S.A., pp. 129–177. Tomado de "Cees J. van Westen, Enrique Castellanos, Sekhar L. Kuriakose. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands. Engineering Geology 102 (2008) 112–131p".
113. Sowers G. B. y Sowers G. F., 1976. "Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones". 2 tomos. Edición revolucionaria. 319 p.
114. Stevenson, P.C., 1997. "An empirical method for the evaluation of relative landslip risk". Bul. IAEG.16, 69-72 p.
115. Thurston, N. y Degg M., 2000. "Transferability and Terrain Reconstruction within a GIS Landslide Hazard Mapping Model: Derbyshire Peak District". A.E. Bromhead, N. Dixon and M.L. Ibsen (Eds): Landslides in research, theory and practice. Tomas Telford. London.3, 961-968 p.
116. Torres, M., 1987. "Características de la asociación ofiolítica de la región norte de Moa-Baracoa y su relación con el arco volcánico Cretácico". Trabajo de diploma, Fondo geológico ISMM de Moa, Cuba.
117. Van Westen, C.J., 1993. "Application of Geographic Information System to landslide hazard zonation". ITC- Publications nº 15 ITC, Enschede. 45 p.
118. Van Westen C.J., 1994. "GIS in landslide hazard zonation: ArcView, with examples from the Andes of Colombia". En: M.F. Price and D. I Heywood (Editors) Mountain Environments and Geographic Information Systems. Taylor & Francis Ltd. 135-165 p.
119. Van Westen, C.J., Getahun, F.L., 2003. Analyzing the evolution of the Tessina landslide using aerial photographs and digital elevation models. Geomorphology 54 (1–2), 77–89. Van Westen, C.J., Van Asch, T.W.J., Soeters, R., 2005. s.l. : Landslide hazard and risk zonation; why is it still so difficult? Bulletin of Engineering geology and the Environment 65 (2), 167–184.
120. Van Westen, C.J., 2004. Geo-information tools for landslide risk assessment-an overview of recent developments. In: Lacerda,W., Ehrlich,M., Fontoura, S., Sayao, A. (Eds.), Landslides, Evaluation & Stabilization. Proceedings of the 9th International. s.l. : Symposium on Landslides, Rio de Janeiro, 28th June–2nd July, pp. 39–56.
121. Van Westen, C.J., Van Asch, T.W.J., Soeters, R., 2005. Landslide hazard and risk zonation; why is it still so difficult? Bulletin of Engineering geology and the Environment 65 (2), 167–184.

Tomado de "Cees J. van Westen, Enrique Castellanos, Sekhar L. Kuriakose. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands. Engineering Geology 102 (2008) 112–131p".

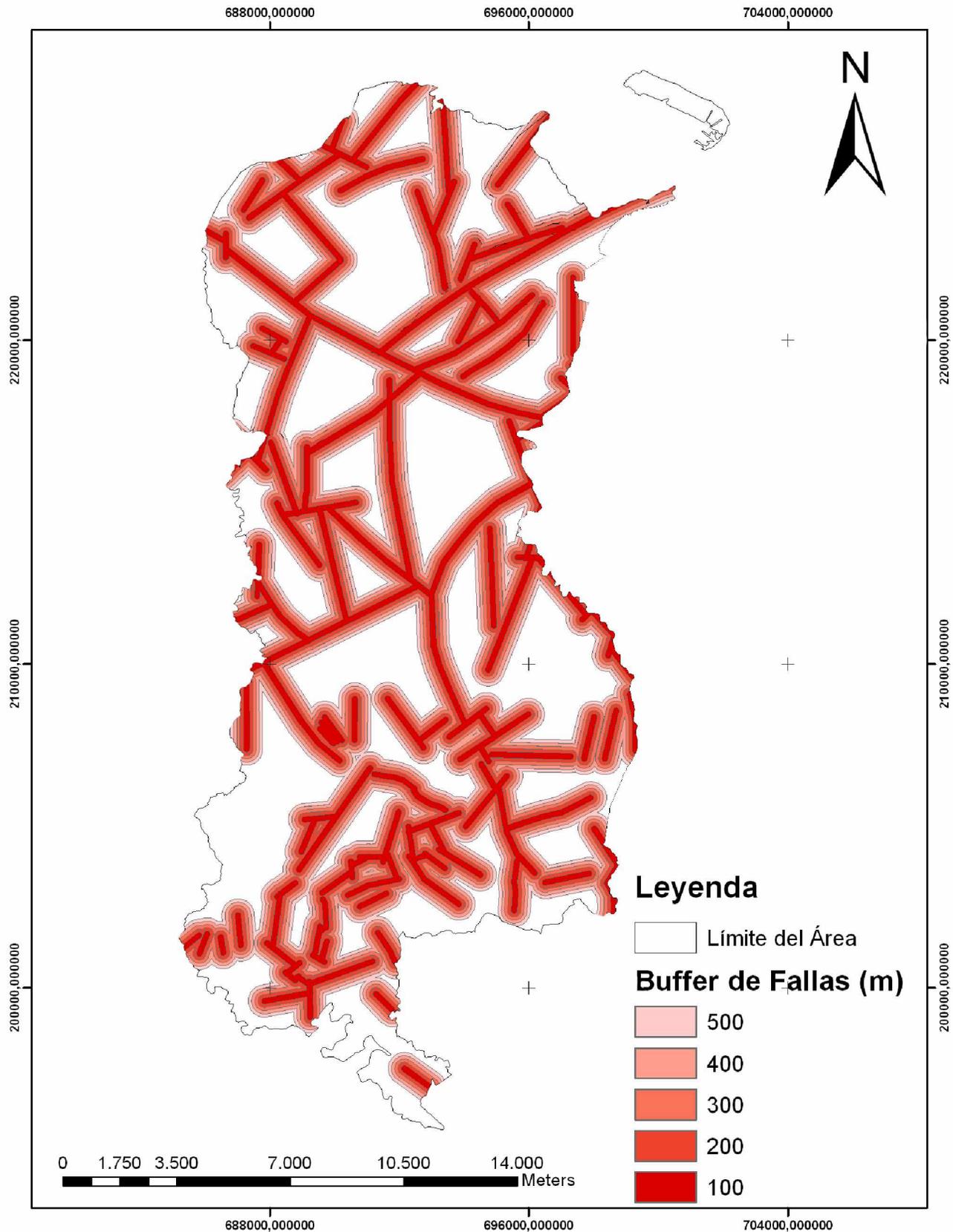
122. Varnes, D.J. 1978. Slope movement tyoes and processes. En: Landslides analysis and control. Special Report. 176, 11-33 p.
123. Varnes, D.J. ,IAEG, 1984. Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice. UNESCO, Darantiere, París, 61 pp.
124. Vega, K., 2006. "Evaluación de la Peligrosidad del terreno ante la rotura por desarrollo de deslizamientos en el territorio de Moa". Trabajo de Diploma. Dpto. Geología. ISMM. Moa. 66-74p.
125. 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.
126. WP/WLI., 1993. "Multilingual landslide glossary". The Canadian Goethecnical society. Bitech Publishers Ltd. Tomado de "Cees J. van Westen, Enrique Castellanos, Sekhar L. Kuriakose. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands. Engineering Geology 102 (2008) 112–131p".
127. Wu, Y.; Yin, K. y Liu, Y., 2000. "Information Analysis System for Landslide hazard Zonation". En: A.E. Bromhead, N. Dixon and M.L. Ibsen (Eds): Landslides in research, theory and practice. Tomas Telford. London. 3, 1593-1598 p.
128. Yin, K.L. y T.Z. Yan., 1988. "Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks". Proceed. 5th. Int. Symp. Landslides, Lausanne. 2,1269-1272 p.
129. Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. IEEE Information and Control. 8, 338-353 p.
130. Zadeh, L.A., 1978. "Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility". Fuzzy Sets and Systems. 1, 3-28 p.



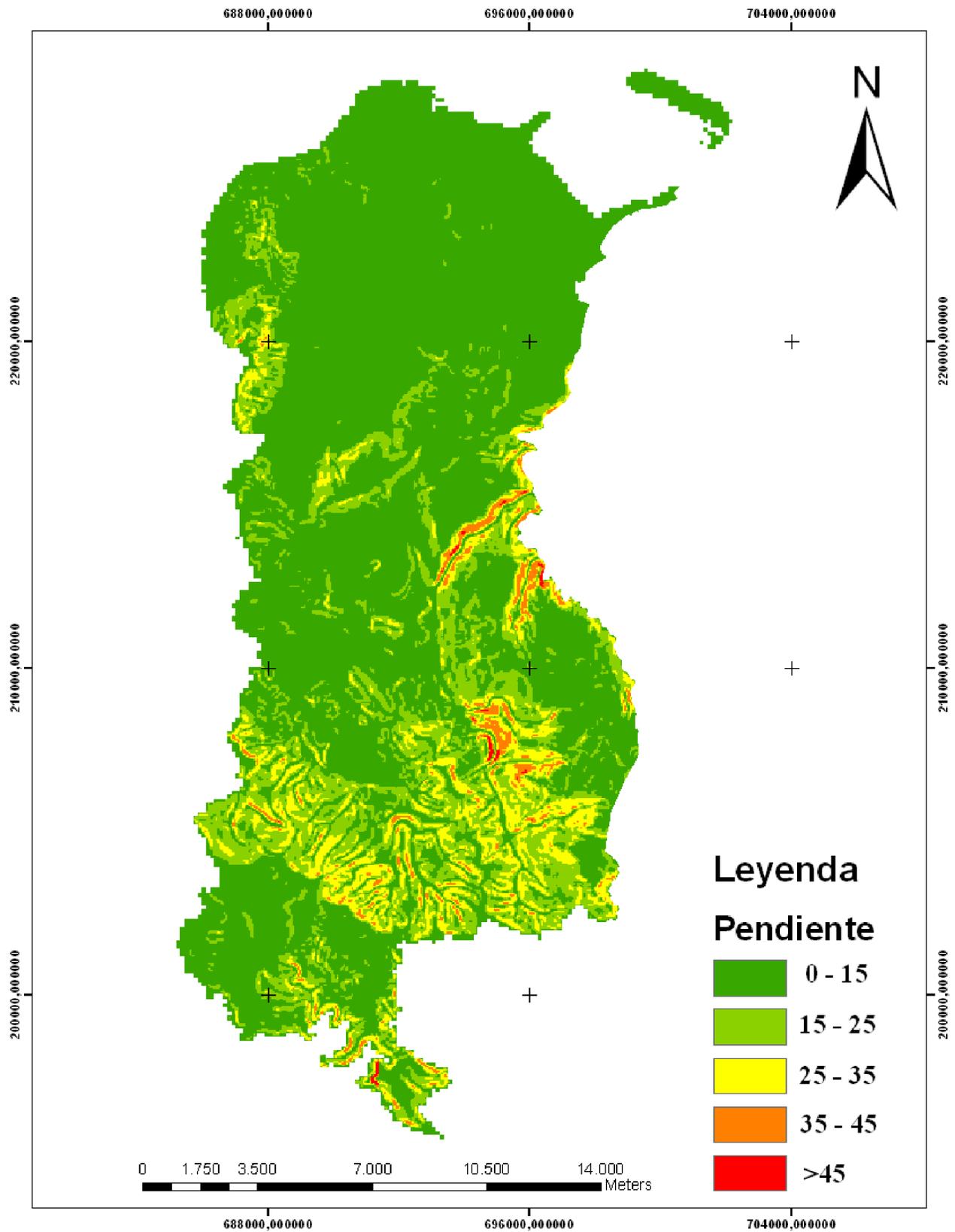
Anexo 1: Mapa de Grupos Litológicos del sector Oeste del municipio Moa.  
Escala 1: 100 000.



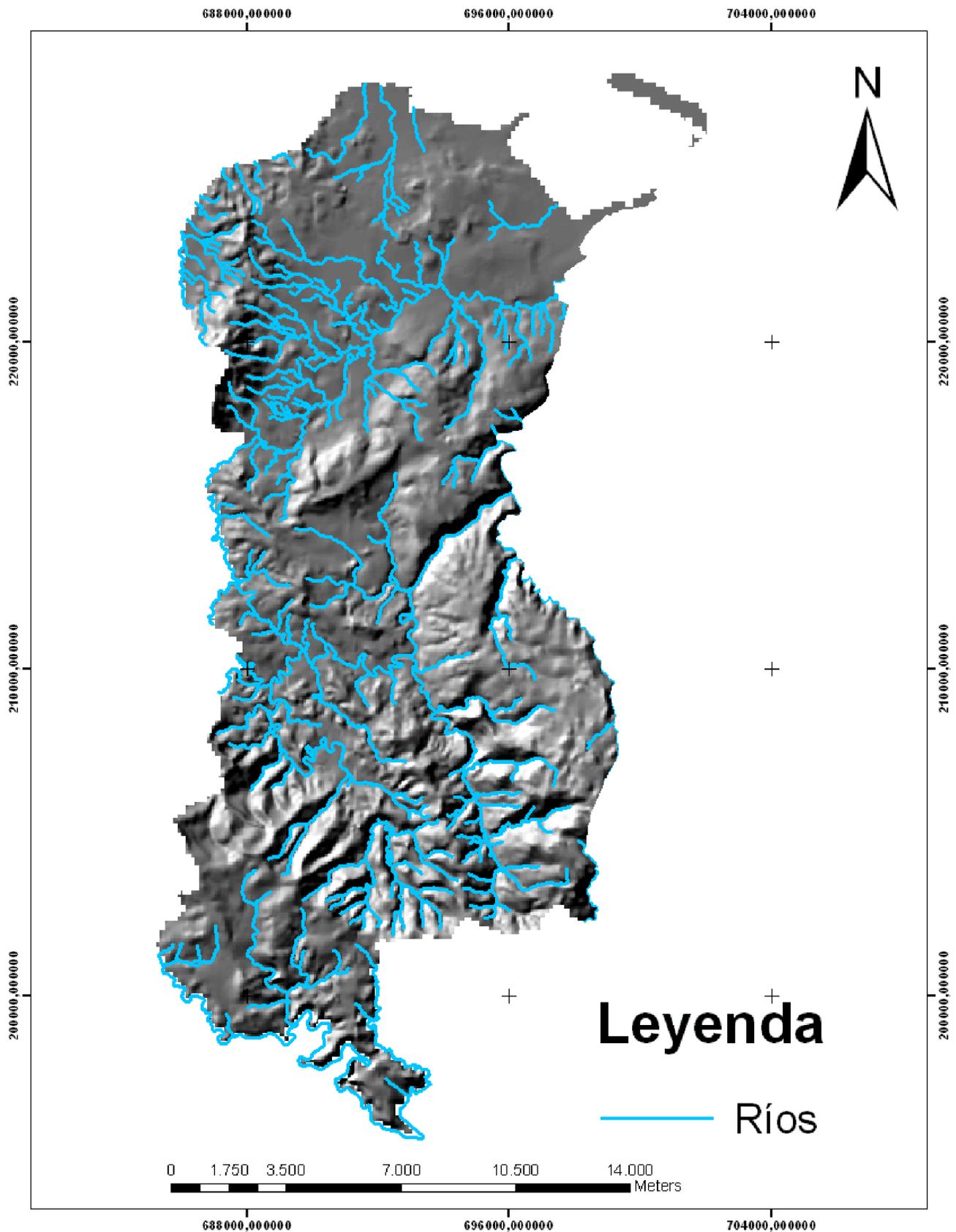
Anexo 2: Mapa Tectónico del sector Oeste del municipio Moa. Escala 1: 100 000.



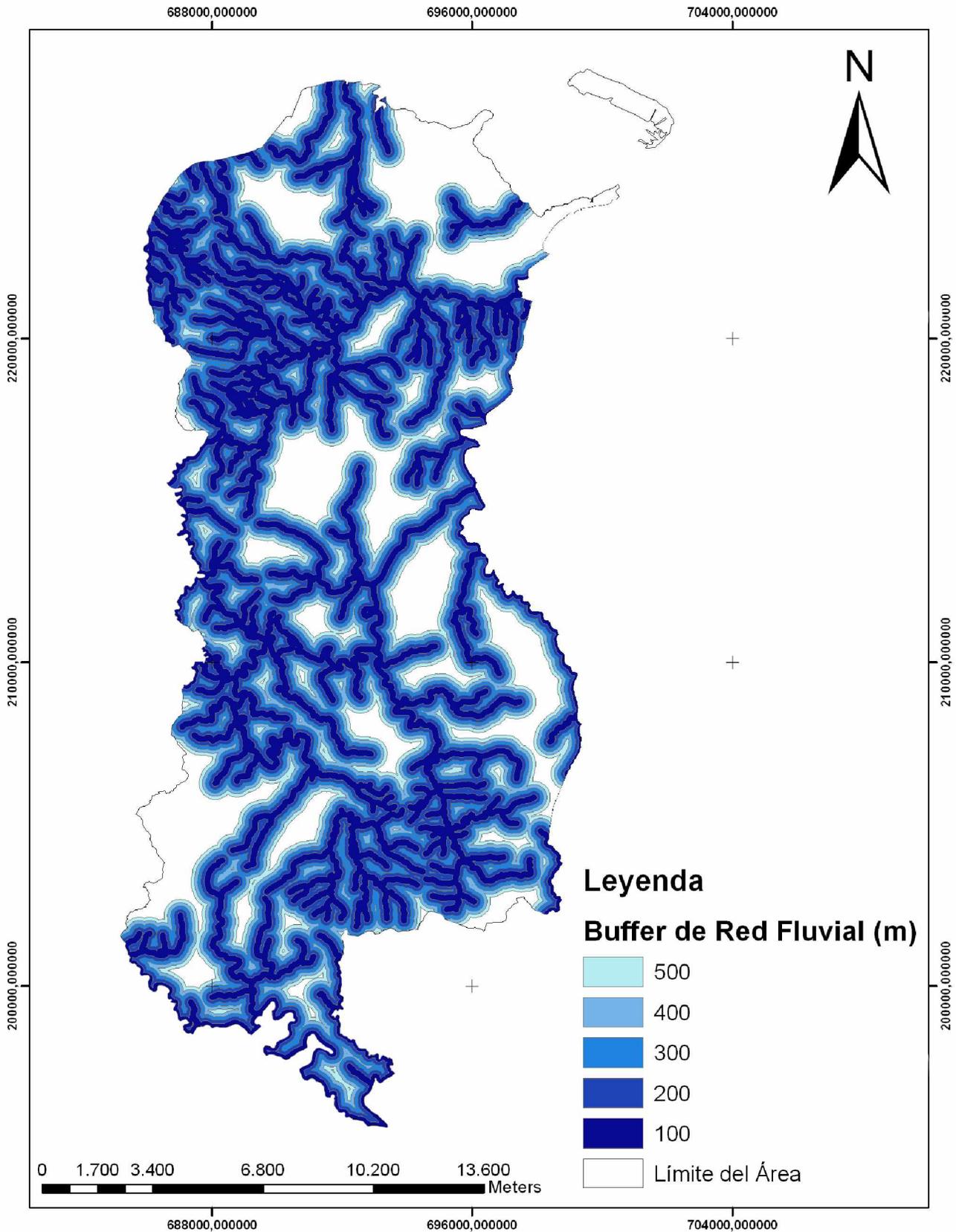
Anexo 3: Mapa de Distancia a Fallas del sector Oeste del municipio Moa. Escala 1: 100 000.



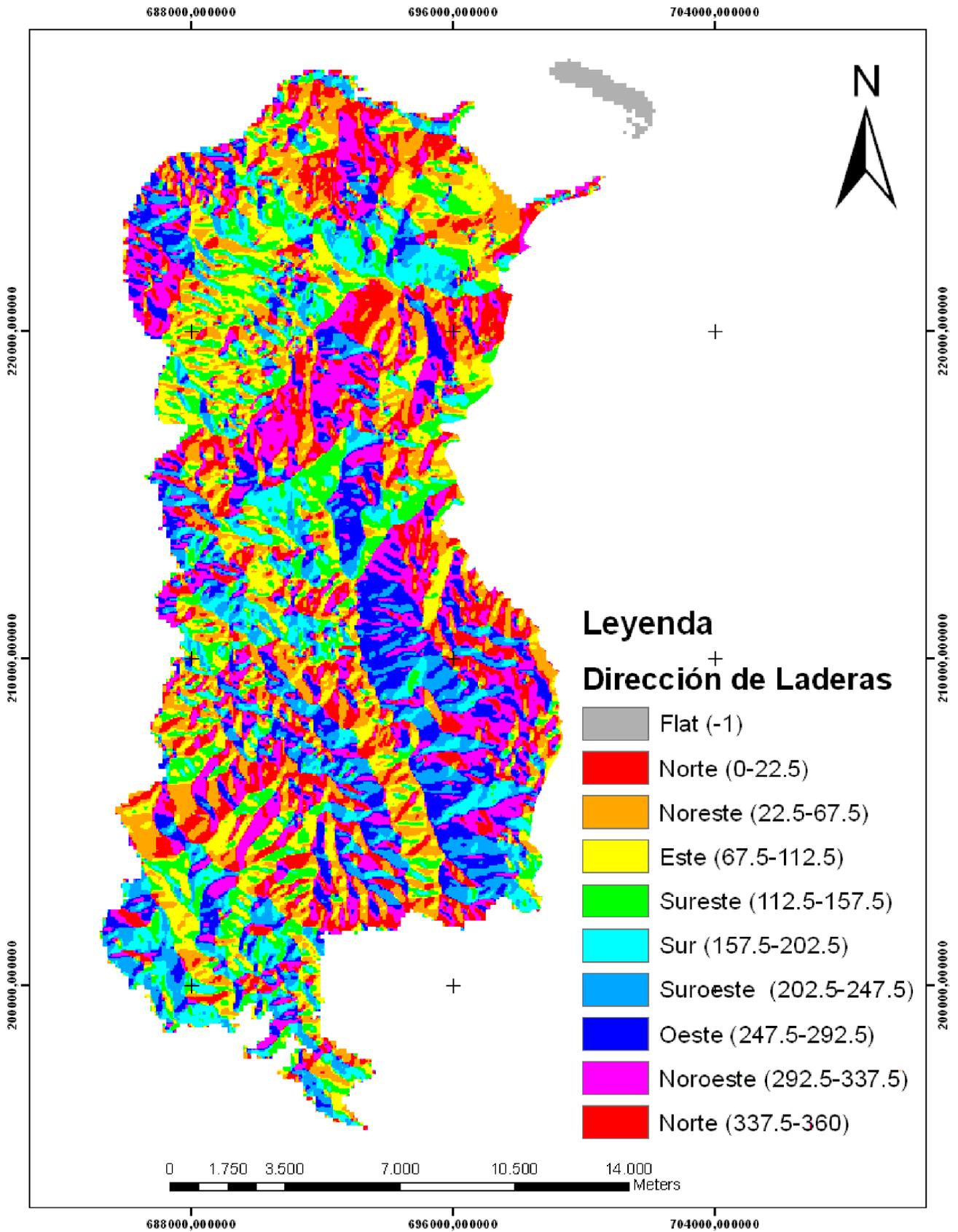
Anexo 4: Mapa de Ángulo de la Pendiente del sector Oeste del municipio Moa.  
Escala 1: 100 000.



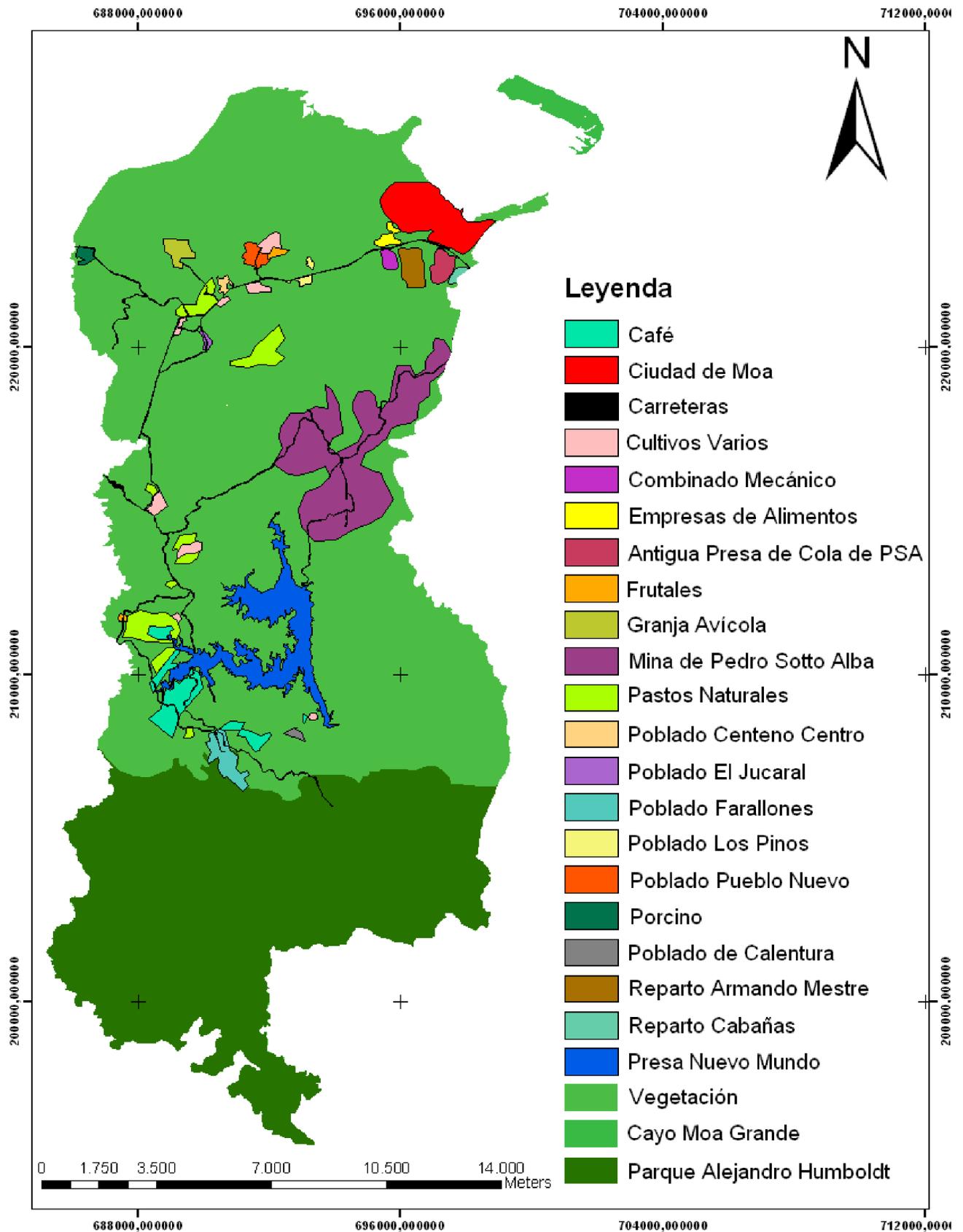
Anexo 5: Mapa de Red Fluvial del sector Oeste del municipio Moa. Escala 1: 100 000.



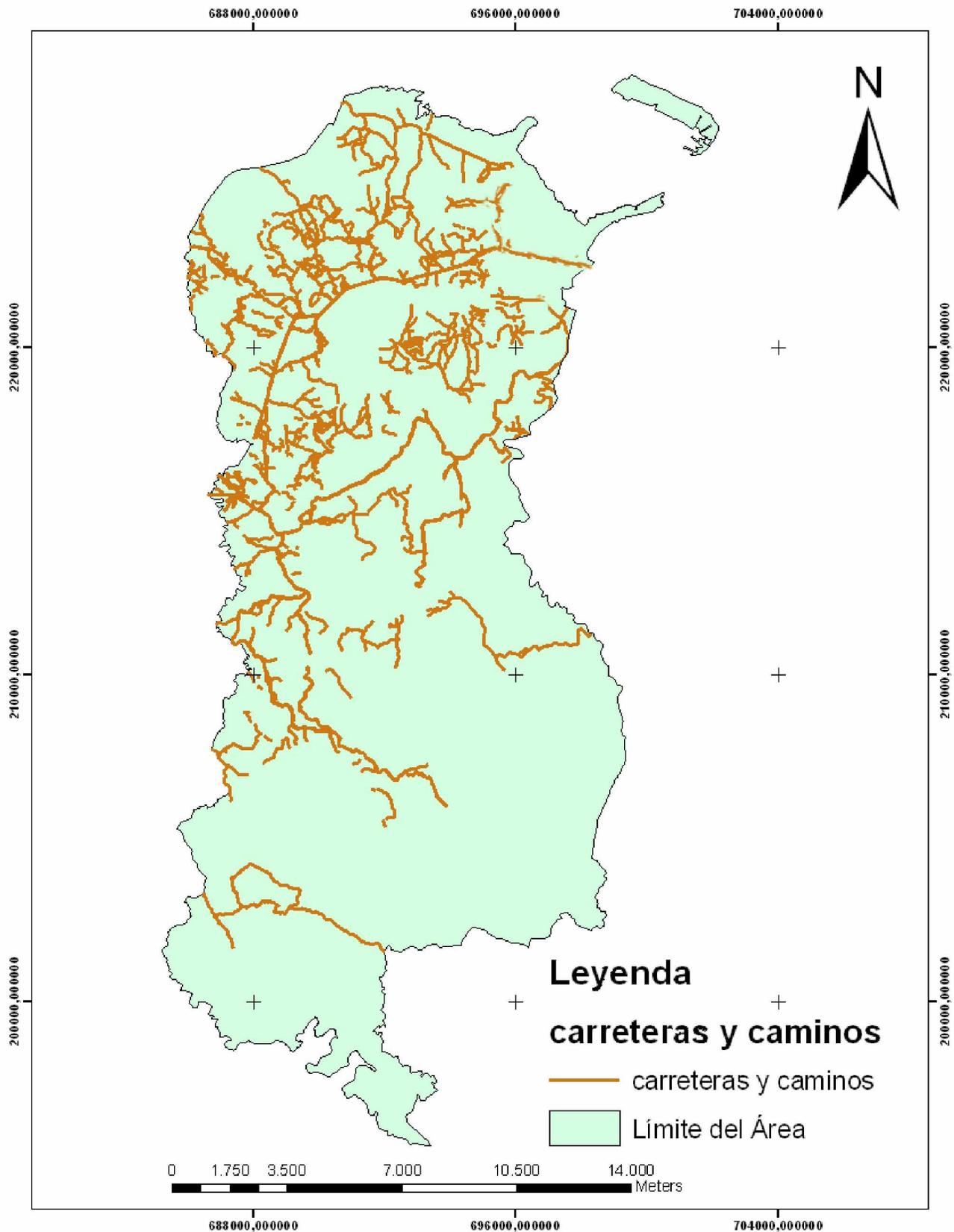
**Anexo 6: Mapa de Distancia a la Red Fluvial del sector Oeste del municipio Moa.  
Escala 1: 100 000.**



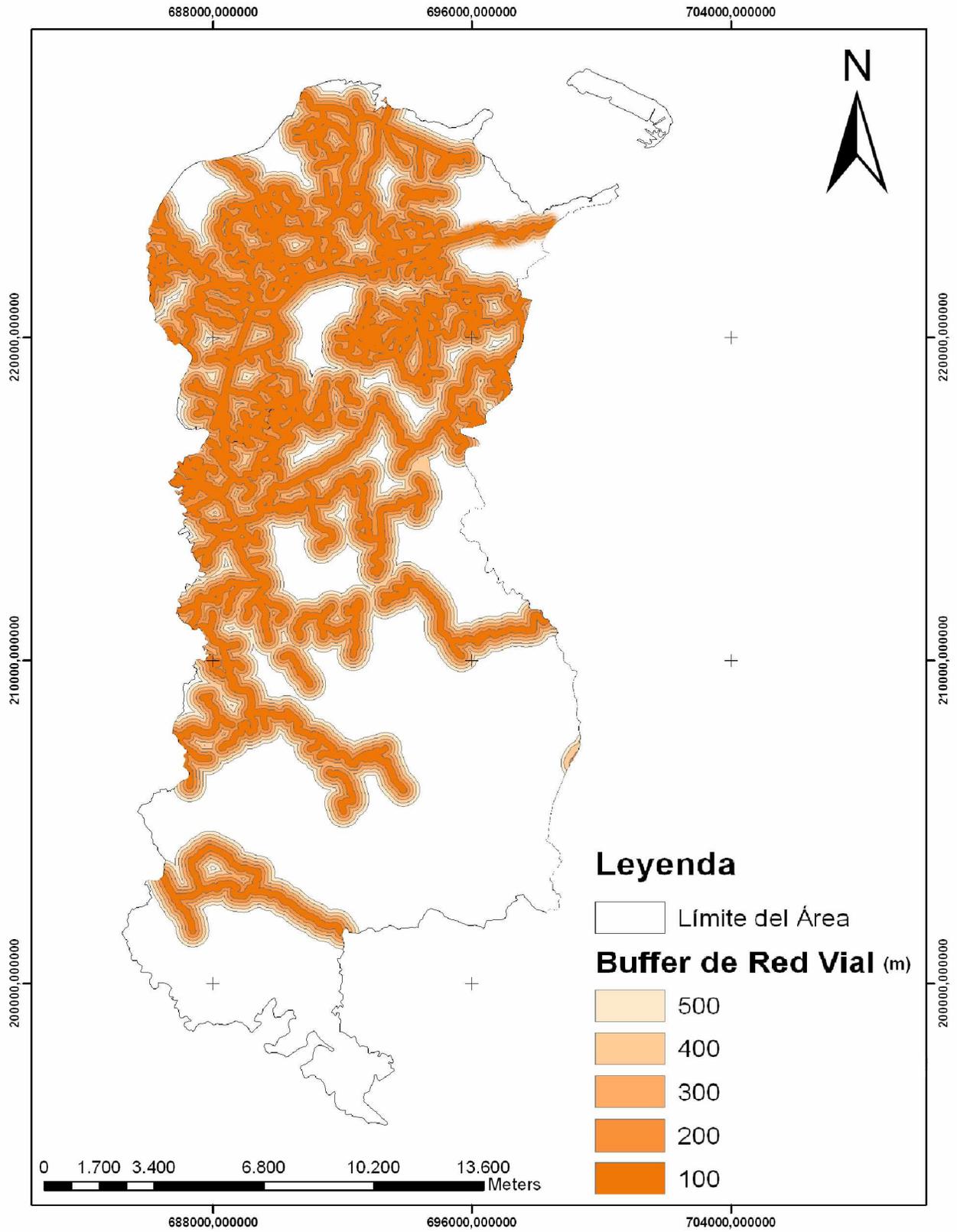
Anexo 7: Mapa de Dirección de Laderas del sector Oeste del municipio Moa.  
Escala 1: 100 000.



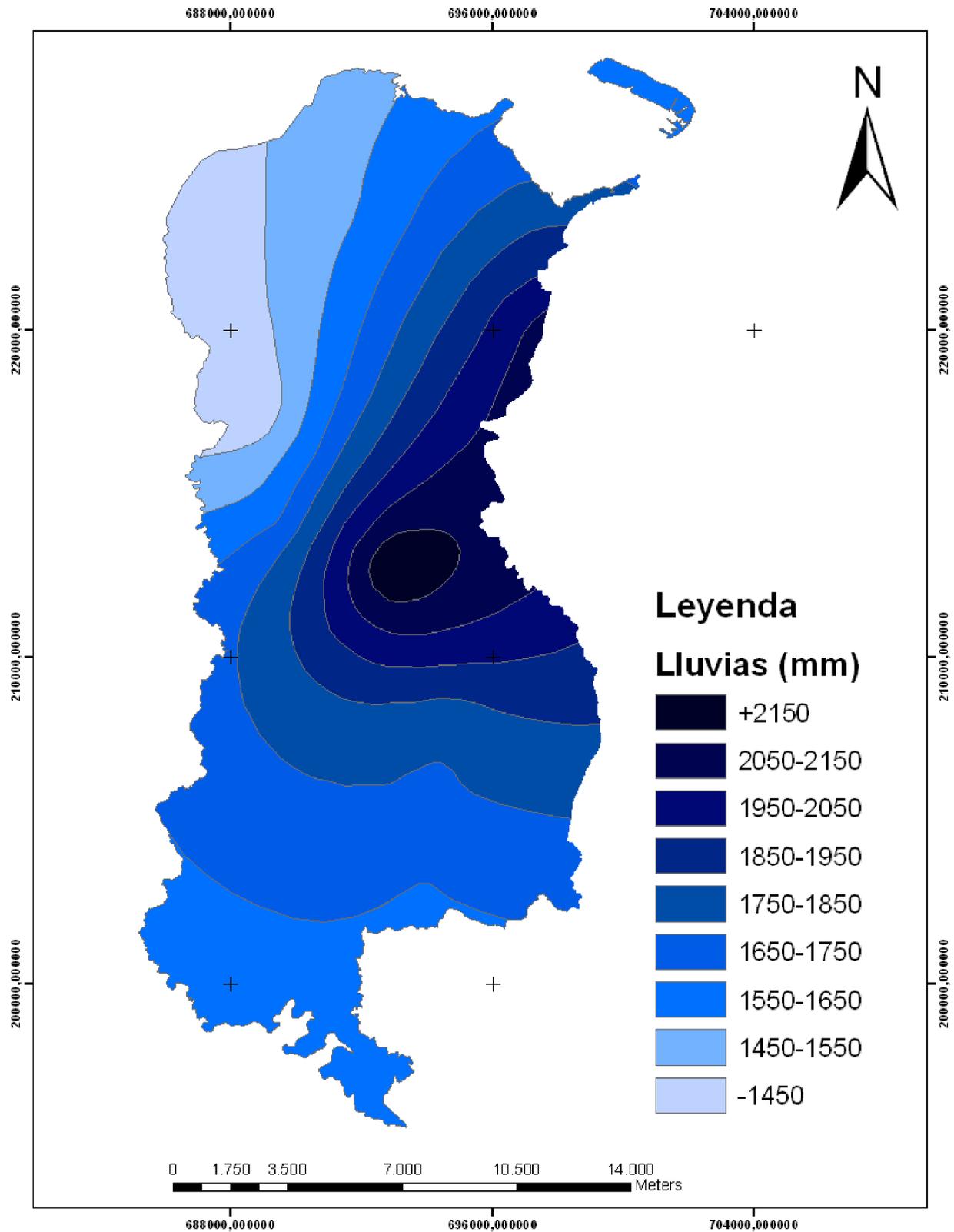
Anexo 8: Mapa de Uso de Suelos del sector Oeste del municipio Moa. Escala 1: 100 000.



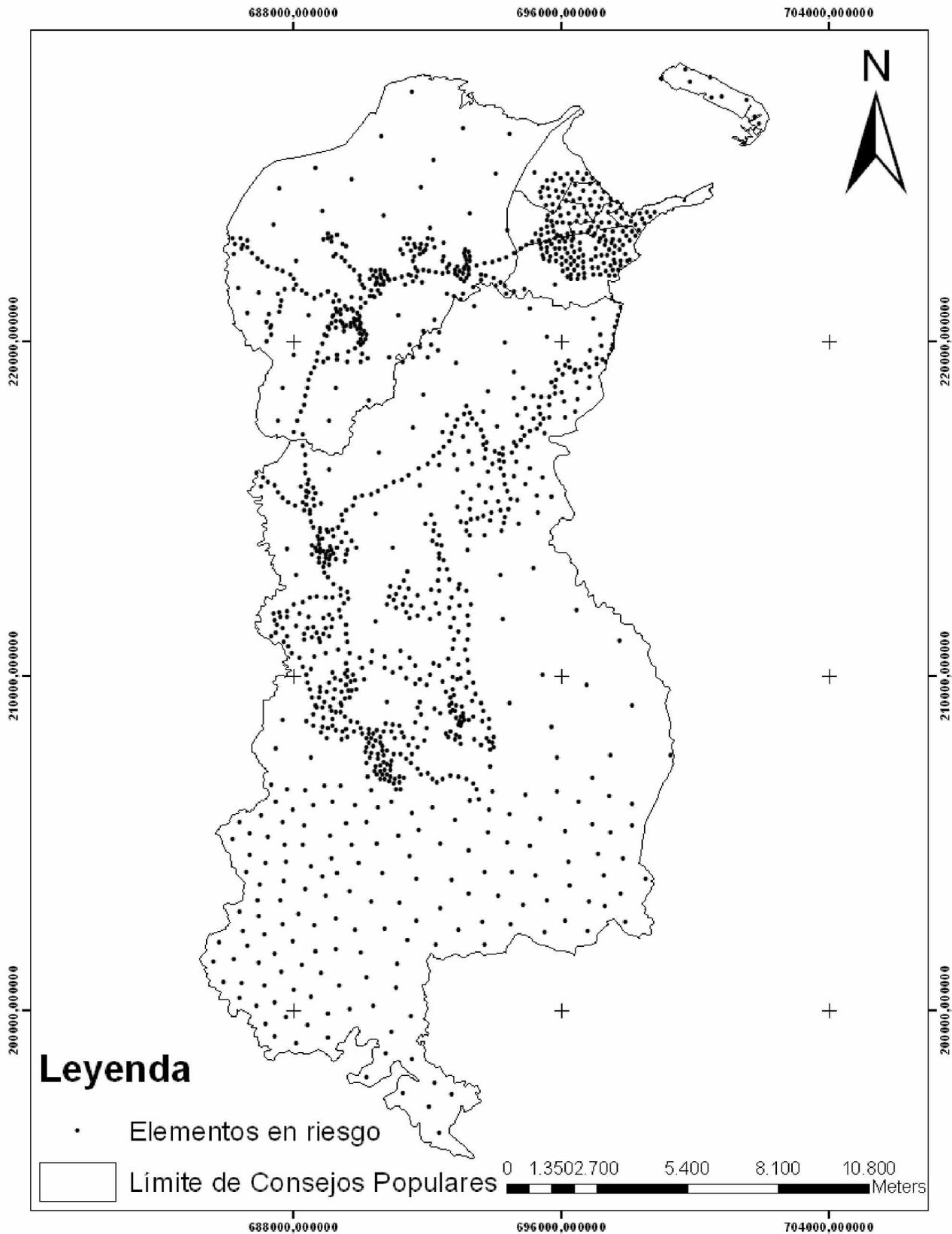
Anexo 9: Mapa de Red Vial del sector Oeste del municipio Moa. Escala 1: 100 000.



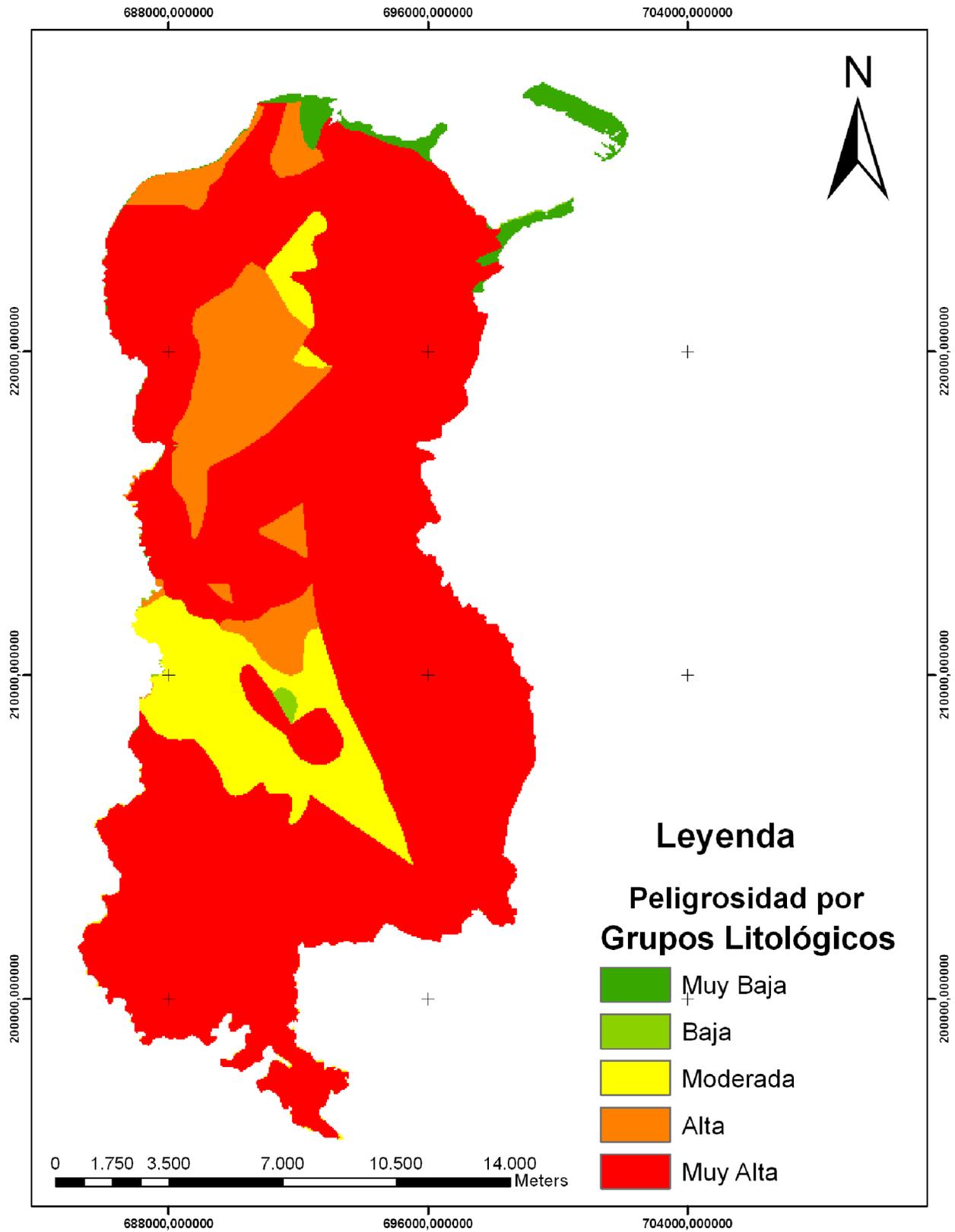
Anexo 10: Mapa de Distancia a la Red Vial del sector Oeste del municipio Moa.  
Escala 1: 100 000.



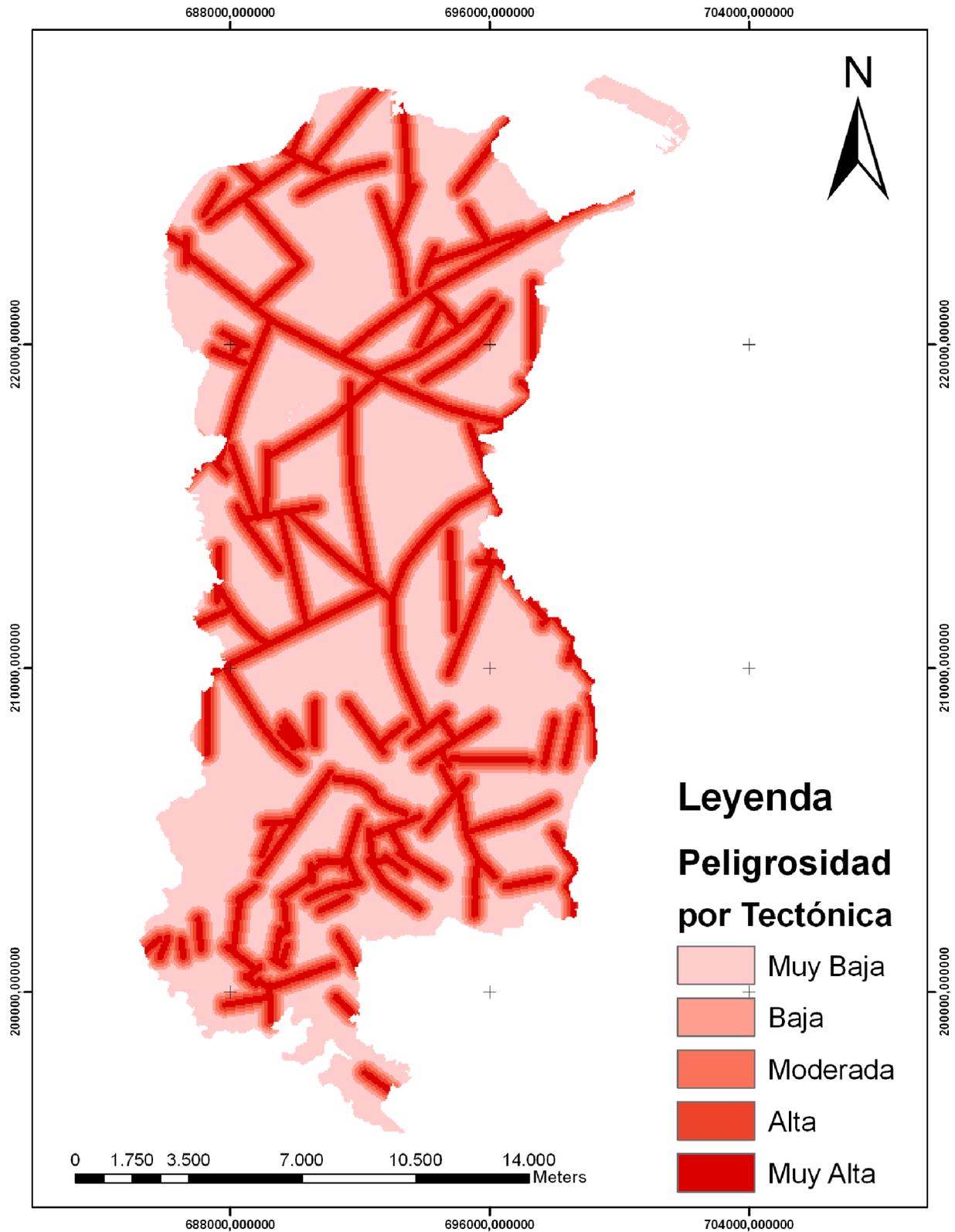
Anexo 11: Mapa Pluviométrico del sector Oeste del municipio Moa. Escala 1: 100 000.



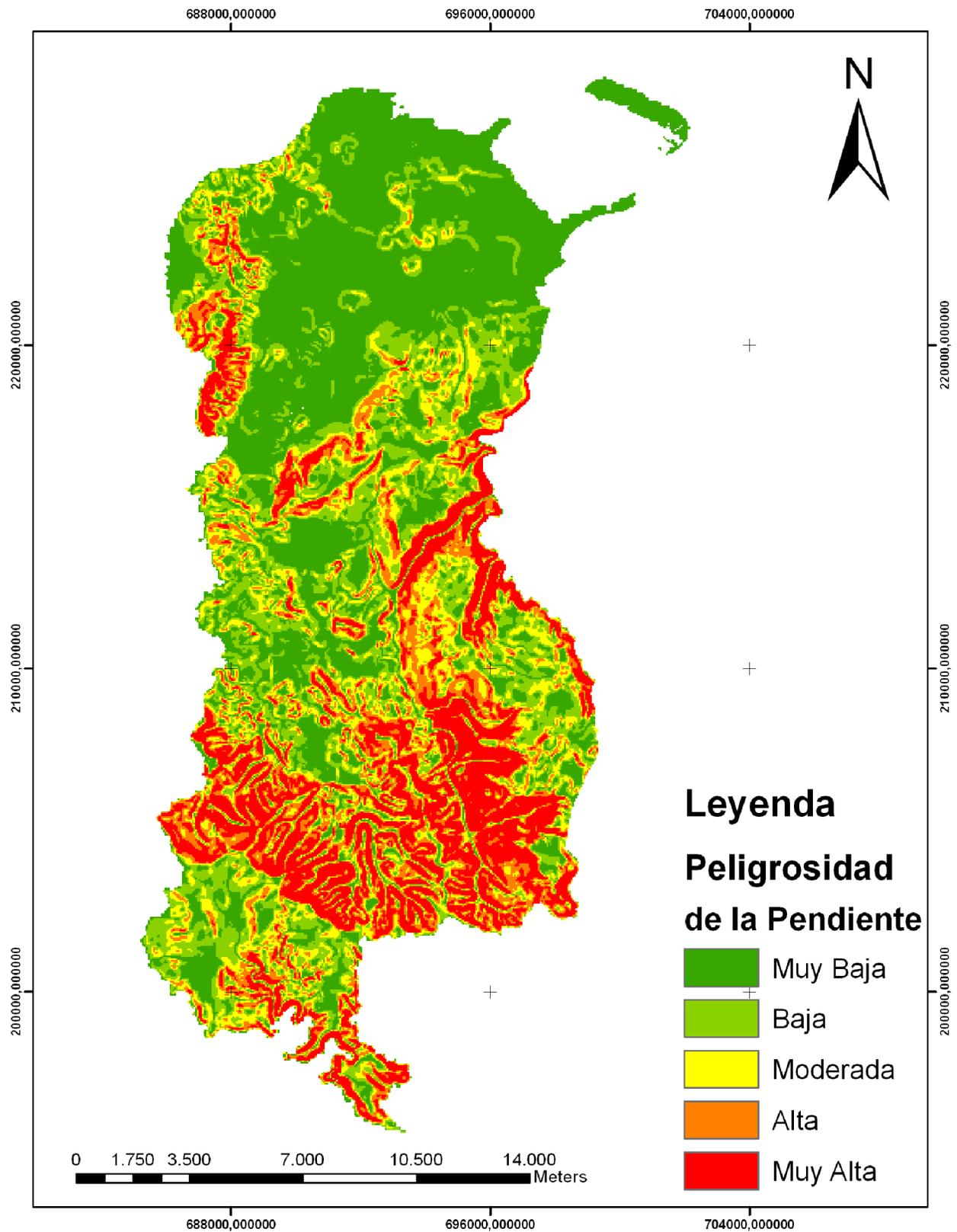
Anexo 12: Mapa de Elementos en Riesgo del sector Oeste del municipio Moa.  
Escala 1: 100 000.



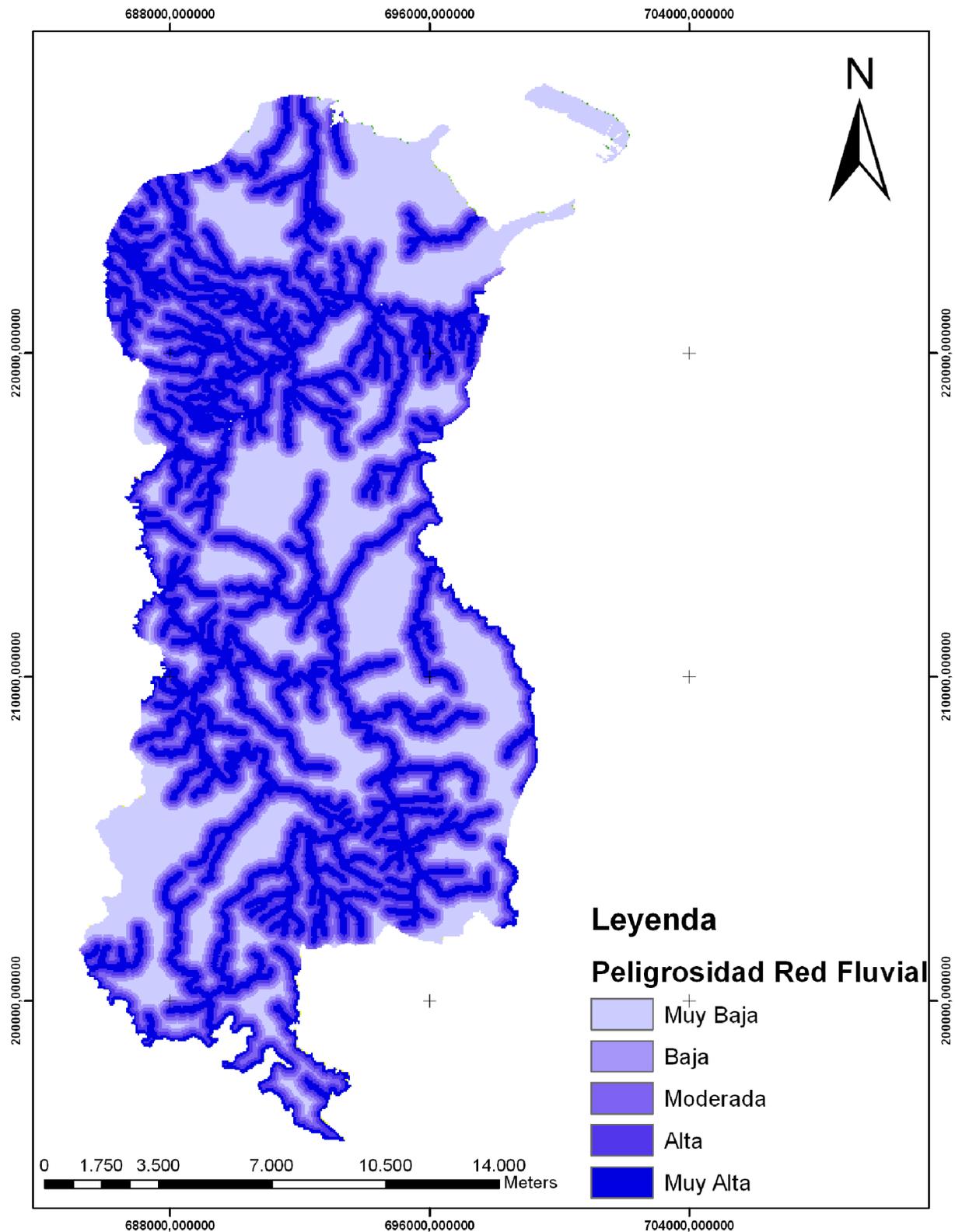
Anexo 13: Mapa de Peligrosidad por Grupos Litológicos del sector Oeste del municipio Moa. Escala 1: 100 000.



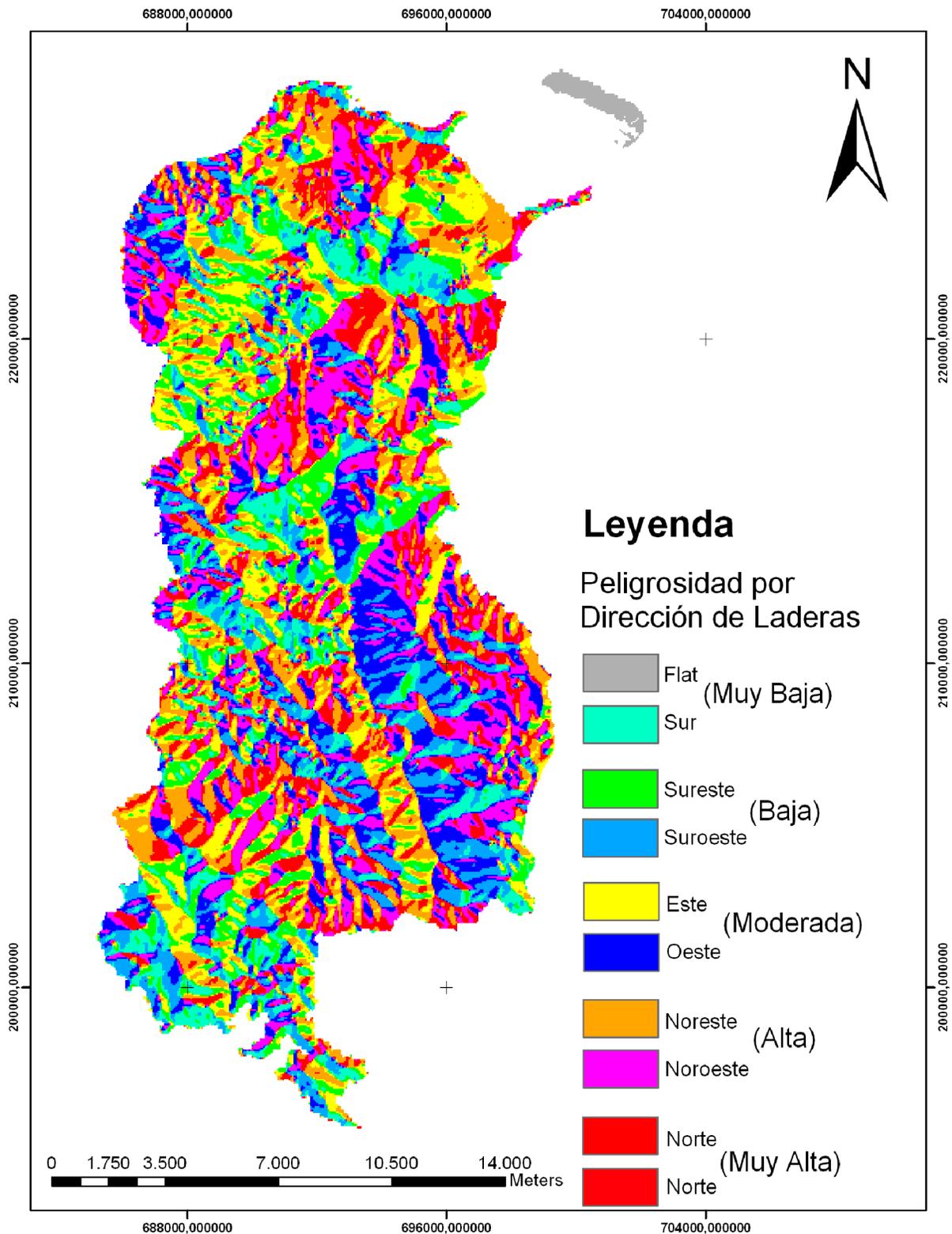
Anexo 14: Mapa de Peligrosidad por Distancia a Fallas del sector Oeste del municipio Moa. Escala 1: 100 000.



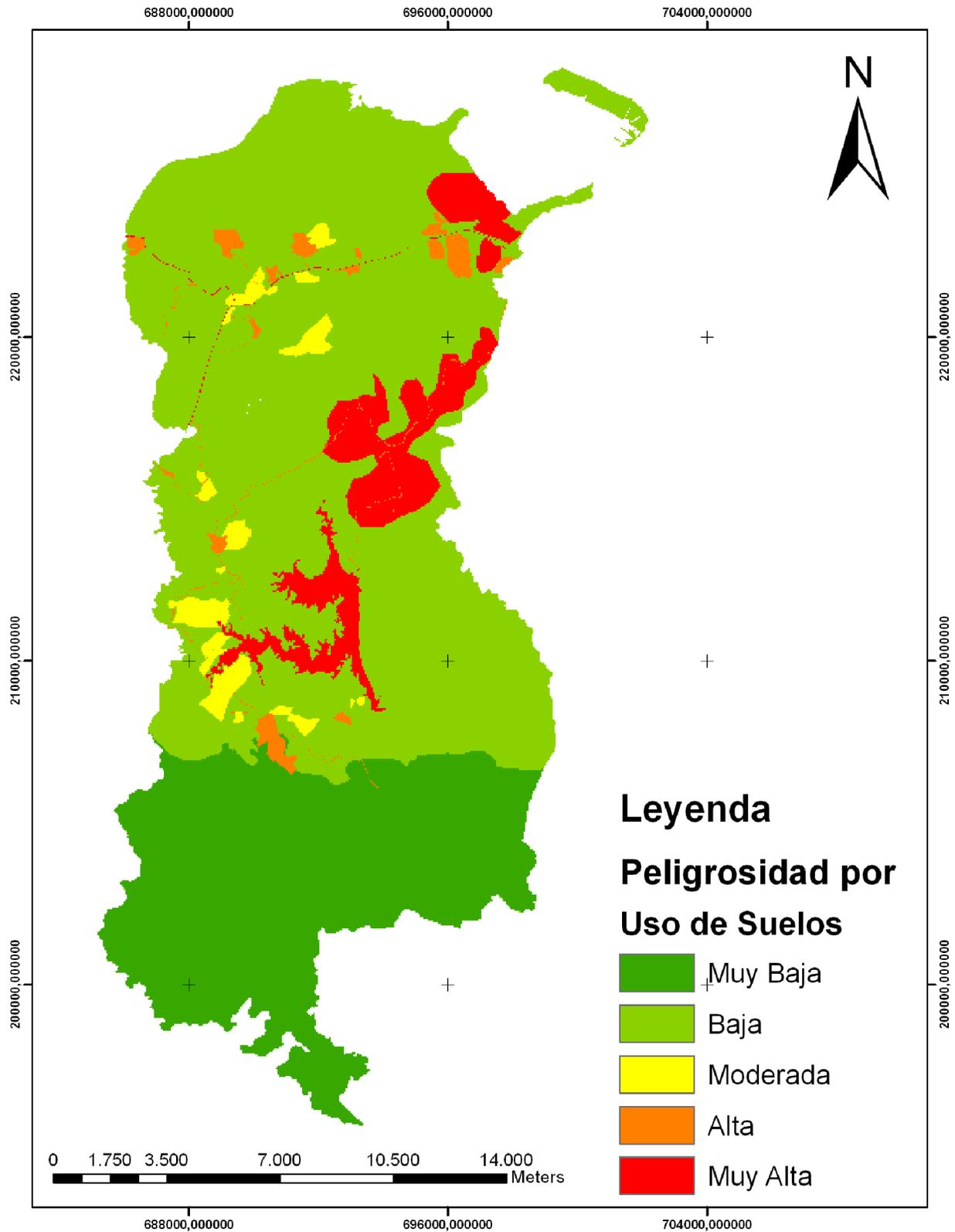
Anexo 15: Mapa de Peligrosidad por el Ángulo de la Pendiente del sector Oeste del municipio Moa. Escala 1: 100 000.



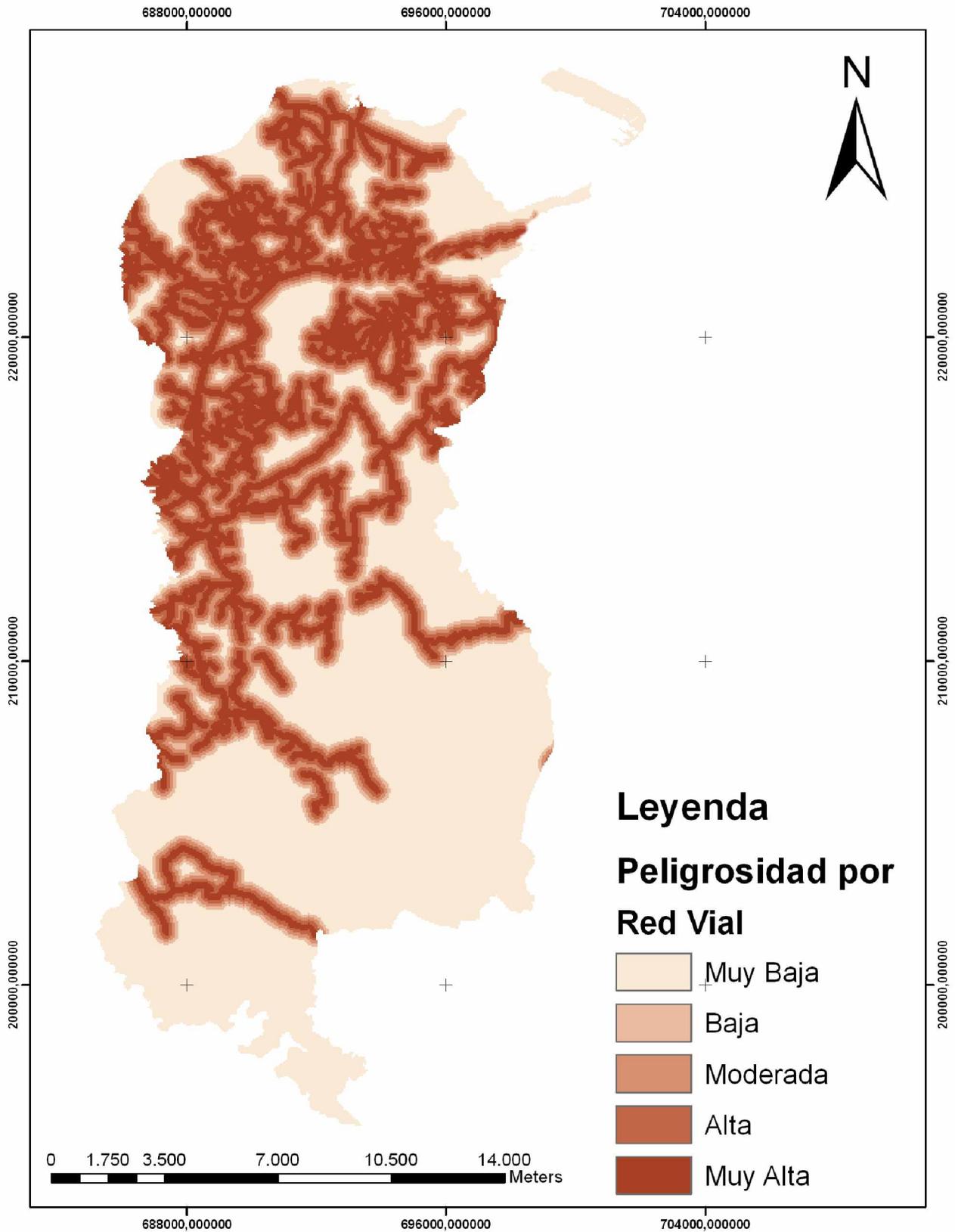
Anexo 16: Mapa de Peligrosidad por la Distancia a la Red Fluvial del sector Oeste del municipio Moa. Escala 1: 100 000.



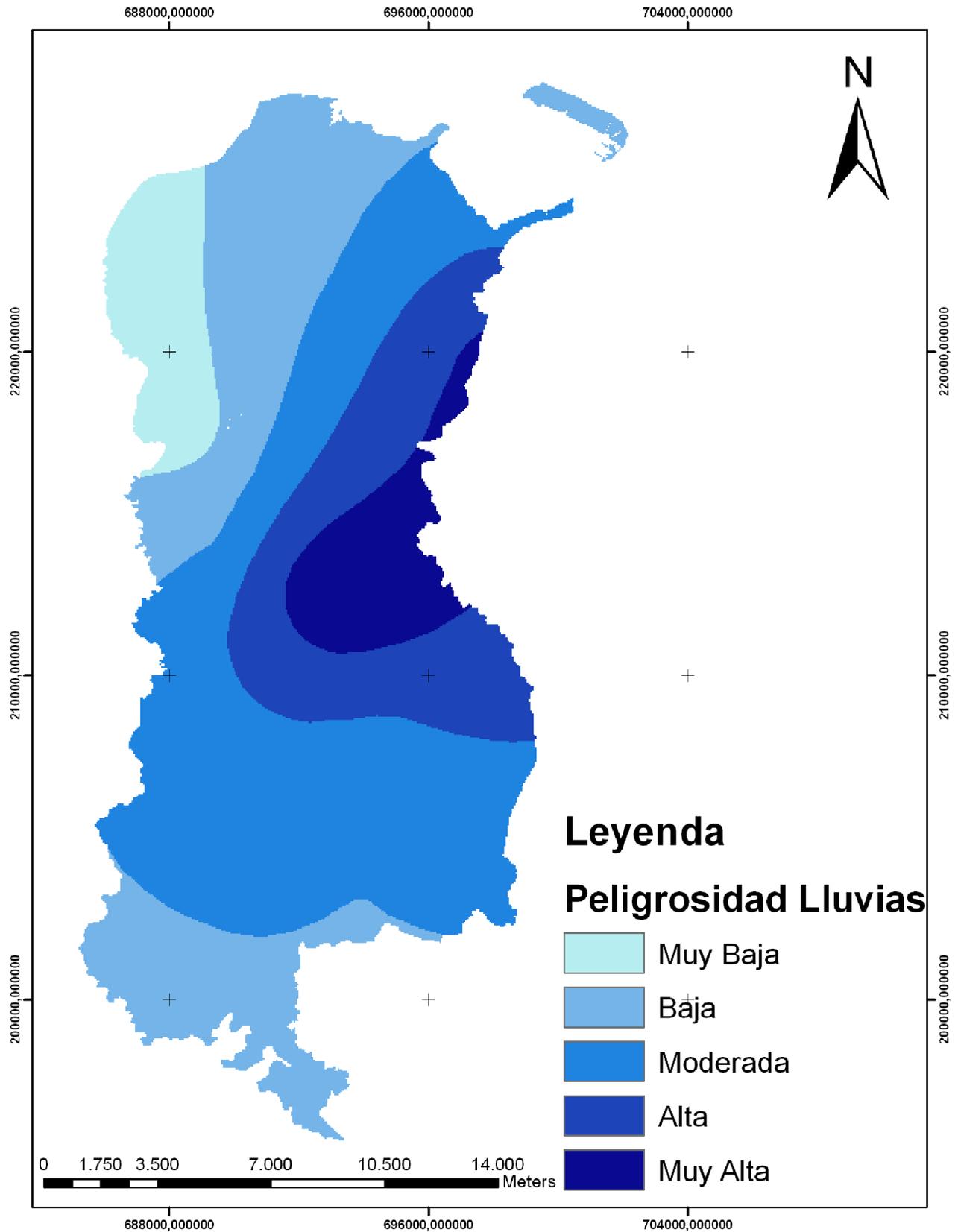
**Anexo 17: Mapa de Peligrosidad por Dirección de Laderas del sector Oeste del municipio Moa. Escala 1: 100 000.**



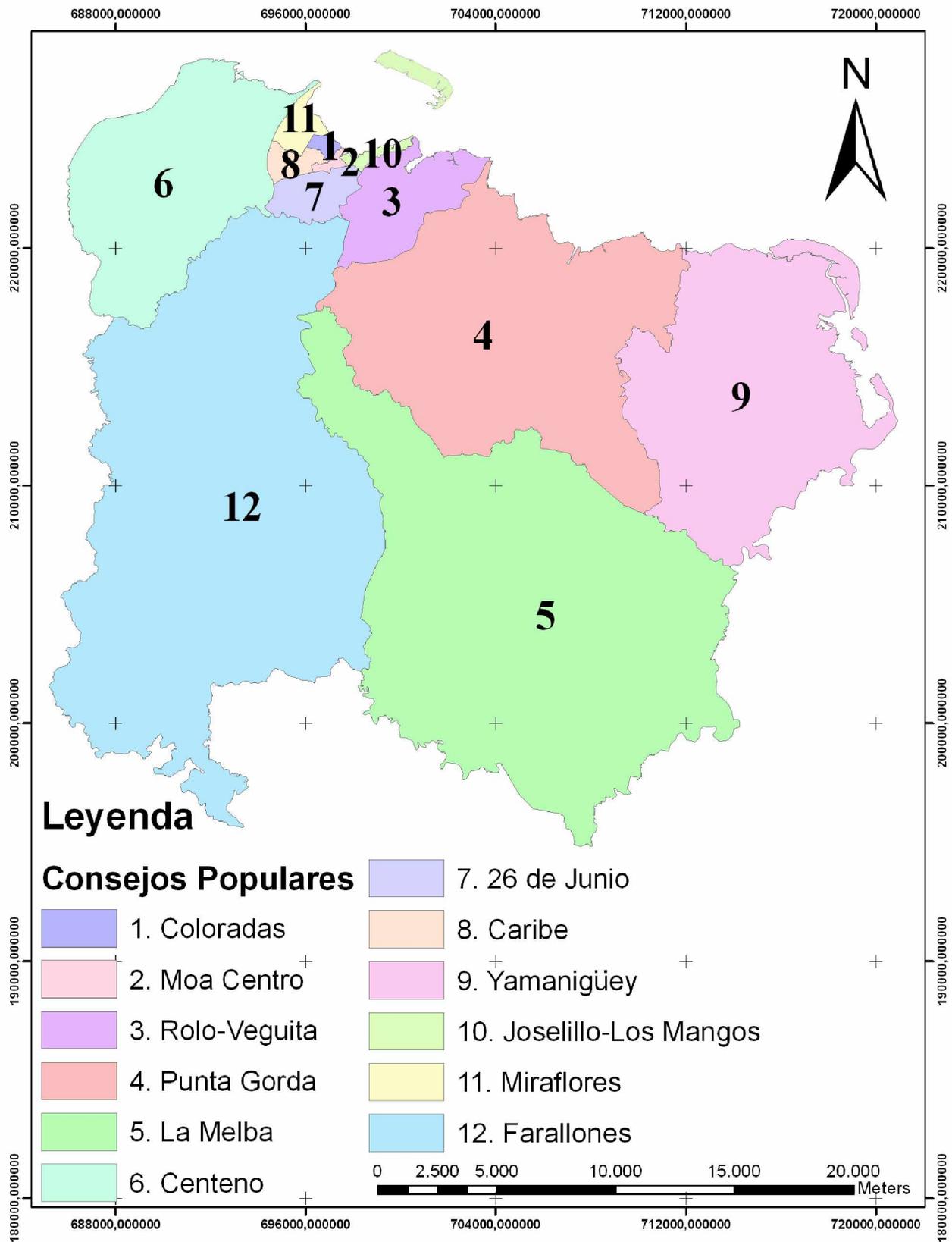
**Anexo 18: Mapa de Peligrosidad por Uso de Suelos del sector Oeste del municipio Moa. Escala 1: 100 000.**



**Anexo 19: Mapa de Peligrosidad por Distancia a la Red Vial del sector Oeste del municipio Moa. Escala 1: 100 000.**



Anexo 20: Mapa de Peligrosidad por Pluviometría del sector Oeste del municipio Moa. Escala 1: 100 000.



Anexo 21 Mapa de Consejos Populares del Municipio Moa. Escala 1: 25 000.

## Anexo 22 Planilla de inventario de deslizamientos de terreno para la República de Cuba.

No	Denominación	
<b>1. Localización:</b>		
1.1	Nombre del que registra:	
1.2	Fecha de registro:	
1.3	Provincia:	
1.4	Municipio:	
1.5	Localidad del evento:	
	Coordenadas del evento:	
1.7	X:	
1.8	Y:	
1.9	Escala del mapa donde se tomaron las coordenadas:	
1.10	Año:	
	<b>Fecha del Evento.</b>	
1.11	Mes:	
1.12	Día:	
1.13	Hora:	
	<b>Hora del Evento.</b>	
1.14	Minutos:	
1.15	Segundos:	
1.16	Duración del evento (especificar la unidad de medida):	
<b>2. Clasificación:</b>		
	<b>Tipo de material.</b>	
2.1:	Roca:	
2.2	Detrito:	
2.3	Suelo:	
2.4	Caída:	
2.5	Volcamiento:	
2.6	Deslizamiento	
2.7	Propagación:	
2.8	Flujo:	
2.9	Activo:	
2.10	Suspendido:	
2.11	Reactivado:	
	<b>Causa del evento.</b>	
2.12	Inactivo:	
2.13	Precipitación:	
2.14	Terremoto:	
2.15	Otra:	
2.16	Nombre del evento relacionado :	
<b>3. Daños ocasionados:</b>		
	<b>Daños Materiales.</b>	
3.1	Casas o edificios:	
3.2	Industrias:	

3.3	Carreteras y caminos:	
3.4	Otras construcciones:	
3.5	Red hidráulica:	
3.6	Red eléctrica:	
3.7	Campos agrícolas:	
3.8	Presas o embalses:	
3.9	Valor total de los daños estimados (en pesos):	
	<b><i>Daños humanos.</i></b>	
3.10	Fallecidos:	
3.11	Heridos:	
3.12	Afectados:	
3.13	Personas que perdieron su casa:	
3.14	Número total de personas afectadas:	

**4. Otros datos de interés:**

---

---

---

---

---

---

---