



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 Ingeniera Geóloga

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

Diplomante: Yexenia Viltres Milán

Tutor: Dr. C. Rafael Guardado Lacaba

Julio del 2010

AGRADECIMIENTOS

A todos aquellos que de una forma u otra colaboraron en la realización de este trabajo, en especial a mi novio Reynier Pintón Castro, a mi familia completa por apoyarme en todo, a mis amistades por su apoyo incondicional, en especial a Tatiana Ricardo, Yalina Montecelos, Aliuska Peña, Yosbanis Batista, Reynaldo Puig, Jorge Urra, Rafael Cirión, Yoander Arias, Iván Barrera, Yaniel Vásquez, Mandela Demian y Yurisley Valdés. También deseo agradecer a todos mis profesores, los que a lo largo de estos 5 años me brindaron todo su apoyo, sabiduría y comprensión, a mi tutor Rafael Guardado, su esposa Virginia, José Alberto Batista, Alina Rodríguez, Ortelio Vera, José Nicolás, Yamirka Rojas, Antonio Rodríguez (Ñico), Moraima Fernández, Constantino de Miguel, Roberto Díaz, Alianna Corona, Gerardo Orozco, Jesús Blanco, Arturo Rojas, Rafael López, Carlos Leyva, Allan Pierra, Arianna Mustelier. En el poder popular del municipio de Moa a Ramiro Chacón.

Sobre todo quiero agradecerle a la Revolución Cubana por brindarme esta oportunidad de formarme en una profesional.

DEDICATORIA

Dedico con mucho amor esta tesis a:

- *Mis madres Maritza Milán García y Martha Romero Céspedes y mis padres Luis Mario Viltres Bárzaga y Abel Arévalo Colomé.*

También a mis hermanas:

- *Yusnabis Avilés Milán, Noalis Arévalo Romero, Nauris Arévalo Romero, Mailín Mojena Saborit, Grisel Martínez Hernández e Irina Fernández.*

Además a mi novio Reynier Pintón Castro y a su familia.

En mi familia dedico esta tesis a mi tío Carlos Viltres, a mi bisabuela Elia Pérez, y a todos mis tíos y primos.

Aunque mis abuelas no están vivas quisiera que de donde me estén mirando se sientan orgullosas de mí y también mi abuelo Luis, que esto fue lo que él siempre soñó.

A mi amigo Jorlis Jiménez, a su mama Estela, a Leonardo Mojena y su esposa Matti, a Eliduvina, Mabo, Chichi y la Negrita, Yoendris, Noldis, Maydonis, Sergio y Jonson.

PENSAMIENTOS

"Descubrir con precisión lo que no ha sucedido ni va a suceder es el privilegio inapreciable de todo hombre culto y de talento."

Oscar Wilde

"Este es un gran día, estamos creando futuro"

Nelson Mandela

"Podrán morir las personas, pero jamás sus ideas."

Ernesto Ché Guevara

"Si una persona es perseverante, aunque sea dura de entendimiento, se hará inteligente; y aunque sea débil se transformará en fuerte."

"La práctica debe siempre ser edificada sobre la buena teoría."

Leonardo Da Vinci

A la cima no se llega superando a los demás, sino superándose a sí mismo."

Anónimo

RESUMEN

La existencia de deslizamientos en el Municipio Moa, generan situaciones de riesgo a las industrias, comunidades, las actividades socio-económicas y al medio ambiente. El presente trabajo **“Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector Este del Municipio de Moa”**, tiene como objetivo evaluar los niveles de riesgos por deslizamientos del territorio, diagnosticar los diferentes tipos de deslizamientos, determinando los factores causales y condicionantes, aplicar la metodología cubana de cartografiado de los riesgos por deslizamientos empleando los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.), confeccionar el mapa de riesgos por deslizamiento, y determinar y evaluar los riesgos por deslizamiento del sector Este del municipio Moa. La metodología se dividió en cuatro fases: 1 Inventario de los deslizamientos en las laderas y taludes. 2, Evaluación la peligrosidad, 3, la vulnerabilidad y 4, riesgos por deslizamiento. La autora determinó los factores causales y detonantes. Toda la información se procesó en formato digital; plataforma para la implementación de un Sistema de Información Geográfica. Como resultado se confeccionaron varios mapas temáticos que permitieron la obtención de la cartografía de peligrosidad la cual se realizó a partir del método criterios de expertos, y de vulnerabilidad por deslizamientos, hasta obtener el mapa de riesgos por deslizamiento del sector de estudio. Con estos resultados el Centro de Gestión para la Reducción del Riesgo en el municipio 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

The existence of landslides in the town of Moa generates landslide risks to the industries, communities, socio-economical activities and to the environment. The present investigation **“Evaluation of Landslide risks in slopes and cliffs of the eastern sector of the town of Moa”**, has as its objective to evaluate the levels of landslide risks of the territory, diagnose the different types of landslides, determine the causing and conditioning factors, apply the Cuban methodology for cartography of landslide risks using Geographical Information Systems (G.I.S), create a landslide risk map and to determine and evaluate the landslide risks of the eastern sector of the town of Moa. The methodology was divided into four phases: 1 Inventory of landslides in the slopes and cliffs, 2 hazard evaluations, 3 vulnerability evaluations and 4 evaluations of landslide risks. The author determined the causing and detonating factors of landslides. All the information was processed in digital format, the platform used for the implementation of a G.I.S. As a result various thematic maps were created from which a hazard map was obtained using the criteria method of experts, and a map of the vulnerability of landslides, the product of the two gave the resulting landslide risk map of the area of study. 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

INTRODUCCIÓN	1
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	2
PRINCIPALES RESULTADOS	11
REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	12
<i>Estado del arte.....</i>	<i>12</i>
<i>Antecedentes de la investigación.....</i>	<i>13</i>
CAPÍTULO I. CONDICIONES INGENIERO-GEOLÓGICAS REGIONALES Y SU INCIDENCIA EN LOS DESLIZAMIENTOS DEL SECTOR ESTE DEL MUNICIPIO DE MOA	15
INTRODUCCIÓN	15
1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	15
1.2 CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS.....	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 REGIONALES	31
1.11 VEGETACIÓN REGIONAL. SU IMPORTANCIA EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y LADERAS	32
1.12 CARACTERÍSTICAS INGENIERO-GEOLÓGICAS REGIONALES.....	33
CAPÍTULO II. VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS Y METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN DE RIESGOS POR DESLIZAMIENTO.....	35
INTRODUCCIÓN	35
2.1. VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS	35
2.1.1. <i>Etapas de trabajo.....</i>	<i>35</i>
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>	<i>38</i>
2.2.2. <i>Descripción de los factores utilizados en el Análisis de Peligrosidad</i>	<i>39</i>
2.2.3 <i>Valoración de los mapas de factores</i>	<i>44</i>
2.2.4 <i>Análisis de las condiciones de vulnerabilidad.....</i>	<i>45</i>
2.2.5 <i>Análisis de riesgos por deslizamiento</i>	<i>45</i>

CAPÍTULO III. EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS POR DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR ESTE DEL MUNICIPIO MOA.....	47
INTRODUCCIÓN	47
3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS DESLIZAMIENTOS DEL SECTOR ESTE DEL MUNICIPIO MOA.....	47
3.1.1 Descripción de los movimientos y las tipologías.....	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
3.5 CARACTERIZACIÓN DEL MAPA DE RIESGOS	66
3.7 PROPUESTA DEL PLAN DE MEDIDAS PARA PREVENIR O MITIGAR LOS RIESGOS POR DESLIZAMIENTO .	69
3.7.1 Medidas no Estructurales.....	69
3.7.2 Medidas Estructurales.....	71
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES.....	76
BIBLIOGRAFÍA	77
ANEXOS	88

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: como son el relieve, las lluvias intensas, las condiciones ingeniero-geológicas, la sismicidad y la acción antrópica.

Planteamiento del problema:

Para determinar el riesgo por deslizamientos, se requiere identificar aquellas áreas que poseen potencialidades de surgimiento y desarrollo de estos fenómenos geológicos. El Sector Este del municipio Moa, no queda exento de los peligros y riesgos asociados a movimientos de masas en sus taludes y laderas. La autora, ante las situaciones de riesgos geológicos, socio-económicos y ambientales que se generan, 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 municipio.

Objetivo General: Evaluar los niveles de riesgos por deslizamiento en el sector Este del municipio Moa.

Objetivos Específicos:

- Ø Diagnosticar los diferentes tipos de deslizamientos, 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 Este 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 Este del Municipio Moa, lo que permitirá la mejor toma de decisiones por las autoridades competentes.

Novedad Científica: La cartografía de riesgos por deslizamiento, aplicando un Sistema de Información Geográfica (S.I.G.) por primera vez para el Sector Este del municipio de Moa, 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, basada en las consultas bibliográficas relacionadas con la temática tratada.

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.

La autora 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.

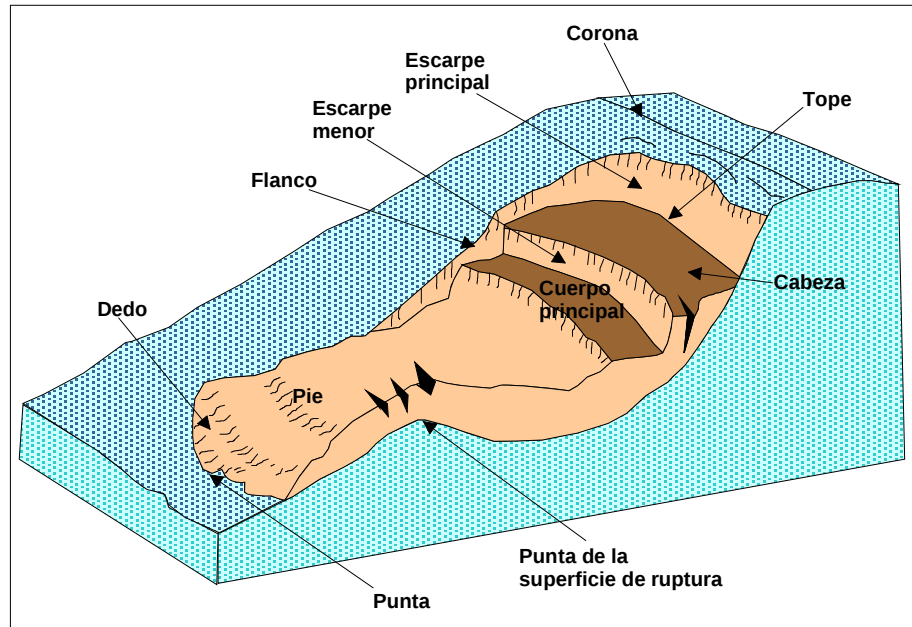


Figura 1. Elementos estructurales de un deslizamiento (Varnes, 1978).

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

Antecedentes de la investigación:

El tema de los deslizamientos dentro de los Riesgos Geológicos es muy estudiado en el mundo, lo que nos permite valorar como es analizado este fenómeno en diferentes condiciones geoambientales y en consecuencia establecer un programa de trabajo para el análisis de esta problemática en Cuba y específicamente en el sector Este del municipio de Moa. Con relación a esta temática en el área de estudio se han realizado varias investigaciones, de las mismas se consultó parte de la información relacionada con la ubicación de los deslizamientos, la metodología para la evaluación del riesgo, la aplicación de los S.I.G., pero estos trabajos solo se realizaron para pequeñas áreas del sector de estudio, de los pueden citar algunos de estos: Guardado R. y Almaguer Y., en el 2001 publican en la revista de Minería y Geología el artículo “Evaluación de Riesgos por Deslizamiento en el Yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín” en el cual se realizó la evaluación hidrogeológica del yacimiento, la determinación de las propiedades físico-mecánicas de las rocas y los suelos para evaluar el macizo

desde el punto de vista geomecánico y realizar el análisis de estabilidad, para obtener el mapa de riesgos por deslizamientos. En el análisis de estabilidad emplearon el método de las componentes principales (Alfonso Roche, 1989) para cuantificar el peso de cada variable sobre la estabilidad. En este trabajo no se realizó la evaluación del riesgo a partir de la implementación de los SIG.

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

Puig, R., en el 2007, en su trabajo de diploma “Evaluación de Riesgos Múltiples por desarrollo de fenómenos naturales en el municipio Moa”, dentro de estos riesgos se encuentra los ocasionados por deslizamiento del terreno, analiza estos riesgos teniendo en cuenta una serie de variables e indicadores geoambientales (geomorfología, tectónica, litologías, hidrogeología, precipitaciones, condiciones geotécnicas, etc.). También se propone un plan de gestión de riesgos según diferentes fases de aplicación para los asentamientos rurales, urbanos y áreas industriales. Como resultados se obtiene un mapa de peligrosidad por fenómenos naturales, un mapa de vulnerabilidad y un mapa de riesgos múltiples por fenómenos naturales del territorio de Moa, mediante la implementación de un Sistema de Información Geográfico (S.I.G.) que permite determinar la susceptibilidad del territorio frente a los fenómenos naturales y evaluar los riesgos asociados a estos eventos geodinámicos.

A partir del análisis profundo, de estos y otros trabajos correspondientes al sector de estudio, y al concluir que la información que estos brindan no es suficiente para la evaluación de los riesgos por deslizamiento para el área en general, el Centro de Gestión para la Reducción del Riesgo en el Municipio de Moa, planteó la necesidad de tener disponible esta información, lo que motivó la elaboración de este trabajo de diploma.

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

En el presente capítulo se ofrecen detalles sobre las características, climáticas, hidrológicas, geomorfológicas, geólogo-tectónicas, ingeniero-geológicas, socioeconómicas, geoambientales y otras. Que permiten obtener una visión general del territorio en vista a evaluar las condiciones ingeniero-geológicas y su incidencia en los deslizamientos del Sector Este 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 Este del Municipio Moa, Provincia de Holguín. El área se seleccionó a partir de los Consejos Populares del Este del municipio Moa (La Melba, Punta Gorda, Rolo-Vegueta y Yamanigüey), (Anexo 21). Limita al Este con el municipio Baracoa, separados por los ríos Jiguaní y Jaguaní; al Sur con el municipio de Yateras, cuya frontera la establece el origen del río Toa; al Oeste el río Arroyón y parte del curso del río Moa que limita los Consejos Populares del Oeste del municipio Moa (26 de Junio, Joselillo-Los Mangos y Farallones); 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 en la Bahía de Yamanigüey. El sector de estudio tiene un área de 436,27 kilómetros cuadrados (Km²), forma parte del grupo montañoso Sagua-Moa-Baracoa, (Figura 1.1).

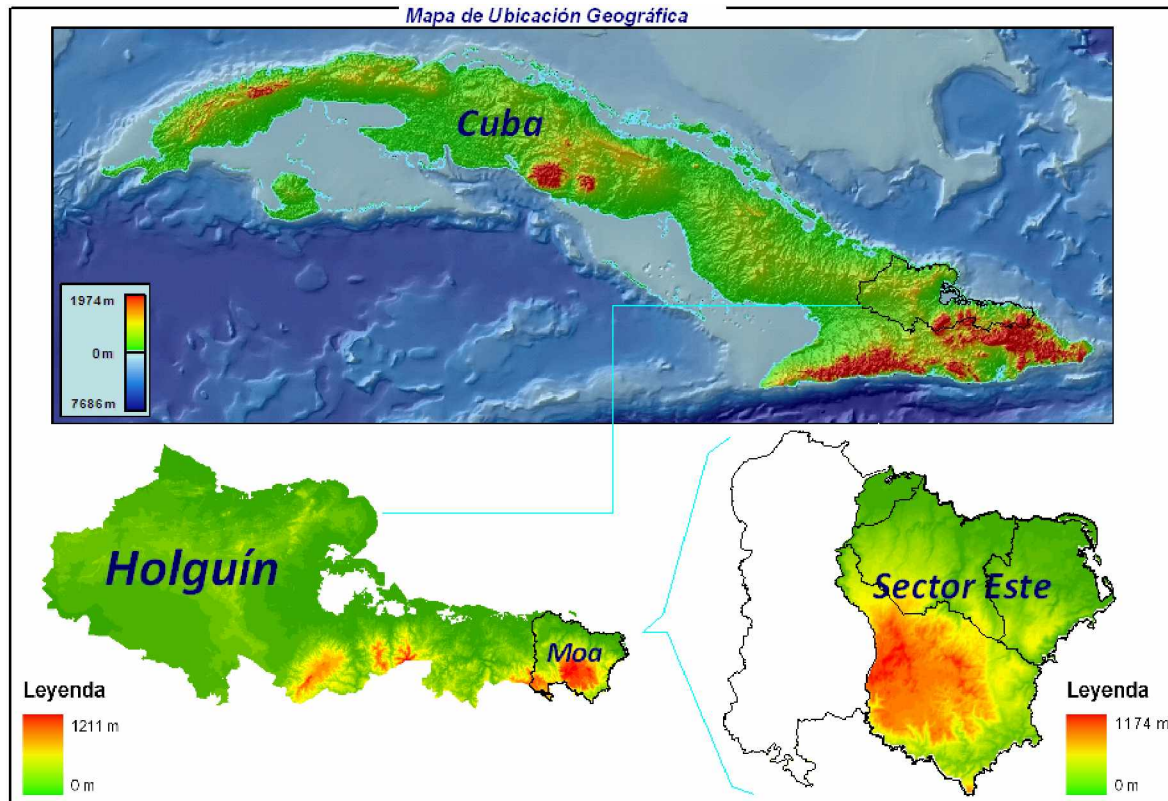


Figura 1.1 Mapa de ubicación geográfica del sector Este del municipio Moa. Escala 1: 100 000.

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 Sotro 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 unas de las mayores pluviometrías 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.

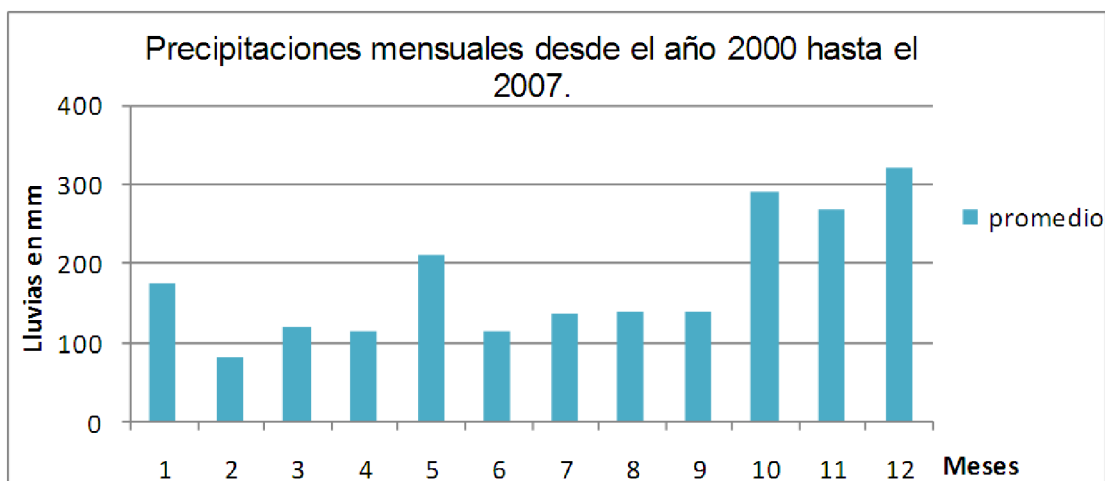


Figura 1.2 Promedio de lluvias mensuales desde el año 2000 hasta el 2007 (I.N.R.H., 2007).

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.

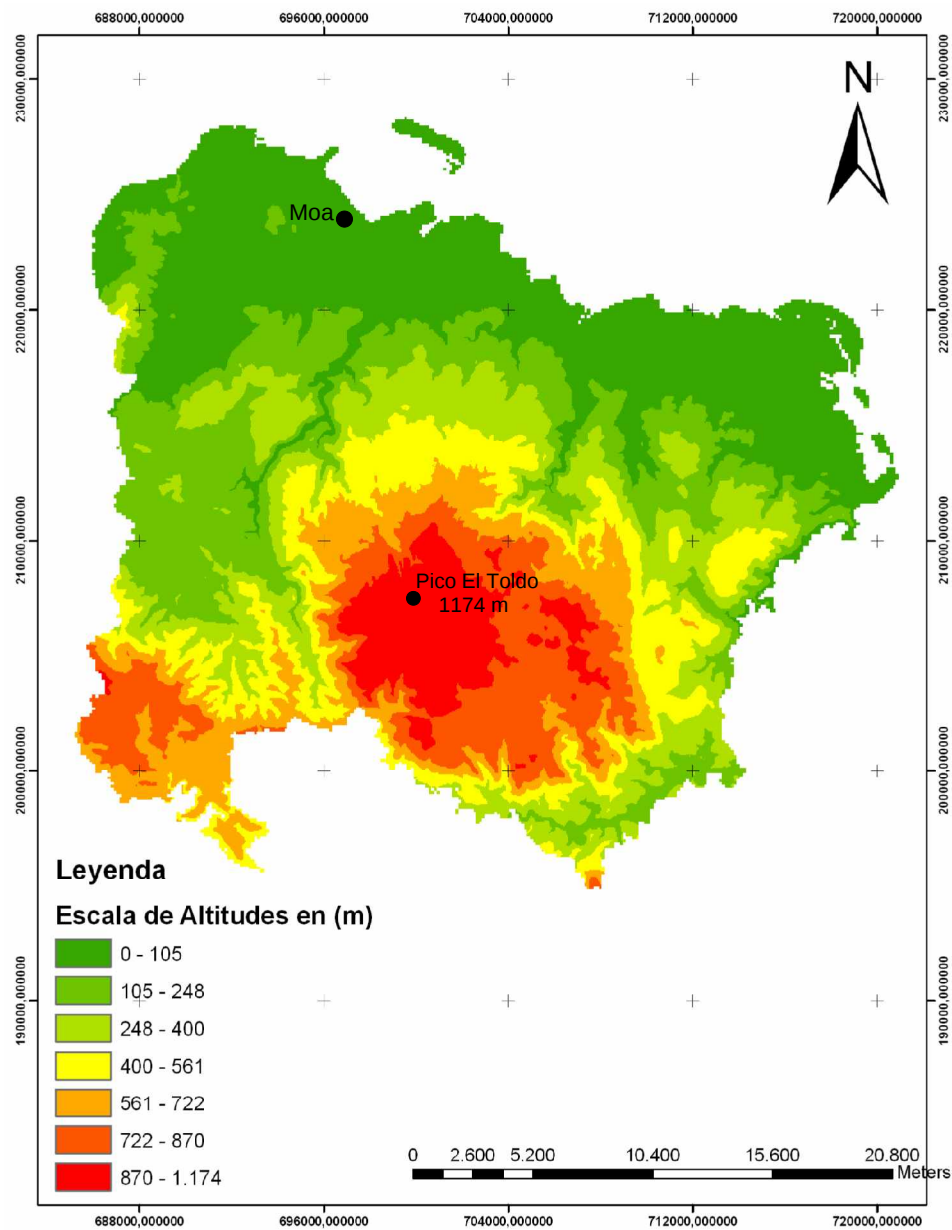


Figura 1.3 Mapa de altitudes del Municipio Moa. Escala 1: 100 000.

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 (1998) en la región, este divide las fajas ofiolíticas en dos grandes macizos: 1) El macizo Moa-Baracoa y 2) El Macizo Mayarí-Cristal.

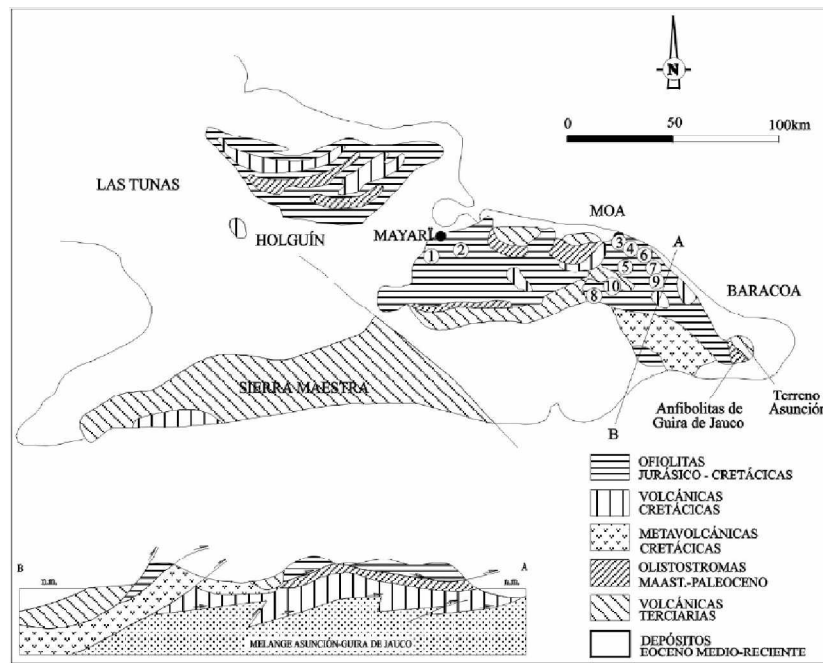


Figura 1.4 Ubicación de la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Iturralde-Vinent, 1996). Los números indican la ubicación de las principales áreas de distribución de los depósitos lateríticos de níquel y cobalto: 1- Pinares de Mayarí, 2- Nicaro, 3- Moa, 4- Punta Gorda-Yagrumaje, 5- Las Camariocas, 6- Cantarrana-La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

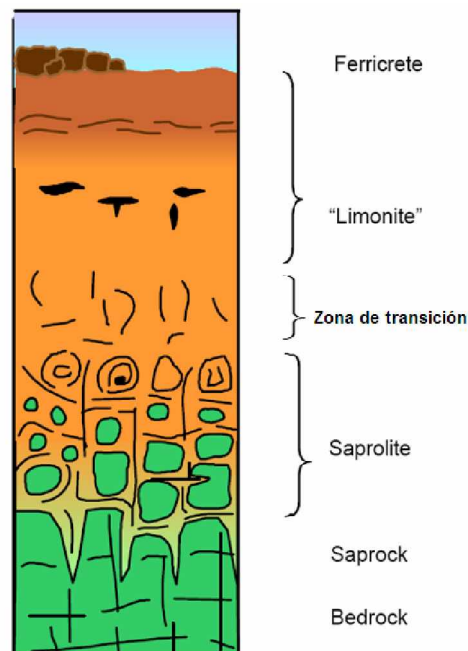


Figura 1.5 Perfil general laterítico de los suelos de la región de Moa. La dimensión en vertical no está a escala. Tomado de Muñoz, N., 2004.

La geología del Sector Este 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 la autora (figura 1.6).

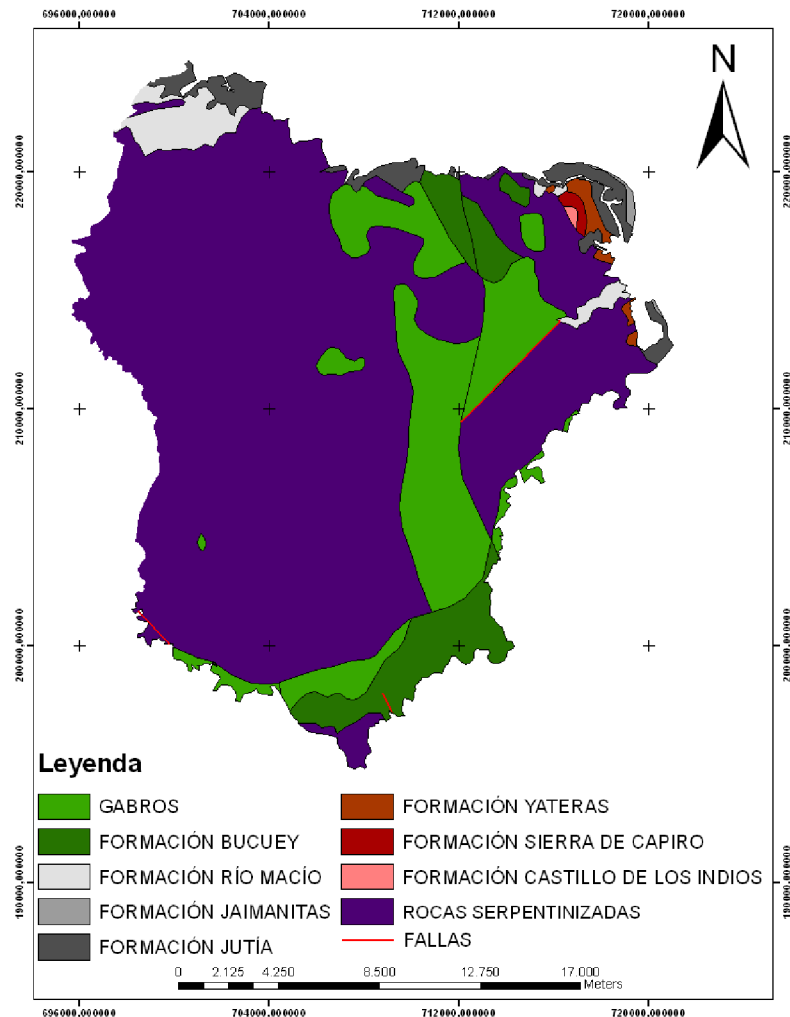


Figura 1.6 Esquema geológico del área de estudio. Escala Original 1:100 000. Tomado del I.G.P. 2001.

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

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

Formación Sierra de Capiro (Eoceno Superior): Constituida por areniscas, aleurolitas y margas bien estratificadas con intercalaciones de conglomerados finos compuestos por cantos de serpentinitas, calizas arrecifales, cristaloclastos de piroxenos y cuarzo y rocas volcánicas. Hacia la base de la formación se localizan olistostromas de bloques de serpentinitas muy alteradas y diabasas. En muchos lugares se observa una clara gradación de conglomerados y areniscas.

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

Formación Bucuey (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 área 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 mencionadas 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 reacomodamiento 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 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 km², 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 km² y los ríos Cayo Guam, Cabañas, Quesigua, Yagrumaje, Yamanigüey y Punta Gorda con cuencas hidrográficas muy inferiores, pues ninguna supera los 100 km².

El río Cayo Guam, nace en la cota 820 m y desemboca en el Océano Atlántico, su área de alimentación es de 57,71 Km². 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 Km². 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 Km². 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 y 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.

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 acarcavamiento, 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.

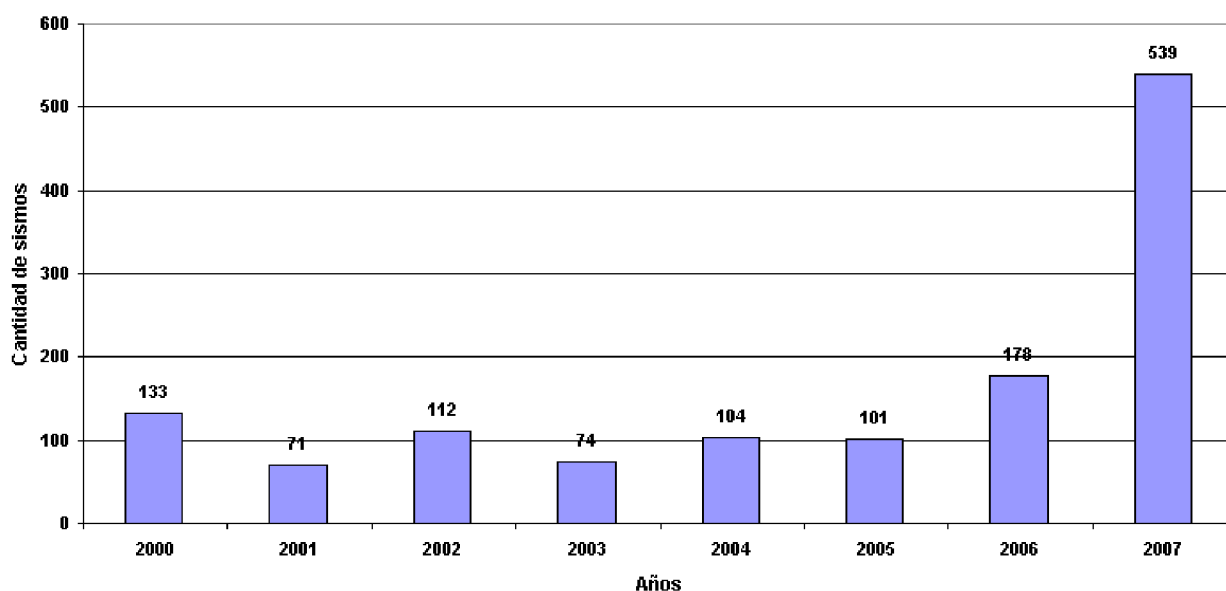


Figura 1.7 Cantidad de sismos registrados en la zona de monitoreo sismológico Moa-Purial entre los años 2000 al 2007. Se observa un aumento significativo en el año 2007 de la cantidad de sismos. (I.G.P., et al., 2008).

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 regionales

El potencial ambiental en el Municipio, está relacionado con el valor natural presente en el territorio y la incidencia de la actividad minera sobre el medio ambiente. Los componentes que constituyen este potencial son: vegetación y fauna, atmósfera, agua, los suelos y el paisaje. Los principales indicadores que forman parte de cada componente son:

- Ø Atmósfera: impacto atmosférico.
- Ø Agua: impacto hídrico.
- Ø Suelo: impacto al suelo.
- Ø Vegetación y Fauna: impacto ecológico.

Ø Paisaje: calidad del paisaje.

El indicador de impacto atmosférico, toma en cuenta los niveles de ruido y de contaminación del aire, y las medidas que se toman en la mina para disminuir dichas afectaciones. A través del indicador de impacto hídrico, se analizan, tanto las afectaciones ocasionadas a las aguas superficiales y subterráneas por la actividad minera, como las afectaciones que producen dichas aguas al proceso de explotación de los recursos minerales. Dicho indicador está constituido por la cantidad y calidad de las aguas superficiales, (precipitaciones) y las aguas subterráneas, (manto freático).

Las afectaciones que la explotación minera le ocasiona al suelo, son valoradas a través del indicador de impacto al suelo y se determina por la cantidad de suelos recuperados una vez concluida la actividad minera. Las afectaciones ocasionadas por la minería sobre el medio biótico y abiótico de la región, se valoran a través del indicador de impacto ecológico, el que está constituido por la vegetación, la fauna y cada una de ellas se valoran a partir del nivel de endemismo y diversidad presentes en la región. La necesidad del estudio de la influencia de las ciudades en los cambios naturales sobre el medio geológico está determinada por los siguientes aspectos (Gaston, E., 1996):

- Ø Las urbanizaciones contemporáneas son transformadores activos del medio. El estudio de las regularidades de los cambios antropogénicos en los geoambientales urbanos presentan una gran importancia por la interacción que este realiza entre la litósfera, hidrósfera y atmósfera. Su mayor interés lo representa debido al crecimiento desordenado del área, profundidad y altura que experimentan estos.
- Ø Las nuevas construcciones provocan cambios en la naturaleza de la ciudad en particular para las condiciones ingeniero-geológicas, sobre todas, aquellas que poseen un deficiente estudio geotécnico o ingeniero-geológico y su proyecto es el reflejo de este.
- Ø Algunos cambios del ambiente natural y sus indeseables consecuencias negativas influye en la conservación de las ciudades, alteran su régimen de desarrollo normal, de su explotación territorial, económico, de durabilidad de sus edificios, obras y de los monumentos históricos, símbolo actual de la ciudad.

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 (γ_d), composición granulométrica e índice plástico (I_p). La densidad seca (γ_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 (PVR) por deslizamientos de terreno, en este caso el sector Este del municipio de Moa, se han seguido las recomendaciones generales de los “lineamientos metodológicos para estudios de PVR” realizados por la AMA (2007), “la guía de estudios de riesgo” realizado por el EMNDC (2005), así como 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 la autora 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.

La autora 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, la autora 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 Este 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).

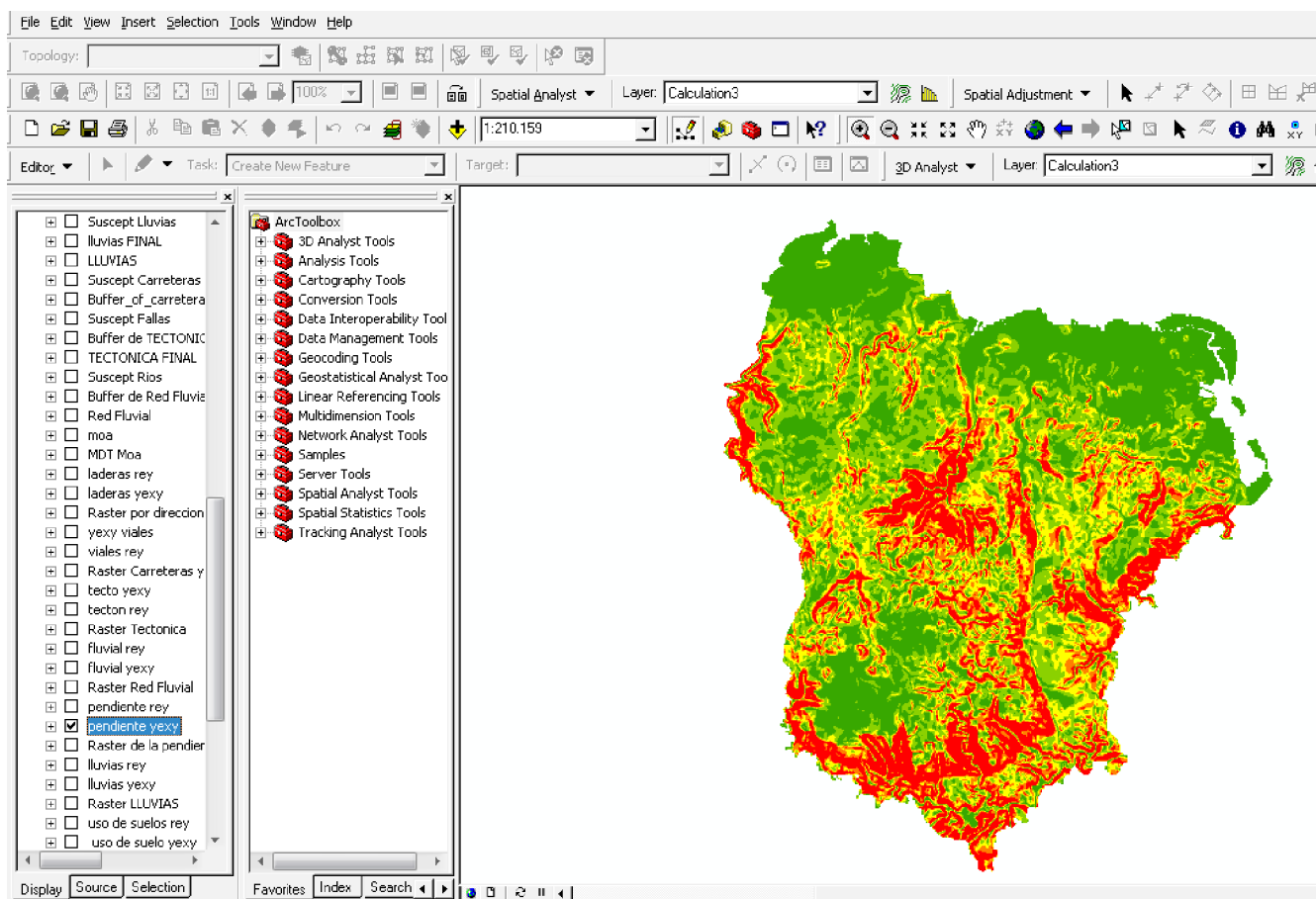


Figura 2.1 Visualización del VIEW de los mapas temáticos.

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).

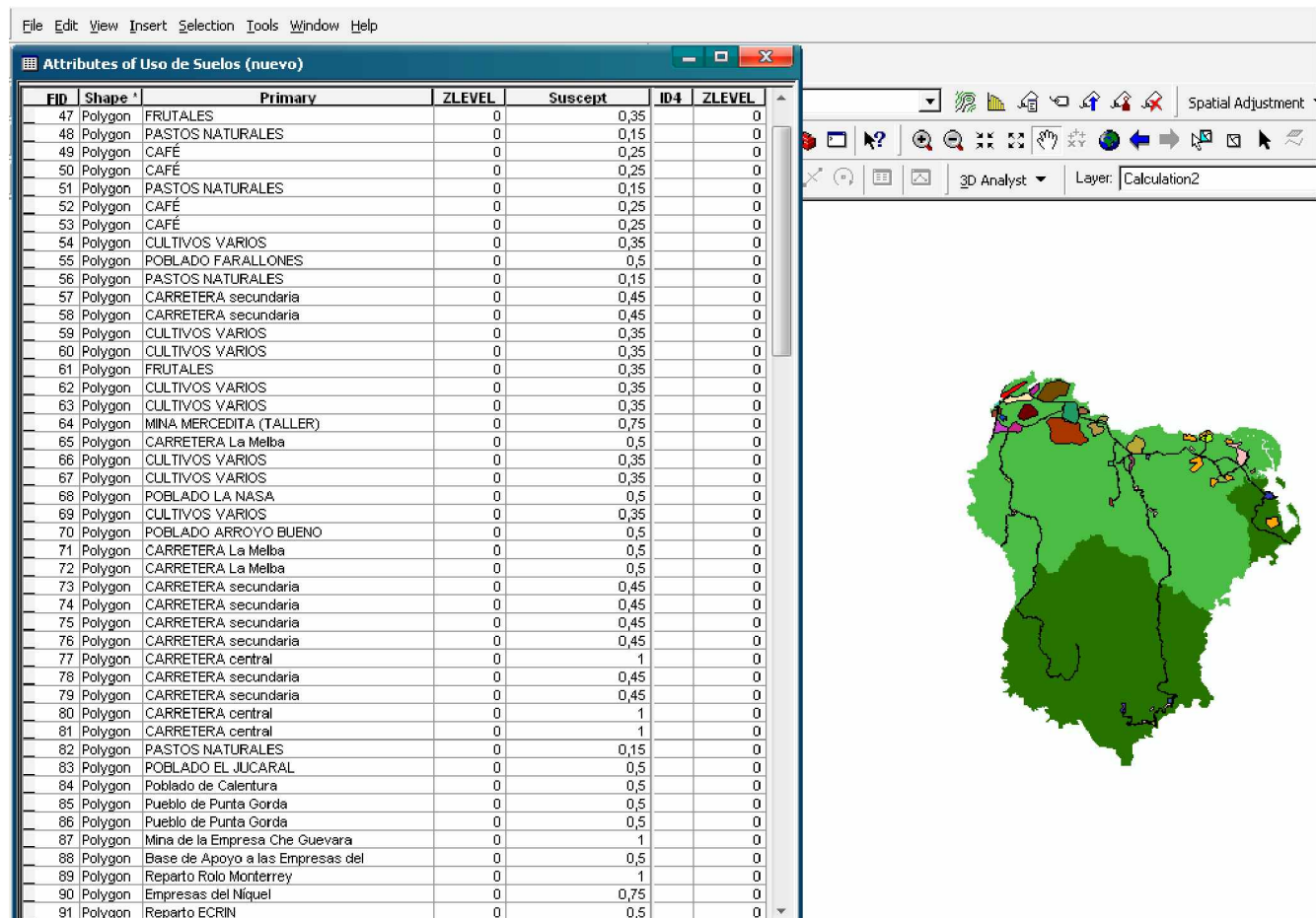


Figura 2.2 Visualización de la tabla de atributos de los mapas temáticos utilizados.

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

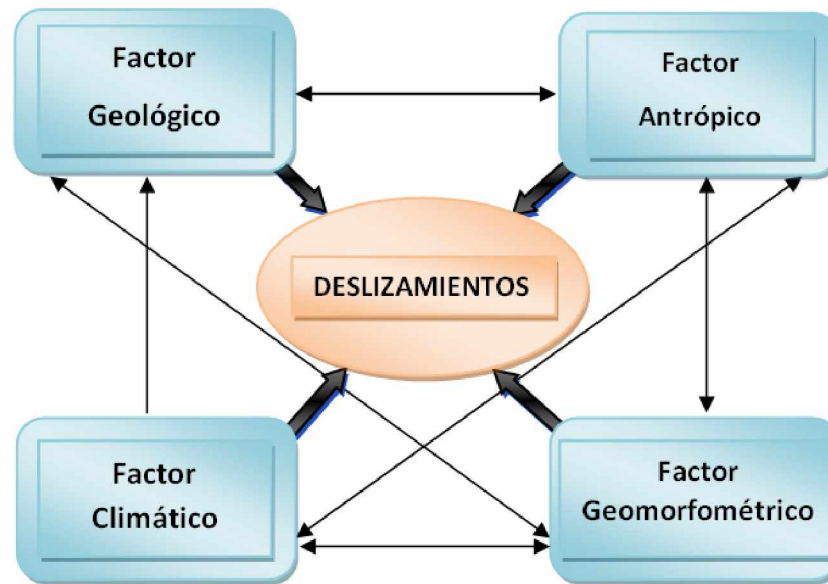


Figura 2.3 Modelo para la valoración de la peligrosidad por deslizamientos.

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, geotécnicas y peso (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 ³ y con media resistencia al cortante.

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

Distancia a las fallas

El análisis de distancia a fallas fue realizado por la interpretación del mapa tectónico del Sector Este 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 $>45^{\circ}$ (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 Geología y Cartografía (I.C.G.C.) a escala 1: 25 000 y a partir de la correlación con el M.D.T. a escala 1:100 000 (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 Este municipio Moa (Anexo 8). La información procesada referente al uso de suelo está dividida en 15 clases, estas son: asentamiento poblacional, café, cultivos varios, embalses, pastos naturales, minas, empresas, depósitos de cola, aeropuerto, puerto, campismo, carreteras, 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.

**Mapa Temático de Factores
(Formato Vectorial)**

**Mapa de Peligrosidad de Factores
(Formato Ráster)**

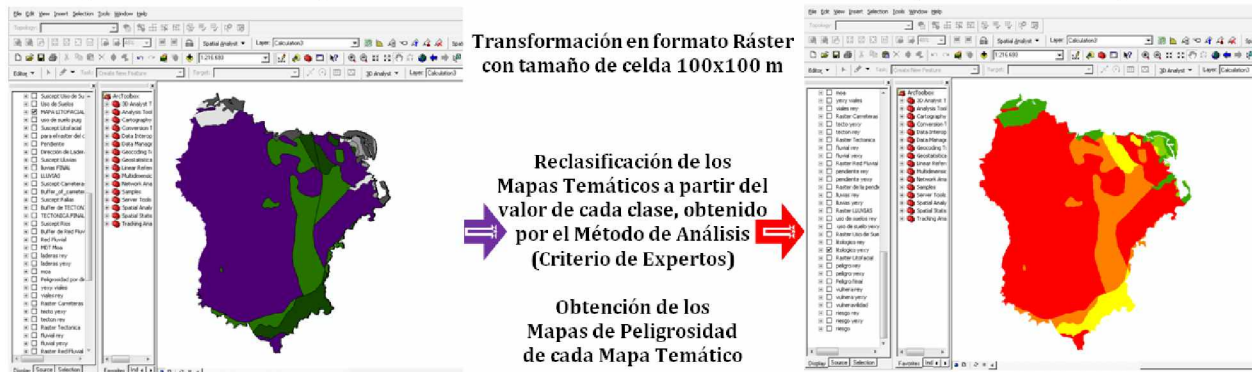


Figura 2.4 Proceso de rasterización y reclasificación para la obtención de mapas de peligrosidad de factores.

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 12). Dentro de estos indicadores se encontraban fundamentalmente: asentamientos poblacionales, carreteras, empresas, presas de colas, embalses, minas, cultivos, áreas protegidas y vegetación natural.

La mayor concentración de estos elementos se aprecia en la parte norte del área donde se ubica la cabecera municipal, con una alineación este a oeste fundamentalmente. Los asentamientos poblacionales están distribuidos de forma desigual en mayor o menor medida y en ocasiones forman áreas considerables, como es el caso de los Consejos Populares Rolo-Veguita y Punta Gorda. 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 Este del municipio Moa”, queda reflejado en la figura 2.5.

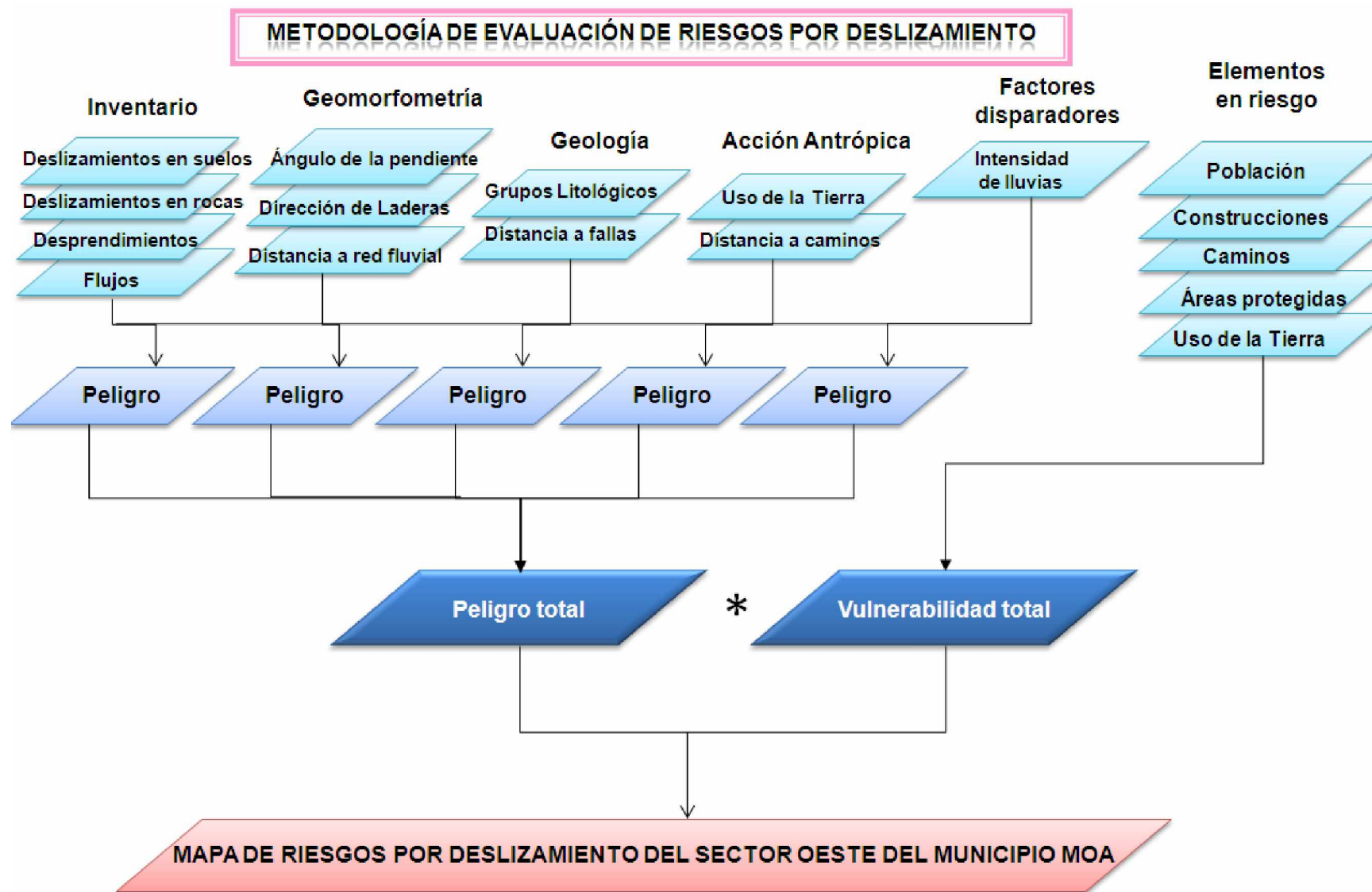


Figura 2.5 Metodología de Evaluación de Riesgos por Deslizamiento en el Sector Este del municipio Moa.

CAPÍTULO III**EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS POR DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR ESTE 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, 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 Este 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 Este del municipio Moa

Para determinar las particularidades de los movimientos de masas, la autora se basó en las etapas de análisis de la información y trabajos de campo, se consultaron también personas expertas en la temática. Se ubicaron 88 deslizamientos en taludes y laderas, representados en el mapa de inventario (figura 3.1). De acuerdo al tamaño del Sector Este del municipio Moa (436,27 Km²) y la escala del trabajo (1: 100 000), se decidió hacer una caracterización general de estos fenómenos.

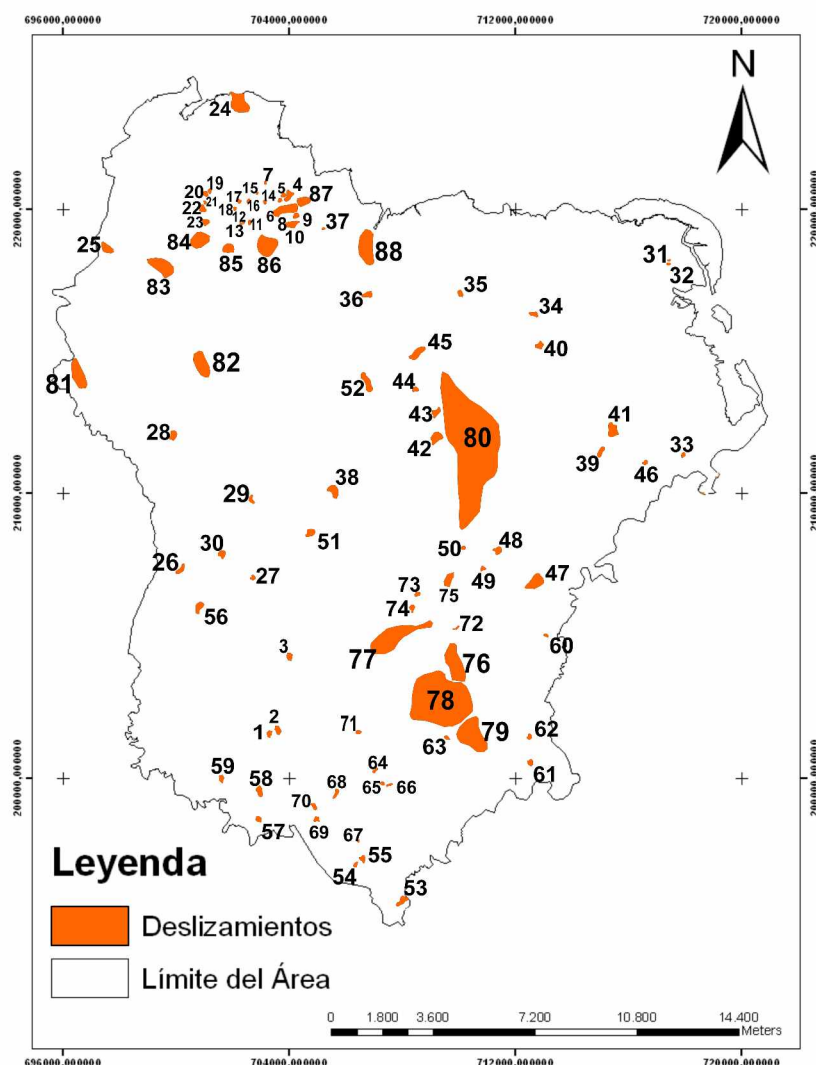


Figura 3.1 Mapa de inventario de los deslizamientos. Escala 1: 100 000.

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), Lomtatze (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 Este 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 Este del municipio de Moa.

Tipo de movimiento	Caracterización	Factores que intervienen	Condicionales ingeniero-geológicos	Visualización del fenómeno
Desprendimientos Mecanismos: Caída de bloques, Desprendimientos periódicos, Desprendimientos en masa, Formación de escarpes y acantilados, Avalanchas.	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: La Melba, Parque Alejandro Humboldt.	La forma del movimiento está gobernada por la morfología del terreno. Pendientes elevadas $>60^{\circ}$. 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.	Ocurren en laderas de los causes 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.	 Desprendimientos

**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: La Melba

Pendientes entre 20° - 40° 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 la rocas serpentinizadas, 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.



Deslizamiento en rocas



Deslizamiento en rocas

Deslizamientos EN SUELOS: <u>Mecanismos:</u> Rotacional, Traslacional	Movimiento de masa de velocidad moderada en superficies de fallas circular, rotacional y traslacional. Se forman grietas de tracción en la cresta. Los desplazamientos son menos anchos que largos. Los lugares más representativos son: La Melba, Minas de E.C. Che Guevara.	Pendientes entre 20⁰-40⁰. Las direcciones están en NE, NW, N y EW. Precipitaciones por encima de los 120-220 mm. Aumento de sobrecarga en la cresta de los taludes. Cortes en el pie los taludes y laderas en viales. Vibración por sismos, voladuras, etc.	Suelos areno-arcillosos, arcillas. Formando parte del perfil laterítico. Se manifiestan en laderas y cuencas hidrográficas, Las arcillas poseen una alta plasticidad y capilaridad. Son suelos poco permeables, generan alta carga hídrica. Poca resistencia al corte, alta deformabilidad e inestabilidad. Disminución de la resistencia de los suelos.	 Deslizamiento rotacional
---	--	--	---	--

Flujos

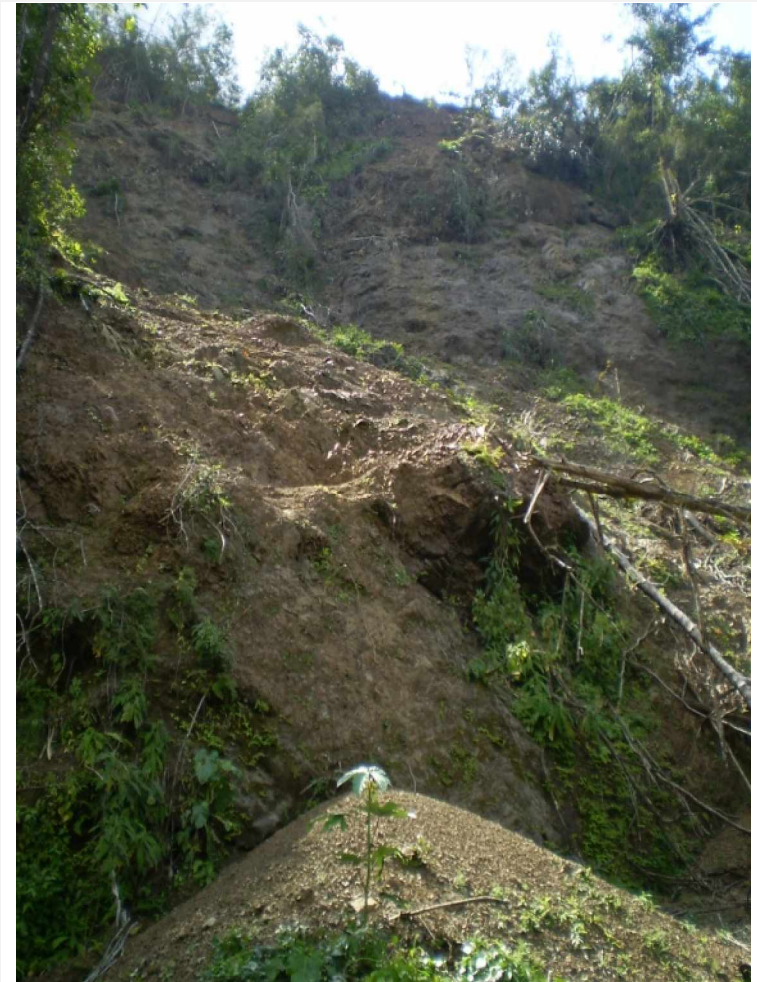
Mecanismos:

Flujo de derrubios y bloques, Coladas de suelos y rocas.

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.

Pendientes entre Fuertes precipitaciones durante períodos prolongados de lluvia anormalmente, mas de 400mm Fenómenos meteorológicos. Sismicidad: sismos, terremotos, vibraciones, etc.

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, horizontal o en contrapendiente, hay un aumento repentino de la fricción interna y disipación rápida de la energía cinética y en consecuencias



Flujos

La gran energía cinética desarrollada permite largos recorridos sobre superficies poco inclinadas con formación de conos de eyección que cubren grandes áreas. Los lugares más representativos son: La Melba, mina Che Guevara y parque Alejandro Humboldt.

una acumulación de la masa al pie de la ladera. No presentan superficie de rotura definida. Para pendientes y topografía abrupta la masa puede desarrollar grandes velocidades y altos niveles de energía cinética. Materiales de alta porosidad. La masa está compuesta por finos mezclados con guijarros y bloques. La ruptura deja en el suelo nichos en forma de "V".



Coladas de Suelos

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 71,18% del área total, representando peligrosidad de muy alta; los gabros del complejo ofiolítico representan un 15,94% del área total y se clasifican con peligrosidad alta; la vulcanógena sedimentaria ocupa el 6,49% 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 (0,9%) 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 5,49% del área total. (Anexo 13).

Tabla 3.2 Caracterización de la peligrosidad por grupos litológicos.

Clases de Peligrosidad	Grupos Litológicos	No. de Píxel	Por ciento del área total
Muy Alta	Peridotitas y Harzburgitas del Complejo Ofiolítico.	1 374 404	71,18
Alta	Gabros del Complejo Ofiolítico.	307 707	15,94
Moderada	Vulcanógena Sedimentaria.	125 269	6,49
Baja	Carbonatada Terrígena.	17 390	0,9
Muy baja	Sedimentos Costeros, Sedimentos de Ríos.	106 014	5,49

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 14,67% del área total; la distancia a 200 m representa peligrosidad alta, ocupa 14,07% del área total; la clase moderada es a 300 m de distancia y contiene 13,24% del área total; la peligrosidad baja representa la distancia 400 m y contiene 11,78% del área; por último la peligrosidad muy baja correspondiente con la distancia 500 m y es la que ocupa mayor extensión (46,24%) del área total. (ANEXO 14).

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

Clases de Peligrosidad	Distancias	No. de Píxel	Por ciento del área total
Muy Alta	100 m	284 044	14,67
Alta	200 m	272 452	14,07
Moderada	300 m	256 241	13,24
Baja	400 m	228 001	11,78
Muy baja	500 m	894 982	46,24

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 relacionada con el intervalo de pendiente 0°-15°, y ocupa la mayor

extensión, 38,18% del área total. La clase baja se relaciona con pendientes de 15°-25°, y ocupa el 24,2% del área. La clase moderada se relaciona con las pendientes 25°-35°, ocupando el 16,45% del área total. La clase de alta peligrosidad se relaciona con las pendientes de 35°-45° y ocupa el 10,61% del área. La peligrosidad muy alta se relaciona con las mayores pendientes >45°. Ocupando el 16,56% 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°	621 320	38,18
Baja	15°-25°	467 186	24,2
Moderada	25°-35°	317 554	16,45
Alta	35°-45°	204 937	10,61
Muy Alta	>45°	319 785	16,56

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, ocupa 21,24% del área total; la distancia a 200 m representa peligrosidad alta, ocupa 18,11% del área total; la clase moderada es a 300 m de distancia y contiene 14,95% del área total; la peligrosidad baja representa la distancia 400 m y contiene 12,04% del área; por último la peligrosidad muy baja correspondiente con la distancia 500 m y es la que ocupa mayor extensión (33,67%) 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	411 083	21,24
Alta	200 m	350 524	18,11
Moderada	300 m	289 314	14,95
Baja	400 m	233 081	12,04
Muy baja	500 m	651 718	33,67

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 (16,33%), este (15,58%) y noreste (17,35%). 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	164 858	8,54
	Sur		
Baja	Sureste	361 825	18,74
	Suroeste		
Moderada	Este	490 641	25,41
	Oeste		
Alta	Noreste	598 160	30,98
	Noroeste		
Muy Alta	Norte	315 298	16,33
	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 43,27% del área total, representada en el área fundamentalmente por el parque nacional Alejandro Humboldt; mientras que la peligrosidad baja ocupa la mayor extensión del área (51,17%), representada generalmente por la vegetación. La clase moderada contiene el 1,06% del área total, del mismo modo las peligrosidades alta y muy alta ocupan un 1,6 % y 2,9% del área total respectivamente, representadas

fundamentalmente por minas, presas de colas, 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	836 941	43,27
Baja	989 810	51,17
Moderada	20 590	1,06
Alta	30 854	1,6
Muy Alta	56 145	2,9

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 17,86% 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 11,06% del área total; la peligrosidad baja representa la distancia 400 m y contiene 9,05% del área; por último la peligrosidad muy baja correspondiente con la distancia 500 m y es la que ocupa mayor extensión (48,26%) 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	345 561	17,86
Alta	200 m	266 627	13,78
Moderada	300 m	213 986	11,06
Baja	400 m	175 035	9,05
Muy baja	500 m	933 918	48,26

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 noroeste, centro y sur, 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 14,88% del área total; la peligrosidad baja, representada un 25,43% del área total; la clase moderada ocupa la mayor extensión del área (41,7%); las peligrosidades alta y muy alta ocupan un 12,54% y 5,45% 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	105 476	5,45
Alta	242 460	12,54
Moderada	806 274	41,7
Baja	491 677	25,43
Muy baja	287 794	14,88

3.3 Caracterización del mapa de peligrosidad total

El mapa de peligrosidad por desarrollo de deslizamientos en el Sector Este del municipio Moa, se obtuvo a partir de la integración de los mapas de peligrosidad de cada factor condicionante y desencadenante analizado (mapa litológico, mapa de ángulo de la pendiente, mapa dirección de laderas, mapa de uso de suelos, mapas de influencia de la red fluvial y red vial, mapa de distancia a fallas y mapa pluviométrico), utilizando el S.I.G., (figura 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 el noroeste y suroeste fundamentalmente, aunque se observan además en la parte central y al este del área. Las zonas con peligrosidad alta y muy alta se relacionan generalmente con rocas ultrabásicas serpentinizadas y gabros, ambas con alto grado de agrietamiento e intemperismo; estas zonas se localizan en laderas de altas pendientes y donde se tienen los mayores valores pluviométricos reportados; además, se relacionan con zonas de fallas, nudos tectónicos o cercanos a causas 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 por ciento de área que ocupa.

Tabla 3.10 Caracterización del mapa de peligrosidad total frente a deslizamientos del sector Este 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.	141 687	7,38
Baja	Bajo grado de peligrosidad por deslizamientos. Se pueden manifestar algunos movimientos de pequeñas dimensiones.	311 285	16,2
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.	553 485	28,81

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.	671 731	34,96
Muy Alta	Peligrosidad total. Se pueden generar deslizamientos debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas, actividad antrópica e intensas lluvias. No se deben ubicar instalaciones, carreteras y viviendas en estas áreas, porque estarán expuestas a los movimientos.	242 988	12,65

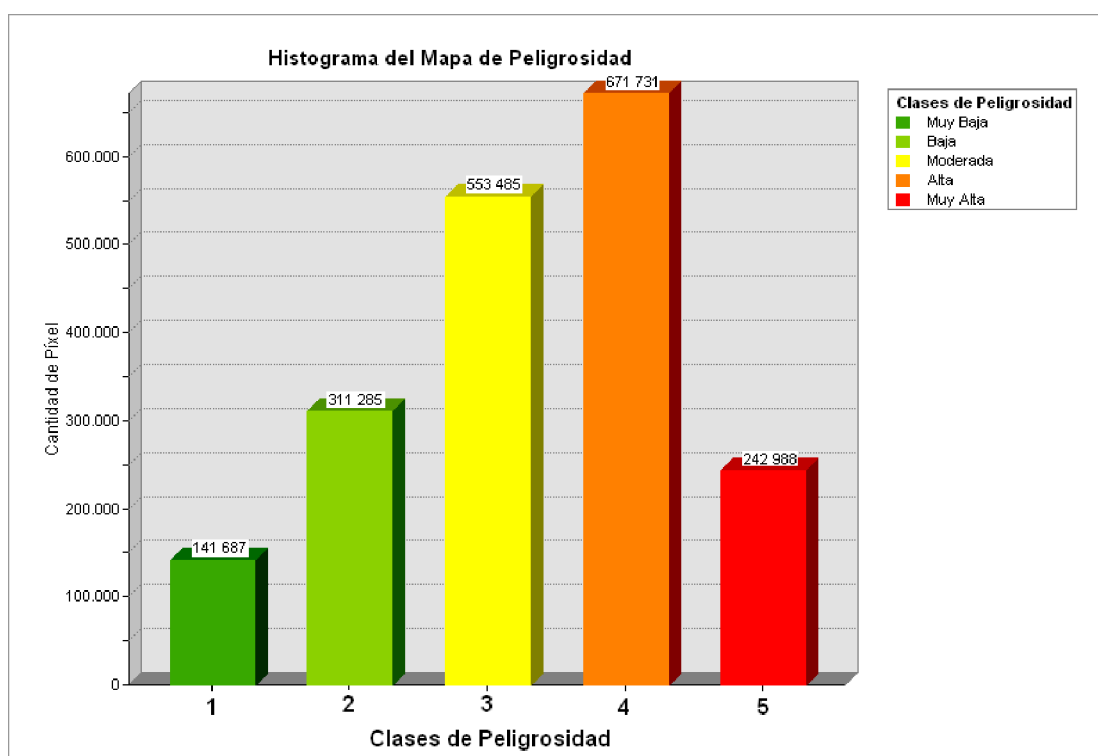


Figura 3.2 Histograma de frecuencia del mapa de peligrosidad total por deslizamientos del sector Este del municipio Moa.

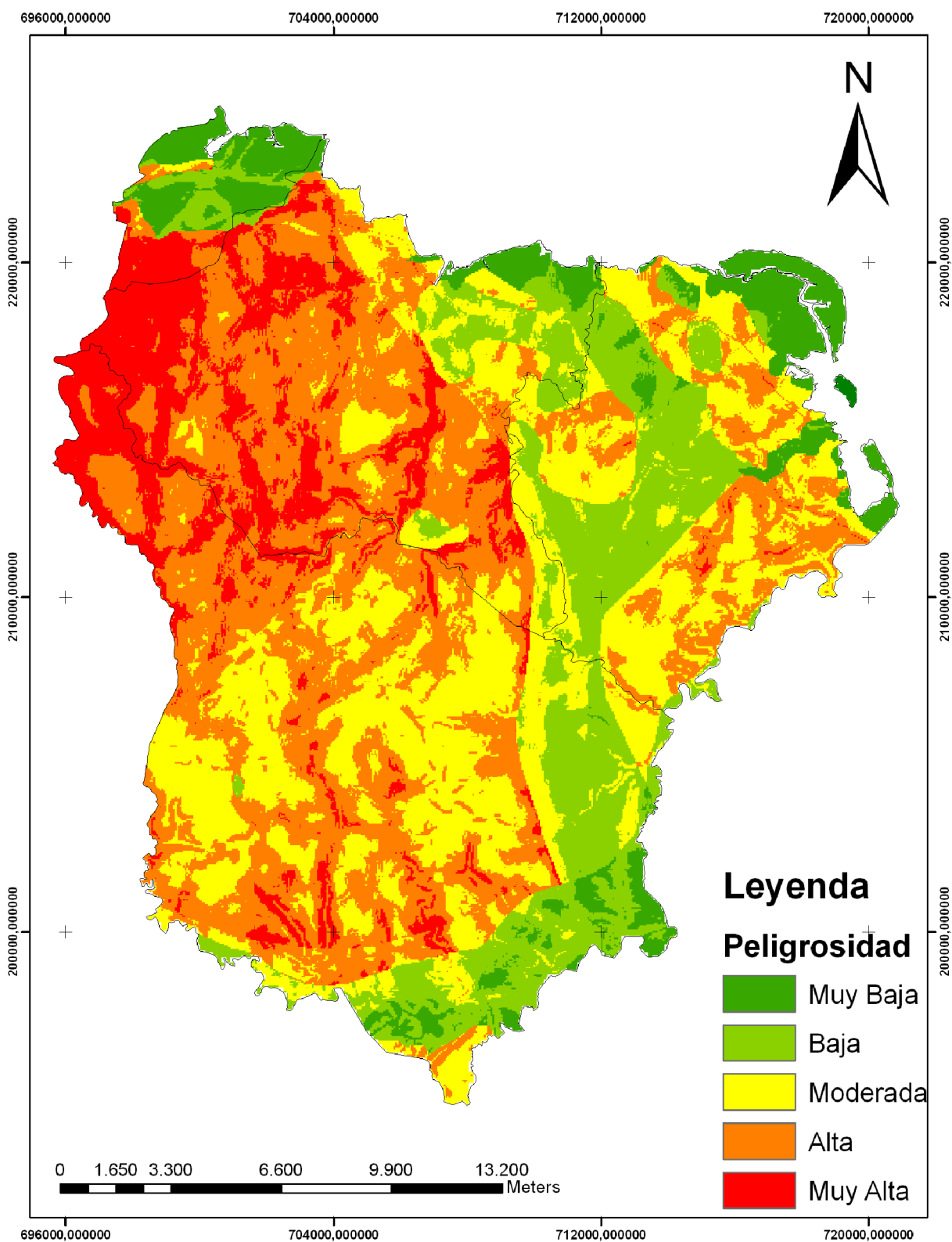


Figura 3.3 Mapa de Peligrosidad Total por Deslizamientos del Sector Este del municipio Moa.

Escala 1: 100 000.

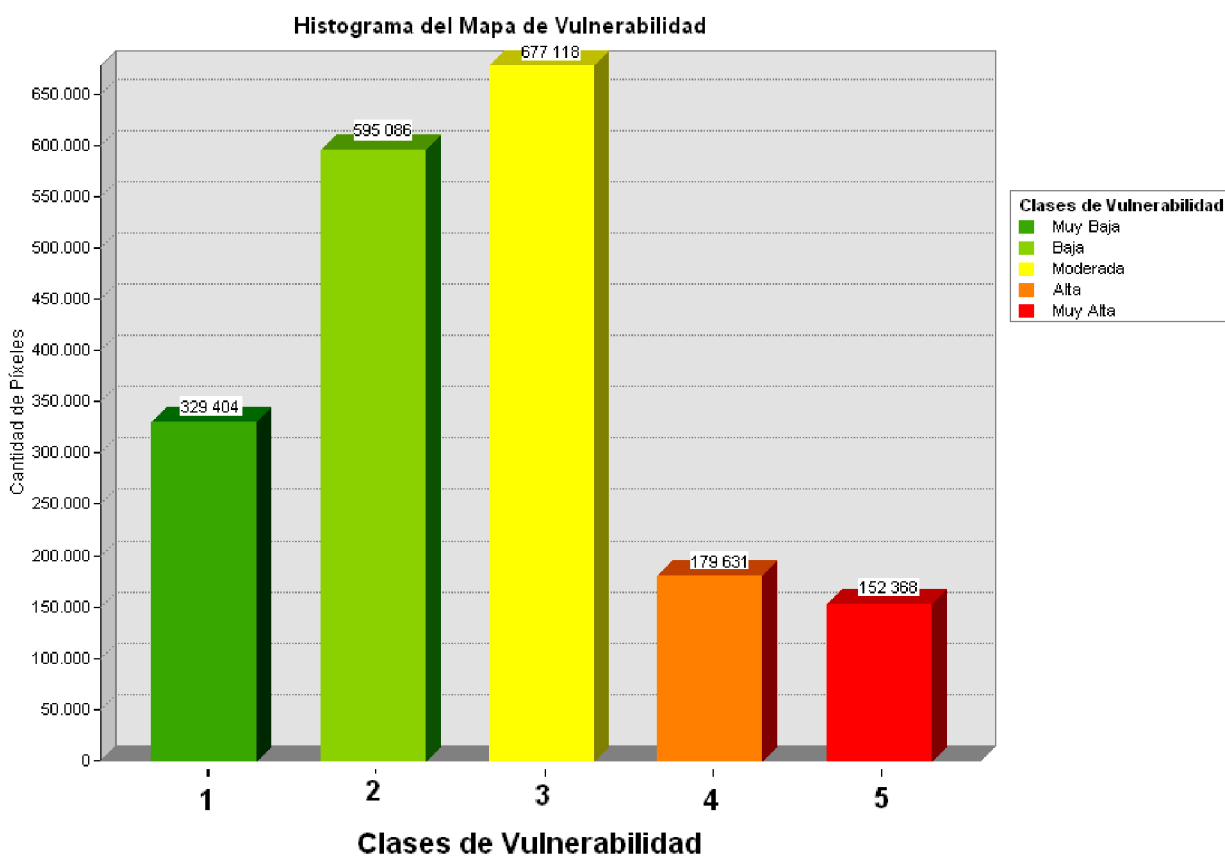
3.4 Caracterización del mapa de vulnerabilidad total

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 Este 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 como se muestra en tabla 3.11 y figura 3.4. Según nos muestra la figura 3.5 los mayores índices de vulnerabilidad se encuentran hacia la parte sur-sureste, y de forma aislada hacia el noreste y al noroeste del municipio, y corresponde al (7,88%) del área total, afectando sectores de los consejos populares La Melba hacia el este y sur, Yamanigüey al suroeste, noroeste, sureste y una pequeña porción del oeste del consejo popular Punta Gorda y el noreste de Rolo-Veguita. En el mapa la vulnerabilidad alta tiene un 9,29% del total, y se semeja con las ubicaciones anteriores descritas, correspondiente a la vulnerabilidad muy alta. El mayor por ciento del área total es 35,02 y es de vulnerabilidad moderada, esta se ubica mayoritariamente al sur del sector de estudio, en el consejo popular La Melba y de forma aislada afecta algunas partes de los demás consejos populares. La vulnerabilidad baja ocupa un 30,78% y se encuentra distribuida hacia el norte del área. Por último la vulnerabilidad muy baja, representa un 17,04% del total y se localiza en los consejos populares de Yamanigüey, Punta Gorda y en una pequeña parte del noroeste de La Melba.

Tabla 3.11 Caracterización de mapa de vulnerabilidad total por deslizamientos del sector Este del municipio Moa.

Clases de Vulnerabilidad	No. De Píxel	Por ciento área total
Muy baja	329 404	17,04
Baja	595 086	30,78
Moderada	677 118	35,02
Alta	179 631	9,29
Muy Alta	152 368	7,88

**Figura 3.4** Histograma de frecuencia del mapa de vulnerabilidad total por deslizamientos del sector Este del municipio Moa.

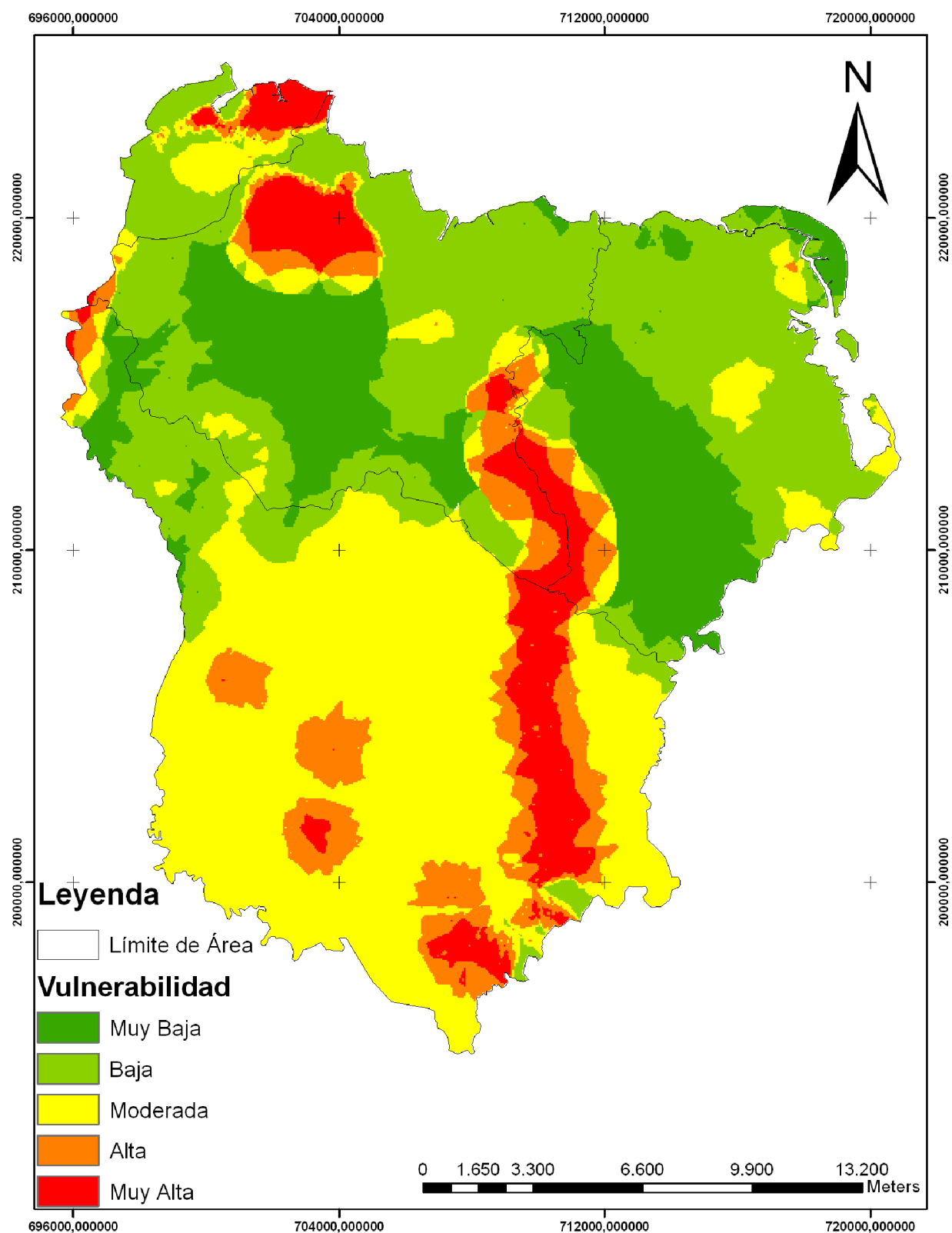


Figura 3.5 Mapa de Vulnerabilidad Total por Deslizamientos del Sector Este del municipio Moa.

Escala 1: 100 000.

3.5 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 Este del municipio de Moa se divide en 5 clases de riesgo (muy alto, alto, moderado, bajo y muy bajo) de acuerdo a estas clases, las zonas de muy alto riesgo ocupan un 2,62% del área total y se corresponden con el noroeste y sureste del consejo popular Punta Gorda, coincidiendo con la mina de la Empresa Ernesto Che Guevara; al sur y al este del consejo popular de La Melba, en una línea alargada y estrecha correspondiente a la carretera que conduce al poblado de La Melba. La carretera hacia el poblado La Melba corta laderas de altas pendientes formando taludes muy abruptos, y por consiguiente, conjuntamente con las lluvias de la zona que son frecuentes e intensas, provocan los deslizamientos. El riesgo alto ocupa el 16% del área total y está representado fundamentalmente en el consejo popular La Melba hacia el sur, parte central y al este respectivamente, también en el consejo popular Rolo-Veguita hacia la parte norte, representado por la presa de cola de la E.C. Che Guevara. El riesgo moderado ocupa un 31,07% del área total y está representado, casi en su totalidad por el consejo popular La Melba y se corresponde con el parque natural Alejandro de Humboldt, además hacia el suroeste en el consejo popular Rolo-Veguita. La clase de riesgo bajo ocupa un 33,22% del área total, principalmente en el consejo popular Punta Gorda. La clase muy baja predomina en el consejo popular Yamanigüey hacia el sur, oeste y noreste. 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 por deslizamiento del sector Este del municipio Moa.

Clases de Riesgo	No. De Píxel	Por ciento área total
Muy bajo	328 233	17,09
Bajo	638 141	33,22
Moderado	596 911	31,07
Alto	307 398	16
Muy Alto	50 382	2,62

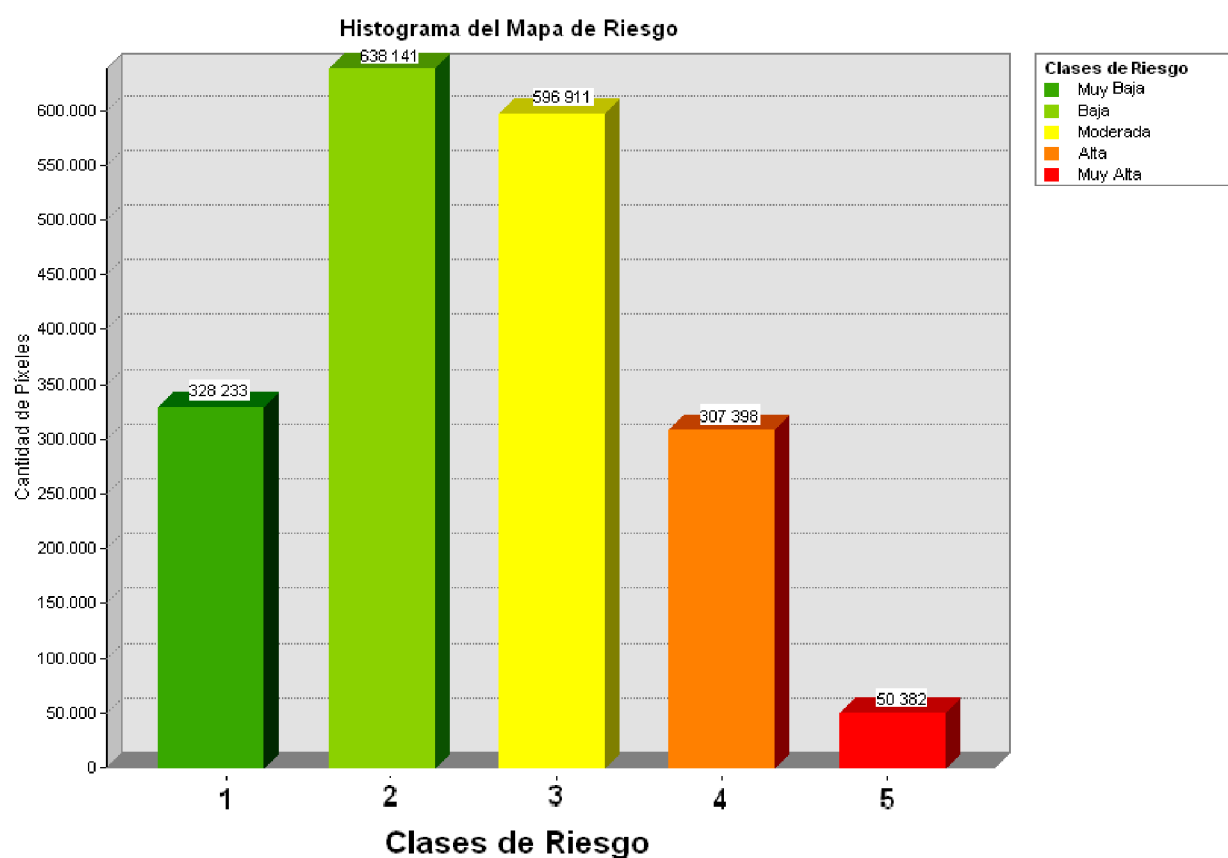


Figura 3. 6 Histograma de frecuencia del mapa de riesgos por deslizamiento del sector Este del municipio Moa.

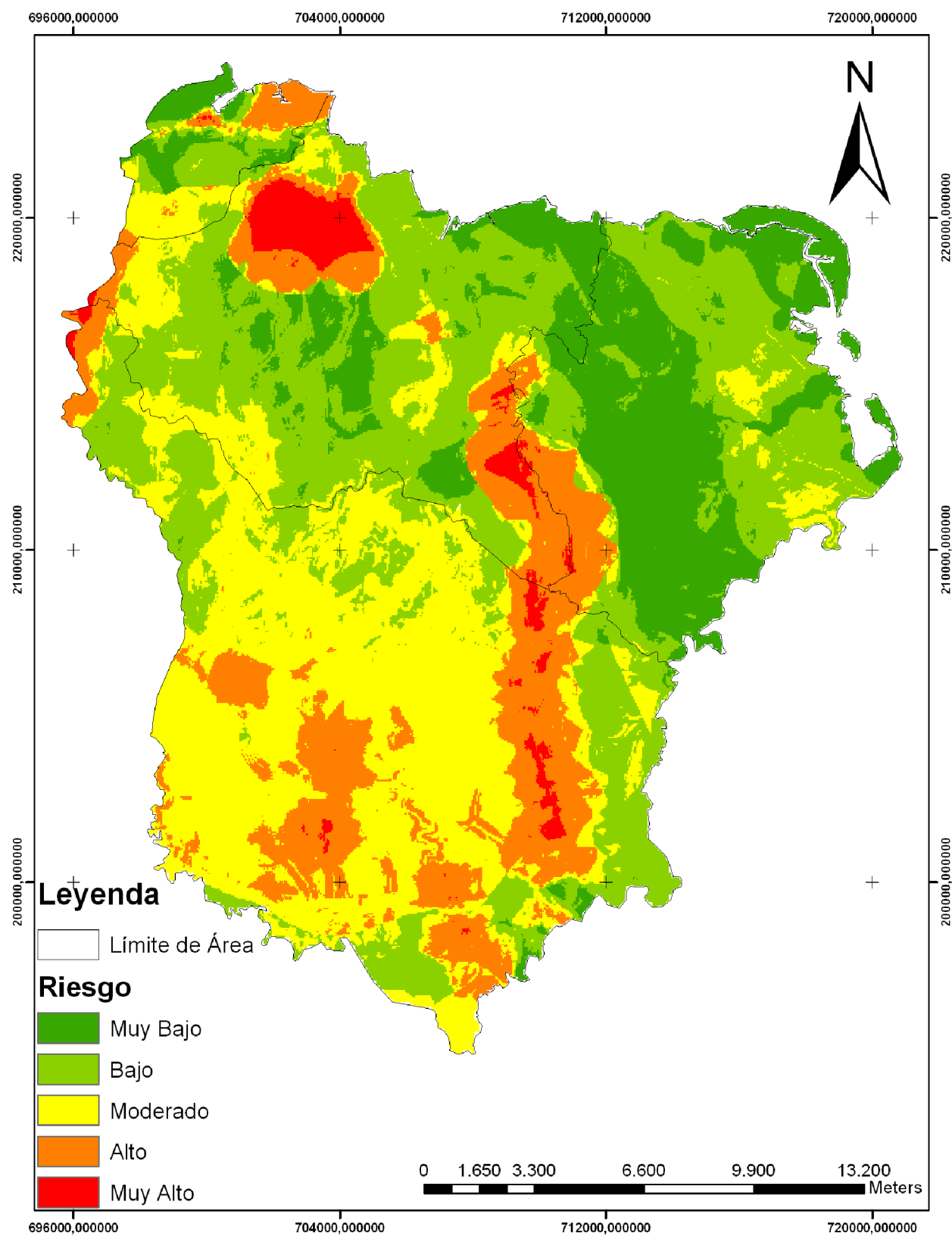


Figura 3.7 Mapa de Riesgos por Deslizamiento del Sector Este del Municipio Moa. Escala 1: 100 000.

3.7 Propuesta del plan de medidas para prevenir o mitigar los riesgos por deslizamiento

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 áreas de riesgos por deslizamiento, 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.

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

2. Investigaciones

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

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

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

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

3. Educación y Capacitación

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

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

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

4. Señalización

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

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

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 de el sistema de drenaje que, por su importancia, será tratado de forma separada). 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 área determinada.

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 las 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, siendo que 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 de tres metros. Debido a su relativa impermeabilidad debe implantarse drenaje. (Figura 3.8 B).

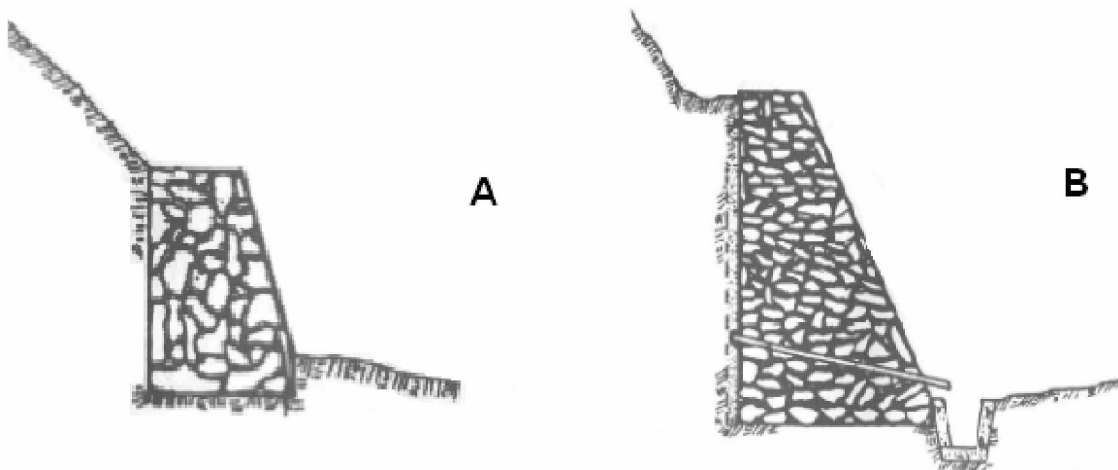


Figura 3.8 Muros de Gravedad. **A)** De piedra seca y **B)** De piedra argamasada.

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)

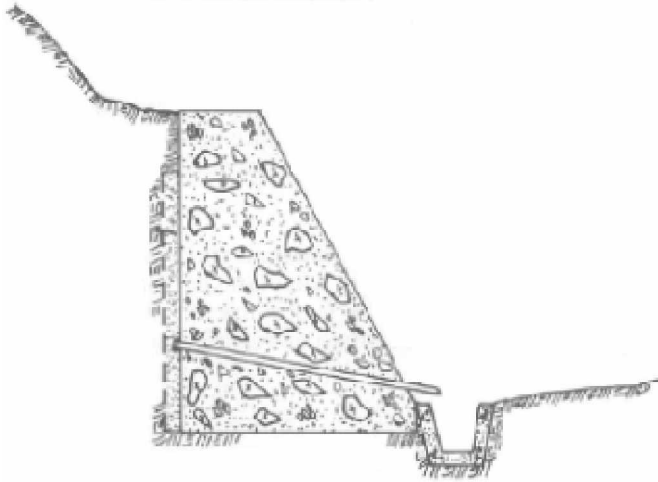


Figura 3.9 Muros de Gravedad de Concreto

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.

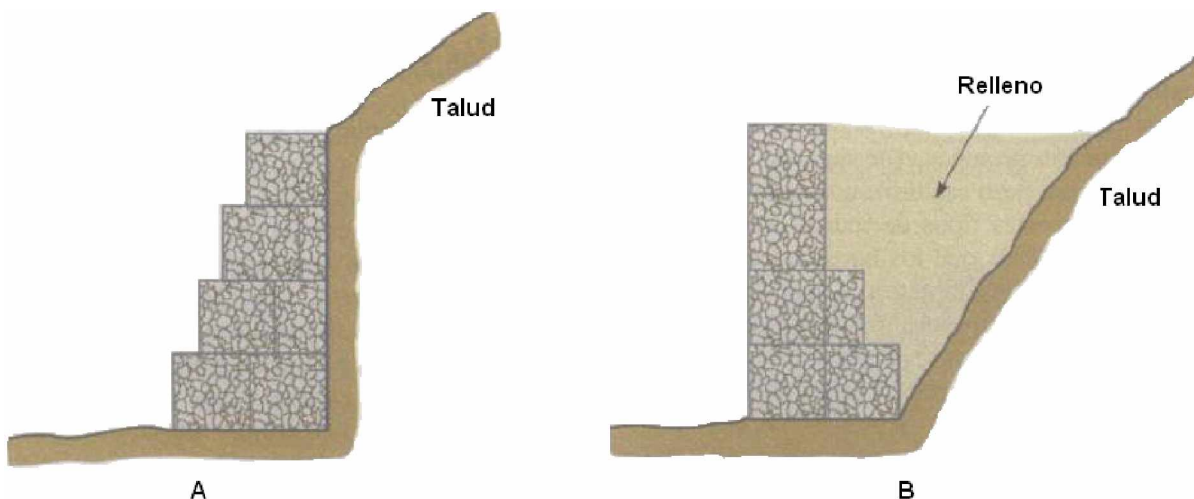


Figura 3.10 Muros de gaviones escalonados. **A)** Escalonado sin relleno y **B)** Escalonado con relleno entre el muro y el talud.

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 en forma natural, concentrados por diversos tipos de ocupación (sistemas viales, edificaciones y desagüe). 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 dimensionados en función de la cantidad de agua que debe conducir.

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, representan una elevada relación beneficio-costos, pero también con las inversiones de menor costo, se consiguen excelentes resultados y en muchos casos, basta la realización de estas obras y su combinación con medidas de protección superficial para una completa estabilización de los taludes.

3. Protección de superficie

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

CONCLUSIONES

1. El sector Este 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 Este 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, puerto, 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 deslizamientos del Sector Este 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 Este del municipio de Moa”. La mina y la presa de cola de la empresa Ernesto Che Guevara, la carretera que conduce al poblado de la Melba, parte suroeste del parque nacional Alejandro de Humboldt y la carretera Moa Baracoa en el tramo de Rolo y frente al puerto se corresponden con los riesgos más altos. Los consejos populares más afectados son la Melba y Punta Gorda 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. Bosì, 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 hazard map 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. Project 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”.

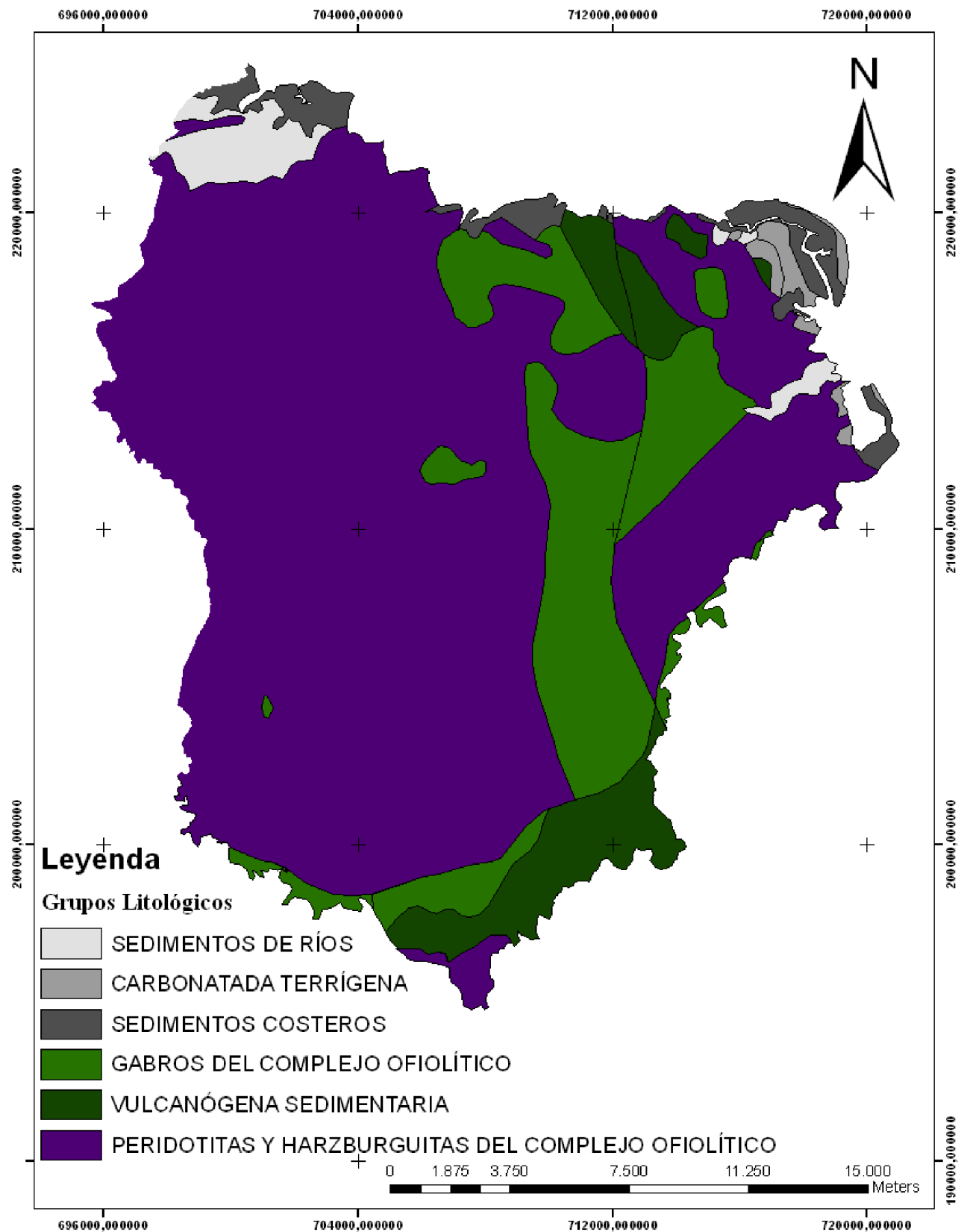
71. IUGS-Working group on landslide, 2001. A suggested method for reporting landslide remedial measures. *Bulletin of Engineering Geology and Environment* 60, 69–74.
72. John Wiley and Sons Ltd, West Sussex, England, pp. 75–138.
73. Jones, F.O.; D.R. Embody y W.C. Peterson., 1961. "Landslides along the 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. Lomtatze, 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. Thomas 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.

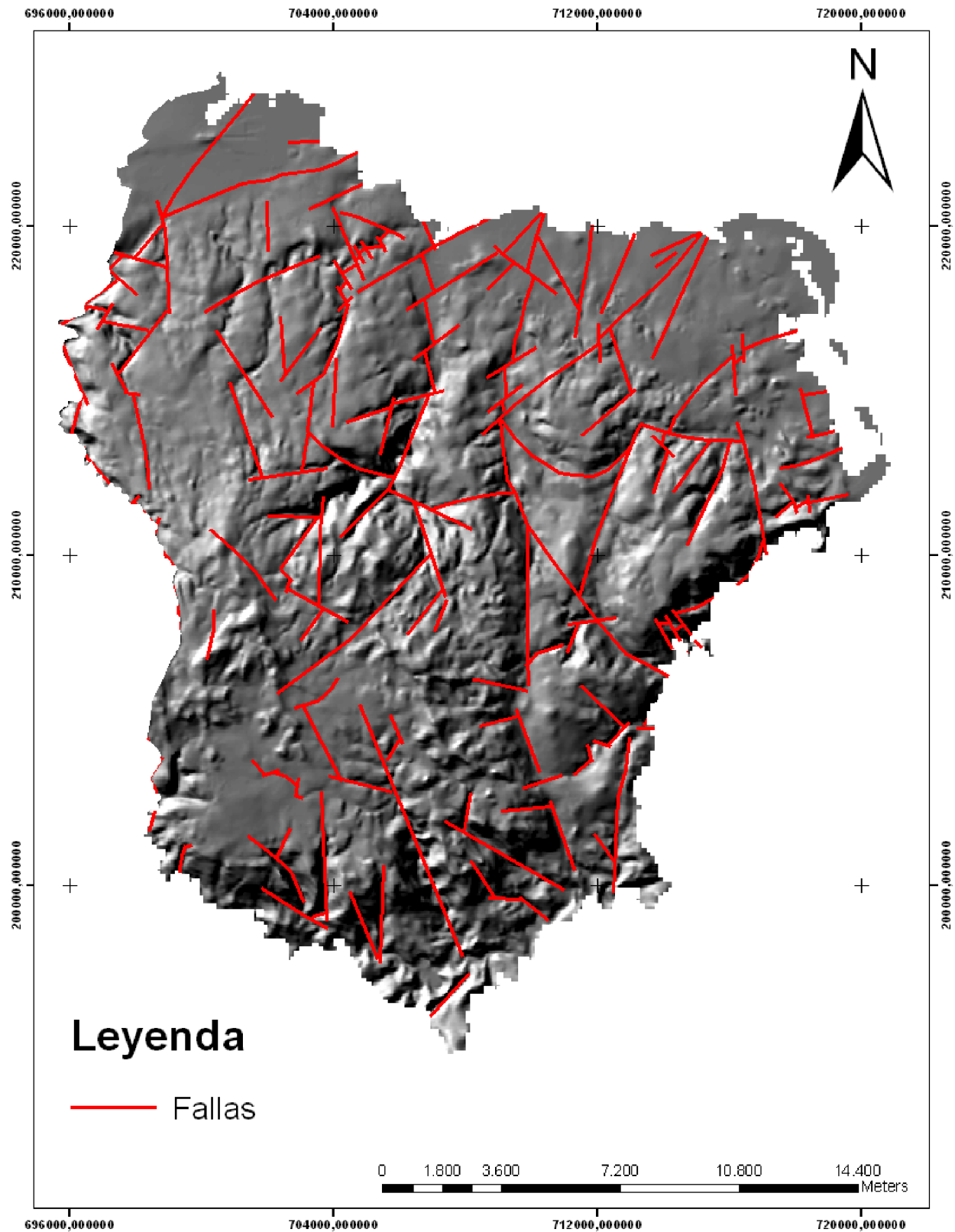
93. Murphy, W. y Vita-Finzi, C., 1991. "Landslides and seismicity: an application of remote sensing. Proc. 8th. Thematic Conference on Geological Remote Sensing (ERIM), Denver, colorado, USA. 2, 771-784 p.
94. NCGIA., 1990. "Core Curriculum ". Tres volúmenes: I. Introducción to GIS. II. Technical issues 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 sitges 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,

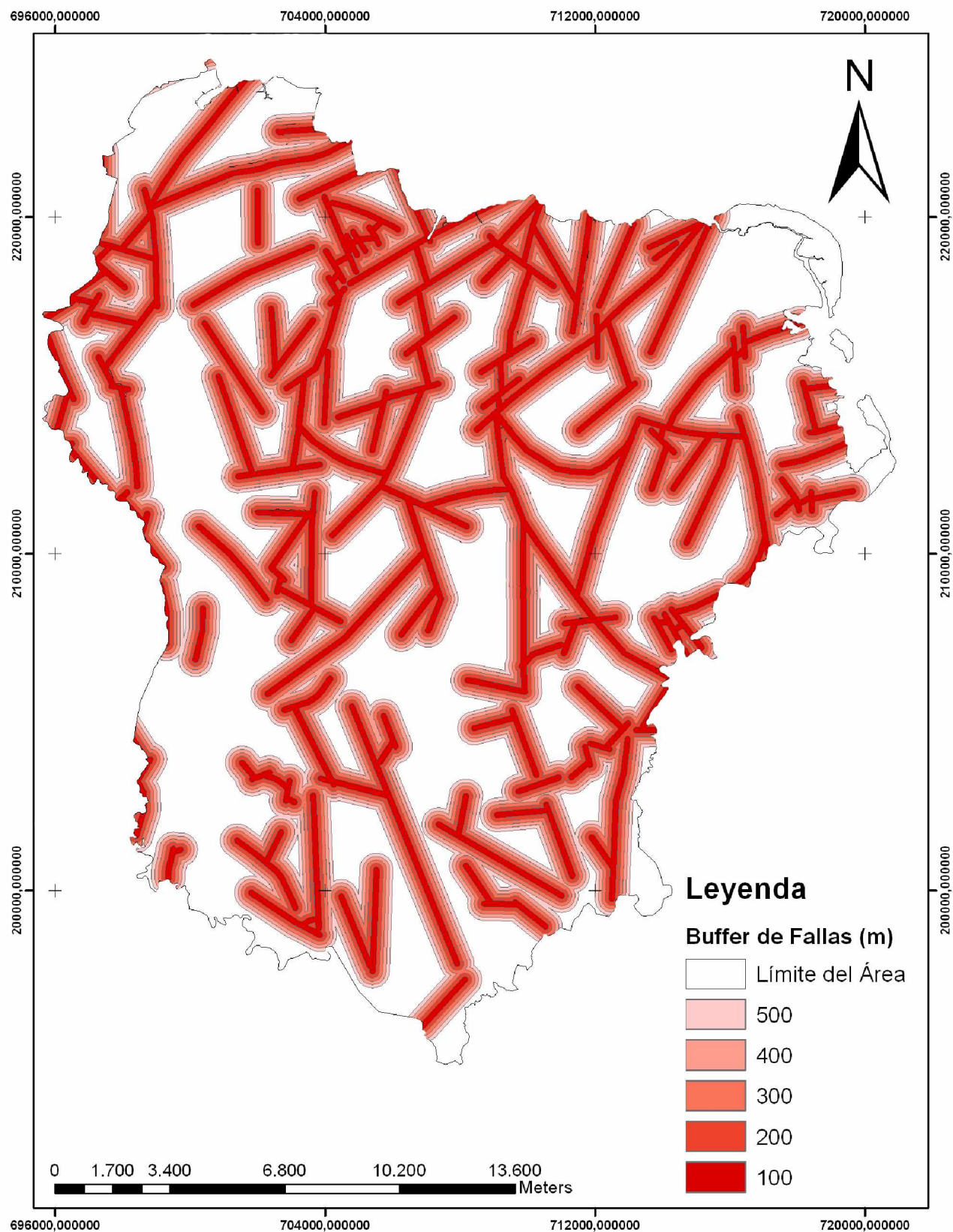
- C.J., Van Asch, T.W.J., Soeters, R., 2005. s.l. : Landslide hazard and risk zonation; why is it still so difficult? *Bulletin of Engineering geology and the Environment* 65 (2), 167–184.
120. Van Westen, C.J., 2004. Geo-information tools for landslide risk assessment-an overview of recent developments. 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 types 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 Geotechnical 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.



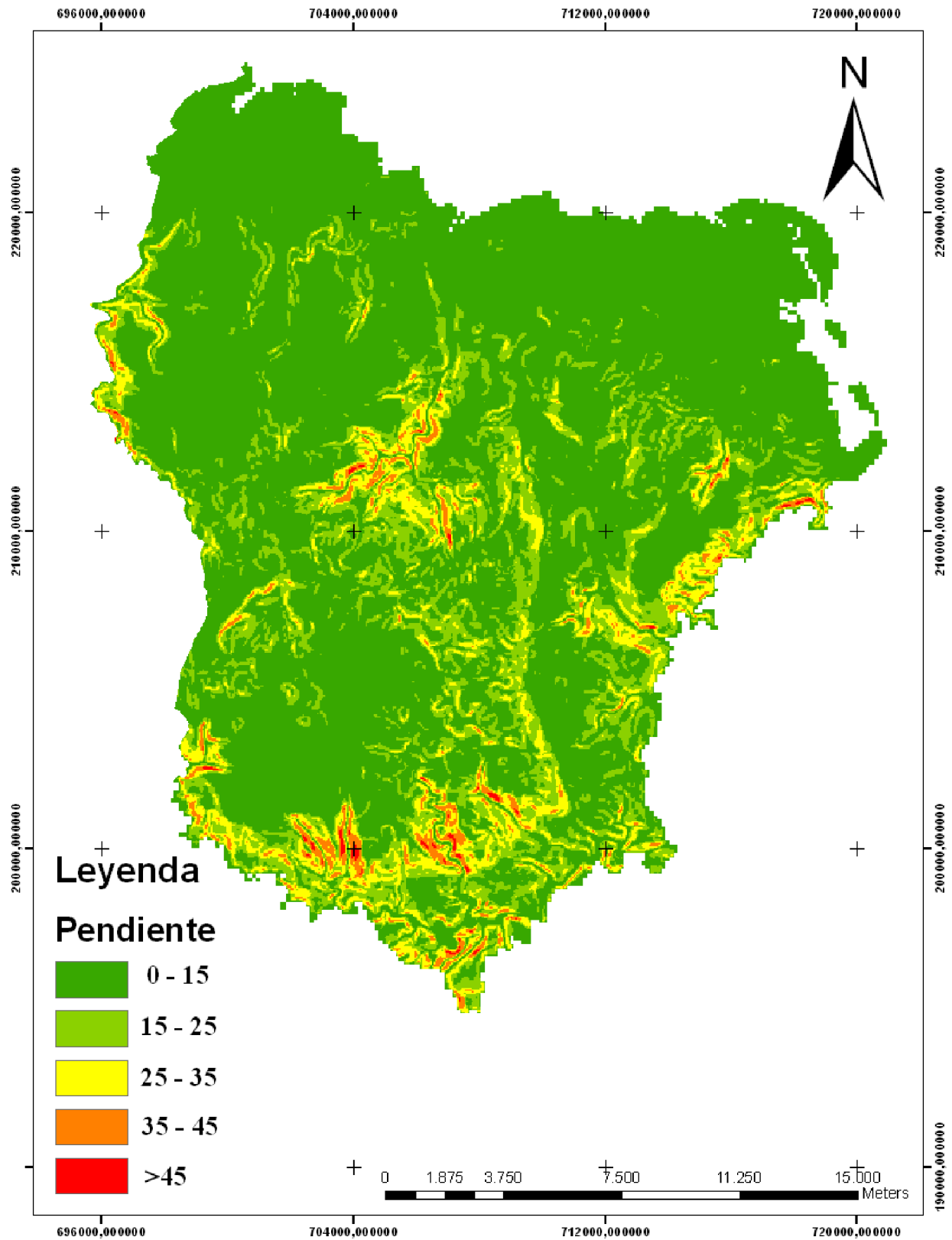
Anexo 1: Mapa de Grupos Litológicos del sector Este del municipio Moa. Escala 1: 100 000.



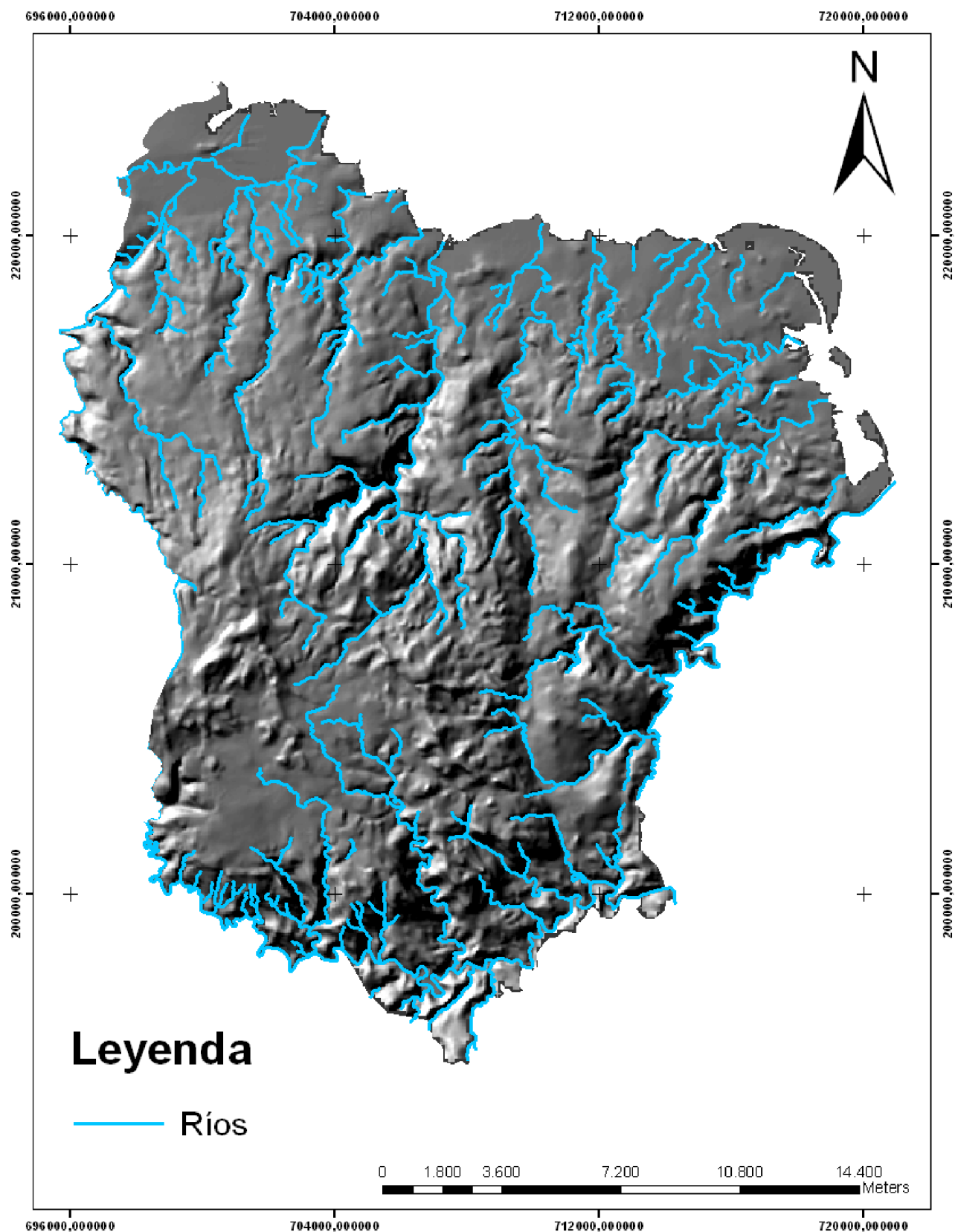
Anexo 2: Mapa Tectónico del sector Este del municipio Moa. Escala 1: 100 000.



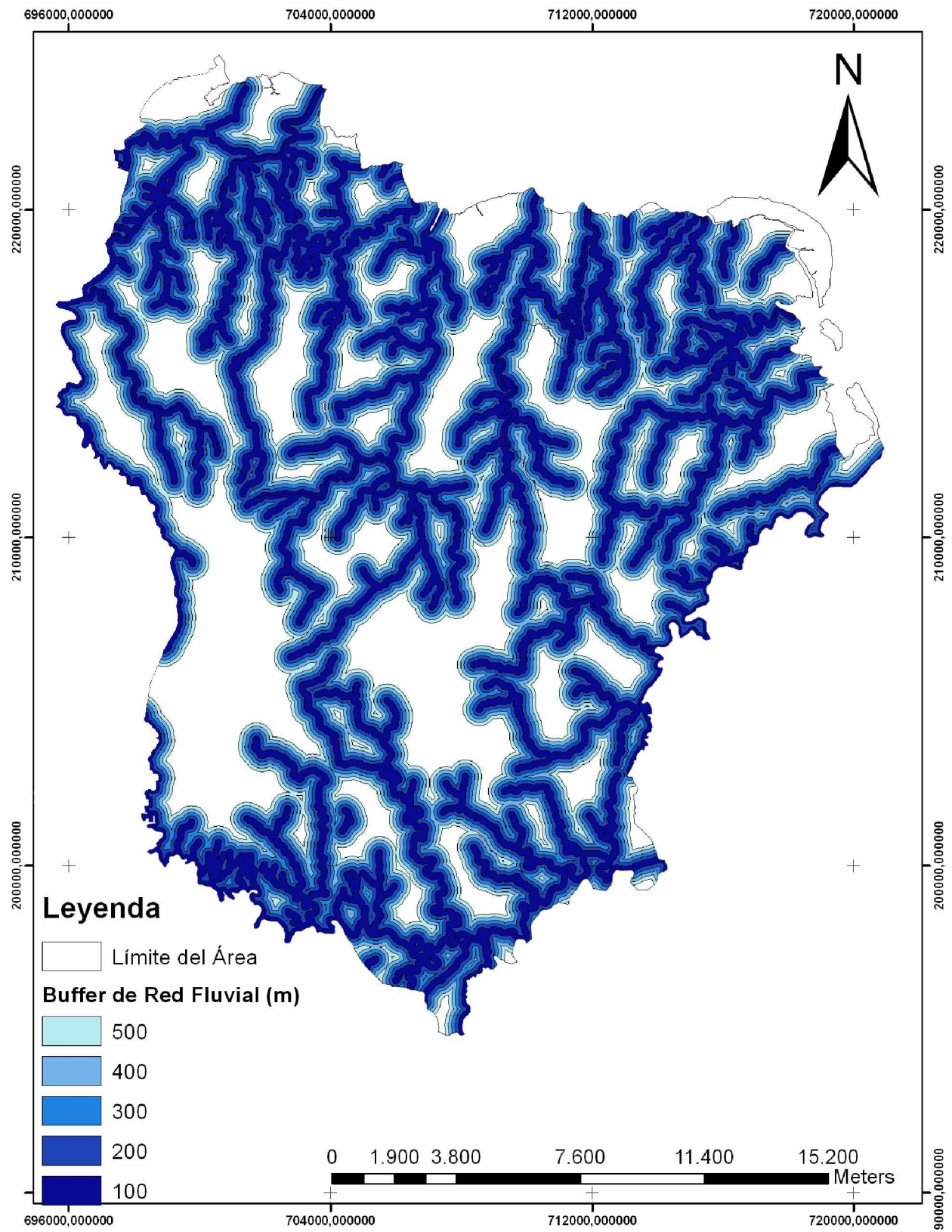
Anexo 3: Mapa de Distancia a Fallas del sector Este del municipio Moa. Escala 1: 100 000.



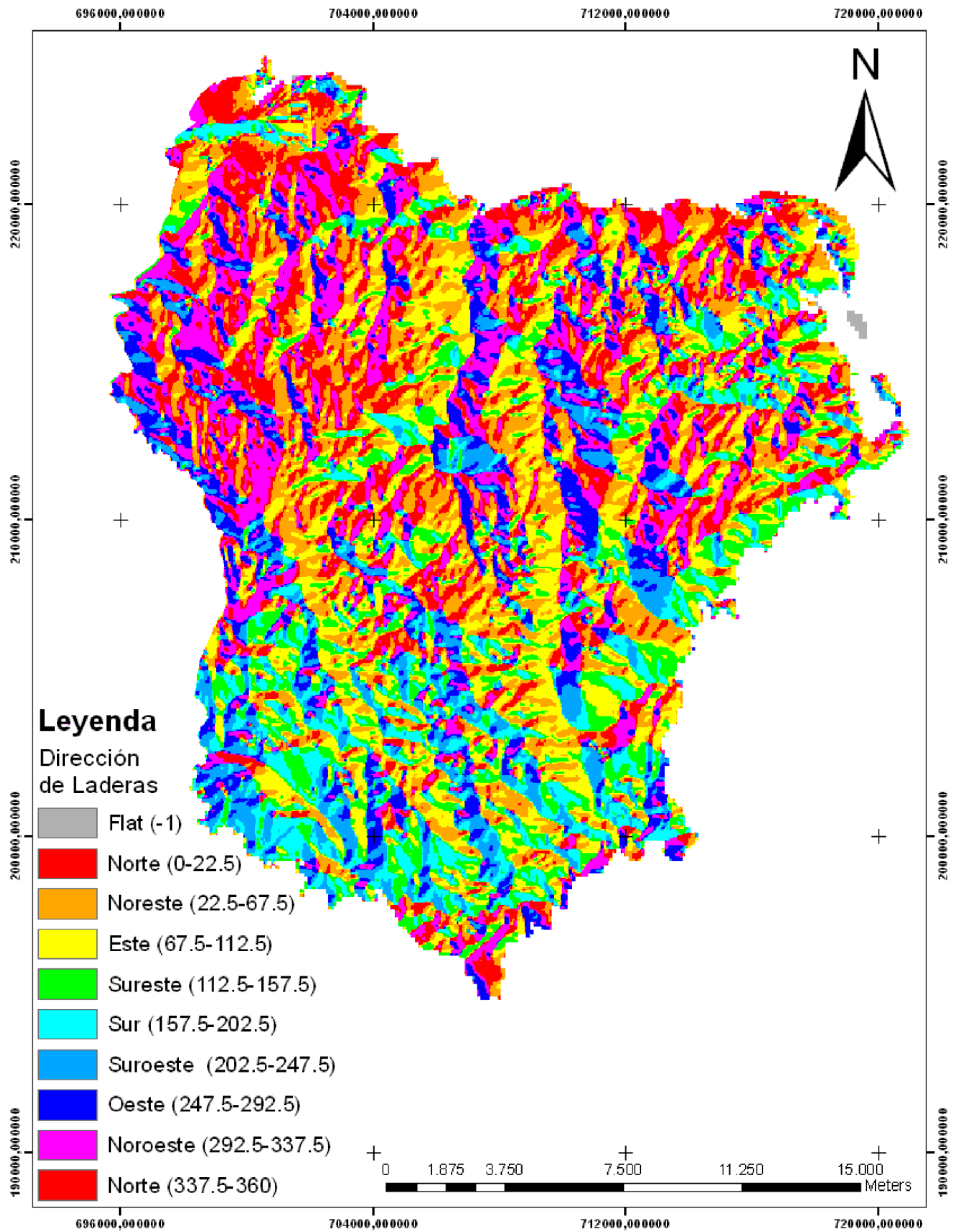
Anexo 4: Mapa de Ángulo de la Pendiente del sector Este del municipio Moa.
Escala 1: 100 000.



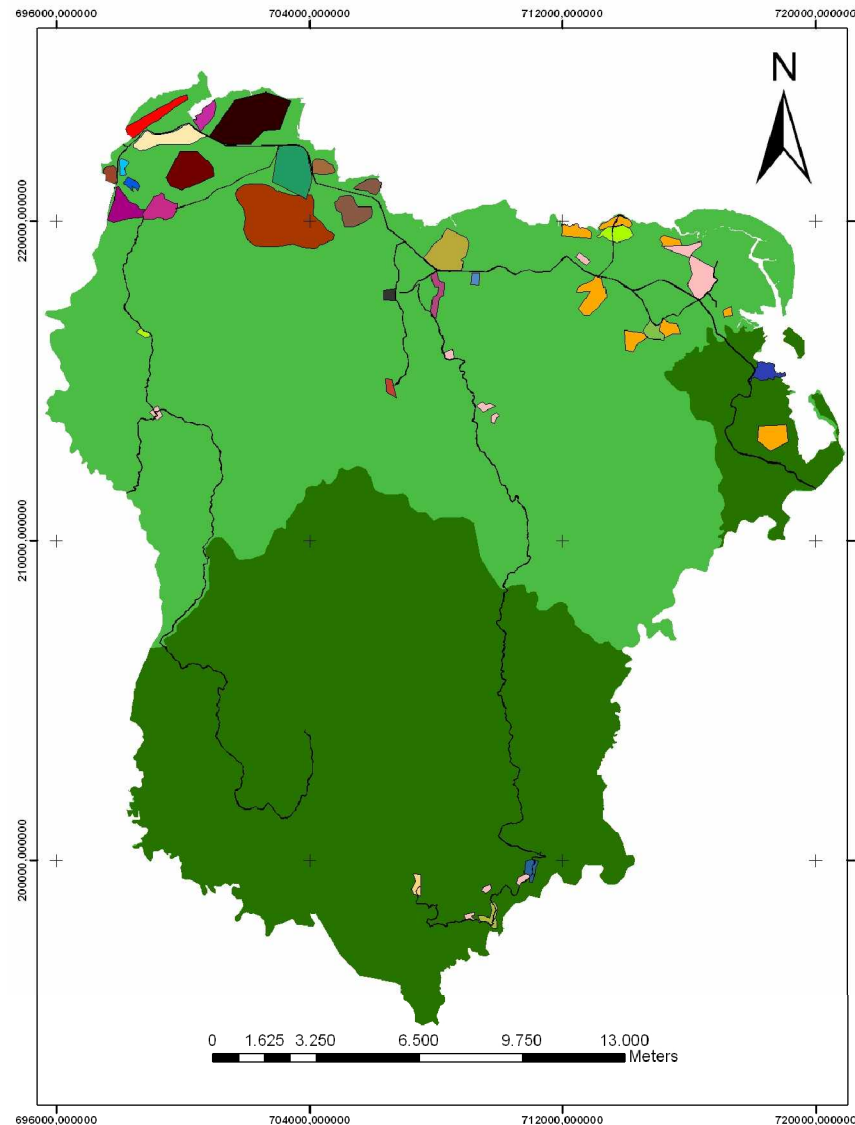
Anexo 5: Mapa de Red Fluvial del sector Este del municipio Moa. Escala 1: 100 000.



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



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

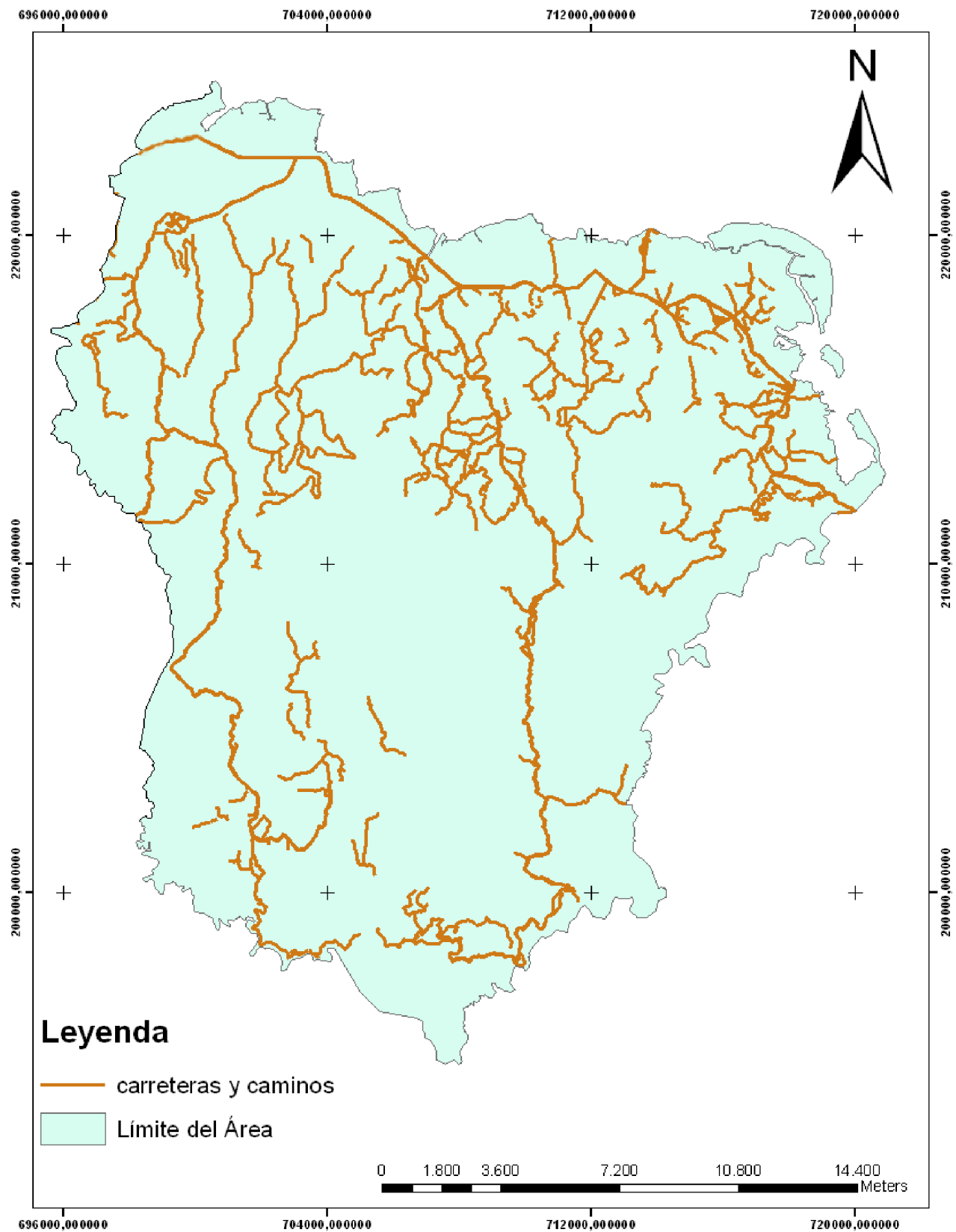


Leyenda

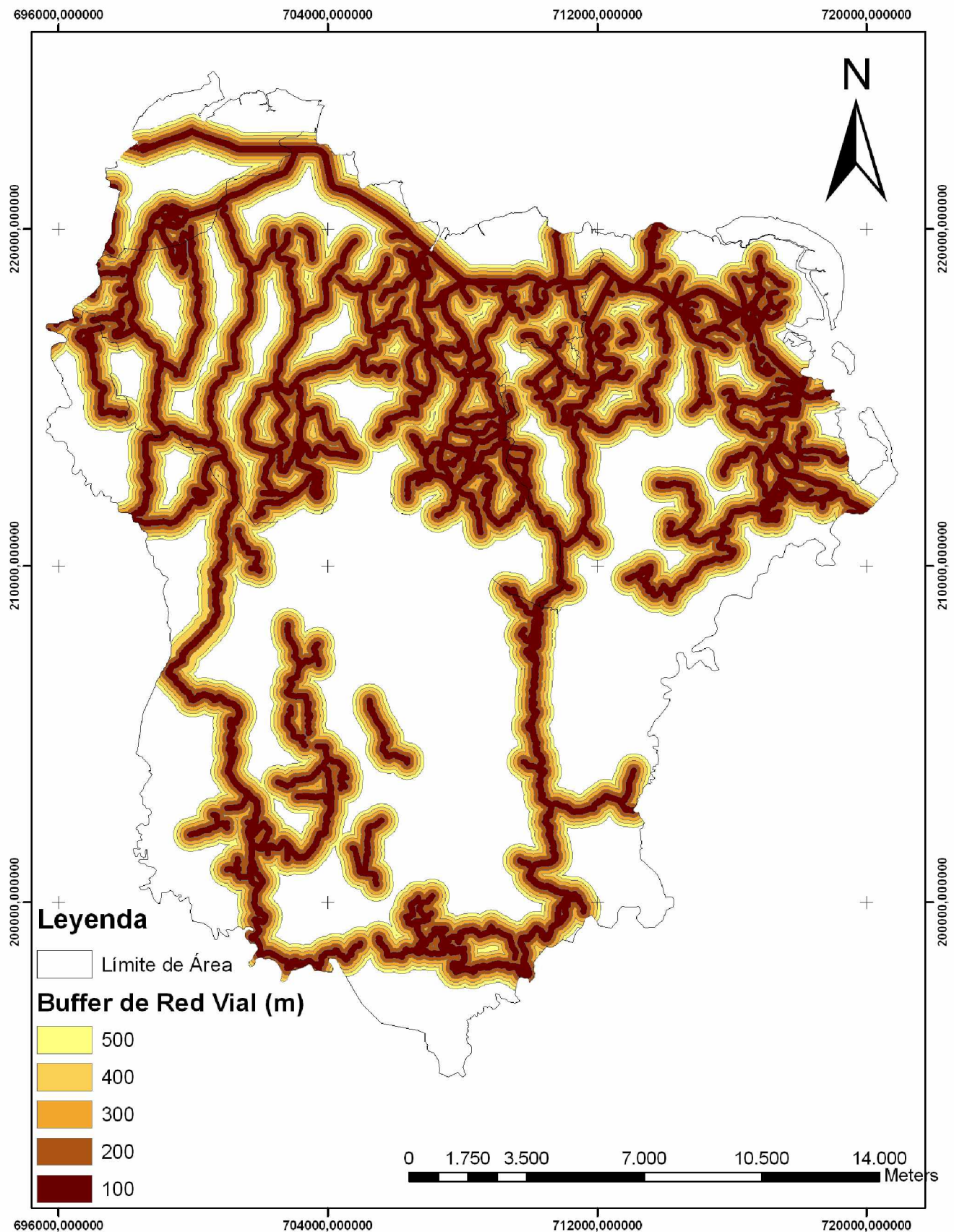
Uso de Suelos

■ Aereopuerto	■ MINA MERCEDITA (TALLER)
■ Base de Apoyo a las Empresas del Níquel	■ Mina de la Empresa Che Guevara
■ CAMPISMO "CAYO GUAM"	■ PASTOS NATURALES
■ Carreteras	■ POBLADO ARROYO BUENO
■ Parque Alejandro Humboldt	■ POBLADO CAYO GRANDE
■ CAYO DEL MEDIO	■ POBLADO CUPEY
■ CULTIVOS VARIOS	■ POBLADO LA NASA
■ DEPÓSITO "LAS CAMARIOCAS"	■ POBLADO LA VEGUITA
■ DEPÓSITO DE COLA "P.S.A."	■ POBLADO QUEMADO DEL NEGRO
■ DEPÓSITO DE COLA (CHE GUEVARA)	■ POBLADO YAMANIGUEY
■ EMBALSE	■ PROCESADORA DE CROMO
■ EMPRESA "CHE GUEVARA"	■ PUERTO MOA
■ EMPRESA "LAS CAMARIOCAS"	■ Pueblo de Punta Gorda
■ EMPRESA "Pedro Sotto Alba P.S.A."	■ Reparto ECRIN
■ Empresas del Níquel	■ Reparto Rolo Monterrey
■ FRUTALES	■ VEGETACIÓN

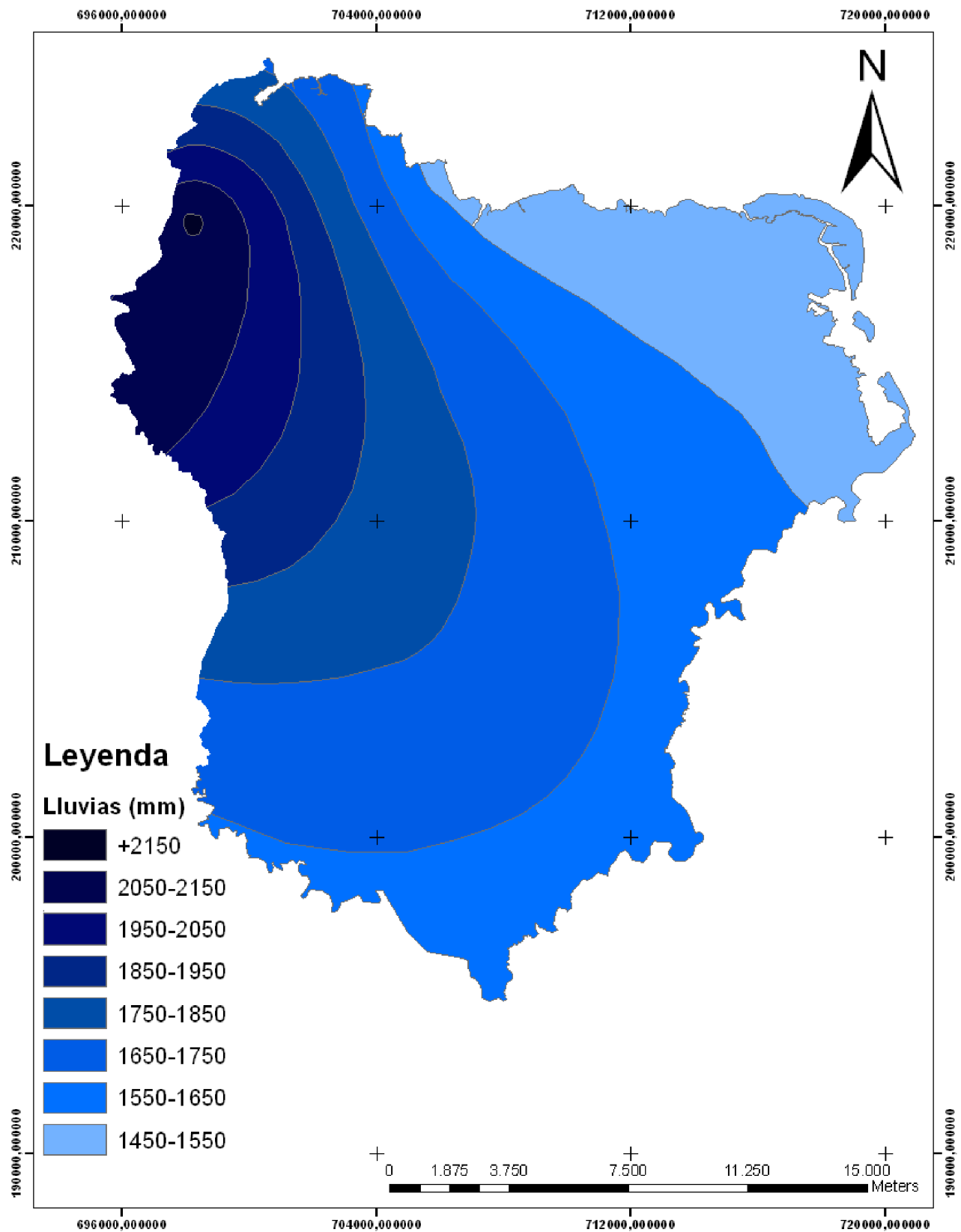
Anexo 8: Mapa de Uso de Suelos del sector Este del municipio Moa. Escala 1: 100 000.



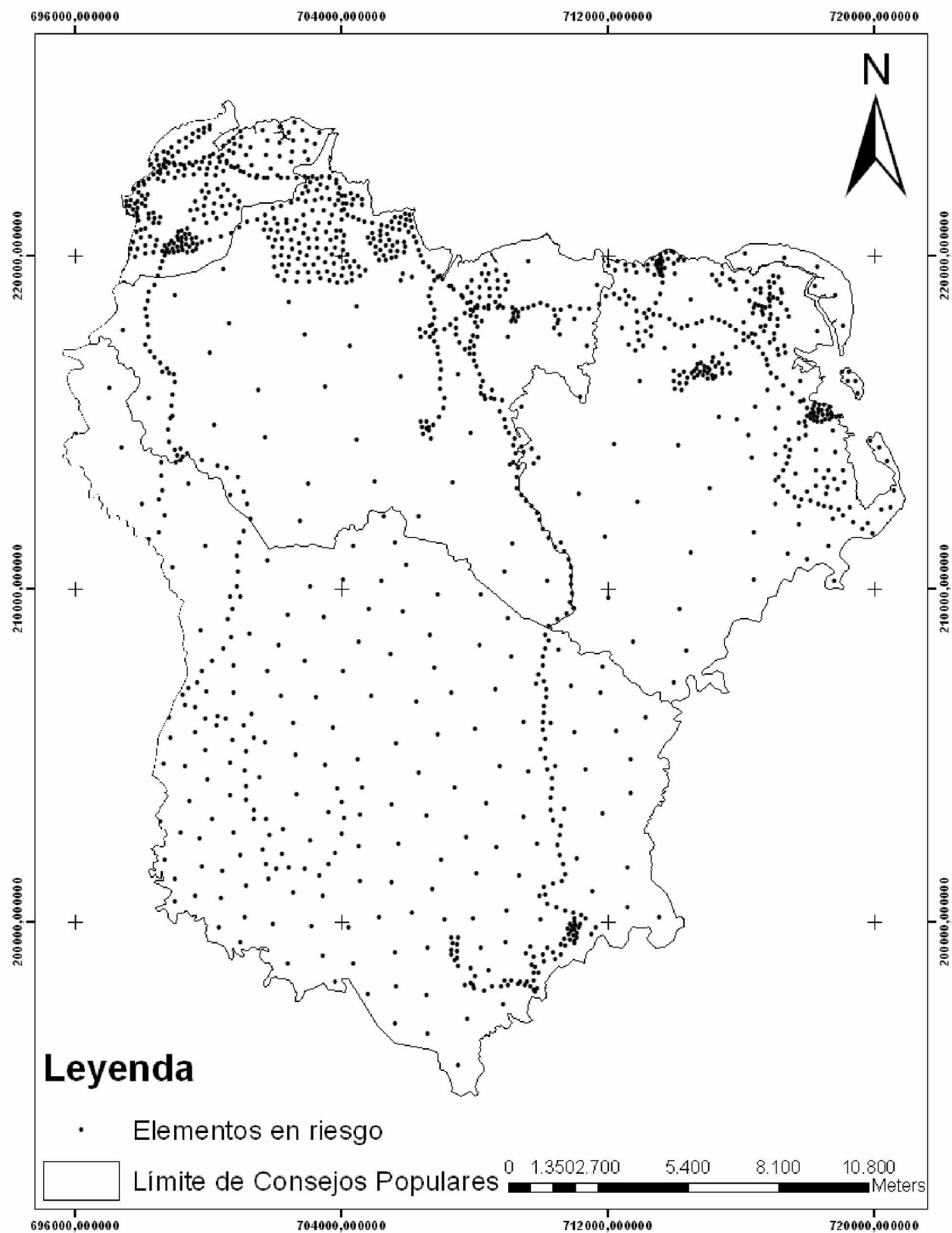
Anexo 9: Mapa de Red Vial del sector Este del municipio Moa. Escala 1: 100 000.



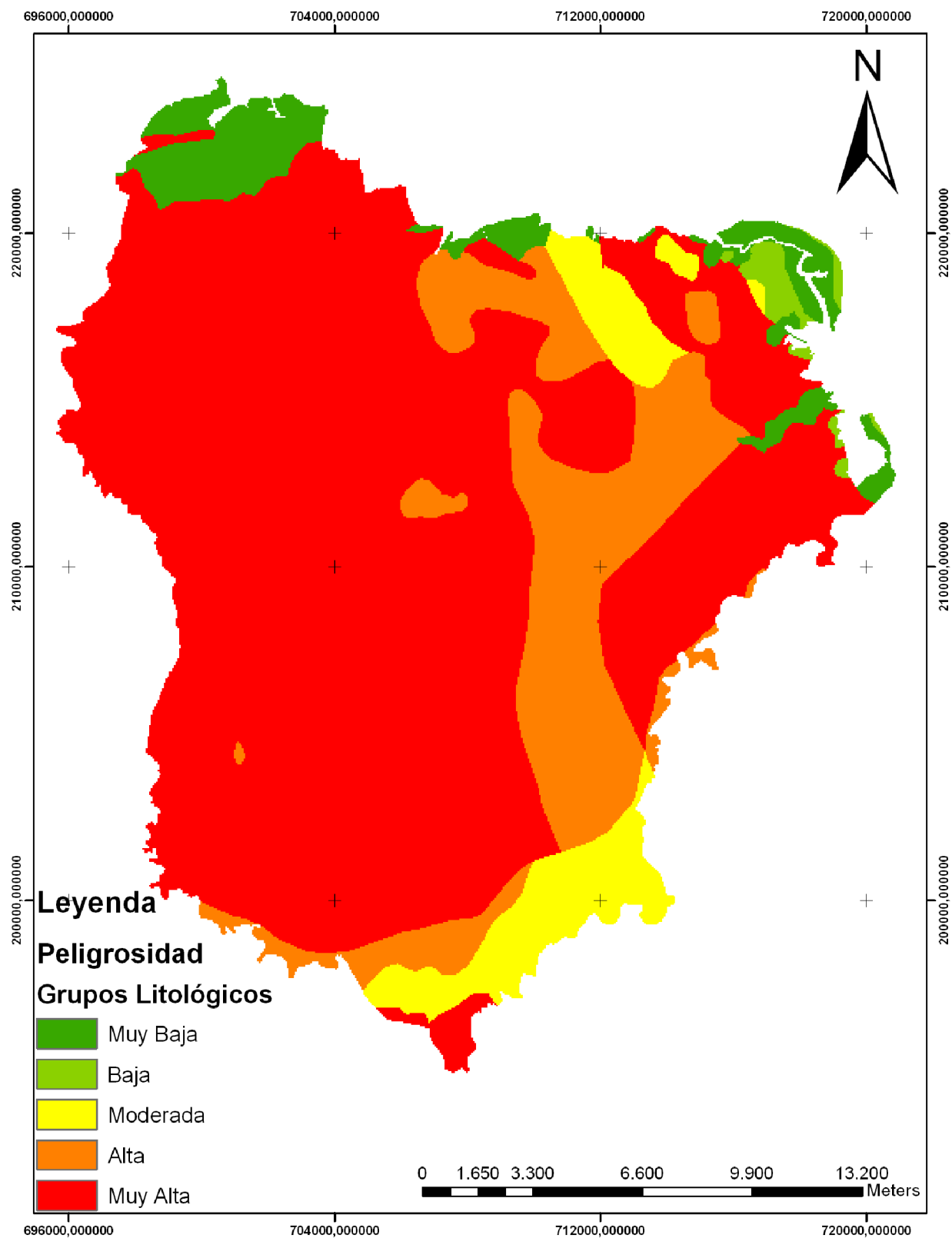
Anexo 10: Mapa de Distancia a la Red Vial del sector Este del municipio Moa.
Escala 1: 100 000.



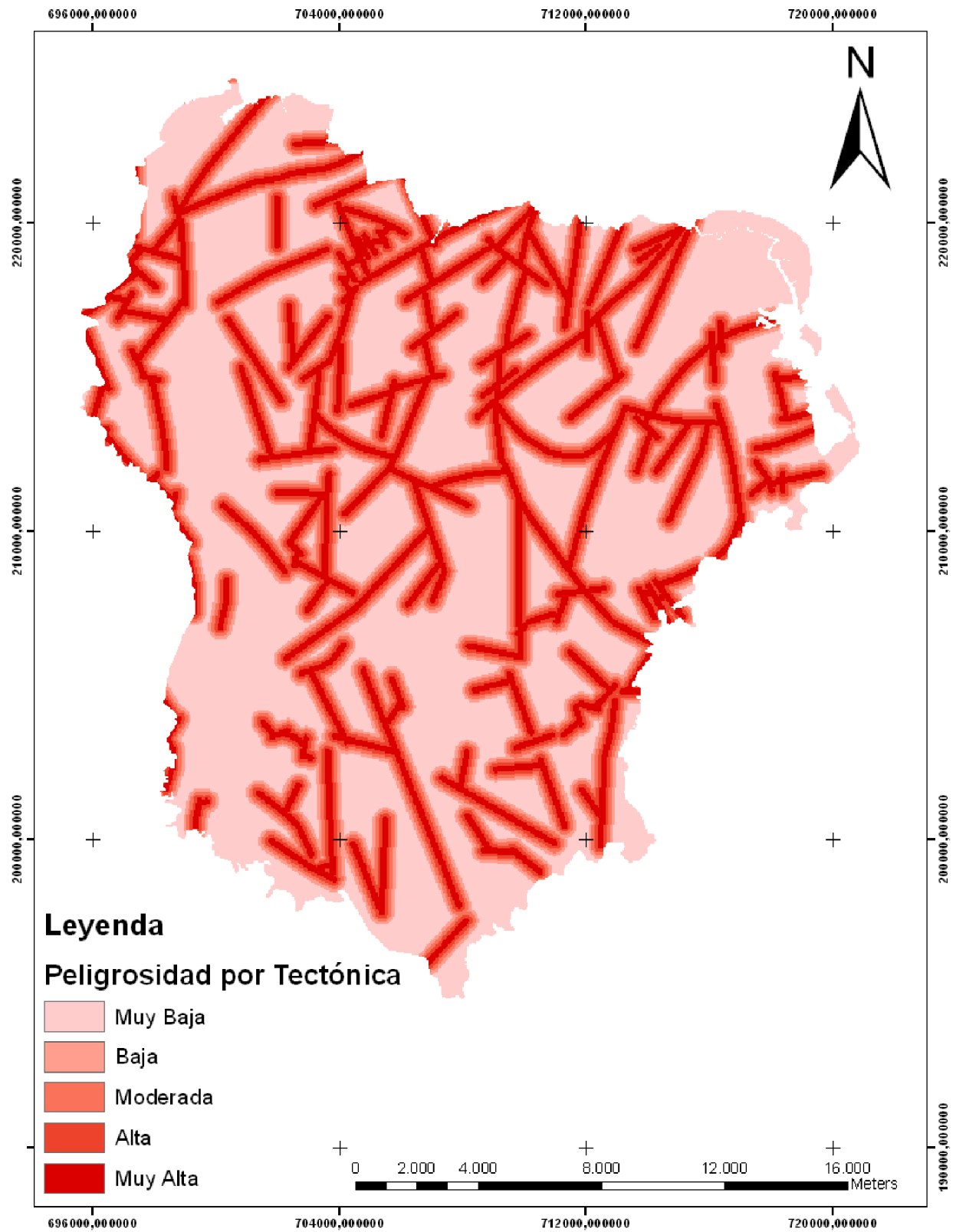
Anexo 11: Mapa Pluviométrico del sector Este del municipio Moa. Escala 1: 100 000.



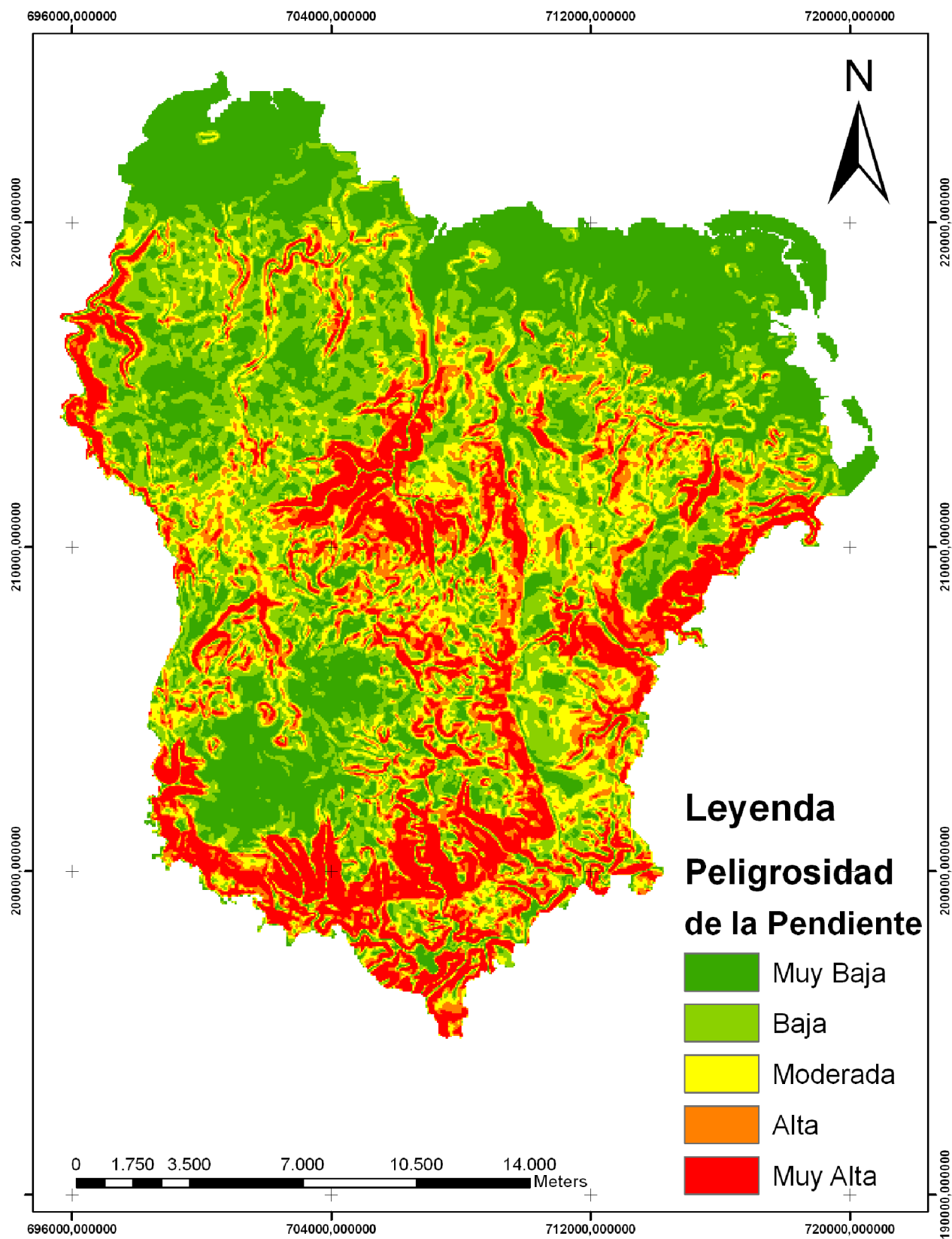
Anexo 12: Mapa de Elementos en Riesgo del sector Este del municipio Moa. Escala 1: 100 000.



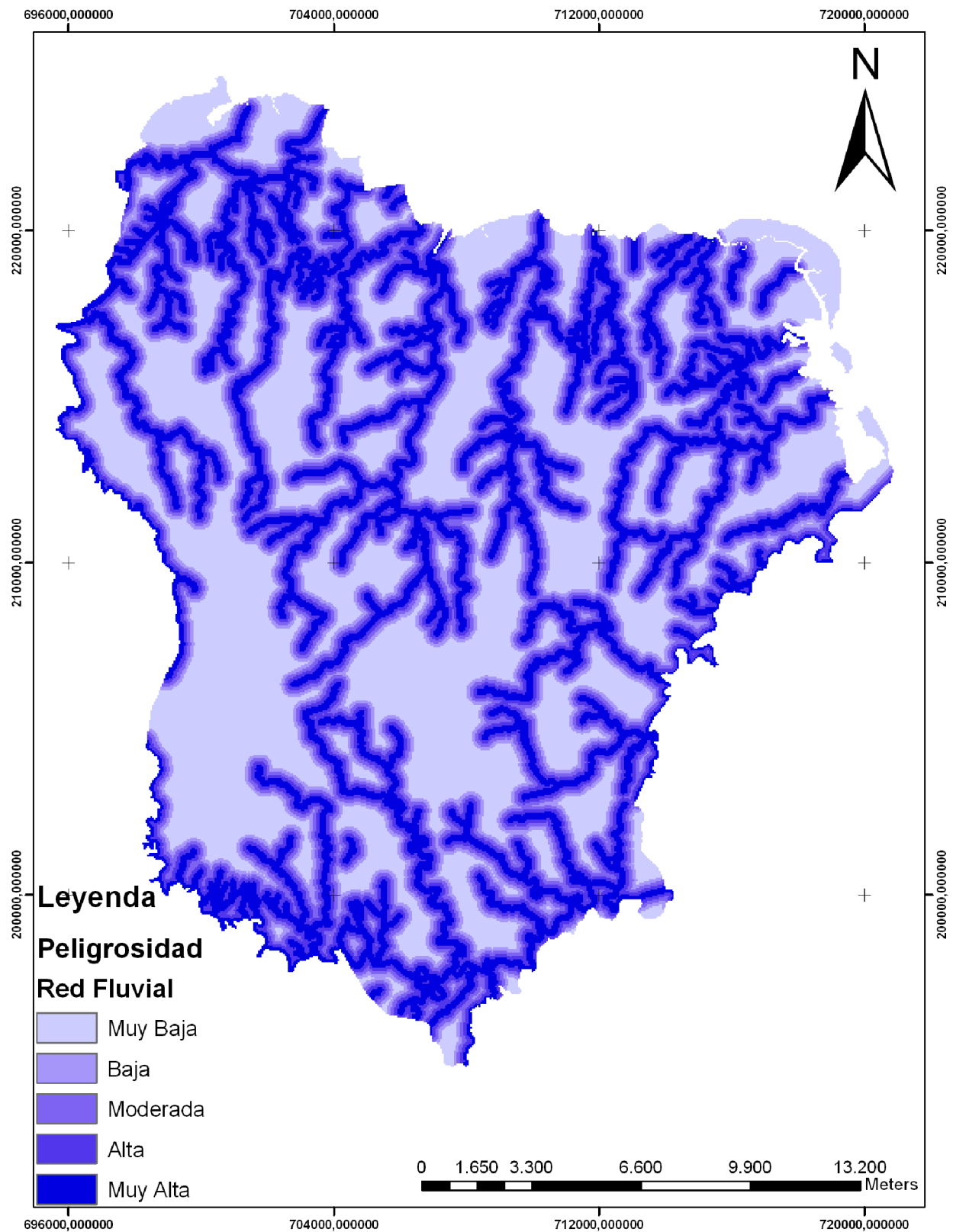
**Anexo 13: Mapa de Peligrosidad por Grupos Litológicos del sector Este del municipio Moa.
Escala 1: 100 000.**



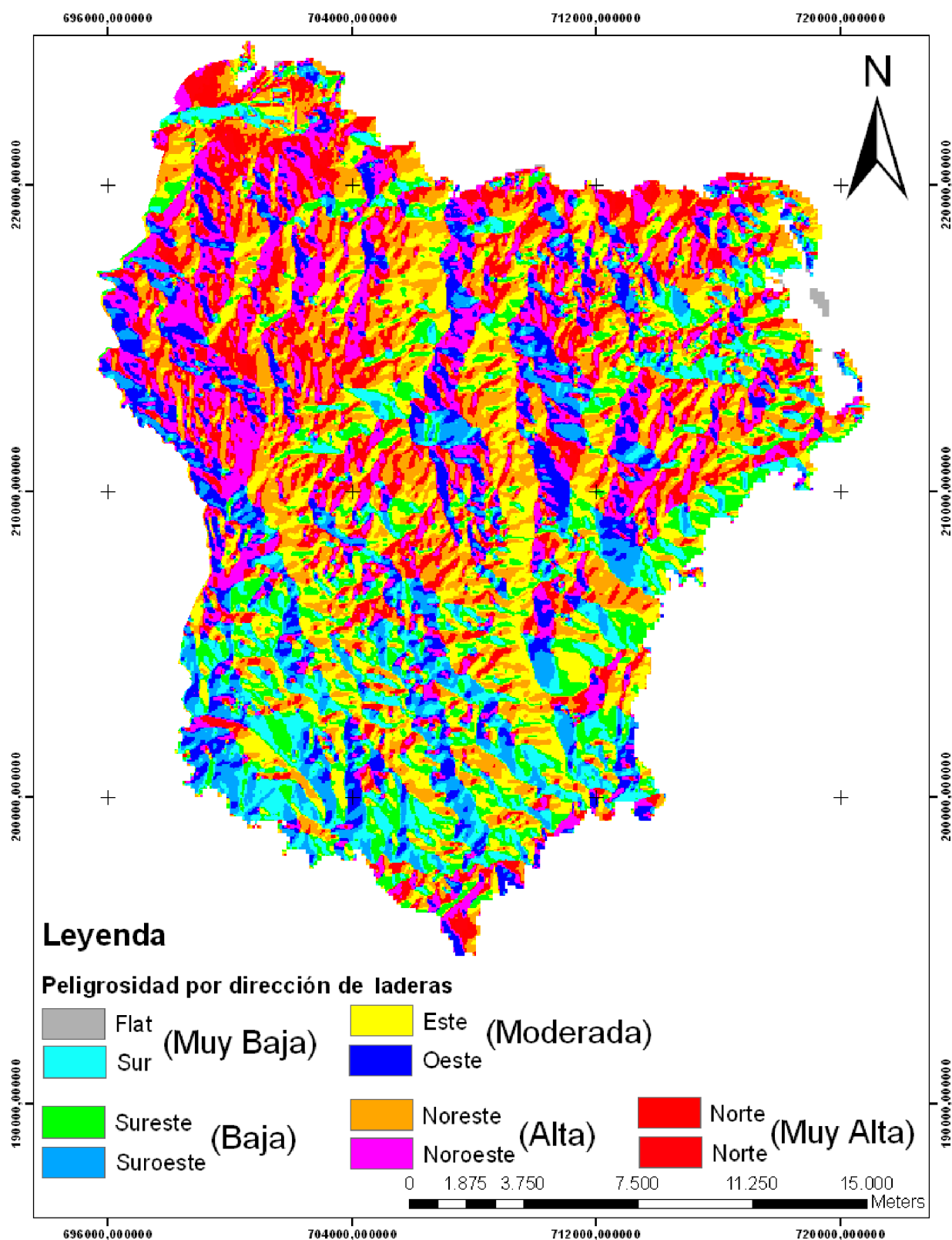
Anexo 14: Mapa de Peligrosidad por Distancia a Fallas del sector Este del municipio Moa.
Escala 1: 100 000.



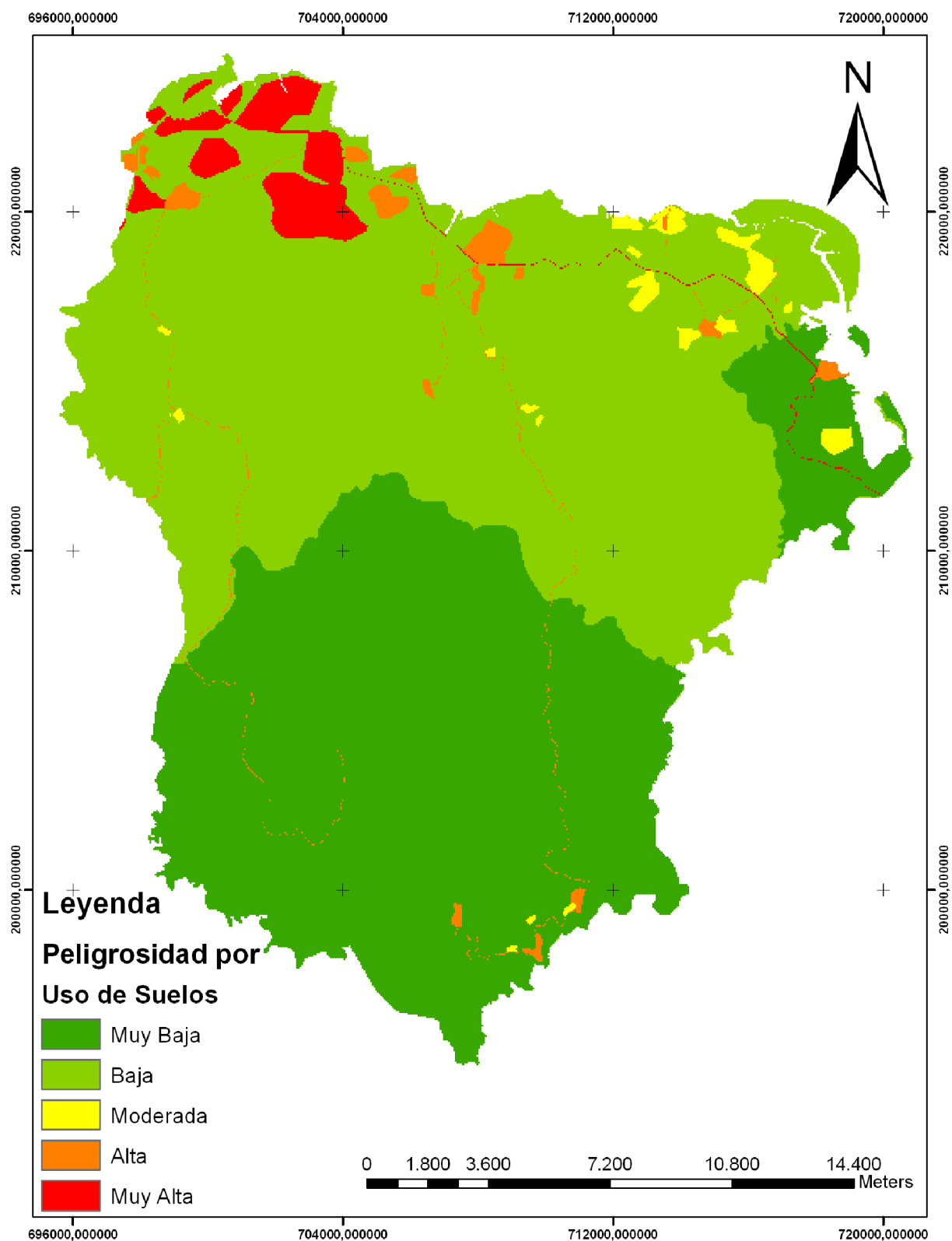
Anexo 15: Mapa de Peligrosidad por el Ángulo de la Pendiente del sector Este del municipio Moa. Escala 1: 100 000.



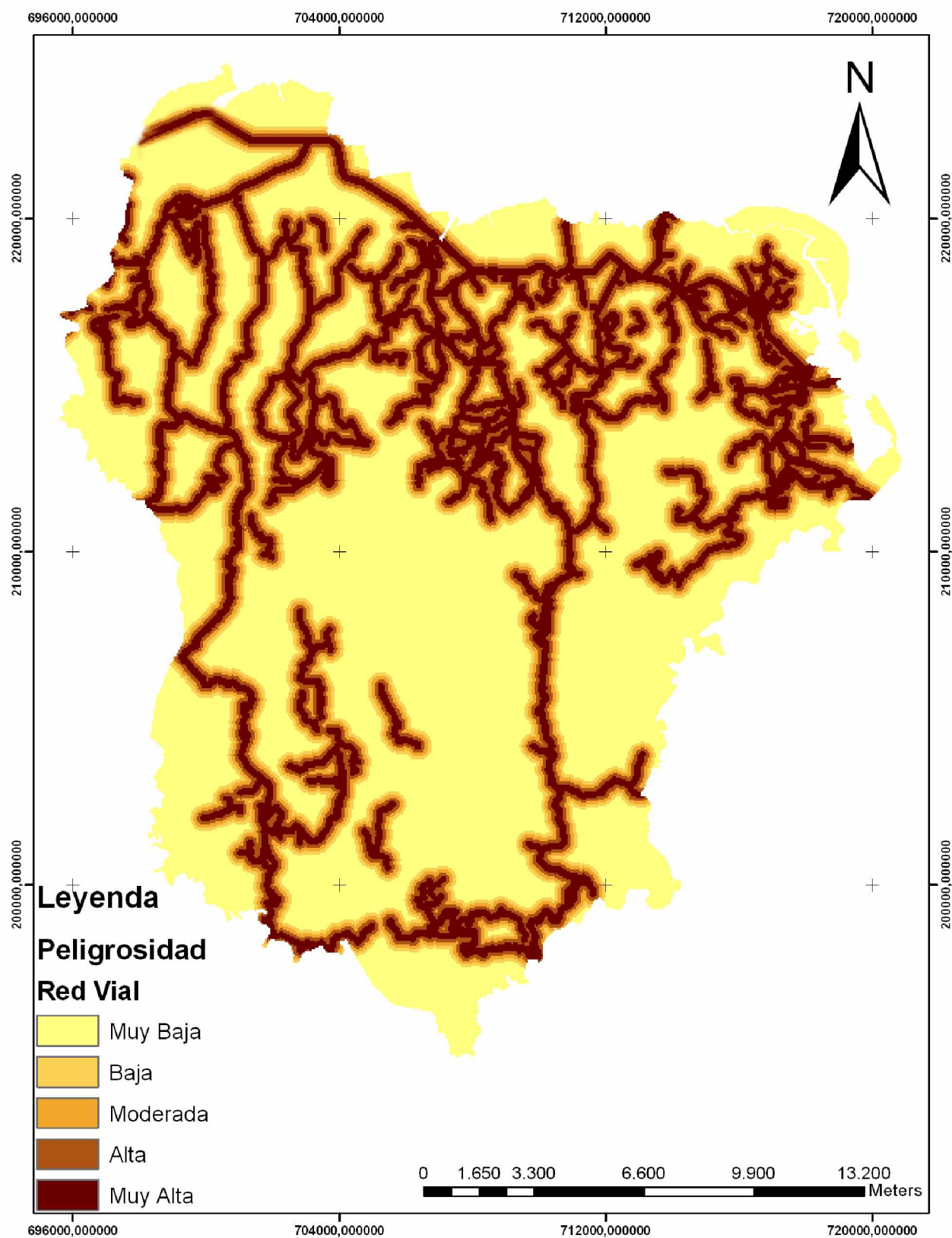
Anexo 16: Mapa de Peligrosidad por la Distancia a la Red Fluvial del sector Este del municipio Moa. Escala 1: 100 000.



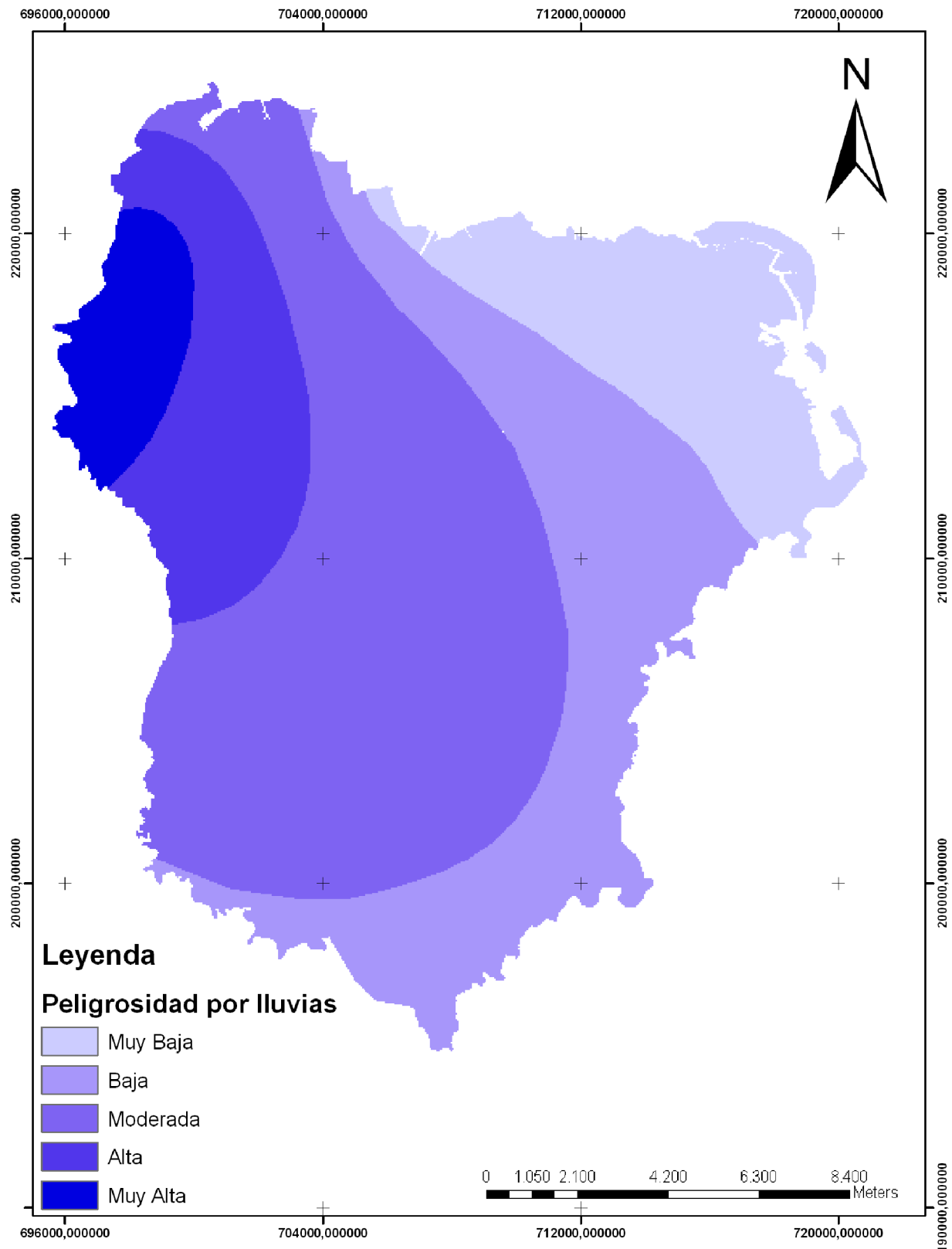
**Anexo 17: Mapa de Peligrosidad por Dirección de Laderas del sector Este del municipio Moa.
Escala 1: 100 000.**



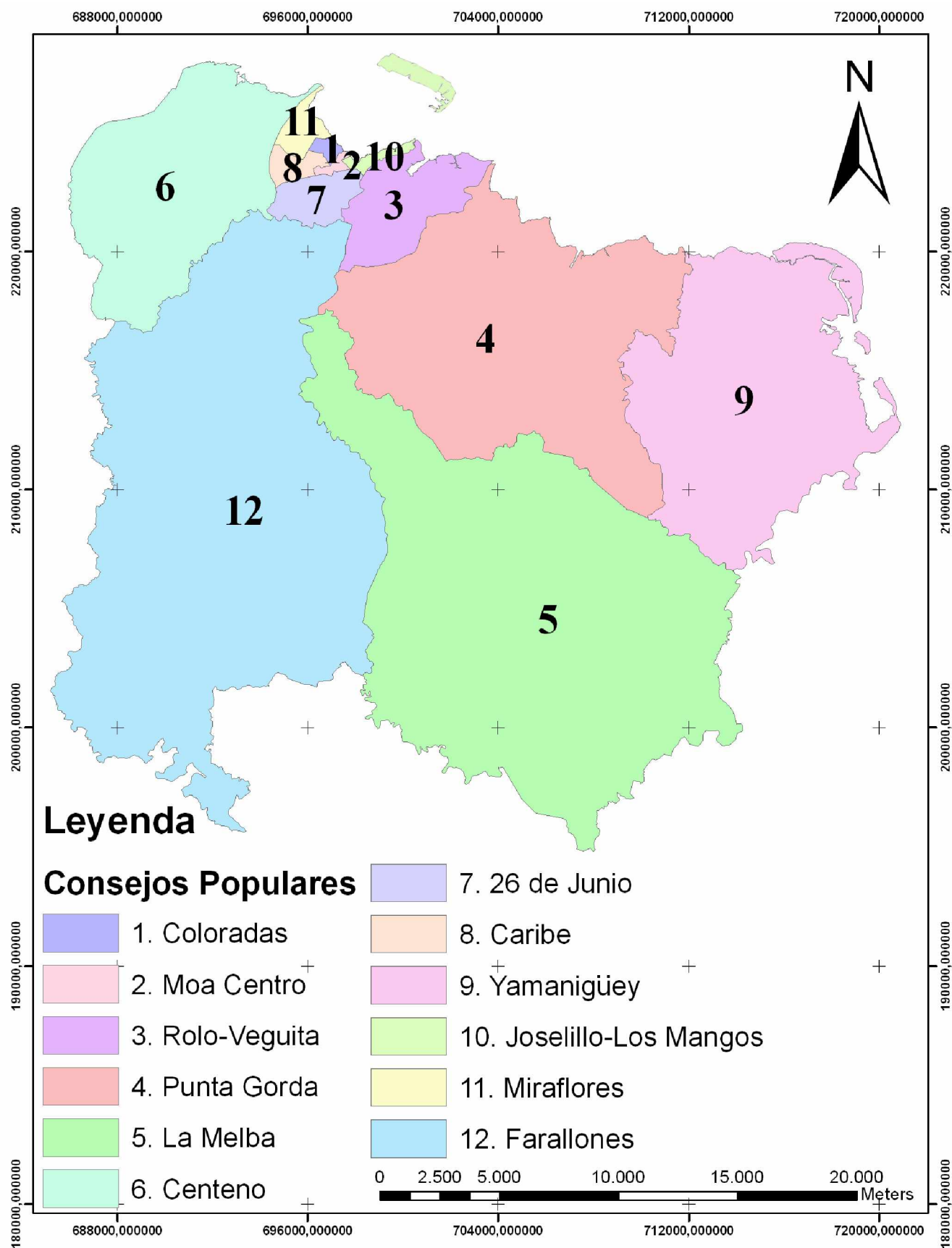
**Anexo 18: Mapa de Peligrosidad por Uso de Suelos del sector Este del municipio Moa.
Escala 1: 100 000.**



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



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



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

No	Denominación	
1. Localización:		
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:	
	Fecha del Evento.	
1.11	Mes:	
1.12	Día:	
1.13	Hora:	
	Hora del Evento.	
1.14	Minutos:	
1.15	Segundos:	
1.16	Duración del evento (especificar la unidad de medida):	
2. Clasificación:		
	Tipo de material.	
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:	
	Causa del evento.	
2.12	Inactivo:	
2.13	Precipitación:	
2.14	Terremoto:	
2.15	Otra:	
2.16	Nombre del evento relacionado :	
3. Daños ocasionados:		
	Daños Materiales.	
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):	
	<i>Daños humanos.</i>	
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:
