



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE MOA

“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO

**Título: ESTUDIO DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA
VULNERABILIDAD DEL TRAMO MOA – RIO JIGUANI EN LA CARRETERA
MOA – BARACOA.**

Diplomante: Yuslieni Cala Cardero

Tutores: Msc. José Carmenate Fernández.

Msc. Andrés Garcés Santos

Julio 2010

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo y mi formación profesional ha sido posible gracias a la incondicional ayuda y colaboración de personas, que siempre han mostrado preocupación constante por mí. De ahí que, el término de esta investigación carezca de sentido sin antes mostrar el agradecimiento a dichas personas:

- Quiero agradecer a mis padres, en especial a mi mamá y a mi hermana por haberme dado las fuerzas y el apoyo necesario en los momentos más difíciles de la vida para seguir adelante, culminar lo empezado y guiarme hasta lo bueno que nos depara el futuro cercano.
- Agradezco a mi familia y en especial a mis abuelos por haber sido parte de mi formación como mejor persona y haber estado conmigo para darme la mejor lección que necesite en un momento dado.
- Al Msc José Carmenate Fernández le agradezco la disposición de ser mi tutor y tener voluntad de apoyarme cuando de verdad fue necesario con el propósito de arrojar mejores resultados en el trabajo. Al Msc Andrés Garcés Santos le agradezco la disposición de todo su conocimiento en función de que este trabajo obtuviera la mejor calidad.
- A los profesores del departamento de geología de la universidad de Moa que nos han enseñado, aconsejado y guiado por el sendero correcto.
- A mis compañeros de aula con los cuales compartí inolvidables momentos en estos cinco años de la carrera.
- A mis compañeros de estudios Yexenia, Yeni, Yaima y Arlenia con los cuales siempre aprendía algo nuevo en cada preparatoria para una prueba.

- A mis compañeras y amigas Zuzana, Yudailin, Yola y Elizabeth por haber sido parte de mi vida durante estos cinco años y compartir con ellas momentos de alegría y tristeza.
- A los compañeros de la Agencia de Investigaciones Regionales, Andrés, Carlos, Norge, Tatiana, Norge Parra, Arnaldo, Yoni, en fin a todos.

DEDICATORIA

Dicen que el amor es la razón alrededor del cual gira la vida, lo cual implica que todo lo que hagamos por mínimo que sea requiere de este preciado sentimiento. Es por ello, que la realización de esta memoria la dedico a las personas que más quiero y aprecio en la vida.

Dedico este trabajo de diploma a mis padres por haber sido siempre mi mejor guía en la vida, por haberme dado fuerza y voluntad de seguir un camino seguro para ser hoy y siempre una mejor persona. Para ellos y para todos los que me han guiado por el camino correcto y me han brindado su apoyo durante toda mi vida de estudiante, a toda mi familia, a mis compañeros, profesores y amigos... Gracias.

PENSAMIENTO

"Antes todo se hacía con los puños: ahora, la fuerza está en el saber, más que en los puñetazos; aunque es bueno aprender a defenderse, porque siempre hay gente bestial en el mundo, y porque la fuerza da salud, y porque se ha de estar pronto a pelear, para cuando un pueblo ladrón quiera venir a robarnos nuestro pueblo. Para eso es bueno ser fuerte de cuerpo; pero para lo demás de la vida, la fuerza está en saber mucho".

José Martí

RESUMEN

El presente trabajo titulado Estudio de los peligros geológicos para la evaluación de la vulnerabilidad de la carretera Moa – Baracoa (Tramo Moa - Río Jiguaní), se ejecutó a escala 1:25 000, con el objetivo de establecer la intensidad de los peligros geológicos y determinar la vulnerabilidad ante los mismos de los tramos del vial.

Se parte de la recopilación de la información existente en la zona y de la creación del Modelo Digital del Relieve, del cual procesamiento se puede extraer importantes conclusiones y sobre todo las variables morfométricas que se emplean en el trabajo. En la investigación se aplica un conjunto de modelos y procedimientos establecidos en GEOCUBA y otros que se crearon especialmente para el desarrollo de la misma; gran utilidad presenta el procesamiento e interpretación de la foto cósmica Landsat, de la que se obtuvo un cuadro de alineaciones con direcciones no convencionales en la geología de Cuba y que necesitan ser precisadas en trabajos posteriores. De acuerdo a las evidencias de la interpretación de todos los materiales y las observaciones realizadas en el campo, se obtienen los mapas de susceptibilidad a la ocurrencia de los peligros geológicos para determinar la vulnerabilidad del vial.

ABSTRACT

The present investigation titled “Study of the Geological Hazards for the evaluation of the vulnerability of the Moa – Baracoa road (Moa – Jiguaní stretch)” was executed at scale 1:25 000 with the objective of establishing the intensity of the geological hazards and determining the vulnerability of the road to these hazards.

Commencing from the compilation of existent information in that area and the creation of a Digital Model of the Terrain, important conclusions were extracted as well as the morphometric variables that were used in this investigation. In this investigation a series of models and procedures established in GEOCUBA were applied along with others that were created specifically for this development; the processing and interpretation of the cosmic photo Landsat was of great benefit, from which was obtained a chart of alignments with non-conventional directions in Cuban geology that were needed to be determined in posterior investigations. According to the evident interpretation of all the material and the observations made in the field, susceptibility maps were obtained from the geological hazards identified in order to determine the vulnerability of the road.

ÍNDICE

Agradecimientos.....	I
Dedicatoria.....	III
Pensamiento.....	IV
Resumen.....	V
Abstract.....	VI
Índice.....	VII

Introducción.....	1
-------------------	---

Marco teórico conceptual de la investigación.....	3
---	---

CAPITULO I: CARACTERISTICAS GEOGRAFICAS Y GEOLOGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.17

1.1.1 Ubicación geográfica.....	17
1.1.2 Clima.....	18
1.1.3 Vegetación.....	18
1.1.4 Economía de la zona de estudio.....	19
1.1.5 Relieve.....	19
1.2 Características geológicas de de la zona de estudio.....	20
1.2.1 Estratigrafía.....	20
1.2.2 Tectónica.....	21
1.2.3 Geomorfología.....	23
1.2.4 Sismicidad.....	24

CAPITULO II: METODOLOGIA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.....26

2.1 Introducción.....	26
2.2 Primera etapa: Recopilación y digitalización de la información.....	26
2.3 Segunda etapa: Trabajo de campo.....	29
2.4 Tercera Etapa: Interpretación y elaboración de los resultados.	31

CAPITULÓ III: ESTUDIOS DE LOS PELIGROS GEOLOGICOS PARA LA EVALUACION DE LA VULNARABILIDAD DEL TRAMO DE CARRETERA MOA- RIO JIGUANI.....40

3.1	Introducción.....	40
3.2	Peligro por la erosión.....	40
3.3	Peligro a la ocurrencia de los deslizamientos.....	41
3.4	Peligro para la ocurrencia de empantanamiento.....	47
3.5	Análisis de la vulnerabilidad.....	52
3.5.1	Zonas más vulnerables de la carretera ante la ocurrencia de procesos erosivos...	52
3.5.2	Vulnerabilidad la carretera a causa de la ocurrencia de la erosión	53
3.5.3	Vulnerabilidad de la carretera a causa de la ocurrencia de deslizamientos	55
3.5.4	Vulnerabilidad de la carretera a causa de la ocurrencia de empantanamiento	58

CONCLUSIONES.....60

RECOMENDACIONES.....61

ANEXOS

Anexo 1: Modelo Digital del Terreno (escala: 1: 25 000).....	i
Anexo 2: Mapa geológico (escala 1: 25 000).....	ii
Anexo 3: Mapa de disección vertical (escala 1: 25 000).....	iii
Anexo 4. Mapa de disección horizontal (escala 1: 25 000).....	iv
Anexo 5 .Mapa de pendiente (escala 1: 25 000).....	v
Anexo 6. Mapa Hipsométrico (escala 1: 25 000).....	vi
Anexo 7. Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos (escala 1: 25 000).....	vii
Anexo 8 .Mapa de peligro de erosión (escala 1: 25 000).....	viii
Anexo 9. Mapa de susceptibilidad al empantanamiento (escala 1: 25 000).....	ix
Anexo 10. Mapa de suelo (escala 1: 25 000).....	x
Anexo 11. Mapa de densidad de fracturas (escala 1:25 000).....	xi

INTRODUCCIÓN

A partir de la recuperación económica del país y teniendo en cuenta el deterioro paulatino de los viales, se determina la reparación de los mismos, dando prioridad a los de mayor importancia económica y necesidad de reparación, como es el caso del vial Moa-Baracoa en la costa norte, el cuál une el polo turístico de Baracoa con la provincia de Holguín por la zona niquelífera de Moa.

El mayor por ciento de las instalaciones de la industria del níquel se encuentran en los primeros kilómetros de la carretera, debido al uso que de ella hacen las entidades pertenecientes a la industria del níquel, como son el Puerto de Moa, Empresa “Ernesto Che Guevara”, Presa de Cola y el Centro de Investigaciones del Níquel.

En la reparación de los viales es necesario realizar estudios encaminados a determinar los peligros naturales que pueden afectar el vial y su vulnerabilidad antes los mismos, con vista a cuantificar los riesgos y tomar medidas para prevenir y/o mitigar los mismos.

La presente investigación se realiza en el tramo de la carretera Moa-Río Jiguaní, que se extiende por zonas cercanas y paralelas a la costa del noroeste de la provincia Holguín. La longitud del vial es de 28.58 Km. y para el estudio se considera el Km. 0.00 en la intersección de la Avenida del Puerto de Moa con la carretera que conduce a Baracoa desde la ciudad de Moa y el Km. 28.58 en el puente del Río Jiguaní que constituye el límite entre las provincias de Holguín y Guantánamo.

Teniendo en cuenta la importancia económica y social del vial la investigación plantea resolver el siguiente problema:

Problema:

Necesidad de establecer la intensidad y distribución espacial de los peligros geológicos para evaluar la vulnerabilidad del tramo Moa – Río Jiguaní en la carretera Moa - Baracoa.

Objeto:

Los peligros geológicos y la vulnerabilidad en el tramo Moa – Río Jiguaní en la carretera Moa – Baracoa.

Objetivo general

Establecer la intensidad y distribución espacial de los peligros geológicos para determinar la vulnerabilidad en el tramo Moa - Río Jiguaní de la carretera Moa - Baracoa ante los mismos.

Objetivos específicos:

- Determinar las condiciones geológicas y geomorfológicas que condicionan la presencia de los peligros geológicos.
- Determinar por zonas la susceptibilidad de ocurrencia de los peligros geológicos en el vial.
- Evaluar la vulnerabilidad del tramo Moa – Río Jiguaní en la carretera Moa – Baracoa.

Hipótesis:

Si se conocen las condiciones geológicas y geomorfológicas que condicionan la presencia de los peligros geológicos y su distribución espacial en el área de estudio, entonces se puede evaluar la vulnerabilidad del tramo Moa - Río Jiguaní en la carretera Moa– Baracoa.

Aportes científicos.

- Determinación de la intensidad y distribución espacial de los peligros geológicos en el tramo Moa - Río Jiguaní en la carretera Moa- Baracoa
- Determinación de las condiciones geológicas y geomorfológicas que condicionan la presencia de los peligros geológicos.
- Determinación de las zonas de susceptibilidad de ocurrencia a los peligros geológicos en el tramo Moa - Río Jiguaní en la carretera Moa Baracoa.
- Evaluación de la vulnerabilidad del tramo Moa - Río Jiguaní en la carretera Moa

– Baracoa

Resultados esperados:

- Modelo Digital del Terreno a escala 1:25 000
- Mapa geológico del área en formato digital.
- Mapas morfométricos digitales.
- Mapas de pronóstico y caracterización de la susceptibilidad a la ocurrencia de los principales peligros geológicos (deslizamientos, empantanamiento, erosión)

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACION

Para desarrollar la presente investigación se establece el marco teórico conceptual de la misma a partir de la consulta de las bibliografías relacionadas con el tema, conformando la base teórica a través de los factores que la condicionan, los métodos de estudios existentes y las definiciones de los peligros geológicos, erosión, deslizamiento y empantanamiento y otros relacionados con el tema.

Peligro: Amenaza potencial a personas o bienes.

Peligro geológico: Todo proceso o suceso en el medio geológico natural, inducido o mixto que puede generar daño económico o social para alguna comunidad en cuya predicción o corrección han de emplearse criterios geológicos.

Peligrosidad

La peligrosidad, P, hace referencia a la frecuencia de ocurrencia de un proceso y al lugar. Se define como la probabilidad de ocurrencia de un proceso de un nivel de intensidad o severidad determinado, dentro de un periodo de tiempo dado y dentro de un área específica (Varnes, 1984; Barbat, 1998). Para su evaluación es necesario conocer:

- Donde y cuando ocurrieron los procesos en el pasado
- La intensidad y magnitud que tuvieron
- Las zonas en que pueden ocurrir procesos futuros
- La frecuencia de ocurrencia

El último punto solo puede ser estimada si se conocen las pautas temporales del proceso (por ejemplo el periodo de retorno de los terremotos o inundaciones, a partir de datos y series históricas y/o instrumentales) o de los factores que lo desencadenan (el periodo de retorno de las precipitaciones que desencadenan deslizamientos en una zona).

Vulnerabilidad

La vulnerabilidad, V , es el grado de daños o pérdidas potenciales en un elemento o conjunto de elementos como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de intensidad determinada. Depende de las características de el elemento considerado (no de su valor económico) y de la intensidad del fenómeno, suele evaluarse entre 0 (sin daño) y 1 (perdida o destrucción total del elemento) o entre 0% y 100% de daños.

Susceptibilidad

La susceptibilidad puede definirse como la posibilidad de que una zona quede afectada por un determinado proceso, expresada en diversos grados cualitativos y relativos. Depende de los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos, que pueden ser intrínsecos a los propios materiales geológicos o externos.

Los mapas de susceptibilidad pueden realizarse en base a:

- Mapas inventario: Las áreas que sufren o han sufrido procesos pueden volver a sufrirlos.
- Mapas de factores: las áreas en que confluyen determinados factores que condicionan los procesos en una determinada zona o región, aunque estos no se hayan presentada hasta la actualidad, pueden ser afectadas en un futuro.

En este último caso, la metodología se basa en la preparación de mapas temáticos de los factores condicionantes y en la superposición de los mismos, estableciendo el grado de susceptibilidad en función del peso asignado a cada uno de los factores. Estos mapas se suelen preparar con técnicas SIG (sistema de información geográfica), que permiten el análisis automático de los datos y el establecimiento de bases de datos asociados.

La expresión para la susceptibilidad al deslizamiento viene dada por la expresión:

$$S_{desliz} = Lito. \left[\frac{(1.534 \text{ } pd - 0.085 \text{ } dv)}{Q} \right] \quad [1]$$

Donde: $Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$ La calidad del macizo (González Vallejo 2002)

RQD calidad de la roca.

J_n índice de diaclasado.

J_r índice de rugosidad de las discontinuidades.

J_a índice de alteración de las discontinuidades.

J_w factor de reducción por la presencia de agua.

SRF condiciones tensionales del macizo rocoso, normalizado según los criterios de Barton.

Pd pendiente en grados

Dv disección vertical (m)

Deslizamientos

Los deslizamientos son movimientos de masas de suelos o roca que deslizan, moviéndose relativamente respecto al sustrato, sobre una o varias superficies de rotura netas al superarse la resistencia al corte de estas superficies; la masa generalmente se desplaza conjunto, comportándose como una unidad en su recorrido; la velocidad puede ser muy variable, pero suelen ser procesos rápidos y alcanzar grandes volúmenes (hasta varios millones de metros cúbicos). En ocasiones cuando el material deslizado no alcanza el equilibrio al pie de la ladera (con su pérdida de resistencia, contenido en agua o por la pendiente existente), la masa puede seguir en movimiento a lo largo de cientos de metros y alcanzar velocidades muy elevadas, dando lugar a un flujo, los deslizamientos también pueden ocasionar avalanchas rocosas. Pueden producirse deslizamientos en derrubios (por ejemplo en los coluviones de las laderas, a favor del contacto con el sustrato, o en laderas rocosas muy alteradas y fracturadas, a favor del contacto con la roca sana), que en general dan lugar a flujos de derrubios, ya que suelen ocurrir en condiciones de saturación del material.

Factores que influyen en el deslizamiento de las masas rocosas en los taludes

Escala	Tipo de roca	Probabilidad al deslizamiento
0	Duras	No probable
1	Semiduras y duras	Poco probable
2	Semiduras y blandas	Probable
3	Blandas	Muy probable

Tabla 1. Factor: Dureza de las rocas presentes en las formaciones

Escala	Estratificación o foliación*	Probabilidad al deslizamiento
0	Masiva	No probable
1	Muy gruesa a gruesa	Poco probable
2	Gruesa y Media	Probable
3	Fina a media	Muy probable

Tabla 2. Factor: Por estratificación o foliación (* La foliación siempre es fina)

Derrubio

El termino derrubio de refiere a un material suelto, sin consolidar, con una proporción significativa de material grueso (Varnes, 1988).

Empantanamiento

Terrenos empantanados: estos comprenden las porciones de terreno en que la capa turbosa es delgada y las raíces de las plantas llegan hasta el lecho mineral. Esta división es, de cierto modo, arbitraria, puesto que los terrenos empantanados, que ofrecen caracteres similraes, representan, de hecho, la fase inicia len el desarrollo de los pantanos.

La expresión utilizada para la susceptibilidad al empantanamiento viene dada por la expresión:

$$Sempant = Lito. \left[Jn.Df \frac{\log (Acum)}{DhPdPmf} \right] \quad [2]$$

donde:

Lito factor litológico.

Jn Df. Índice de percolación

acum.acumulación

Dh disección horizontal.

Pd pendiente.

PMF potencia de la zona de aeración.

Erosión

La erosión del suelo es definida como un proceso de destrucción, transporte y deposición de materiales del suelo por agentes erosivos. Los agentes erosivos dinámicos, en el caso de la erosión hídrica son la lluvia y el escurrimiento superficial o las inundaciones.

Causas de la erosión

Los agentes erosivos son más eficaces en función de qué tipo de tierra sea, la capa que la protege (hierbas, árboles, rocas), la cantidad de agua existente, el viento y su uso. Uno de los principales factores es el agua. Uno de los tres primeros factores puede permanecer constante. En general depende de que tan resistente sea la cubierta vegetal, en las áreas de precipitación intensa, la arena se erosiona por las cuestas y se va por las corrientes del agua. En las zonas donde se encuentre más arcilla la erosión será de menor intensidad. Como la capa de vegetación protege a la tierra de la erosión, cuando esta se retira (ya sea por desastre natural o la construcción de cultivos, carreteras) el riesgo de erosión se aumenta, provocando que la tierra se erosione por las pendientes y las corrientes de agua.

Muchas actividades humanas retiran la capa protectora de vegetación, produciendo una erosión más acelerada. En los cambios de vegetación (como el paso de vegetación nativa a los cultivos) producen un aumento de la erosión produciendo que el suelo pierda sus nutrientes y sea infértil e inservible. También depende el tipo de vegetación que se encuentre en el lugar, por ejemplo, una zona sin árboles corre el mayor peligro de

erosionarse, debido a que el árbol absorbe el agua y en su ausencia el agua se va sin ser absorbida en su mayor parte y llevándose con sígo la arena de la tierra. Las gotas al caer sobre una hoja se desintegran y se dispersan en forma de gotas más pequeñas, por el contrario, al impactar las gotas con el suelo producen un efecto corrosivo (una de las propiedades más interesantes del agua). La vegetación controla también la velocidad de la corriente de agua, entre más juntas estén los tallos de las plantas la velocidad de la corriente del agua será menor.

Breve caracterización de los procesos erosivos

Modelo de pérdida de suelo USLE adaptado

La ecuación básica que define la pérdida de suelo según la USLE (Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo) es:

$$A = RKLSCP \quad [3]$$

Donde: A es la citada pérdida expresada en toneladas por (Tn /Ha. Año)

R es un factor dependiente de la agresividad del clima.

K es un factor dependiente de las características del suelo.

LS es un factor que depende de la pendiente y la longitud de la misma.

C es un factor dependiente de la cobertura vegetal.

P es un factor dependiente de las prácticas de cultivo presentes. En nuestro caso $P=1$.

Factor climático: erosividad de la lluvia, índice R

La energía cinética constituye un indicador indirecto de la erosividad de la lluvia, ya que representa la energía total disponible para el arranque y transporte por impacto de la lluvia.

Para determinar la intensidad media de la lluvia o la lámina de precipitaciones para el período de tiempo de cálculo son utilizadas en Cuba las expresiones debidas, estas últimas utilizadas en la modelación. Para zonas montañosas de la provincia de Oriente; que es el caso que nos atañe:

$$I_t = \frac{0.044H_p}{(t+1)^{0.57}} \quad [4]$$

Donde: I_t Intensidad media de la lluvia.

t Tiempo de cálculo.

H_p Lámina de precipitaciones máximas

Determinando la intensidad de la lluvia con la expresión [5], para el tiempo de 30 min y con el valor de la lámina de precipitación máxima, extraída del mapa de esta magnitud, para la cuenca de análisis, es posible obtener el parámetro R de la ecuación [3].

$$R = I_{30} \cdot E \quad [5]$$

Factor topográfico. Índice LS

La mayor potencialidad de modelación de la erosión con el empleo del Modelo Digital de Terreno (MDT) se obtiene en la determinación del índice LS. En la formulación original de USLE es el parámetro más complejo, debido a lo difícil de evaluar las pendientes y la longitud de estas en relieves complejos como es el caso de las zonas elevadas de la región oriental.

Por otro lado el uso exclusivo de estos dos parámetros no tiene en cuenta elementos tales como la convergencia de flujo, que pueden ser incluidos en un tratamiento más cercano a la naturaleza física del proceso en contraposición al carácter empírico de la formulación USLE original.

La determinación de un parámetro LS con el empleo de variables morfológicas derivadas del MDT permite obtener un modelo mejorado no sólo desde el punto de vista de las magnitudes pronosticadas, sino que pondera lo suficiente el factor topográfico tanto en los procesos erosivos como de deposición.

$$a' = \frac{Acum}{Ac} \quad [6]$$

Donde a' índice topográfico.

$Acum$. Modelo de acumulación.

Ac área de la celda elemental del MDT

Donde a' índice topográfico.

Acum. Modelo de acumulación.

Ac área de la celda elemental del MDT

El cálculo de LS se basa en dos variables derivadas del MDT estas son: pendiente del terreno y el índice topográfico, la primera se obtiene directamente con el SURFER y la segunda a partir de la red de flujo acumulada, Cordovez et al 2006.

A partir de estas expresiones se obtiene el parámetro LS como:

$$LS = \left(\frac{a'}{22.13}\right)^m \cdot \left(\frac{\sin \beta}{0.0896}\right)^n \quad [7]$$

Donde: LS factor topográfico.

$m=0.6$ y $n=1.4$

$$\beta = \frac{\sin \gamma}{0.0896 \cdot [(\sin \gamma)^{0.8} + 0.56]} \quad [8]$$

Donde: γ es la pendiente del terreno.

Análisis de la cobertura del terreno. Índice de vegetación C.

La modelación del uso del suelo es necesaria para el planteamiento de formulaciones referidas a la generación de escorrentía, que constituye el elemento formador de la erosión y por tanto tiene un peso fundamental en la cantidad de material erosionado.

La relación cubierta vegetal escorrentía, está dada por la disminución que provoca la primera a la energía de la lluvia, lo que disminuye la intensidad de la erosión. De aquí se desprende que mientras más próxima a la unidad sea la relación entre el área de vegetación y el área de la celda de análisis, mayor protección tiene este sector del terreno al proceso de erosión.

Algunos autores han propuesto formulaciones para determinar la relación de área cubierta por la vegetación, a partir de los índices de vegetación y en especial con el índice de vegetación normalizado *NDVI*. En la investigación se tomó el de Zhang,

$$fcc = 1.333 + 131.877 \cdot NDVI \quad [9]$$

donde: f_{cc} factor de cubierta.

A partir de la expresión anterior se obtuvo una forma de C:

$$C = \left((f_{cc_{\max}} + f_{cc_{\min}}) - f_{cc} \right)_{0.001}^1 \quad [10]$$

Donde: $f_{cc_{\max}}$ y $f_{cc_{\min}}$ son los valores máximos y mínimos de f_{cc} .

Índice de erodibilidad del suelo K.

Este índice mide la resistencia del suelo al ser erosionado, depende de las características físico-químicas de este, en especial su textura, la estructura, contenido de materia orgánica y su permeabilidad.

Los suelos con mayor cantidad de limos son los más erosionables seguidos de las arenas finas a gruesas; las arcillas son resistentes a este proceso. El contenido de materia orgánica le da a los suelos mayor estabilidad para distintas combinaciones de textura y estructura. La impermeabilidad es un factor clave, pues es el agua que escurre la que provoca la erosión de los suelos, a medida que el agua se infiltra disminuye su intensidad erosiva.

En la zona de estudio se dispone del modelo digital de suelo (MDS) elaborado por la Agencia de Investigaciones Regionales GEOCUBA, obtenido a partir del mapa de suelos agrícolas escala 1:25 000 y convertidos a la clasificación SUCS. En cada una de las rejillas se puede obtener un valor tipológico del tipo de suelo y a partir de este determinar las características principales físico-mecánicas de los suelos.

Pronostico de suelo

Ficheros

Lluvia Maxima 1% C:\INVESTIGACIONES\PROYECTO LI

Kf Suelo C:\INVESTIGACIONES\PROYECTO LI

Humedad C:\INVESTIGACIONES\PROYECTO LI

NDVI C:\INVESTIGACIONES\PROYECTO LI

Pediente C:\INVESTIGACIONES\PROYECTO LI

Acumulacion C:\INVESTIGACIONES\PROYECTO LI

Pronostico

RKLSC C:\INVESTIGACIONES\PROYECTO

Hacer

En el análisis del mapa de suelo de la zona investigada se obtuvieron los tipos que se presentan en la leyenda del referido mapa. Como se puede observar en el anexo 9 una extensa zona del área pertenece a un mismo tipo, agrupando las cortezas de intemperismo, lo que no es suficiente para la

evaluación de la acción del suelo sobre los procesos de erosión.

La acción del agua sobre los suelos y de esta forma la capacidad de esta de erosionarlos, está estrechamente relacionada con la cohesión de los primeros y con la velocidad del flujo de agua.

Las características de esta interrelación definen la mayor o menor posibilidad del agua de arrancar elementos del suelo. Es por tanto necesario evaluar la resistencia del suelo a ser erosionado y determinar la cantidad de agua que se infiltra, disminuyendo su velocidad y por tanto su energía.

La lámina de infiltración de los suelos generalmente denominada n depende de varios factores:

Coeficiente de infiltración K_f .

Velocidad del agua superficial, evaluada a partir del gradiente de la línea de flujo y del tirante hidráulico que es la columna de agua “instantánea” sobre cada uno de los puntos del terreno, evaluada por el modelo de acumulación utilizado en la expresión [6].

Otro factor importante debido a la influencia que juega en la permeabilidad del suelo es la humedad precedente, en ocasiones un K_f alto se ve afectado por la saturación del suelo haciéndolo prácticamente impermeable. En el análisis de eventos es importante considerar la humedad del suelo antes de comenzada la lluvia.

$$n = \left\langle \frac{\log(acum) \cdot K_f \cdot fcc}{\gamma \cdot \mu} \right\rangle_0^1 \quad [11]$$

En la zona de estudio con gran cantidad de precipitaciones y la ocurrencia de aguaceros frecuentes, el análisis de la humedad de los suelos γ y como repercute esta en su permeabilidad es imprescindible.

La expresión [11] permite obtener una mejor estimación de la cantidad de agua que se infiltra en el terreno y por tanto disminuye la intensidad de la erosión. La interpretación de esta ecuación debe realizarse con cautela pues el término que mide la acumulación puede dar resultados extremadamente altos y por tanto enmascarar los más bajos lo que no es siempre conveniente.

De esta forma se obtiene la expresión de K como:

$$k = \left\langle n \right\rangle_0^{100} \quad [12]$$

Para la valoración de la humedad se pueden emplear varios procedimientos como el basado en el índice topográfico de humedad, Olaya 2003, o a partir de la información de los sensores remotos en específico el Tasseled Cap, Pinilla 2003.

En la investigación utilizamos un juego de imágenes LANDSAT 7 que permitió obtener el valor de humedad (Tasseled Cap) para el momento de la toma lo que constituye una aproximación, ya que no evalúa de forma correcta los valores más probables de esta magnitud. Es recomendable utilizar en trabajos futuros un conjunto de imágenes NOAA, de varios años y con tiempo de pasada de seis horas para obtener un valor estadístico confiable y novedoso en Cuba.

Los valores de pérdidas de suelo calculados para las cuencas de análisis, fueron calibrados utilizando los valores de erosión obtenidos por las fórmulas regionales para las cuencas que tienen mayor correlación con los valores pronosticados. Los valores anómalos entre el valor pronosticado y el calculado por las fórmulas empíricas corresponden a las cuencas más afectadas.

Otra información que tributa el pronóstico de la pérdida por erosión hídrica: es el referente a la tasa media de erosión por cuencas hidrológicas. Gran parte de los materiales removidos por la escorrentía son depositados por los ríos en las zonas donde las condiciones hidrodinámicas son tales, que ocurre la deposición. Determinar el escurrimiento sólido, donde la red de drenaje corta la carretera (obras de fábrica), permitió determinar el peligro por azolvamiento; el cual tiene consecuencias importantes en la vulnerabilidad de estas ante la ocurrencia de inundaciones (al estar azolvadas pierden parte de su gasto o servicio y el agua puede crear una inundación y en el peor de los casos, colapsar la obra). Al igual que los eventos analizados anteriormente, las lluvias son el principal elemento que actúa como iniciador de este tipo de evento. La condición más favorable desde el punto de vista climático para el aumento de la intensidad de la erosión es cuando los suelos están saturados y por tanto es baja su permeabilidad; en este caso el escurrimiento es máximo y por tanto la erosión se intensifica. Atendiendo a

estos criterios se puede inferir que la época del año donde se debe esperar un incremento de la intensidad erosiva (formación de cárcavas y azolvamiento de las obras de fábrica) es en los meses de mayo-diciembre y fundamentalmente en el mes de octubre.

Trabajos precedentes.

Los trabajos relacionados con esta investigación se enmarcan específicamente en estudios de vulnerabilidad y riesgos por deslizamientos, erosión e inundaciones.

K.J.Dyer Anika (2007), realiza un estudio de evaluación de riesgo específico por deslizamiento en la Isla de San Vicente debido a las características geológicas, geomorfológicas y condiciones climáticas de los terrenos de la Isla de San Vicente, con vista a prevenir o mitigar los daños que provocan estos eventos, debido a que son suelos muy susceptibles, lo cual constituye un riesgo latente en las tierras ocupadas por actividades humanas y construcciones, las cuales en muchos casos se realizan sin tener en cuenta las características del medio. Se aplicó un análisis estadístico, utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG), Arc View, que integra la información que representa la distribución de deslizamientos. Finalmente obtuvieron una caracterización de los mecanismos y tipologías de deslizamientos desarrollados en el área de estudio. También presentaron la zona San Vicente por niveles de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo frente a deslizamientos, los cuales se pueden utilizar para tomar medidas de mitigación.

Vidal G Lina María (1960 – 1990), en su artículo presenta la exploración de evaluación de la vulnerabilidad frente a amenazas asociadas con deslizamientos e inundaciones en la zona Nororiental de Medellín entre 1960 – 1990, vinculando los procesos de poblamiento y las con los enfoques de planificación y las políticas para el hábitat en la ciudad. El abordaje del estudio de caso mostró que la vulnerabilidad se desplazó durante el período de estudio, siguiendo la trayectoria del poblamiento y la expansión de la ciudad en función de características propias de la adaptación al entorno por parte de los pobladores. Debido a que la vulnerabilidad tuvo una tendencia acumulativa durante el período de

estudio, se interpreta como un impacto ambiental de los procesos que inciden en su configuración, que no es puntual, ni espacial, ni temporalmente y tampoco obedece a una lógica de causa – efecto, sino que es complejo y estas conectado con otras manifestaciones ambientales.

Puig Beltrán, (2007), hace un estudio de evaluación de los niveles de riesgos múltiples por fenómenos naturales (sismicidad, deslizamiento, erosión, e inundaciones) con vista a prevenir o mitigar los daños que provocan estos eventos en el municipio de Moa, teniendo en cuenta una serie de variables e indicadores geoambientales (geomorfología, tectónica, litologías, hidrología, precipitaciones, etc.). Se propusieron un plan de gestión de riesgos según diferentes fases de aplicación para los asentamientos rurales, urbanos, y áreas industriales. Otuvieron 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 del Sistema de Información Geográfica que permite determinar la susceptibilidad del territorio frente a los fenómenos naturales y evaluar los riesgos asociados a estos eventos geodinámicos.

Marrero Pérez Terina (2007), muestra un estudio sobre la corteza laterítica, donde se desarrollan intensos procesos erosivos en formas de cárcavas y laminar los cuales generan grandes aportes de sedimentos depositados en las cuencas fluviales y marinas con el objetivo de presentar un plan que sirviera como herramienta para las acciones de la Defensa Civil en la toma de decisiones frente a la ocurrencia de riesgos naturales, sanitarios y antrópicos en el Municipio de Moa. Se obtuvo una evaluación de la vulnerabilidad de las instalaciones industriales y sociales del escenario estudiado con la ocurrencia de sismos y deslizamientos de diferentes magnitudes, así como los riesgos asociados a estos eventos geodinámicos.

Torres Cabrera Yoniel (2009), en su trabajo de diploma, Pronóstico de procesos y fenómenos físico – geológicos en el área para la construcción del trasvase Yateras – Guaso se ejecutó en su totalidad a escala 2 1:10 000 sobre un área de alrededor de 800 Km. con el objetivo de establecer los criterios principales que permitan de forma rápida y

eficiente dirigir las investigaciones futuras a los sectores de probable manifestación de distintos tipos de procesos que de una u otra forma pueden incidir en la planeación regional e incluso para objetos de obras puntuales. Se establecieron los principales sistemas de morfoalineamientos que afectan al territorio y el papel que los mismos juegan en la tectónica moderna, sobre la base de un conjunto de métodos, partiendo de la creación del Modelo Digital del Relieve, de cuyo procesamiento se pudieron extraer importantes conclusiones y sobre todo las variables morfométricas que se tratan en el trabajo. Fue de gran utilidad el procesamiento e interpretación de la foto cósmica Landsat, de la que se obtuvo un cuadro de alineaciones con direcciones no convencionales en la geología de Cuba y que necesitan ser precisadas en trabajos posteriores.

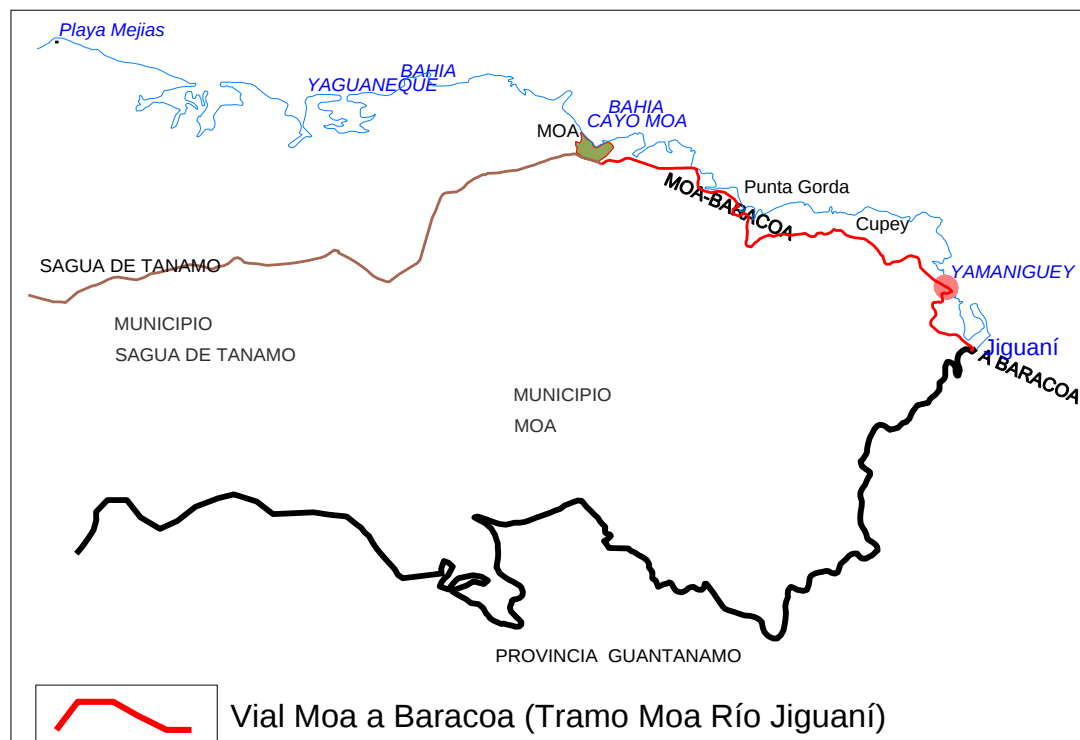
Mojena Saborit Maily (2009), en su trabajo de diploma, Estudio Geoambiental del parque Nacional Alejandro de Humboldt, sector La Melba. Tiene como objetivo evaluar las condiciones geoambientales del sector La Melba del parque Alejandro de Humboldt como base para futuras evaluaciones impactos ambientales y de riesgos geológicos. Se utilizaron métodos de cartografía geológica, realizando descripciones geológicas por las cuales atraviesan los taludes estudiados, se definen los factores condicionantes y desencadenantes de inestabilidades en los mismos y la tipología de los movimientos. Los procesos erosivos-deposicionales constituyen otros aspectos estudiados en el que se analizan los tipos de erosión y deposición presentes en el área de estudio y como se manifiestan. Estudio de las inestabilidades de laderas se efectúa mediante el cálculo del factor de seguridad del talud por los métodos de equilibrio límite, se ofrecen las tablas correspondientes con las principales características de los taludes de manera tal que se pueda valorar su comportamiento. Finalmente se ofrece un plan de medidas de mitigación y prevención de los procesos erosivos y de deslizamientos.

CAPÍTULO I: CARACTERISTICAS GEOGRAFICAS Y GEOLOGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.

1.1.1 Ubicación geográfica.

La vía se ubica al noroeste de la provincia Holguín y se extiende de este a oeste en el municipio de Moa, considerándose el Km. 0 a partir de la intersección de la Avenida del Puerto con la carretera que conduce a Baracoa, en la ciudad de Moa y hasta el Km. 28,58 en el río Jiguaní que constituye el límite entre las provincias de Holguín y Guantánamo; siendo sus Coordenadas Lambert aproximadas de:

Coordenadas	X	Y
Inicial	700 060	222 885
Final	720 050	211 505



Esquema Representativo1: Ubicación geográfica de la carretera Moa Baracoa (Tramo Moa - Río Jiguaní).

1.1.2 Clima.

El clima es tropical y se ve influenciado por la orografía, las barreras montañosas del grupo Sagua – Baracoa sirven de pantalla a vientos alisios del noroeste, los cuales hacen descargas de abundantes lluvias en la parte norte del área de estudio donde el promedio de precipitaciones anuales está entre 1231 – 5212 mm caracterizándose los meses noviembre y diciembre como los mas lluviosos y marzo, julio y agosto como los mas secos, la evaporación oscila entre 1880 – 7134 mm ,teniendo en cuenta temperaturas medias anuales que oscilan entre 22C – 32C, siendo los meses mas calurosos desde julio hasta septiembre y los mas fríos enero y febrero .Se evidencia en los últimos años un incremento en las precipitaciones y la evaporación (D. Serret y C.M . Suarez, 2000)

Los vientos son de moderada intensidad, casi todo el año soplan los vientos alisios provenientes de la periferia del anticiclón subtropical oceánico de Las Azores – Bermudas, provocando que el mismo en superficie tenga una dirección noroeste – este fundamentalmente.

La humedad relativa de la zona es alta debido a la exposición marítima del territorio, influyendo en ese aspecto las precipitaciones, las que son abundantes todo el año y las presiones atmosféricas presentan una media anual de 1017.3 Hpa, siendo la media máxima mensual de 1022.2hPa en el mes de septiembre (Puig, 2007).

1.1.3 Vegetación.

En la vegetación influye el tipo de suelo, por lo que predominan en la mayor parte del territorio, los Pinos (*Pinus Cubensis*), apreciándose además la Yagruma (*Cecropia Peltata*) y la Jiribilla (*Andropogon Caricosus*), así como algunos árboles frutales y otros tipos maderables, además de agroecosistemas principalmente con cultivos de plátano.

1.1.4 Economía de la zona de estudio.

Desde el punto de vista económico, el vial constituye una zona industrial de vital importancia para la provincia y el país, pues la misma sobresale por su valor estratégico al contar con enormes reservas de minerales de hierro, níquel, cobalto y cromo. En las plantas “Ernesto Che Guevara” y “Pedro Soto Alba” se procesan las lateritas niquelíferas con posibilidades de incrementos productivos establecidos. Actualmente en el territorio el mineral de cromo es objeto de explotación en las minas de Las Merceditas, no así el hierro que queda en considerables reservas por necesidad de tecnologías para su explotación.

En sentido general esta vía de comunicación es muy frecuentada sobre todo en los primeros kilómetros debido al uso que se hace de ella por necesidades principalmente de las industrias niquelíferas, pues en áreas cercanas o aledañas se encuentran: el Puerto de Moa, Empresa “Ernesto Che Guevara”, Presa de Cola y el Centro de Investigaciones del Níquel; también la importancia de la carretera se valora por el vínculo que establece para el turismo ecológico y la unión de los polos turísticos de Holguín y el polo turístico de Baracoa., incluyendo la entrada para el antiguo Campismo de Cayo Guam.

1.1.5 Relieve

El vial inicia en la parte baja de una pequeña colina, desde el Km. 1 aproximadamente hasta el km 3 el relieve es bajo, pantanoso, correspondiente al valle del Río Moa, continua bordeando la zona montañosa por la parte baja de las elevaciones desarrolladas sobre serpentinitas, con espesores variables de lateritas, disminuyendo los espesores hacia el este, bordea y atraviesa la zona pantanosa formada entre los valles de los ríos Punta Gorda y el Río Cayo Guan siendo el relieve muy bajo, continua hasta el km 13 por un relieve de colinas bajas desarrollado sobre gabros, este relieve se mantiene hasta el Km 17+250 desarrollado sobre serpentinita. Continúa el vial por colinas bajas hasta el km 17+907 desarrollado sobre tobas y gabros, después continua el vial hasta el Río Jiguaní por el mismo relieve colinoso pero desarrollado sobre serpentinitas con menor espesor de lateritas y en gran parte sin laterita en esta zona las elevaciones son mayores y con mayor pendiente.

1.2 Características geológicas de la región.

La geología se caracteriza por una gran complejidad, condicionada por la variedad litológica presente y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el decursar del tiempo geológico, lo que justifica los diferentes estudios y clasificaciones realizadas, basadas en criterios o parámetros específicos según el objeto de la investigación.

1.2.1 Estratigrafía

En 1989, F. Quintas en su tesis doctoral, [93], realiza la clasificación geológica regional según ocho asociaciones estructuro-formacionales, de las cuales cuatro se encuentran representadas en el área de investigación. El se basó en la teoría que explica el origen y evolución de los arcos insulares, así como la formación de las plataformas, las etapas evolutivas y los conjuntos litológicos faciales típicos de cada estadio.

La formación Santo Domingo, única representante del arco volcánico cretácico en el área, está constituida por tobas y aglomerados, apareciendo pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas. Las tobas ocupan más del cincuenta por ciento de la formación, apareciendo en la parte superior preferentemente, siendo comunes las variedades cristalovitroclásticas y vitroclástica. Edad: Cretácico Inferior (Aptiano) – Cretácico Superior (Turohiano)

Miembro Castillo de los Indios: está constituida por rocas vulcanógenas -sedimentarias de granos finos, tufitas, margas, areniscas y silicitas. Esta formación no tiene incidencia en el vial. Edad: Eoceno Inferior Medio

La formación Cabacú: Litología diagnóstica: Gravelitas, areniscas y limonitas polimícticas (proveniente principalmente de ultramafitas y vulcanitas), de cemento débilmente arcilloso- calcáreo y ocasionales lentes de margas arcillosas en la parte inferior estratificación es lenticular y a veces cruzada. Colores grisáceos, verdosos, negruzcos y blancuzcos abigarrados. Yace discordantemente sobre la formación Sabaneta. Edad: Oligoceno Superior- Mioceno Inferior, parte baja. No tiene incidencia en el vial.

La formación Yateras: alternancia de calizas detríticas, biodetríticas y biógenas de grano fino a grueso, estratificación fina a gruesa o masivas, duras, de porosidad variable, a veces aporcelanadas que frecuentemente contienen grandes *Lepidocyclina*. La coloración por lo general es blanca, crema o rosácea, menos frecuente carmelitosa. Edad: Oligoceno Inferior - Mioceno Inferior parte baja. No tiene incidencia en el vial.

1.2.2 Tectónica

En los estudios tectónicos del territorio se han reconocido tres sistemas de fallas que cortan a las rocas del complejo ofiolítico. La descripción de cada uno de estos sistemas y las principales estructuras que los conforman se realiza a continuación según un orden cronológico desde el sistema más antiguo, asociado genéticamente al proceso de emplazamiento del complejo ofiolítico hasta el más joven, originado bajo las condiciones geodinámicas contemporáneas. (Rodríguez, 1998)

El sistema más antiguo para la región tiene su origen asociado al cese de la subducción e inicio del proceso compresivo de sur a norte del arco volcánico cretácico y que culminó con la presumible colisión entre el arco insular y la margen pasiva de la Plataforma de Bahamas. Bajo estas condiciones compresivas ocurre el emplazamiento del complejo ofiolítico a través de un proceso de acreción, por lo cual las fallas de este sistema se encuentran espacial y genéticamente relacionadas con los límites internos de los complejos máficos y ultramáficos y de estos con las secuencias más antiguas. Las fallas de este sistema aparecen frecuentemente cortadas y dislocadas por sistemas más jóvenes y no constituyen límites principales de los bloques tectónicos activos en que se divide el territorio actual.

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.

Muchas de las estructuras de este sistema se encuentran enmascaradas por las dislocaciones más jóvenes así como por las potentes cortezas de meteorización desarrolladas sobre el complejo ofiolítico. 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.

El segundo sistema cronológico está 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, haciéndose sumamente importante la caracterización del mismo desde el punto de vista geodinámico contemporáneo. Este sistema está constituido por fallas de dos direcciones: noreste y norte-noroeste que se desplazan mutuamente y se cortan entre los sesenta y ochenta grados.

Las estructuras de este sistema se considera han sido originadas como resultado de los procesos de colisión y obducción del arco volcánico cretácico sobre el margen pasivo de Bahamas, existiendo una transición de las condiciones compresivas iniciales, típicas de la colisión, en expansivas durante el reajuste o relajamiento dinámico de las paleounidades tectónicas que obducen sobre Bahamas, por lo que el comportamiento final de estas estructuras es de carácter normal.

Las principales estructuras representativas de este sistema serán caracterizadas a continuación:

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 mas recto un rumbo N10°E y en la meridional, N40°W. Se extiende desde la barrera arrecifal hasta interceptar el río Jiguaní.

Los criterios para su identificación se relacionan a continuación:

- Alineación del río, con cauce profundo y laderas escarpadas en la margen occidental.

- Alineación y desplazamiento de la línea de costa y zonas geomorfológicas de hasta dos kilómetros.
- Valores hipsométricos y morfométricos diferentes a ambos lados del plano de falla.
- Desplazamientos de zonas pantanosas parálidas.
- Intenso cizallamiento en la zona de falla.
- Variación de dirección del agrietamiento entre los bloques resultantes de la falla, como se puede observar en dos puntos situados al sudeste de Quemado del Negro, uno ubicado en el bloque occidental con coordenadas Lambert X: 709 250 y Y: 218 200, que muestra un rumbo de agrietamiento N74°E y el punto de coordenadas X: 710 750 y Y: 217 400, con rumbo N29°W, separados entre si 1,7 Km. y equidistantes al plano de falla.
- Desplazamiento del contacto entre los gabros y las serpentinitas.
- Falla El Medio: tiene un rumbo aproximado de N40°E.
- Los criterios para su identificación fueron:
- Presencia de espejos y estrías de fricción muy dislocados, haciéndose imposible medir sus elementos de yacencia.
- Alineación de cursos fluviales, como por ejemplo el arroyo El Medio con afluentes del arroyo Semillero y del río Quesigua.

1.2.3 Geomorfología.

La carretera Moa-Río Jiguaní sigue en su mayor parte la dirección Este – Oeste, por zonas cercanas a la costa, atravesando montañas bajas correspondientes a las cuchillas de Moa, llanura Moa-Baracoa.

El área de la investigación se encuentra en la vertiente Norte y los principales ríos son: Moa, Yagrumaje, Cayo Guam, Quesigua, Yamanigüey y Jiguaní.

Las características geomorfológicas del área de estudio son las siguientes: Llanura acumulativa Palustre parte de los valles pertenecientes a los ríos Moa y Cayo Guam, Llanura Fluvial Acumulativa parte del valle pertenecientes al río Moa hasta el Río Yamanigüey, Llanura Fluvial Erosiva Acumulativa desde el Río Quesigua al Yamanigüey, submontañas y premontañas ligeramente diseccionadas desde el río Yamanigüey, zona de Potosí y hasta 50 metros antes del Río Jiguaní y montañas bajas diseccionadas perteneciente a la cuenca del Río Jiguaní. Toda la zona donde esta el vial pertenece al grupo orográfico Sagua-Baracoa, donde no existe gran diferencia en el clima, no siendo así en el relieve, suelo y geología.

La red hidrográfica en la zona presenta gran desarrollo, con ríos de régimen pluvial y freático, que fluyen principalmente de sur a norte desembocando su gran mayoría en el mar; estos bordean o atraviesan la vía por diferentes puntos y entre ellos se pueden mencionar: el río Moa, el Punta Gorda, el Cayo Guam, el Quesigua, el Cupey, el Yamanigüey y el Jiguaní; los mismos por su transparencia, caudal y belleza constituyen una atracción para los residentes y visitantes de la zona.

1.2.4 Sismicidad

Por la posición geólogo estructural de ara de estudio, de estar bordeada por tres zonas sismogeneradoras coincidentes con fallas profundas que constituyen límites entre interplacas, lo ubican dentro del contexto sismotectónico de Cuba Oriental (Oliva et al, 1989). Estas tres zonas son:

- Zona sismogeneradora Oriente: Esta asociada a la falla transcurrente de Bartlett-Caimán de dirección este –oeste. Constituye el limite entre la placa Norteamericana y Caribeña. A esta zona corresponde la más alta sismicidad de toda Cuba y con ella se encuentran asociados los terremotos de mayor intensidad con epicentros en el archipiélago cubano. La intensidad máxima pronóstico promedio para la zona es de VIII grados en la escala MSK, llegando a IV en el sector Santiago de Cuba – Guantánamo. La magnitud es de 8 grados en la escala de Ritcher.
- Zona sismogeneradora Cauto-Nipe: Esta asociada a la zona de fractura de igual

nombre, con dirección suroeste noreste desde las inmediaciones de Niquero hasta la bahía de Nipe. Constituye un límite interplaca, que separa el bloque Oriental Cubano de la isla. La potencialidad sísmica de esta zona alcanza los 7 grados en la escala de Richter, mientras que la intensidad sísmica, según el mapa complejo de la región oriental de Cuba señala valores entre VI y VII grados MSK.

- Zona sismogeneradora Sabana: Se encuentra asociada a la falla Sabana (falla norte cubana) o zona de sutura entre el bloque oriental cubano y la Placa Norteamericana. La potencialidad sísmica es variable en el rango de VI y VII MSK, alcanzando sus máximos valores hacia su extremo oriental. Los principales focos sísmicos de la zona se localizan en los puntos de intercepción de esta con las fallas de dirección noreste y noroeste que la cortan (Puig, 2007).

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.

Metodología de la investigación

2.1 Introducción.

En el presente capítulo se abordan los aspectos relativos a la preparación de la base cartográfica y gráfica necesaria para resolver el objetivo propuesto a partir de un conjunto de materiales que en primera instancia se derivan del MDT y de la base geológica utilizada.

Para esto se trazó una metodología de investigación que consta de tres etapas:

El trabajo se dividió en:

1. **Primera etapa:** Recopilación y digitalización de la información.
2. **Segunda etapa:** Trabajo de campo.
3. **Tercera etapa:** Interpretación de los resultados de campo.

2.2 Primera etapa: Recopilación y digitalización de la información

Es una etapa clave en el desarrollo de la investigación, ya que el análisis de toda la información disponible sobre el área de los trabajos permite ahorrar tareas de campo y constituye una valiosa información para la interpretación de los materiales procesados. Se realizaron búsquedas en: INREG, INRH y EMPI-FAR, así como Mapas, fotos aéreas e informes de investigaciones detalladas cercanas o con cierta analogía por su proximidad o por los tipos litológicos presentes sobretodo atendiendo a las propiedades físico-mecánicas de las rocas.

Se utilizó el Modelo Digital del Terreno MDT, información primordial para los estudios desarrollados de tipo: geomorfológico, hidrológico, topográfico y en la interpretación ingeniero-geológica. Se obtuvo la red de drenaje superficial y a partir de estas dos informaciones primarias se obtuvieron distintas coberturas morfométricas y morfológicas.

Se confeccionó el modelo raster de las distintas formaciones geológicas con paso 25x25 m MDL a partir del mapa obtenido después de terminar los trabajos de campo y realizar las comprobaciones pertinentes.

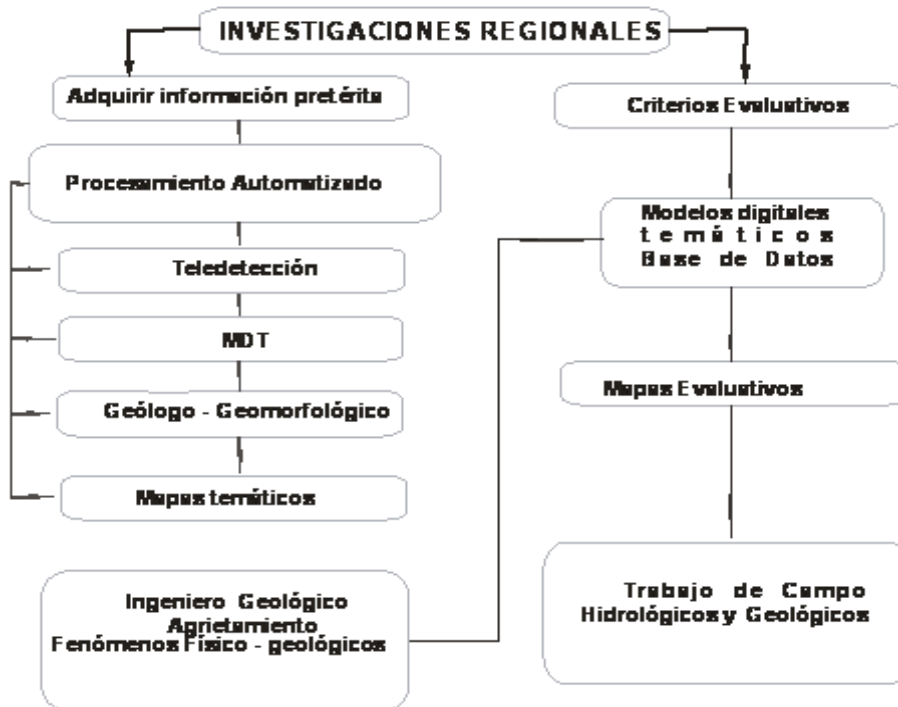


Figura 2.1 Flujograma de la Investigación Regional Básica.

Se creó de igual forma el modelo digital de tipo de suelo a partir de la clasificación SCUS del mapa 1:25 000 del Instituto de suelo; lo que es importante en los análisis.

Interpretación de la información inicial y los materiales derivados del MDT

En esta etapa se realizó el análisis conjunto de todos los materiales con el objetivo principal de completar la información litológica y estructural; mejorar los contactos entre las distintas formaciones y con los mapas derivados del MDT y de la red de drenaje aumentar el conocimiento ingeniero-geológico de la zona de estudio y orientar los trabajos futuros de investigación detallada.

Elaboración y procesamiento del Modelo digital del terreno y los materiales morfométricos principales.

En esta etapa se elaboró el MDT a partir de una metodología de trabajo elaborada y validada por los trabajos que durante más de 10 años ha realizado el Grupo de Estudios Regionales de la Unión de Construcciones Militares actualmente perteneciente al Grupo Empresarial GEOCUBA en la preparación del Teatro de Operaciones Militares o para diferentes empresas y ramas de la economía nacional, consistente en la utilización de un conjunto de softwares profesionales como el SURFE 8, AutoCAD 2000 y 2004, TeleMap y MapInfo conjuntamente con un sistema de procesamiento del relieve integrado por un paquete de programas elaborados por especialistas de los organismos mencionados y entre los que podemos destacar: SPR 21, Cot_ríos, bln_bln, Morfgrd, Análisis, lim_grd, Síntesis y otros que cumplen una o varias funciones dentro del procesamiento general del relieve para la elaboración del MDT o su procesamiento e interpretación.

A partir del modelo se realizó la preparación de los mapas morfométricos principales:

- Disección vertical (Dv).
- Disección horizontal (Dh).
- Pendientes.

La red de drenaje ordenada se obtuvo directamente de las cartas topográficas mencionadas.

En esta propia etapa quedó concluido el Mapa Geológico digital CAME – IV a escala 1:25 000, que es esencial para valorar a la litología como variable fundamental en algunos peligros geológicos como el empantanamiento o los deslizamientos.

Se considera, así mismo, el estudio de diferentes materiales existentes en el ISMM de estudiantes y profesores que realizaron estudios en la región o zonas cercanas. Con el estudio y procesamiento de toda esta información se elaboró la hipótesis de trabajo, la cual se validó con los trabajos de campo y los procesamientos posteriores.

Confección de los mapas analíticos para los diferentes tipos de procesos y fenómenos físico geológicos. Se prepararon los mapas de pronóstico de:

Empantanamiento

Deslizamientos

Erosión

Para la obtención de estos mapas se utiliza un paquete de Software entre los que se destacan:

SURFER 8: para establecer los modelos correspondientes a cada variable.

Análisis: para obtener el mapa correspondiente para cada una.

Síntesis: para discriminar la incidencia de diferentes parámetros cuando más de uno influye sobre una variable.

Lim_Grd: Para establecer los rangos de análisis de las diferentes variables de forma homogénea.

Con la integración de todos estos materiales y la ayuda de los programas “Análisis” y “Síntesis” que permiten apreciar el comportamiento de una o más variables se procedió a la preparación de los mapas de cada uno de los procesos que se señalan. Estos materiales gráficos permiten establecer las zonas favorables para la ocurrencia de uno u otro peligro.

2.3 Segunda etapa: Trabajo de campo

Este se desarrolla en dos momentos, el primero se realiza después del tratamiento de la información ingeniero-geológico y su objetivo principal consiste en la recolección de información para las clasificaciones supervisadas, solucionar dudas de la interpretación automatizada y verificar los resultados obtenidos con los trabajos de gabinete; el segundo se desarrolla con el objetivo de precisar contactos entre las formaciones, así como tratar de comprobar las zonas más tectonizadas o con características morfotectónicas contrastantes según los resultados obtenidos por los procesamientos.

A partir del procesamiento numérico con el empleo de la información de los mapas CAME a escala 1:50 000 y el mapa del IGP 1:100 000, los procesamientos de las imágenes

cósmicas, el Modelo Digital del Terreno y los trabajos de campo se obtuvo el Mapa Geológico (Anexo 2) y la descripción de las formaciones que afloran.

A continuación se muestran fotos tomadas durante el trabajo de campo donde se aprecia la geología en la que se apoya el vial por tramos.



Foto. 2.1: Estacionado 2+866 Río Moa



Foto. 2.2: Km 9+120 gabro



Foto.2.3 Estacionado 11+436 Río A Perro
Gravas arenas y arcillas aluviales



Foto. 2.4: Km 13+500 Serpentinita muy agrietada

2.4. Tercera Etapa: Interpretación y elaboración de los resultados.

Con el material obtenido se procede a la interpretación y ajuste de los resultados finales preparando cada uno de los mapas temáticos definitivos y realizando la generalización de los procesos principales que afectan a la región.

Sobre la base de la información de partida disponible y el alcance de los trabajos a realizar se decide elaborar los resultados a escala 1:25 000 considerando que los datos y procesamientos garanticen la precisión para la escala escogida.

Preparación del MDT.

Como material de partida para el resto del trabajo, el MDT constituye sin dudas el más importante, pues de él depende el procesamiento del relieve para la obtención de morfoalineaciones y de las variables morfométricas principales.

Para la creación del modelo se parte de la vectorización de las imágenes escaneadas de las capas originales del relieve e hidrografía correspondientes a cada una de las cartas topográficas del área, ello garantiza que no exista distorsión en el material primario. La georeferenciación de estas capas se realiza con el AutoCad Map 2000 utilizando los módulos Cad Overlay y Cd 25000. Este último, elaborado por Geocuba, contiene el marco geográfico de todas las cartas topográficas del territorio nacional. Ambos módulos en su conjunto permiten visualizar y cuantificar los errores del proceso, por lo que se pueden rectificar los mismos hasta niveles permisibles. Sin dudas este proceso de georeferenciación ofrece los mejores resultados.

La asignación de las cotas a las curvas de nivel es un proceso tedioso, pero que necesita de una comprobación continua hasta la completa seguridad de que no existen errores, lo cual se logra a través de la generación y comprobación del fichero *.grd obtenido, con las curvas digitalizadas y con el programa “revisa” que indica las series (curvas) que es necesario rectificar.

La precisión del trazado de la red de drenaje y su ordenamiento, cuando se trata de investigaciones con fines geológicos, es fundamental pues cuando se signe cota a los ríos a través del software Cot_ríos, sus resultados dependerán de la calidad en el trazado con respecto a las curvas de nivel y en las intersecciones con otros elementos de la red. El programa revisa permite la rectificación de estos problemas. Mientras exista algún error

en la cota asignada a los ríos o en las curvas el modelo no será confiable y por ello no podrá ser generado.

La suma de los ficheros de ríos y curvas con extensión *.bln permite generar en el Surfer el MDT con el paso escogido, en nuestro caso 25 m y con el sistema de interpolación Krigging, que ofrece los mejores resultados y con un radio de búsqueda adecuado en dependencia de las características del relieve. Como regla un radio de 500 m ofrece buenos resultados.

La descripción anterior abarca los aspectos más generales de la creación de los MDT, pues a lo largo del proceso aparecen dificultades que sólo son solubles sobre la base de la experiencia del personal y para las cuales se cuenta con las herramientas automatizadas necesarias, así como otros procesos indispensables como el blanqueo de determinados elementos. El modelo generado debe coincidir en su totalidad con el relieve vectorizado para asegurar la excelencia en el trabajo realizado.

Interpretación del MDT.

El Modelo Digital del Terreno de manera directa fue utilizado en tres direcciones principales:

- a)- Determinación de las morfoalineaciones principales a partir del relieve a escala regional.
- b)- Determinación del flujo de las aguas superficiales.
- c)- Determinación de las variables morfométricas. Entre otras posibilidades el MDT permite la observación tridimensional del terreno a través del SURFER, con puntos de observación e iluminación desde diferentes ángulos y direcciones, modificando a voluntad las escalas bi y tridimensionalmente, para resaltar los elementos geomorfológicos de interés para el observador.

Detección de estructura disyuntivas

Este análisis permitió detectar rasgos, en el relieve y en el fototono de fotos aéreas, de elementos tanto estructurales como litológicos, en especial el grado de agrietamiento del macizo rocoso e información adicional sobre este, de gran importancia en la evaluación preliminar del macizo rocoso.

Para la detección de las estructuras disyuntivas se empleó la metodología desarrollada por los Grupos de Estudios Regionales. Esta permite la detección de evidencias sobre la cartografía de lineamientos en función de como estas son visibles en las imágenes aéreas y cósmicas y en distintos procesamientos realizados al MDT.

Del análisis de los mapas morfométricos: disección vertical, pendiente de disección, coeficiente de variación, obtuvimos indicios sobre posibles eventos tectónicos. El empleo de filtros direccionales permite obtener zonas de máximos alineados de estos parámetros.

Por otro lado se realizó la detección de grietas a partir del mapa de pendiente real y de filtros aplicados al MDT.

1. Obtención del relieve residual: Diferencia entre modelo promediado y el MDT, el tamaño del filtro promediador define la magnitud de la anomalía posible a detectar.
2. A partir del residuo así obtenido se determinaron los puntos de inflexión, donde cambia la curvatura, estos puntos son los de mayor probabilidad de coincidir con morfoalineamientos. En la imagen así obtenida estos quedan con valor máximo y los restantes con mínimo. Este tipo de filtrado mide la posición de estructuras verticales.
3. Obtención de los valores de la dimensión fractal, permite diferenciar zonas donde esta es máxima, si tenemos en cuenta que las estructuras presentan esta propiedad de replicación con la variación de la escala, entonces la ocurrencia de máximos de esta en la imagen obtenida es un indicador eficiente de la existencia de estos.
4. Multiplicación de la imagen fractal y la de puntos de cambio de curvatura.
5. Otra propiedad de las morfoalineaciones es la de aparecer como alineaciones, partiendo de este concepto se aplicó un filtro direccional en 12 direcciones cada 15°. Se obtuvo una imagen para cada dirección.

La información así obtenida pondera en mayor grado las estructuras de tipo vertical; no obstante, por la información regional se conoce la existencia de estructuras de tipo horizontal, debido a esfuerzos compresionales tratados en el análisis tensional del macizo rocoso. Para detectar estas morfoalineaciones se elaboró un filtro, que mide el cambio de curvatura del terreno en su proyección en el plano horizontal.

El problema de la determinación de posibles estructuras de deslizamiento por el rumbo (*Strike-Slip faults*), parte de la hipótesis de que desplazamientos horizontales producen la deformación del relieve expresado en cambios bruscos de la curvatura de la isolínea de nivel y que direccionalmente estos cambios aparecen alineados.

A partir de un procedimiento creado Cordovez, 2006 y con el programa diseñado se determinan los cambios de curvaturas y de esta forma se definen las zonas alineadas donde cambia esta.

En ambos casos se continuó de la siguiente forma:

Con un procedimiento establecido estas fueron: 1) pre-esqueletizadas, esqueletizadas y vectorizadas obteniendo el cuadro de agrietamiento total y un conjunto de coberturas con paso 25 x 25 m y radio para promediar de 200 m, entre ellas están:

- Densidad de fracturas.
- Densidad de fracturas modificada.
- Cantidad de familias.

A partir del mapa de densidad de fracturas, la interpretación experta de las imágenes de MDT sombreado, el análisis de la red de drenaje y el procesamiento de las fotos aéreas, se obtuvo el cuadro de agrietamiento presentado en los anexos.

Los resultados de este procesamiento fueron utilizados en los análisis de calidad del macizo rocoso y el esquema ingeniero-geológico entre otros.

La obtención de la información del agrietamiento es uno de los elementos más novedosos por la repercusión que tiene en el ambiente Geotectónico del área de la investigación, es un índice directo del estado de conservación de la roca y por tanto tributa a la caracterización Ingeniero-Geológica.

Los mapas de densidad de agrietamiento de estructuras verticales y horizontales fueron interpretados y a partir de ellos se pudo llegar a un esquema preliminar de morfoalineaciones que evidencian la existencia de fallas en la zona de trabajo. En el mapa Geológico (Anexo 2) se muestran los elementos interpretados.

Métodos morfométricos.

Como información inicial para este procesamiento se empleó el MDT elaborado del área de estudio escala 1:25 000 con puntos 25x25 m. Con el programa morfgrd.exe se obtuvieron varias coberturas morfométricas como cota máxima, media, mínima; disección vertical, pendiente de disección, coeficiente de variación y desviación estándar. Los primeros constituyen estimadores hipsométricos y los restantes indicadores de textura.

Como parámetros para la generación de los modelos morfométricos se tomó un paso de 50 m con radio de 200 m, logrando barrer toda el área con una zona de solape aceptable.

El procesamiento de imágenes tanto de mapas morfométricos como de imágenes satelitales LandSat, así como componentes principales permitió obtener información sobre el grado de agrietamiento, las familias de grietas y su correlación con grandes estructuras regionales obtenidas de investigaciones anteriores.

Otra información de gran importancia en este análisis es la red de drenaje, a partir de la misma se obtuvieron evidencias tanto desde el punto de vista litológico como estructural y constituyó un índice importante en la regionalización geomorfológica, en los análisis hidrológicos y en la interpretación ingeniero-geológica. Los modelos obtenidos de la red fueron: Disección horizontal y el mapa de la configuración de la red.

Las coberturas analizadas fueron:

Análisis del Modelo Digital del Terreno

Simula una imagen de radar de alto contraste. Mediante la eliminación de la cobertura vegetal permite analizar con gran detalle la superficie terrestre, el inconveniente del desplazamiento de los elementos interpretados por la proyección se atenuó, variando la posición del foco luminoso.

Su empleo permitió realizar una primera interpretación de las formas del relieve tanto de las texturas como de la configuración de la red de drenaje y la obtención de morfoalineaciones.

Análisis Hipsométrico Sombreado

Este mapa permitió la interpretación del relieve apreciando sus características más relevantes. A partir del programa radi.exe se realizó el histograma del modelo digital del terreno MDT presentando una distribución logarítmica normal multimodal. Si la forma del relieve, y la representación hipsométrica es una de las propiedades de esta, presenta evidencias de la génesis geológica de su formación y evolución entonces, las distintas modas interpretadas deben responder a rasgos estructurales y/o litológicos relacionados con los distintos estadios de desarrollo del relieve del sector analizado.

A cada una de las modas se le asignó un tono, creando así una imagen con las distintas áreas que representan una determinada magnitud hipsométrica y para su mejor interpretación, esta fue sombreada permitiendo una mejor visualización.

En la tabla II.1 se brindan los principales índices morfométricos para cada uno de los niveles hipsométricos clasificados y en el Anexo 6 su posición geográfica.

Nivel 1	Máximo	Media	Desv. Estándar	Coef Variación	Área
Cota media (m)	39.12	1.8	2.35	130.51	31.7
Disección horizontal (m/Ha)	528.54	28.3	57.61	203.57	
Disección vertical (m)	70.22	1.82	4.28	235.88	
Pendiente (%)	68.44	1.79	3.96	221.22	
Nivel 2	Máximo	Media	Desv. Estándar	Coef. Variación	Área
Cota media (m)	43.24	11.8	4.1	34.72	9.3
Disección horizontal (m/Ha)	381.68	39.89	43.91	110.08	
Disección vertical (m)	98	10.84	9.6	88.61	
Pendiente (%)	92.86	10.98	8.97	81.68	
Nivel 3	Máximo	Media	Desv. Estándar	Coef. Variación	Área
Cota media (m)	44.02	20.49	4.21	20.57	8.2
Disección horizontal (m/Ha)	239.57	29.74	35.57	119.6	
Disección vertical (m)	66.91	11.72	8.92	76.06	

Pendiente (%)	73.93	11	8	72.76	
Nivel 4	Máximo	Media	Desv. Estándar	Coef. Variación	Área
Cota media (m)	62.15	30.21	5.79	19.16	8.4
Disección horizontal (m/Ha)	240.89	27.5	31.08	113.01	
Disección vertical (m)	85.27	16.91	11.26	66.56	
Pendiente (%)	92.35	15.27	11.08	72.57	
Nivel 5	Máximo	Media	Desv. Estándar	Coef. Variación	Área
Cota media (m)	59.16	40.01	4.08	10.19	4.2
Disección horizontal (m/Ha)	168.82	22.58	25.68	113.73	
Disección vertical (m)	53.06	14.54	8.58	59.04	
Pendiente (%)	54.52	12.14	8.41	69.31	
Nivel 6	Máximo	Media	Desv. Estándar	Coef. Variación	Área
Cota media (m)	81.33	49.36	7.44	15.08	5.3
Disección horizontal (m/Ha)	238.71	26.01	30.6	117.66	
Disección vertical (m)	110.04	23.71	13.04	55.02	
Pendiente (%)	105.27	20.37	12.54	61.56	
Nivel 7	Máximo	Media	Desv. Estándar	Coef. Variación	Área
Cota media (m)	72.45	58.75	4.79	8.14	1.3
Disección horizontal (m/Ha)	162.36	20.29	20.2	99.56	
Disección vertical (m)	54.87	16.67	8.65	51.89	
Pendiente (%)	67.62	13.46	8.87	65.89	
Nivel 8	Máximo	Media	Desv. Estándar	Coef. Variación	Área
Cota media (m)	165.42	84.23	21.1	25.05	5.1
Disección horizontal (m/Ha)	236.25	17.82	19.54	109.64	
Disección vertical (m)	112.8	26.83	16.84	62.78	
Pendiente (%)	106.37	22.1	15.68	70.95	

Tabla 2.1 Principales índices morfométricos evaluados para cada nivel hipsométrico.

Análisis de la Disección Vertical

Este mapa destaca las zonas de fracturas principales y de manera cuantitativa las zonas de mínimos y máximos levantamientos neotectónicos. Las curvas de isovalores con formas cerradas se relacionan frecuentemente con bloques levantados por fallas, mientras los máximos valores alineados reflejan normalmente la dirección de los escarpes de falla. Los altos valores de disección vertical se encuentran desde el km 23 hasta el río Jiguaní alternando con zonas de mediana disección vertical. Esta zona coincide con un sistema de falla con dirección norte sur y este oeste.

Los valores bajos están relacionados con las zonas de acumulación principalmente definidas muy próxima al mar y en las terrazas de los principales ríos. Estos valores bajos de disección vertical pudieran estar dados, por una tendencia al hundimiento relativo (con respecto a la zona vecina donde la velocidad de levantamiento es superior).

Análisis de la Disección Horizontal

De los factores que ayudan en el descifrado de las características geológicas de la región el drenaje es uno de los de mayor importancia a partir de su análisis se pudieron obtener evidencias relacionadas con litología, estructura y morfoalineamientos asociados a líneas de debilidad tectónica.

La red del drenaje está desarrollada desde los órdenes menores hasta ríos de orden siete coincidiendo estos con los de mayor importancia del área.

La combinación de los mapas de cota media, disección vertical y disección horizontal como imagen de falso color además de los análisis cualitativos del mapa de Mapa Hipsométrico permitió establecer un Esquema Geomorfológico que sirvió de base en el análisis Geológico analizado posteriormente.

Análisis de la Pendiente

Constituye uno de los mapas más importantes del estudio geomorfológico, su empleo resultó valioso en un conjunto de procesamiento asistidos por la computadora como es el

caso del índice de infiltración, valores bajos combinado con la presencia de tipos de rocas permeables, ya sean por su constitución o por el agrietamiento, permite la acumulación del agua y contribuye a la infiltración. De igual manera valores bajos combinado con grandes potencias de suelo con bajo ángulo de fricción interna propician los deslizamientos y por tanto la presencia de posibles afloramientos.

Valores altos de pendientes resultaron evidencias de control tectónico, estas anomalías fueron analizadas con cautela pues en ocasiones la alineación no representa la estructura propiamente dicha sino el escarpe en retroceso.

La interpretación de este mapa es muy similar a lo analizado para la disección vertical, prevalecen valores entre 0 y 20 %, el vial se desarrolla en pendientes que no superan el 40 %. Partiendo del puerto de Moa se observan valores bajos a medios de la pendiente, los valores mas altos se encuentran en el tramo del km 24 hasta próximo al Río Jiguaní, los valores altos alternan con valores medios y bajo.

CAPITULO III. ESTUDIO DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS PARA LA EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD DEL TRAMO DE CARRETERA MOA-JIGUANI.

3.1 Introducción

El presente capítulo se refiere a distintos peligros geológicos que hace que unos eventos desencadenen a otros. La magnitud de sus efectos depende en muchos casos de las características ingeniero-geológicas presentes. Los eventos meteorológicos extremos y los sismos, por lo general, actúan como disparadores de otros procesos como: deslizamiento, licuefacción, y rotura de presas.

3.2 Peligro por la erosión

La erosión del terreno es una magnitud compleja de determinar debido a la cantidad de factores que influyen en su mecanismo y resulta difícil sistematizar algoritmos y métodos de captación de datos que permitan con tiempo y recursos mínimos enfrentar, con intervalos de error aceptables, tan importante temática. Con el desarrollo de esta investigación se evalúa, preliminarmente, el estado actual de los procesos de erosión hídrica en la zona y de esta forma orientar las medidas a tener en cuenta para reducir la vulnerabilidad de la carretera ante este evento.

La erosión se analiza desde dos puntos de vistas: de forma puntual donde su importancia se asocia a la pérdida de estabilidad de las obras de fábrica por su acción sobre los cimientos y desde el punto de vista de la tasa media de erosión en las cuencas que cortan a la carretera, por el azolve que provoca la colmatación de las obras de fábrica y por tanto aumenta la vulnerabilidad de estas en el caso de inundaciones por intensas lluvias.

En la figura 3.1 se presenta el mapa de peligro por erosión, de su análisis se evidencia que el tramo más afectado (mayor cantidad de zonas probables continuas) es próximo a la ciudad de Moa desde el Km 0+00 hasta el km 11+500 pudiendo observarse la presencia de cárcavas de grandes dimensiones y volúmenes grandes de sedimentos depositados por el arrastre del escurrimiento superficial en las zonas bajas sobre todo en el valle del Río Moa y zonas pantanosas cercanas a las costas

Los valores más altos de erosión se encuentran relacionados con las zonas más potentes de corteza laterítica y los sedimentos cuaternarios; donde estas coinciden con: alta precipitación, valores altos de pendiente en los taludes de la carretera y la vegetación es escasa a nula.

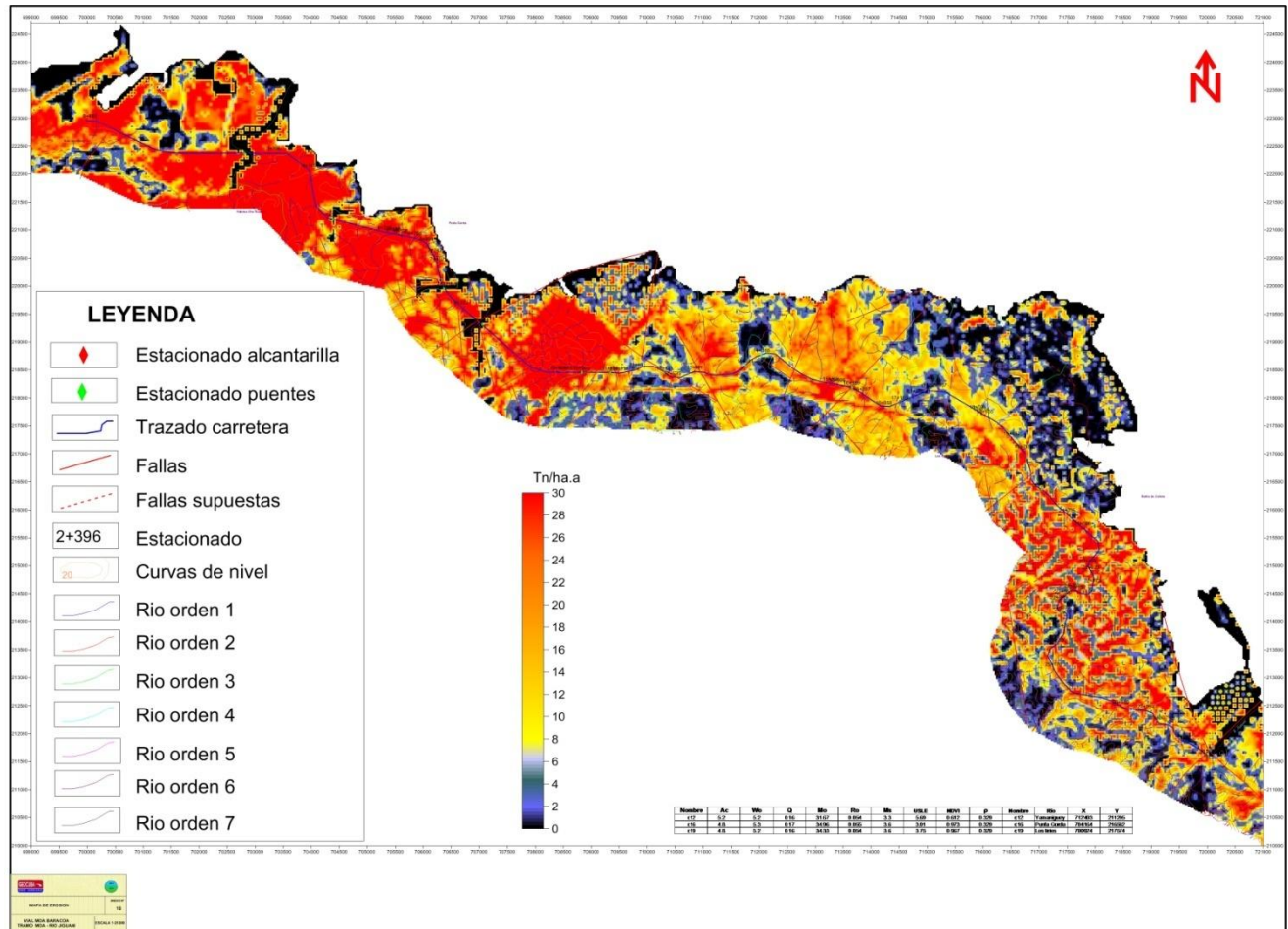


Fig. 3.1: Mapa de erosión

3.3 Peligro a la ocurrencia de deslizamientos

Este peligro se evaluó atendiendo a dos parámetros fundamentales que condicionan su ocurrencia: pendiente del terreno y calidad del macizo rocoso. Los elementos disparadores, intensas lluvias y sismos, en este caso se analiza la interrelación entre estos eventos y su influencia para el desencadenamiento de deslizamientos de rocas y/o suelos.

La inestabilidad de los taludes es uno de los peligros fundamentales existentes. Es importante determinar las zonas potencialmente más peligrosas y realizar acciones encaminadas a disminuir la vulnerabilidad de la infraestructura.

A partir de MDT se obtuvo el modelo de pendiente clasificándolo en tres niveles principales, atendiendo a la estabilidad de los taludes:

1. Pendientes menores de 20 grados: Zonas de menos probabilidad de ocurrencia, no obstante pueden existir deslizamientos de suelos (lateríticos).
2. Pendientes entre 20-30 grados: Condiciones medias de peligro.
3. Pendientes mayores de 30 grados: Por lo general son proclives a los deslizamientos.

El análisis de la estabilidad del macizo, a nivel de pronóstico, se realizó utilizando la clasificación de Barton ajustando algunos elementos obtenidos con el empleo de técnicas de procesamiento digital del relieve y la Teledetección.

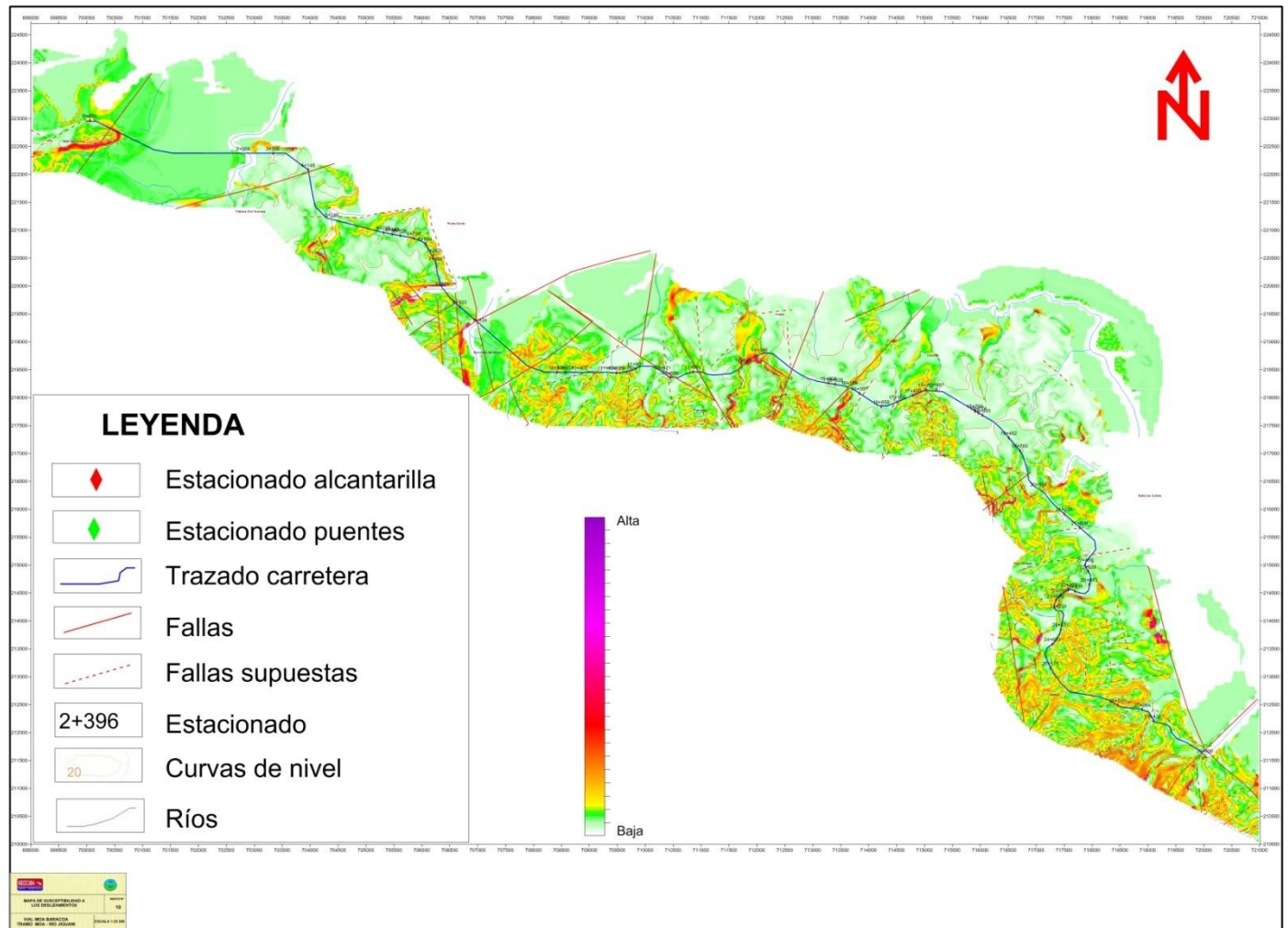


Fig. 3.2: Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos

Sedimentos cuaternarios

1. **Aluviones:** masivos y estratificados. Los estratificados generalmente son intercalados de diferente granulometría con capas de finas a gruesas. Frecuentes variaciones laterales de las facies y espesores. Predominantemente son deleznables. Taludes poco estables.

Clave del macizo rocoso	Por Cohesividad (equivalente a dureza)	Por estratificación	Valor medio	Probabilidad de deslizamiento
28 A 1	3	2	2.5	Probable a muy probable
28 A 2	1	1	1.0	Poco probable

28 A 1 aluvión arenoso arcilloso

28 A2 aluvión de gravas o guijas

Cortezas lateríticas in situ y redepositadas

1. Cortezas in situ

- Sobre gabroides

Lateritas más "arenosas" que las desarrolladas sobre ultramafitas serpentinizadas. La arcilla predominante es la caolinita. Presenta horizontes semejantes a capas normalmente de gruesas a medias

28 B1 laterita in situ sobre gabros

28 B2 lateritas in situ sobre ultramafitas serpentinizadas

- Sobre ultramafitas serpentinizadas

Lateritas con arcilla montmorillonítica e hidróxidos y óxidos de hierro como componentes fundamentales. Los taludes desarrollados sobre gabroides tienden a ser más inestables que los desarrollados sobre ultramafitas.

Macizo rocoso	Cohesividad	Estratificación	Valor medio	Probabilidad al deslizamiento
28 B1	3	3	3	Muy probable
28 B2	1	3	2	Probable

2. Cortezas redepositadas. Se comportan como los aluviones de la clase 28 A1.

- Generalmente estratificadas.
- Secuencias normalmente intercaladas compuestas de sedimentos de diferente granulometría.
- En general, más permeables y menos cohesivas

Probabilidad al deslizamiento	Litología	
Probable	Gravas arenas y arcillas aluviales.	
Probable	Colas	No hay en el vial
Probable	Arcillas y arcillas turbáceas de los pantanos)	
Poco probable	Conglomerados, areniscas y aleurolitas.	No hay en el vial
Poco probable	Túfitas, Margas, Areniscas y silicetas.	No hay en el vial
Muy poco probable	Tobas con cuerpos subvolcánicos	
Muy poco probable	Gabro	

Muy poco probable	Serpentinita.	
Muy poco probable	Calizas masivas órgano detríticas.	No hay en el vial

Tabla 3.3 susceptibilidad a los deslizamiento.

Con el modelo descrito se determinaron las zonas de mayor peligro de deslizamiento, utilizando como criterio de clasificación las zonas donde potencialmente es más probable la ocurrencia del fenómeno y donde el área de la carretera probablemente afectada sea mayor.

Al igual que los eventos analizados anteriormente, las lluvias son el principal elemento que actúa como iniciador de este tipo de evento. La condición más favorable desde el punto de vista climático para el aumento de la intensidad de la erosión es cuando los suelos están saturados y por tanto es baja su permeabilidad; en este caso el escurrimiento es máximo. Atendiendo a estos criterios se puede inferir que la época del año donde se deben esperar deslizamientos es en los meses de mayo-diciembre y fundamentalmente en el mes de octubre.

El análisis de un terremoto como elemento disparador de deslizamientos de taludes se calculó de forma preliminar con el empleo del criterio magnitud-distancia, Gonzáles 2002. Se realizaron los cálculos para dos variantes:

- Simulando un evento sísmico según el grado asociado a las zonas sismogeneradoras, NC 53-114 de 1984.
- Simulando un evento sísmico análogo a los ocurridos en la región oriental del país con magnitudes ≥ 5 , según la recomendación del método empleado, tabla 3.5

A partir de los nomogramas de magnitud distancia se ajustaron las ecuaciones para:

Rotura del talud: $D_{rt} = e^{-11.43248 + 3.774355 - 0.2052448 Ms^2}$

Rotura total del talud: $D_{tt} = e^{-13.58504 + 3.640801 - 0.180978 Ms^2}$ [3.2]

donde Ms es la magnitud del terremoto.

El análisis de los resultados define que: para la primera variante, toda la carretera está en peligro a la ocurrencia de deslizamientos de taludes (en las zonas susceptibles) inducidos por eventos sísmicos. Para la segunda variante se puede observar que toda la carretera está en peligro a la ocurrencia de este tipo de evento inducido por un sismo similar al terremoto de Santiago de Cuba 1766, tabla 3.4.

id	X	Y	Ms	Lugar	Año
1	524329	194028	5.8	Bayamo	1551
2	576818	127760	7.6	Santiago de Cuba	1766
3	565689	293778	6.15	Gibara	1914
4	461571	135379	5.6	Pilón	1976
5	395290	88049	7	Cabo Cruz	1992
6	729472	306291	5.4	Moa	1998

Tabla 3.4 Terremotos con $M_s \geq 5$

3.4 Peligro para la ocurrencia de empantanamientos

Para un estudio preciso de mecánica de suelos es necesario identificar los suelos y rocas y sus rasgos estructurales y determinar sus propiedades relevantes mediante ensayos de campo y por ensayos de laboratorio sobre muestras “alteradas”, “semi-alteradas” e “inalteradas” Estas muestras se utilizan para establecer la estabilidad de las estructuras y predecir los asentamientos que inevitablemente se producirán al ser cargado el suelo.

Toda estructura geotécnica requiere cierto nivel de estudio. La extensión del alcance de estos depende de la complejidad de la estructura, el alcance del presupuesto, las consecuencias e importancia del fallo de la estructura y la situación geotécnica propiamente dicha. El programa de estudios en el terreno, pruebas de campo, y los

ensayos de laboratorio se planifican teniendo en cuenta todos estos factores. En este estudio sólo brindamos, utilizando los mapas existentes y su perfeccionamiento con el empleo de los procedimientos descritos, un pronóstico de las zonas más susceptibles al empantanamiento.

Este peligro se evaluó teniendo en cuenta siguientes parámetros que condicionan su ocurrencia, geología, pendiente, coeficiente de meteorización, disección horizontal, acumulación, profundidad del manto freático y suelo. El elemento disparador evaluado fue el de intensidad de las lluvias para 1% de probabilidad y 100 años como período de retorno.

No	Tipo	Composición y ubicación	Susceptibilidad
1	Pedregosos	Mezcla de perdigones, cascajos, guijarros, con grava, arena y arcilla. Zonas montañosas, con rocosos. Cimas, pendientes, taludes, bases, placeres y conos de deyección.	Estables baja susceptibilidad al empantanamiento.
2	Arenosos	Gravas, guijarros y arenas con hasta el 3% de arcillas. Secos, áridos. Húmedos adquieren cierta cohesión. Mojados se tornan fluidos. Muy diseminados en valles anegadizos y zonas desérticas.	Secos, y sin césped, difícil acceso para vehículos de rueda. Húmedos hasta el 5 – 7% permiten un tránsito intenso.

3	Sub - arenosos	Mezcla de partículas arenosas y arcillosas (del 3 al 10%). Mayor densidad y cohesión que los arenosos. Distribución similar a los arenosos.	Buena prácticamente todo el año. No se mojan ni son muy polvorientos.
4	Gredosos	Mezcla de partículas arenosas y arcillosas (del 10 al 30%). Mayor cohesión y plasticidad que los subarenosos. Distribución similar a los arenosos.	Transitables en estado seco, se forma polvo. Mojados se dificulta el transito principalmente de ruedas.
5	Areno arcillosos y limosos	Mezcla de partículas arenosas finas y arcillosas. Mayor plasticidad que los gredosos. Distribución en casi todas las llanuras. Son muy comunes.	Secos estables. Mojados muy mal drenaje, se embachan y dificultan el tráfico de ruedas y esteras.
6	Turbosos	Turbas e impurezas de arenas. Pantanos y bosques, valles anegadizos	Húmedos practicables sólo a pie. Secos posible estera y ruedas.
7	Loess	Partículas finas de polvo (0,05 – 0.005 mm) impurezas de arena y arcilla.	Secos muy compactos y muy polvorientos. Húmedos
8	Salinos	Arcillosos y gredosos salinos, solonchak y salados.	Secos transitables. Húmedos difíciles para el tráfico incluso a pie.

Tabla 3.5 Susceptibilidad de los suelos al empantanamiento.

Atendiendo a los criterios descritos en la tabla 2.1 y a las descripciones geológicas realizadas se confeccionó un modelo de susceptibilidad al empantanamiento por litología. Los valores definidos tienen un rango de 1-9 con máximo en las zonas pantanosas y areno arcillosas y mínimo para las zonas de las serpentinitas y los gabros.

La continua exposición de los suelos del nivel superior desarrolla un corte variable en profundidad, (perfil de suelo característico) desde la superficie del terreno hacia abajo. En la formación del perfil participan diferentes mecanismos: la acumulación y la pudrición de la materia orgánica, la lixiviación, la precipitación, la oxidación o reducción, la meteorización adicional.

El resultado final depende de los materiales originales del depósito, y de lo que es aún más importante, de los factores ambientales:

- Temperatura.
- Cantidad y distribución de la lluvia por estaciones.
- Pendiente del terreno.
- Nivel del agua subterránea.
- Vegetación.

Estos factores son interdependientes, hasta cierto punto. No resulta fácil determinar, exactamente, la participación de cada uno.

El índice de empantanamiento se obtuvo evaluando los siguientes factores:

- **Pendiente (pd) y disección horizontal (dh):** Mide la manera en que el relieve evacua las aguas superficiales. El primero mide el gradiente horizontal, cuando la pendiente es baja las condiciones para que se infiltre el agua son mejores. Por otro lado una baja disección horizontal evidencia un mal drenaje del terreno.
- **Coeficiente de meteorización:** Se mide como el producto de la cantidad de familias (**jn**) y densidad de agrietamiento (**df**).
- **Acumulación:** Mide la probabilidad de infiltración de las aguas superficiales.
- **Profundidad del manto freático (Pmf):** Medida a partir del mapa de polibasitas de tercer orden.

En el siguiente mapa se presentan el resultado del pronóstico y en la tabla 3.9 se expresa en una tabla la susceptibilidad al empantanamiento por tramo del vial.

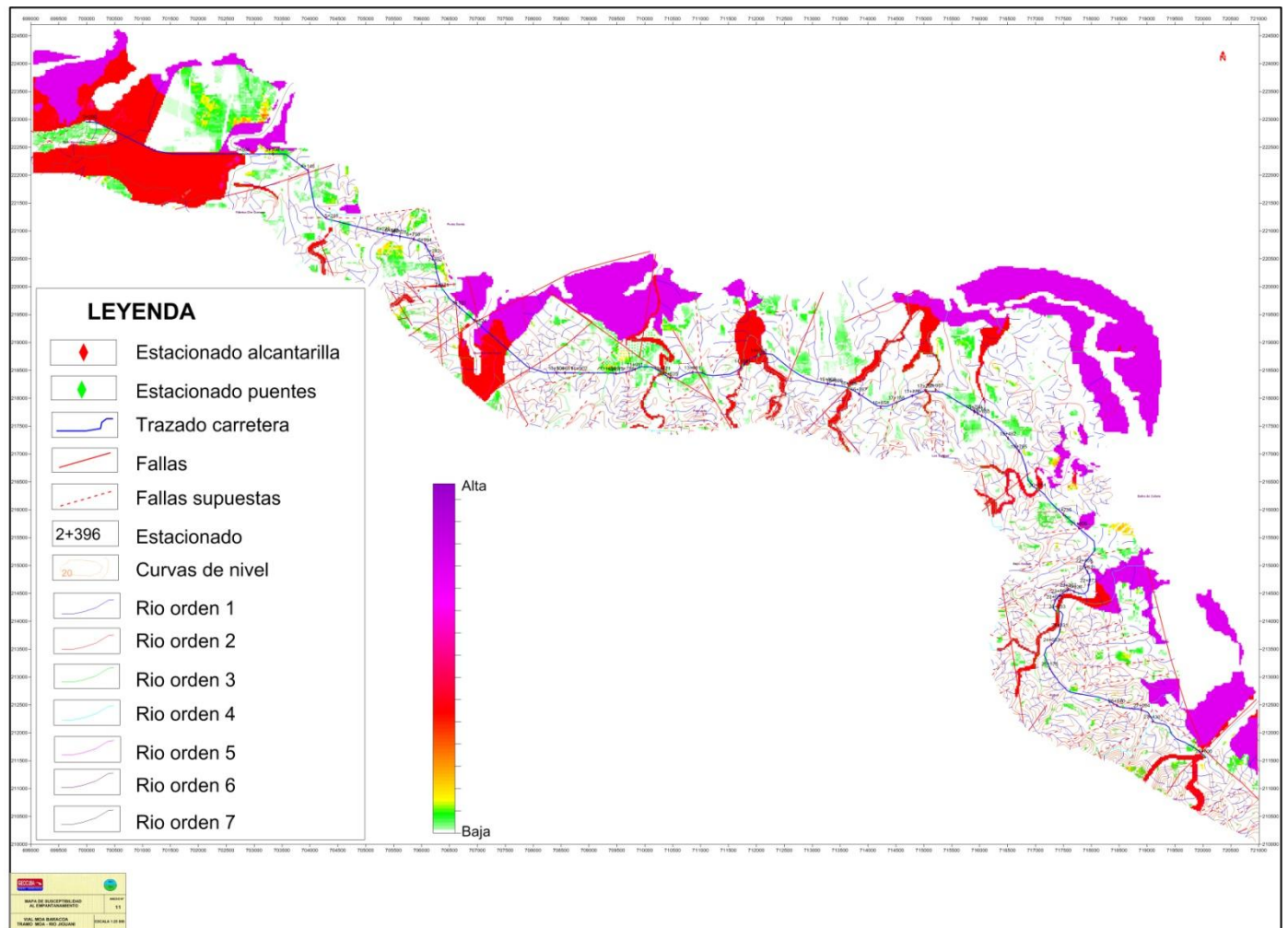


Fig. 3.3: Mapa de susceptibilidad al empantanamiento

3.5 Análisis de la vulnerabilidad

3.5.1 Zonas más vulnerables de la carretera ante la ocurrencia de procesos erosivos.

Atendiendo a los aspectos anteriormente descritos se hizo la valoración de las zonas de la carretera más vulnerables desde el punto de vista de la vitalidad estructural. La erosión es un fenómeno que va actuando lentamente sobre las estructuras, erosionando principalmente los apoyos, y puede provocar en algunos casos su colapso.

A partir de la inspección visual se detectaron zonas vulnerables que ya están siendo dañadas, algunos ejemplos mostramos a continuación:



Foto 3.1: Erosión en cárcavas en las cercanías del puente Yagrumaje



Foto 3.2: Proceso erosivo dado por el escurrimiento superficial

3.5.2. Vulnerabilidad de la carretera a causa de la ocurrencia de erosión

Dos aspectos principales influyen en la vulnerabilidad de la carretera ante la ocurrencia de procesos erosivos. El primero está relacionado con la cantidad de material que al ser erosionado por los ríos colmatan las obras de fábrica influyendo notablemente en la vulnerabilidad de la vía ante la ocurrencia de inundaciones por intensas lluvias. En segundo lugar los procesos erosivos influyen notablemente en la vulnerabilidad estructural de las obras de fábrica y el terraplén, influyendo sobre los apoyos y sobre los materiales que soportan las principales cargas:

Los principales aspectos que influyen en la estabilidad de la vía atendiendo a los procesos erosivos son:

- Tipo de suelo y roca en la que se encuentra apoyada la carretera: Materiales con baja cohesión y pequeño ángulo de fricción interna, son más vulnerables a ser erosionados
- Densidad del drenaje: En zonas bien drenadas la erosión es intensa por los causes.

- Tipo de relieve: Los relieves abruptos de gran pendiente son vulnerables.
- Forma de construcción de las obras de fábrica: Principalmente dado por sus dimensiones
- Estado de conservación estructural: Obras en mal estado estructural son vulnerables.
- Eficiencia del drenaje: cuando el drenaje está dispuesto de tal manera que disminuye el efecto sobre los cimientos de la carretera y las obras de fábrica se disminuye la erosión.
- Vegetación de las zonas aledañas a la vía: El desarrollo de la vegetación en las zonas aledañas a la vía aumenta la cohesión de los materiales friables por lo tanto disminuye su vulnerabilidad ante la erosión.

En la tabla 3.1 se clasifica la susceptibilidad de la erosión: para la clasificación cuantitativa de la susceptibilidad se tuvo en cuenta la intensidad del proceso (tasa de erosión) y el área continua de la afectación.

Desde el (Km.)	Hasta el (Km.)	Susceptibilidad a la erosión.	Nombre del lugar(es).
0.00	2.9	Alta	Puerto Rolo-Moa.
2.9	3.1	Baja	Moa.
3.1	7.8	Alta	Che Guevara- Punta Gorda.
7.8	7.9	Baja	Punta Gorda.
7.9	8.6	Alta	Cayo Guan.
8.6	8.8	Baja	Cayo Guan.
8.8	10.9	Alta	Cayo Guan- Quemado del Negro.
10.9	15.6	Media	Quemado del Negro- Cupey.

15.6	16.1	Alta	Cupey
16.1	17.2	Media	Acceso Cayo Grande.
17.2	18.0	Baja	Cañete.
18.0	19.7	Media	Cañete.
19.7	28.6	Alta -Media	Cañete-Río Jiguaní.

Susceptibilidad a la erosión	Baja	Media	Alta a Media	Alta
Distancia en Km.	1.3	7.5	8.9	10.9
%	4.5	26.3	31.1	38.1

Tabla 3.1 Clasificación de la susceptibilidad (S) de la erosión.

3.5.3. Vulnerabilidad de la carretera a causa de la ocurrencia de deslizamientos

Son varios los factores que influyen en que la carretera sea más o menos vulnerable ante la ocurrencia de los deslizamientos. Son importantes las condiciones geológicas del soporte de la obra, las condiciones de los suelos atendiendo a sus propiedades ingeniero-geológicas, humedad y factores de diseño tales como: eficiente drenaje, protección de las laderas, ángulo de las pendientes de los cortes (talud) y el diseño del trazado (con respecto al terreno).

Condiciones analizadas que influyen en la vulnerabilidad del vial:

1. Condiciones ingeniero geológicas: Los tipos de suelo y roca sobre la cual se encuentra cimentada la carretera, atendiendo a su ángulo de reposo es un factor clave en la estabilidad de los taludes. A esto se une:

- El correcto drenaje (funcionamiento de las obras de fábrica)
- La humedad del suelo.
- La protección del talud por la vegetación.

2. Condiciones de proyección: uno de los casos en que más problemas se suelen presentar es en terraplenes contruidos a media ladera, en que la estructura de tierra se apoya, generalmente, sobre la superficie de una ladera natural sometida a la acción de la meteorización. En estos casos es más probable el fallo de la carretera junto con el talud; siendo este el caso más complejo pues se pierde el trazado y con ello son más costosas las labores de mitigación.

Susceptibilidad a los deslizamientos	Baja	Media	Alta
Distancia en Km.	16.75	11.85	0
%	58.5	41.5	0

Tabla 3.7 Susceptibilidad a los deslizamientos de forma general en el vial Moa - Río Jiguaní.

Desde el (Km.)	Hasta el (Km.)	Susceptibilidad a los deslizamientos	Nombre del lugar(es).
0.00	0.20	Baja	Puerto (Rolo)
0.20	0.70	Media	Puerto (Rolo)
0.70	5.40	Baja	Che Guevara, Yagrumaje.

5.40	6.15	Media	Yagrumaje, Punta Gorda.
6.15	6.65	Baja	Punta Gorda.
6.65	7.50	Media	Punta Gorda
7.50	8.00	Baja	Punta Gorda
8.00	10.40	Media	Punta Gorda, Cayo Guan, Quemado del Negro.
10.40	12.40	Baja	Quemado del Negro, Quesigua.
12.40	13.15	Media	Quesigua, Canta la Rana.
13.15	14.5	Baja	Río Medio.
14.5	15.3	Media	Río Semillero.
15.3	17.7	Baja	Cupey, Acceso Cayo Grande, Cañete.
17.7	18.4	Media	Cañete.
18.4	23.5	Baja	Cañete, Yamanigüey.
23.5	28.6	Media	Yamanigüey, Potosí, Río Seco, Río Jiguaní.

Tabla 3.8 Susceptibilidad a los deslizamientos por tramos en el vial Moa - Río Jiguaní

En sentido general la susceptibilidad al deslizamiento en el vial es baja por ser las rocas (serpentinita, gabro y tobas) donde esta apoyado el terraplén muy estable ante este fenómeno y los sedimentos del cuaternario están en zonas de muy baja pendiente lo que hace que la susceptibilidad al deslizamiento disminuya.

3.5.4. Vulnerabilidad de la carretera a causa de la ocurrencia de empantanamiento

Los principales factores que inciden en la vulnerabilidad de la carretera ante la ocurrencia del empantanamiento son: el suelo, las características ingeniero-geológicas de los materiales empleados en la construcción y la correcta geometría y compactación del terraplén. Cuando se han utilizado materiales de poca competencia y no se han logrado los valores aceptables de compactación los suelos aumentan su permeabilidad siendo susceptibles a saturarse y colapsar generando huecos y grietas en la vía.

Los aspectos analizados fueron:

- Tipo de suelo y roca en la que se encuentra apoyada la carretera: Materiales con alto contenido de materiales expansibles, arcillosos y margosos son más vulnerables.
- Densidad del drenaje: el deficiente drenaje provoca el aumento de la infiltración del agua, en los períodos prolongados de lluvia, que provoca la saturación de los suelos, haciéndolos vulnerables.
- Tipo de relieve: terrenos llanos y bajos son más susceptibles a inundarse y por tanto saturarse.
- Trazado: el trazado por zonas de bajas pendientes con una baja altura del talud de la carretera (prácticamente apoyada en el terreno natural) aumenta la vulnerabilidad).
- Humedad: Es un factor importante que provoca el hinchado de los materiales expansivos. Estos por lo general se resecan y agrietan en períodos de poca lluvia lo cual permite que se humedezcan y saturen en períodos de lluvias intensas y prolongadas.

Susceptibilidad al empantanamiento	Baja	Media	Alta
Distancia en Km.	23.85	4.55	0.20
%	83	16	1

Tabla 3.9 Susceptibilidad al empantanamiento general en el vial Moa – Río Jiguaní.

Desde el (Km.)	Hasta el (Km.)	Susceptibilidad al empantanamiento	Nombre del lugar(es).
0.00	3.00	Media	Puerto (Rolo)- Moa
3.00	8.80	Baja	Moa - Cayo Guan
8.80	9.00	Alta	Cayo Guan
9.00	9.50	Media	Cayo Guan
9.50	13.90	Baja	Quemado del N - Canta la Rana
13.90	14.45	Media	Río Medio, Río Semillero
14.45	16.00	Baja	Cupey
16.00	16.10	Media	Cupey
16.10	28.20	Baja	Cupey.- Jiguaní
28.20	28.60	Media	Río Jiguaní

Tabla 3.10 Susceptibilidad a los empantanamiento por tramos en el vial Moa - Río Jiguaní

En sentido general en el vial, la susceptibilidad al empantanamiento es muy baja, esto se debe a que prácticamente todo el suelo ha sido desplantado y se encuentra apoyado sobre la roca, exceptuando las zonas pantanosas en la que se rellenó para hacer el terraplén, también en la estación 24+331 existe una zona que al parecer no fue desplantado el suelo en su totalidad y donde el manto freático aflora en los laterales del

vial, en la cercanía del estacionado 5+248 donde se encuentra una zona baja también rellenada para hacer el vial.

CONCLUSIONES

- Los principales peligros geológicos que afectan la zona de estudio: erosión, deslizamientos y empantanamiento, teniendo en cuenta las condiciones geológicas que proporcionan su manifestación.
- Sobre la base del pronóstico de erosión y aplicando el método USLE se determina que el tramo más afectado esta próximo a al ciudad de Moa, desde el Km. 0+ 00 hasta el Km. 11 + 500 pudiéndose observar la presencia de cárcavas de grandes dimensiones y volúmenes grandes de sedimentos depositados por el escurrimiento superficial en las zonas bajas, sobre todo el valle del río Moa.
- Se definen 6 zonas de alta susceptibilidad a la erosión (Puerto Rolo – Moa, Che Guevara – Punta Gorda, Cayo Guan, Cayo Guan - Quemado del Negro, Cupey, y se determinaron 8 zonas de media a baja susceptibilidad a la erosión, (Moa, Punta Gorda, Cayo Guan, Quemado del Negro – Cupey, Acceso Cayo Grande, Cañete, Cañete – Río Jiguaní.
- Sobre la base de pronóstico del deslizamiento se determinaron 8 zonas de media susceptibilidad (Puerto(Rolo),Yagrumaje - Punta Gorda, Punta Gorda, Punta Gorda – Cayo Guan – Quemado del Negro, Quesigua – Canta la Rana, Río Semillero, Cañete, Yamanigüey – Potosí – Río Seco - Río Jiguaní) y 8 zonas de baja susceptibilidad Puerto(Rolo), Moa – Che Guevara - Yagrumaje, Punta Gorda, Punta Gorda, Quemado del Negro – Quesigua, Río Medio, Cupey – Acceso Cayo Grande – Cañete, Cañete -Yamanigüey).
- Se determina que la susceptibilidad al empantanamiento es muy baja, exceptuando las zonas pantanosas en la que se rellenó para hacer el terraplén, también en la estación 24+331 existe una zona que al parecer no fue desplantado el suelo en su totalidad y donde el manto freático aflora en los laterales del vial, en la cercanía del estacionado 5+248 donde se encuentra una zona baja también rellenada para hacer el vial.

- Se determina que los principales factores que influyen en la vulnerabilidad de la carretera son las condiciones ingeniero geológicas, la densidad del drenaje y el relieve.

RECOMENDACIONES

- Efectuar un plan de mantenimiento de las obras de fábrica para evitar su colmatación sobre todo en las zonas donde los volúmenes de erosión son mayores.
- Mantener revegetados los taludes de la carretera en las zonas de máxima pendiente y donde existen elevados valores de potencia de material friable.
- No realizar actividades, excavaciones y movimiento de tierra en la zona que aumente la permeabilidad así como la formación de grietas que pueden disminuir la estabilidad del talud.
- Efectuar un monitoreo continuo sobre las zonas donde el vial pasa por zonas pantanosas que han sido rellenas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Astraín, P. J; Guillarte C, 1997: Tecnología para la creación de los MDT y aplicaciones.

Augusto O, 1995. Deslizamientos. Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Vol.1, Oficina regional de ciencia y tecnología, UNESCO,

Astraín P.J. et al, 1990. Metodología para el levantamiento ingeniero geológico regional básico. U.C.M, c. Habana.

Blanco J., Proenza J, 1994. Terrenos geológicos de Cuba Oriental. Revista Minería y Geología.

Colectivo de autores IGP, 1997. Estudios sobre Geología de Cuba.

Cordovez J M, 2004. Procesamiento de imágenes aerocósmicas con el empleo de un nuevo modelo físico matemático de los coeficientes de reflexión. Tesis Doctoral, GEOCUBA IC 2004

Cordovez; J. M; et. Al, 2006. Estudio regional básico tramo Sagua – Jaguaní. Esc. 1: 25 000

Colectivo de autores, 2008. Estudio ingeniero – geológico a escala 1:10 000 del tramo Sagua - Jaguaní. Traslase Este – Oeste.

Cordovez J. M; et. Al, 2008. Estudio de vulnerabilidad de la carretera Holguín – Moa. González de Vallejo L et al, 2002. Ingeniería geológica.

García E. et. Al, 1995. Manual del curso de procesamiento digital de imágenes de teledetección. La Habana. Inédito.

González L. I. et. Al, 2002. Ingeniería Geológica. Pearson Education. Prentice may. España.

Guerra, F. Fotogeología, 1980 .Universidad Autónoma de México.

Guilarte C.; P.J. Astraín, 1994.Sistema complejo de digitalización del relieve, análisis morfométrico, teledetección de fracturas y detección de estructuras disyuntivas. U.C.M, GER-CITEC, C. Habana.

Guilarte F. C, 1993. Tecnología para la creación del modelo digital del relieve y aplicación del análisis morfológico y morfométricos en la investigación ingeniero – geológica regional básica. EMPI – FAR.

G.Gorshkov.A.Yakushova, 1967. Geología General. Capítulo X Lagos Pantanos y su acción geológica. Editorial Pueblo y Educación.

Instituto Cubano de Geología y Paleontología,1991. Léxico estratigráfico de Cuba. La Habana.

Iturralde M, 1997. Sinopsis de la constitución y evolución geológica de Cuba. Inédito.

INRH, 1985. Esquema regional precisado.

K.J.Dyer.A, 2007.Evaluación de riesgo específico por deslizamiento en San Vicente. Trabajo de Diploma.ISMM.2007.

López Vergara, M.L, 1971. Manual de Fotogeología. Madrid. España.

IGP-MINBAS, Mapa digital 1: 100 000 de la República de Cuba.

Marrero Pérez T, 2007.Plan de gestión de Riesgos geológicos en el municipio de Moa. Trabajo de Diploma.ISMM.

Mojena. Saborit. M, 2009. Estudio Geoambiental del Parque Nacional Alejandro de Humboldt, Sector la Melba. Trabajo de Diploma.ISMM.2009.

Nagy, E. et. al 1983. Contribución a la Geología de Cuba oriental.

Oliva G, 1989. Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto de Geografía, ACC.

Pinilla, C, 1995. Elementos de teledetección.

Pedraza Gilsanz J, 1996.Geomorfología fluvial y lacustre. Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones. Editorial Rueda. Madrid.

Pedraza Gilsanz J, 1996.Geomorfología litoral. Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones. Editorial Rueda. Madrid.

Pedraza Gilsanz J, 1996.Dinámica de laderas. Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones. Editorial Rueda. Madrid.

Pedraza Gilsanz J, 1996. Geomorfología fluvial y lacustre. Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones. Editorial Rueda. Madrid.

Pedraza Gilsanz J, 1996. Dinámica de laderas. Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones. Editorial Rueda. Madrid.

Puig R. (2007). Evaluación de riesgos múltiples por desarrollo de fenómenos naturales en municipio de Moa. Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Geólogo. Facultad Geología Minería.

Rodríguez, A, 1998. Estudio morfo tectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. Tesis doctoral. Centro de información. ISMMM, 1998.

Rodríguez A, Carralero N, Conde M, 2000. Estudio de las estructuras sismo generadoras Quesigua y El Medio al este de la ciudad de Moa. Rev. Minería y Geología. Vol. XVII, N° 2 y 3.

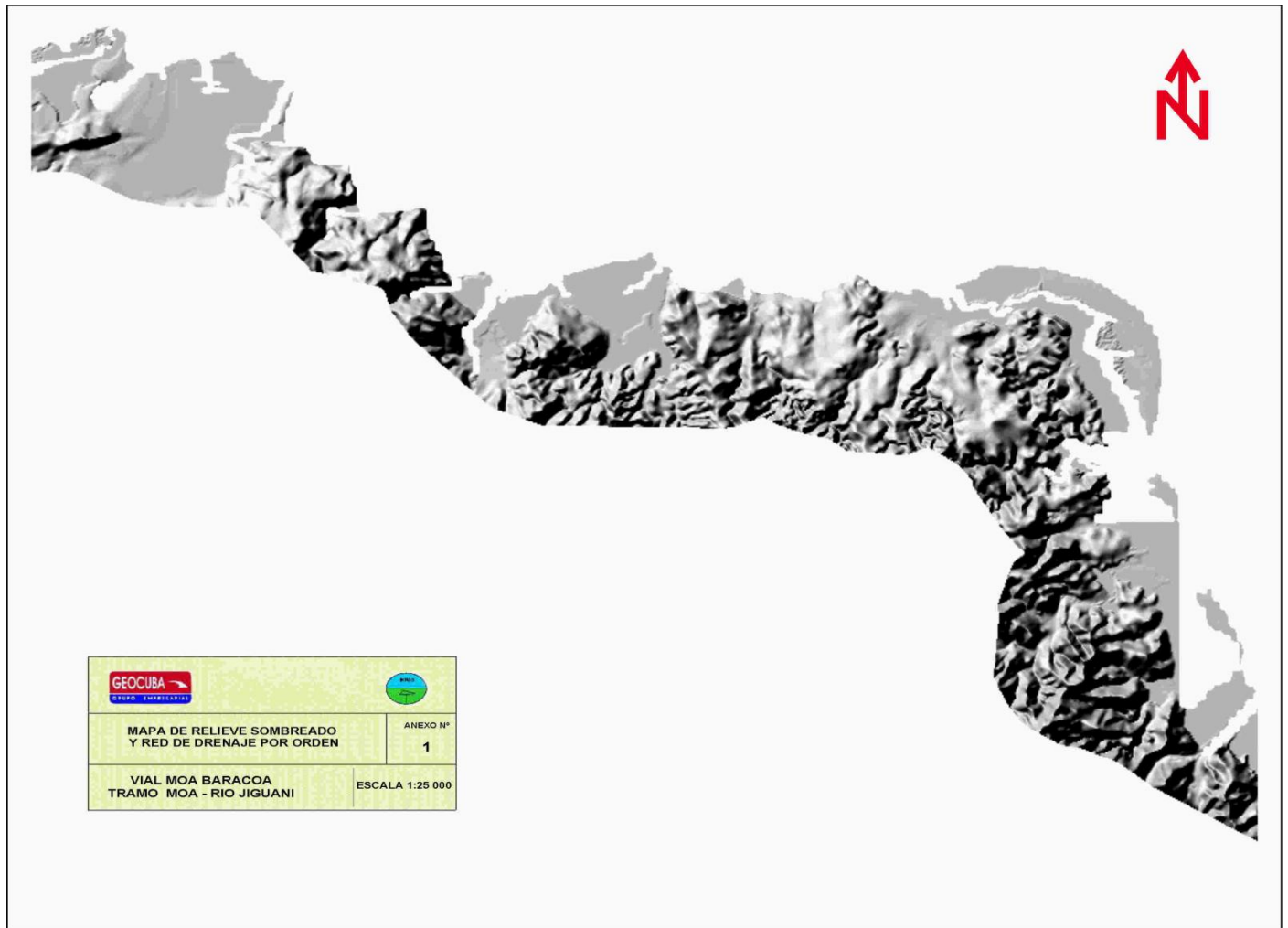
Rodríguez W, 2000. Cartografía automatizada. Dpto. de Geofísica. ISPJAE. Inédito.

Rodríguez W, 2000. Sistemas de Información Geográfica. Dpto. de Geofísica. ISPJAE. Inédito.

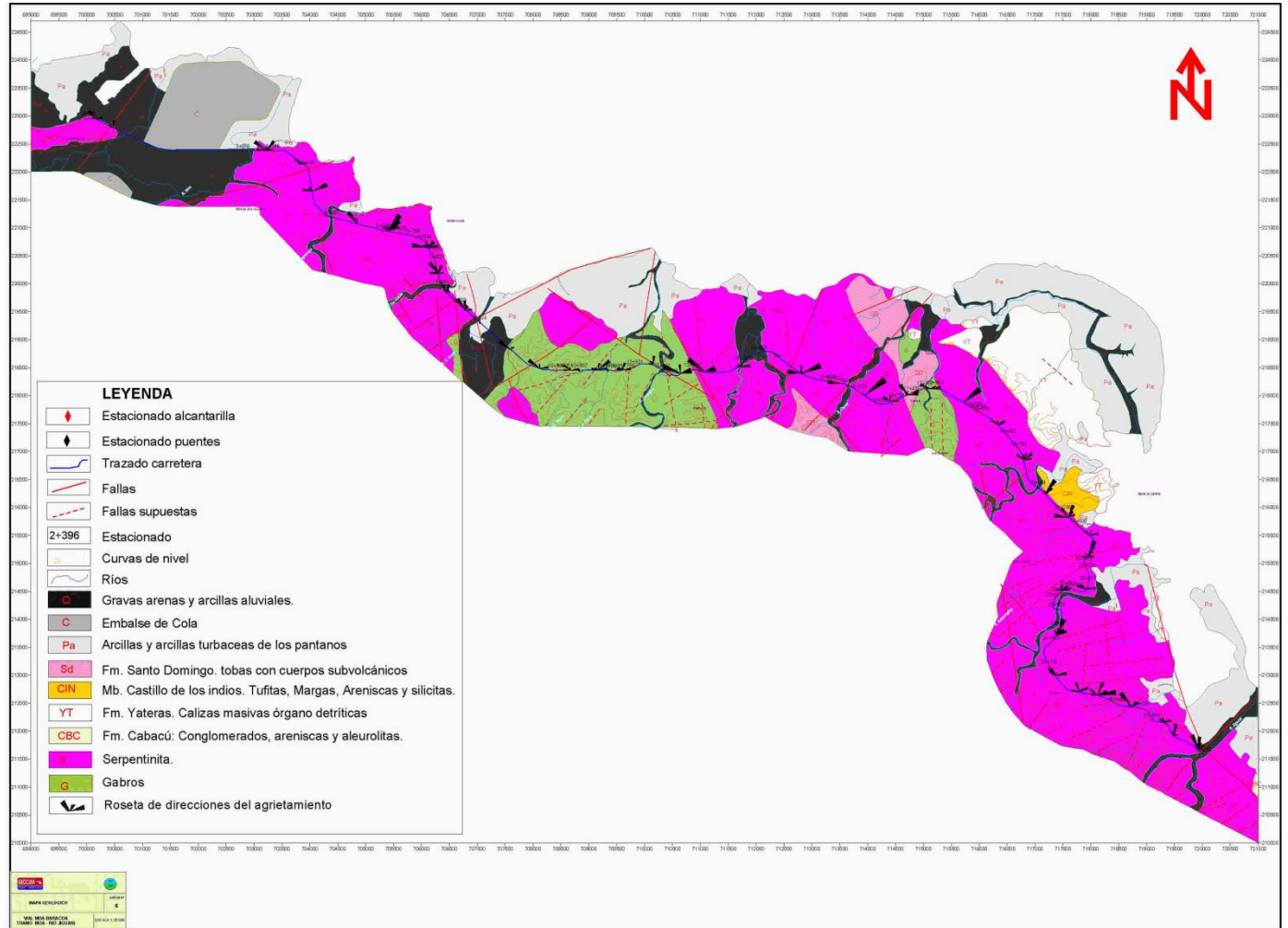
Torres. Cabrera. Yoniel, 2009. Pronostico de procesos y fenómenos físicos – geológicos en el área para la construcción del Tránsito Yateras – Guaso. Trabajo de Diploma. ISMM.

Quintas F, 1989. Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. Tesis doctoral, Departamento de Geología, ISMM.

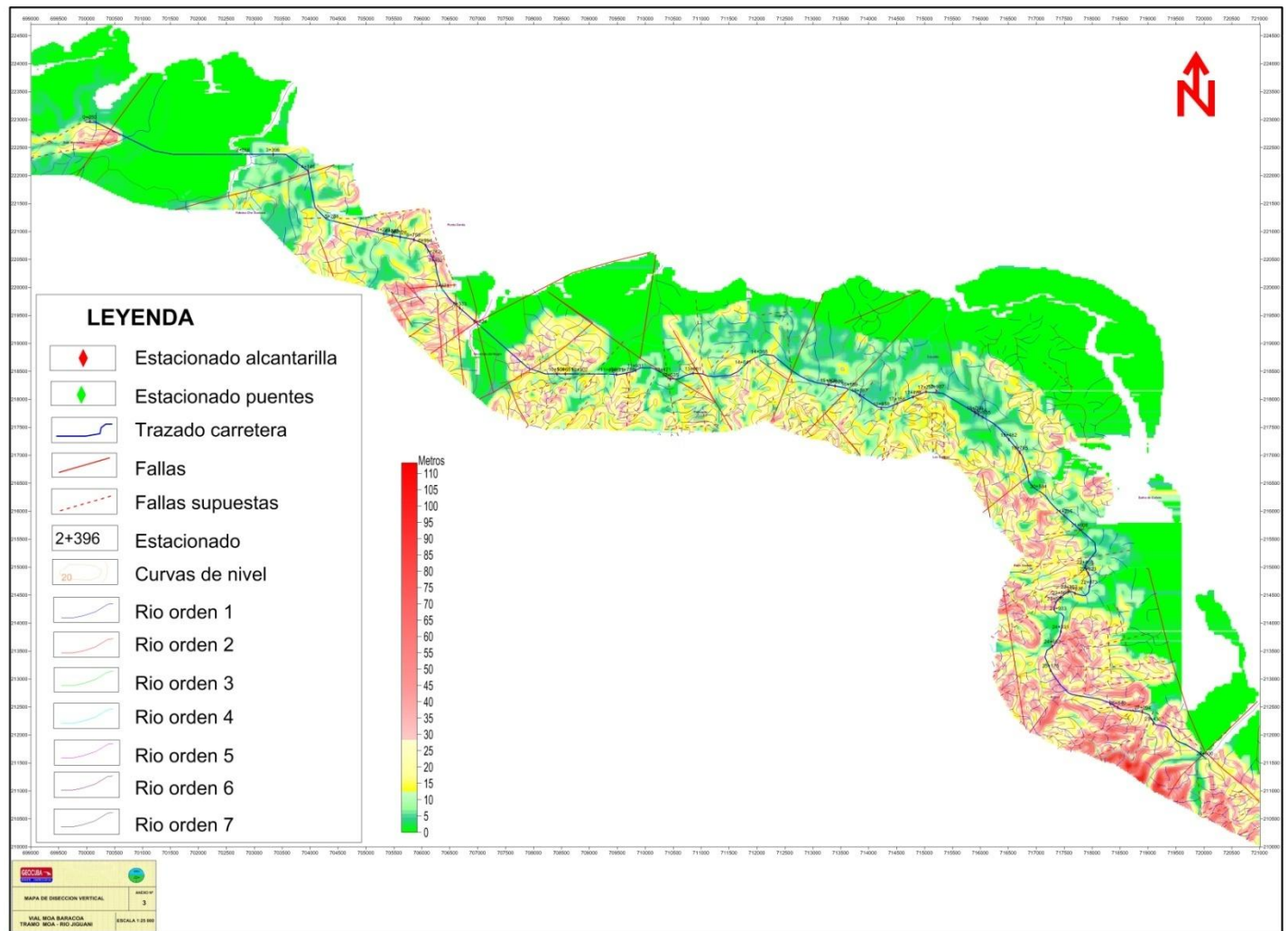
ANEXOS



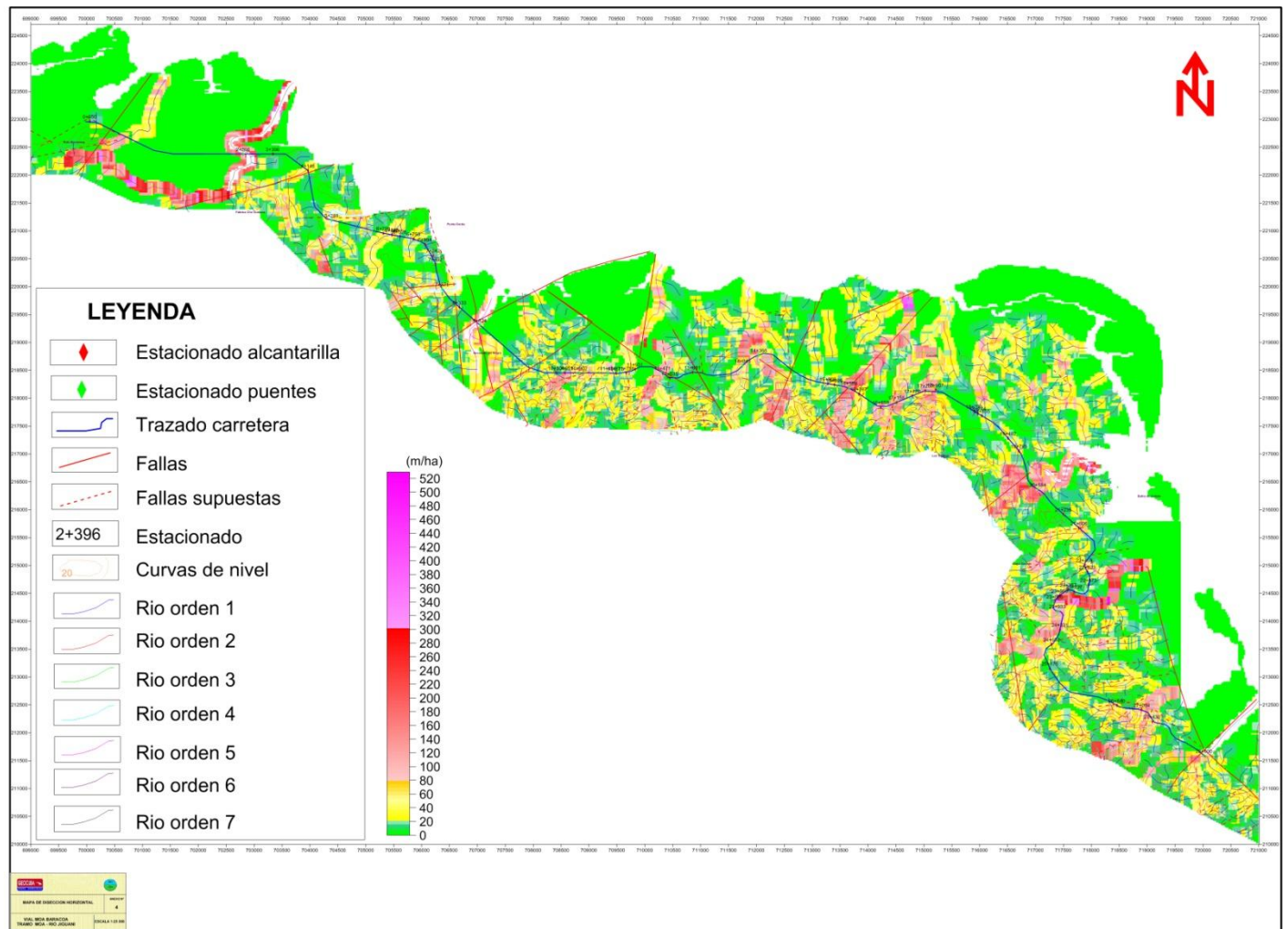
Anexo 1: Modelo Digital del Terreno (escala: 1: 25 000)



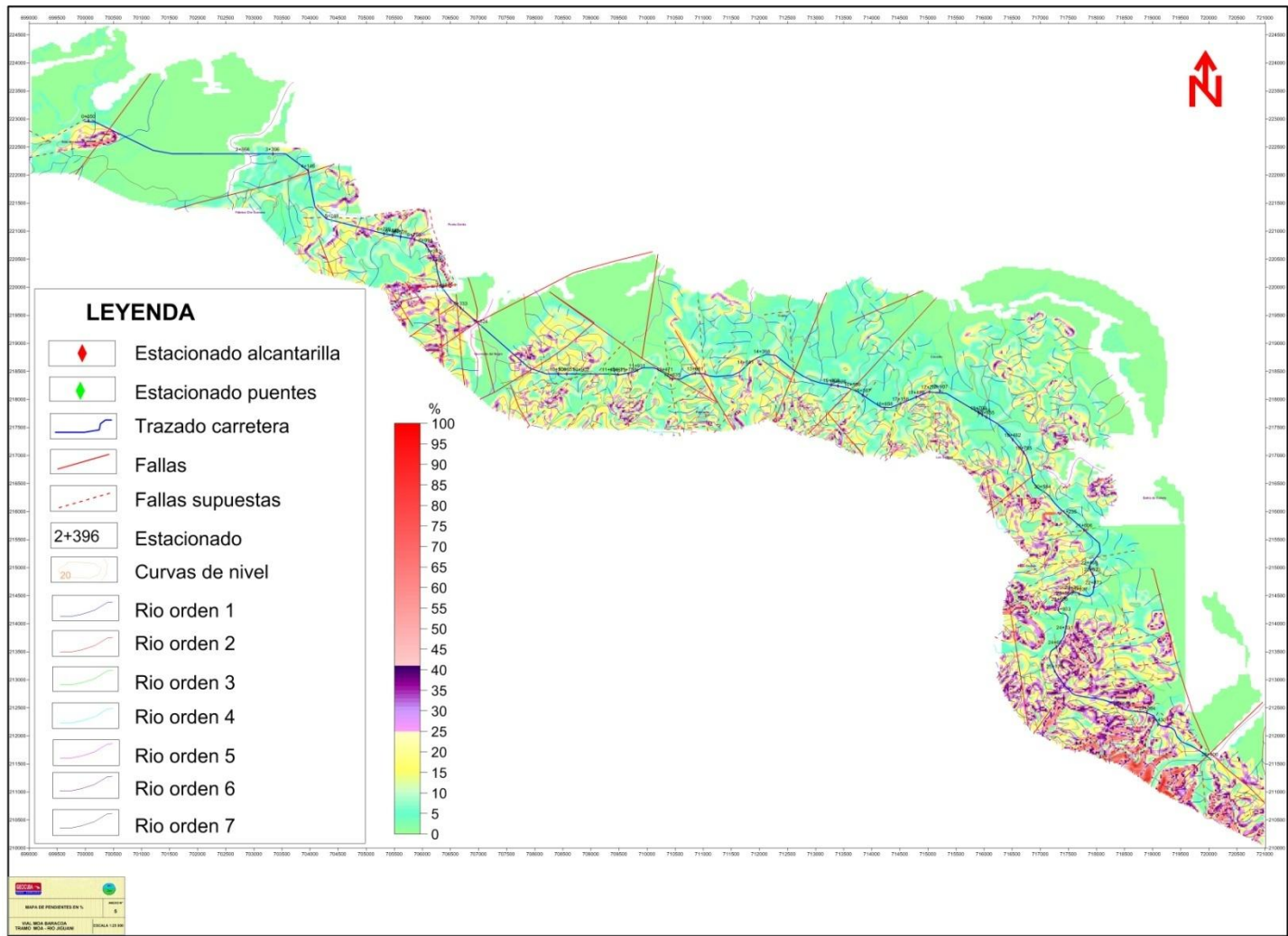
Anexo 2: Mapa geológico (escala 1: 25 000)



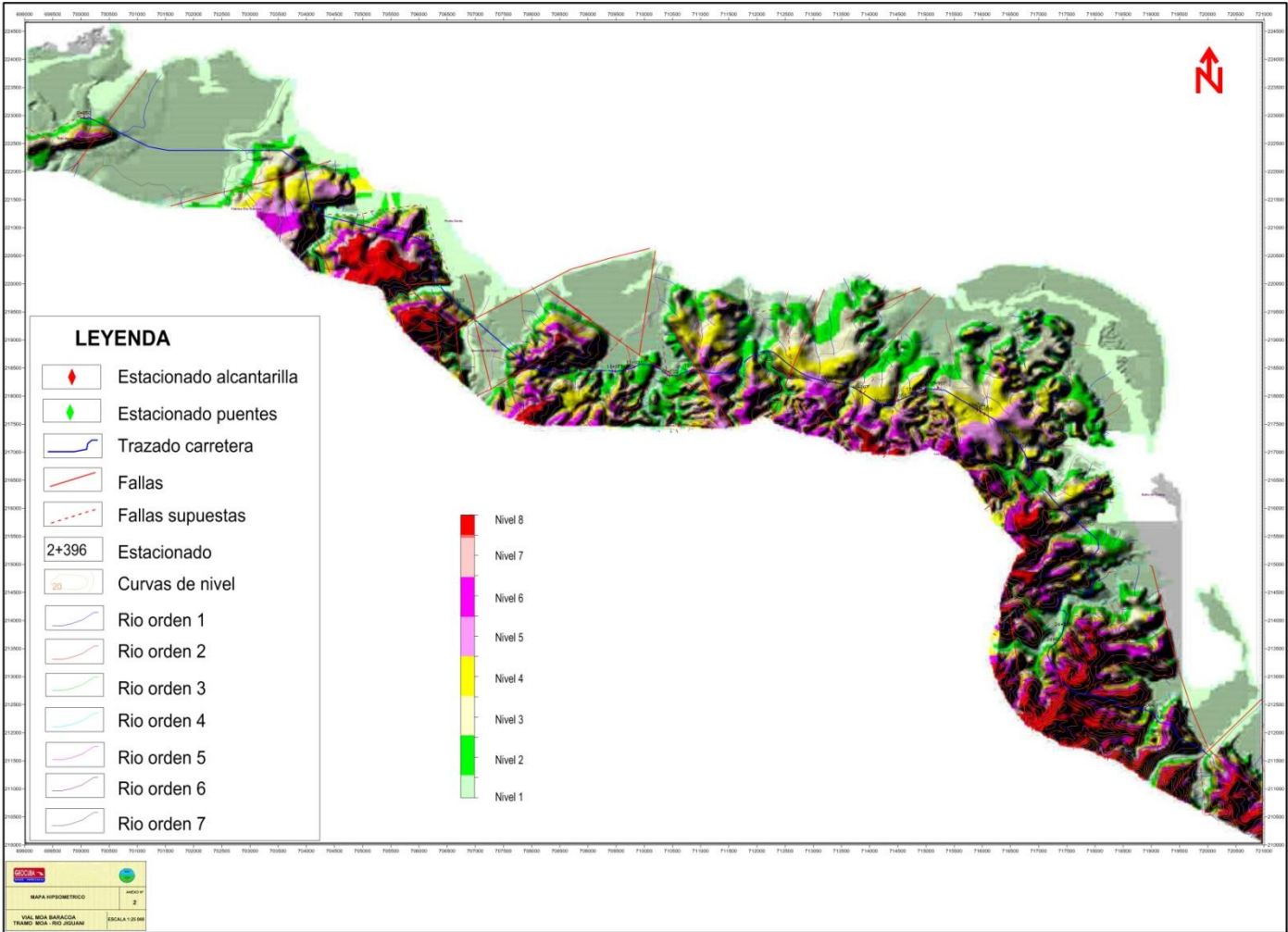
Anexo 3: Mapa de disección vertical (escala 1: 25 000)



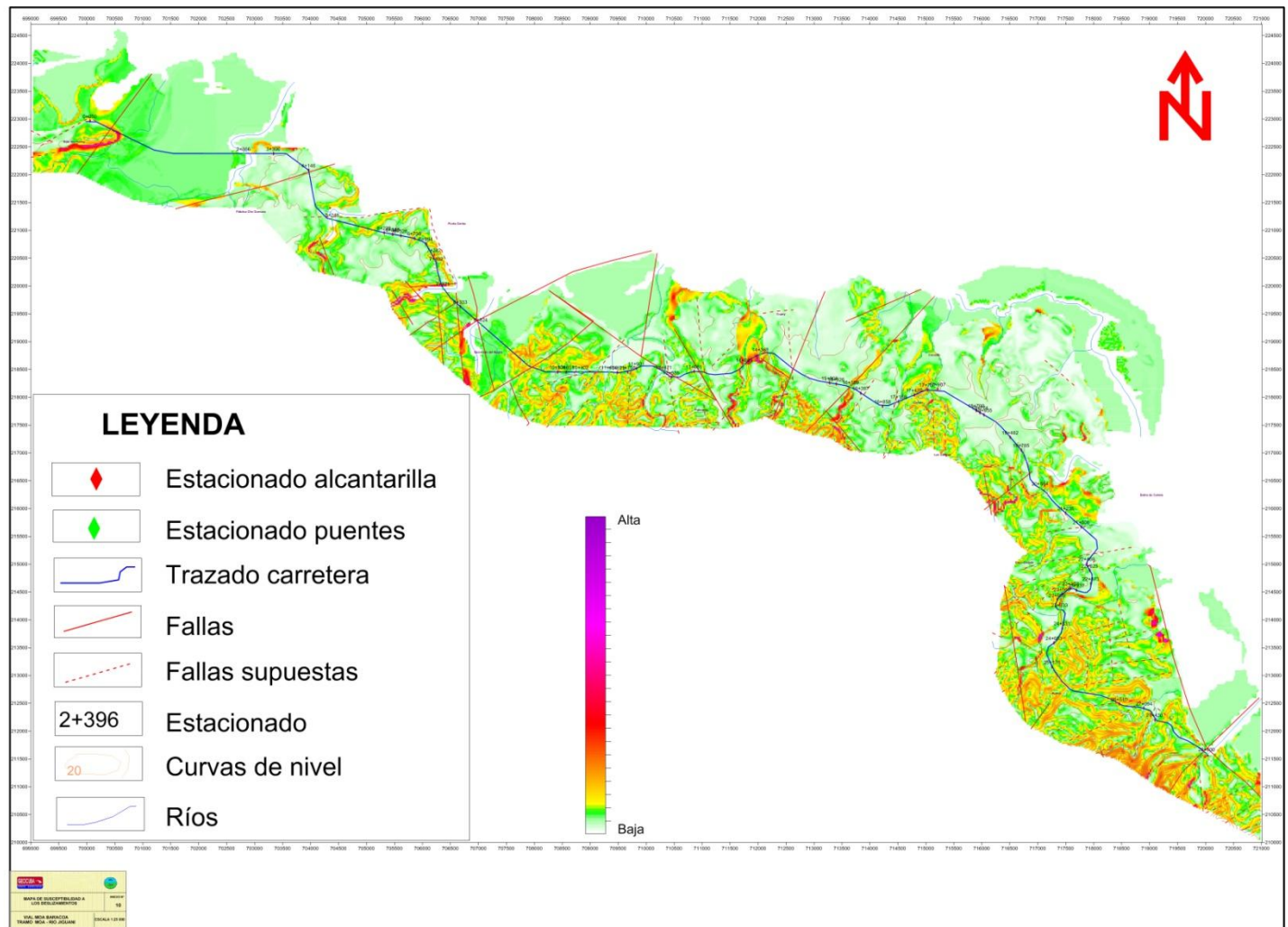
Anexo 4. Mapa de disección horizontal (escala 1: 25 000)



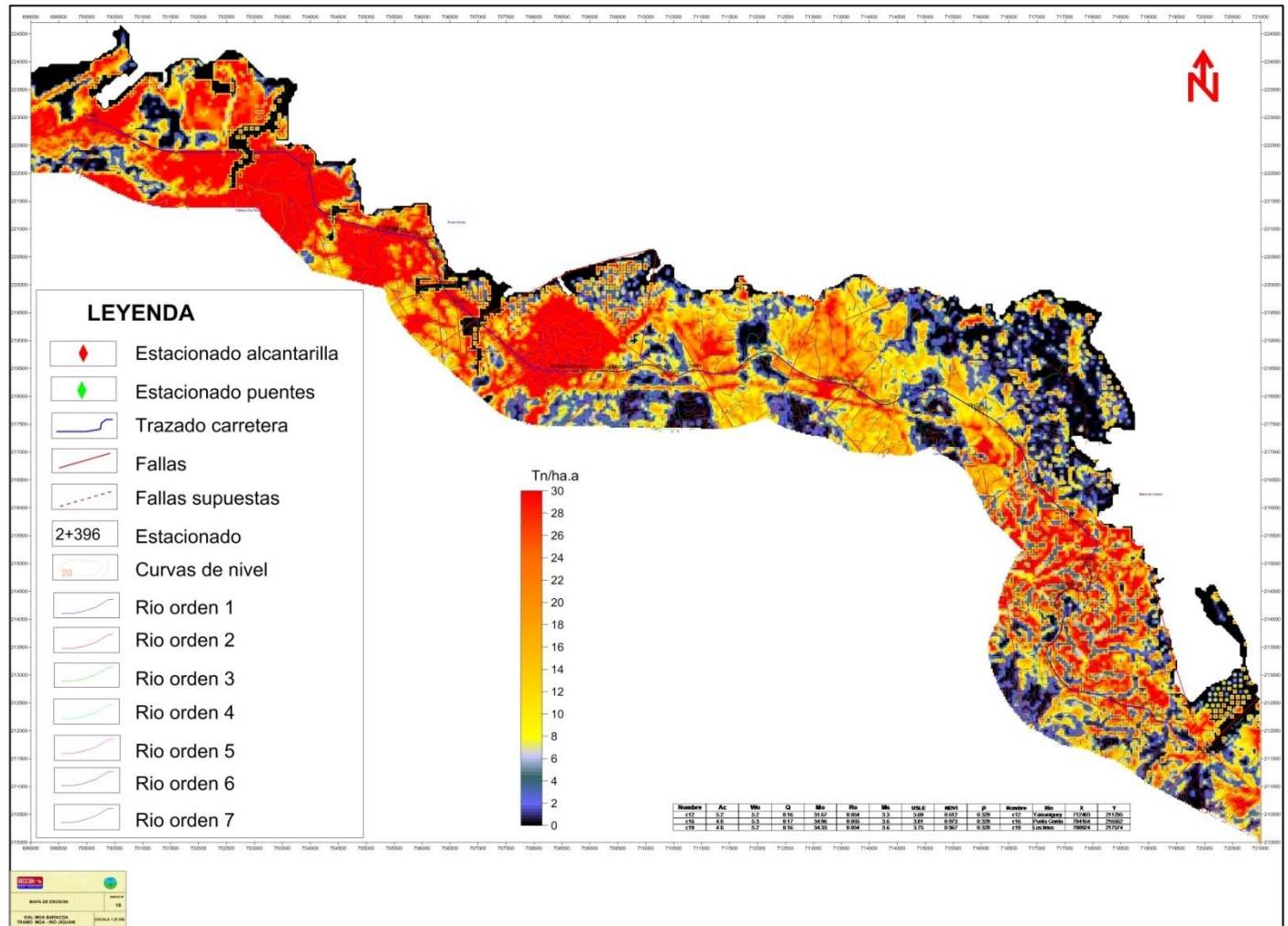
Anexo 5 .Mapa de pendiente (escala 1: 25 000)



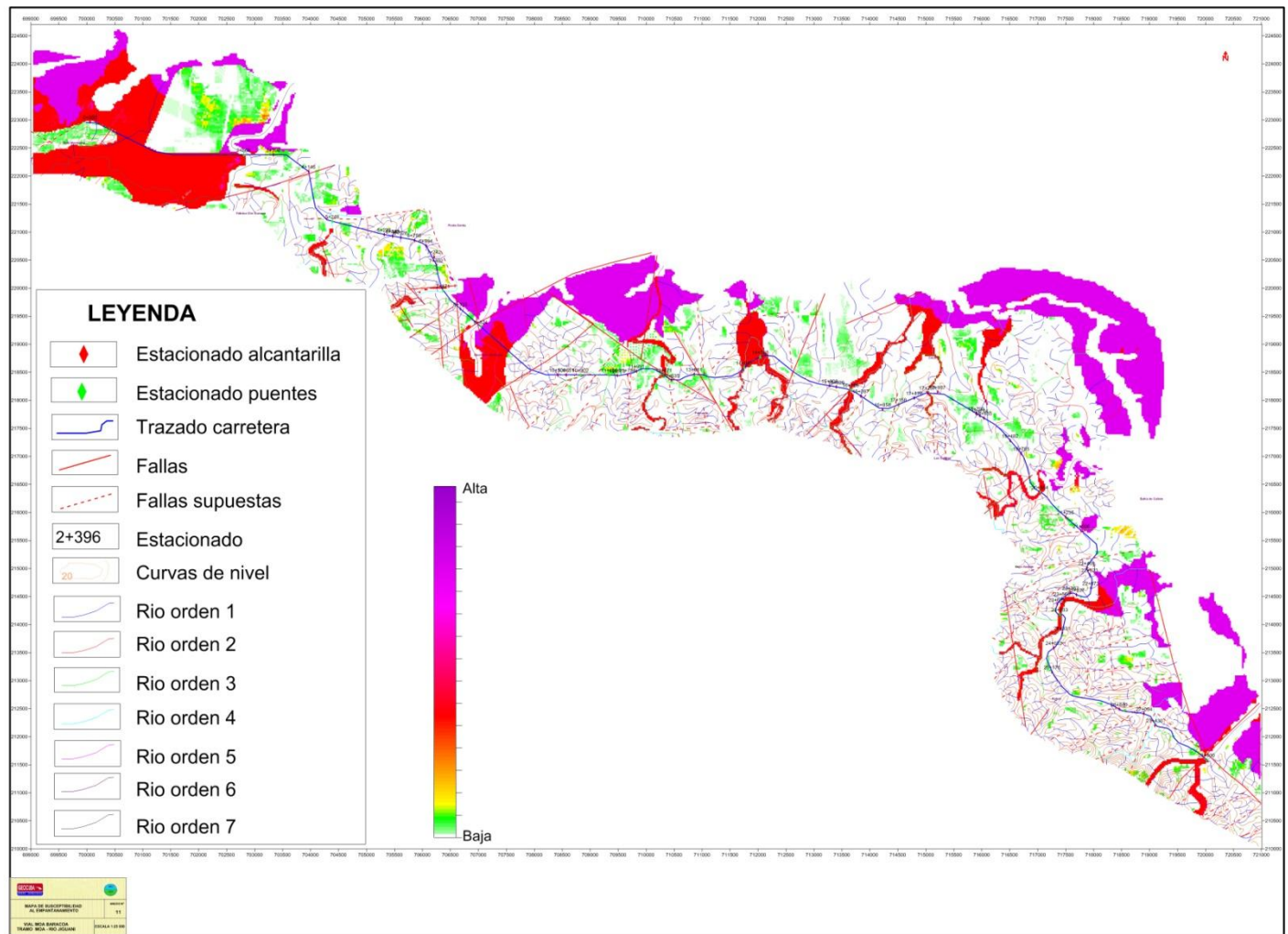
Anexo 6. Mapa Hipsométrico (escala 1: 25 000)



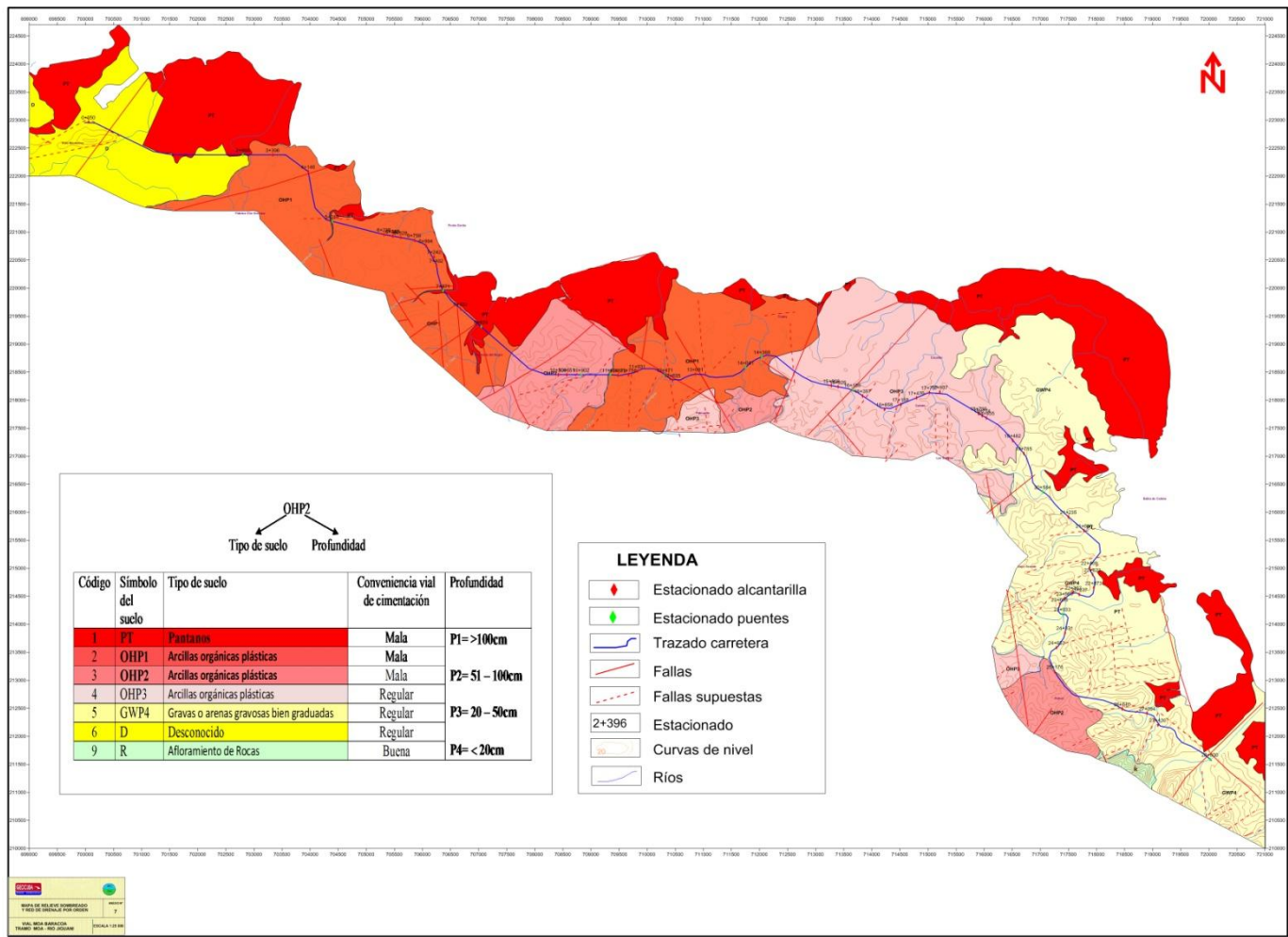
Anexo 7. Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos (escala 1: 25 000)



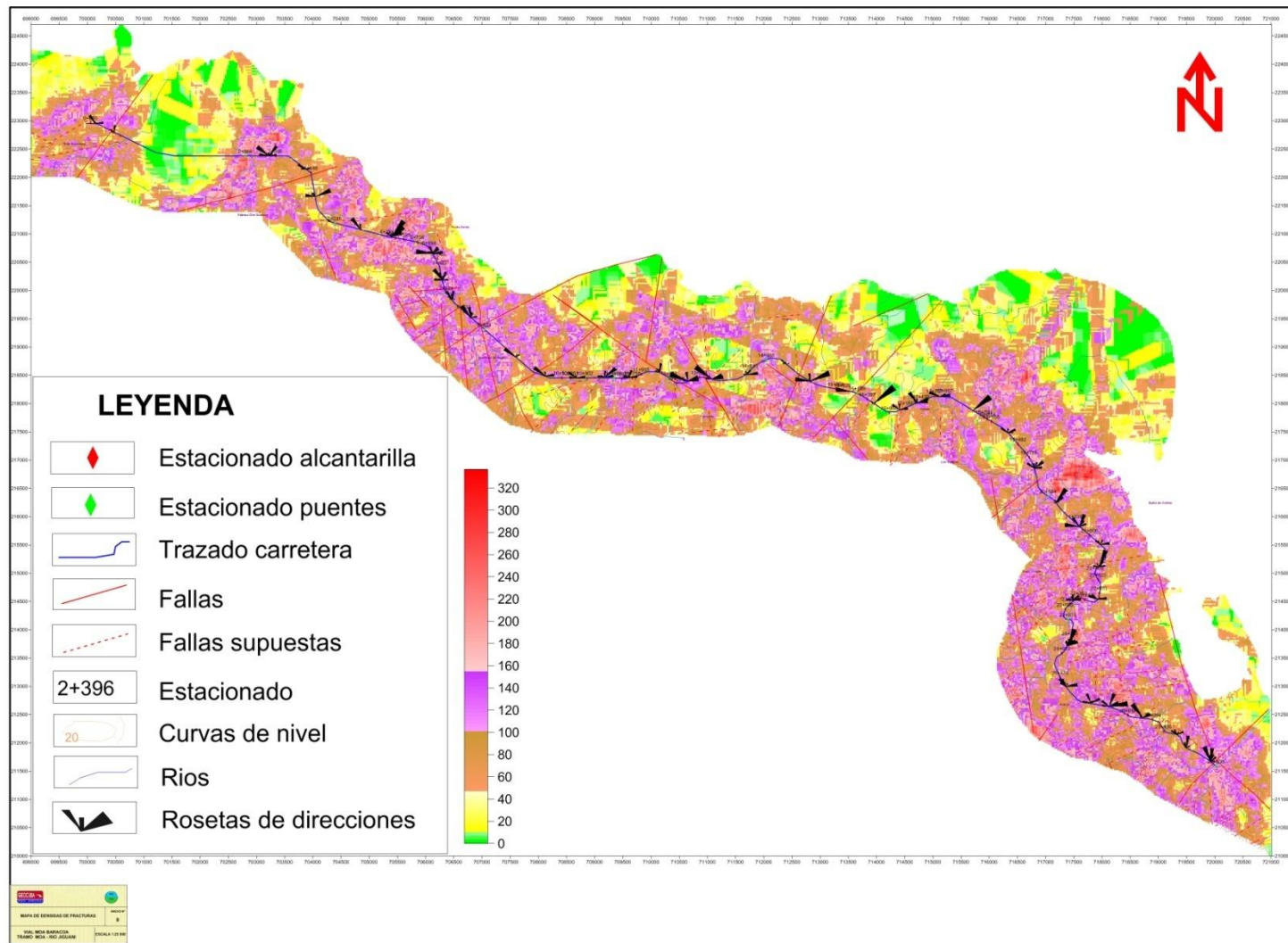
Anexo 8 .Mapa de peligro de erosión (escala 1: 25 000)



Anexo 9. Mapa de susceptibilidad al empantanamiento (escala 1: 25 000)



Anexo 10. Mapa de suelo (escala 1: 25 000)



Anexo 11. Mapa de densidad de fracturas (escala 1:25 000)