



República de Cuba
Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"
Facultad Geología-Minería

TRABAJO DE DIPLOMA



Tema: ESTUDIO GEOAMBIENTAL DEL PARQUE NACIONAL ALEJANDRO DE HUMBOLT,
SECTOR LA MELBA.

Autor: Mailyn Mojena Saborit.

Tutores: Dr. C. Yuri Almaguer Carmenates.

Moa-2009
Aniversario 50 del Triunfo de la Revolución

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a:

- *Mi madre, a mi padre, a mis hermanas, a mi esposo.*
- *Mi tutor Yury Almaguer Carmenate.*
- *Todos mis compañeros de aula, principalmente a mis hermanitos: Yexenia Viltres, Grissell Martínez, Irina Fernández y Reynier Pintón.*

• *Todas aquellas personas del instituto superior minero metalúrgico de Moa que hicieron realidad la culminación de este trabajo, y aquellos que en el transcurso de estos cinco años contribuyeron a consolidar nuestro conocimiento.*

- *La invencible Revolución Cubana por darme la oportunidad de realizar este sueño.*

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, a mi esposo Noldis y mis hermanas principalmente a Maidefyn, así como a todos mis compañeros.

PENSAMIENTO

La protección del medio ambiente es uno de los elementos básicos de un orden mundial justo, estable y pacífico.

Pérez de Cuellar.

Los pequeños actos que se ejecutan son mejores que aquellos grandes que se planean.

George Marshall

RESUMEN

El presente trabajo de diploma titulado Estudio Geoambiental del parque Nacional Alejandro de Humboldt, sector La Melba. Tiene como objetivo general evaluar las condiciones geoambientales del sector La Melba del parque Alejandro de Humboldt como base para futuras evaluaciones impactos ambientales y de riesgos geológicos. La metodología del estudio del medio geológico desde el punto de vista ambiental parte de los 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.

SUMMARY

The present investigation is titled "Geo-environmental Study of the Alejandro of Humboldt National Park, sector La Melba". It has as its general objective to evaluate the geo-environmental conditions of the sector La Melba of the Alejandro of Humboldt Park as a base for future environmental impact evaluations and geological risks. The methodology used to study the geological medium from an environmentalist point of view consist of the geological cartography methods, carrying out geological descriptions of the studied banks, the conditioning factors and the sources of instabilities and the type of movement observed. The erosive-depositional processes were among other aspects studied in which was analyzed, the type of erosion and deposition present in the studied area and the form in which are manifested. The study of the instabilities of the slopes was carried out by calculating the security factor of the slopes using the balance limit method. Corresponding tables are presented which contain the main characteristics of the slopes and documented in such way that one can analyze their behavior. Finally a mitigation and prevention plan to the erosive and landslide processes is offered.

Contenido

<i>AGRADECIMIENTOS</i>	I
<i>DEDICATORIA</i>	II
<i>PENSAMIENTO</i>	III
RESUMEN	IV
SUMMARY	V
INTRODUCCIÓN	1
Fundamento metodológico	2
Capítulo I. Marco teórico conceptual de la investigación y descripción de área de estudio.	3
1.1 Marco teórico de la investigación.	3
1.2 Marco legal jurídico de las investigaciones geoambientales	8
1.3 Descripción del medio geológico del Parque Alejandro de Humboldt.....	12
1.4 Procesos geodinámicos.	28
Capítulo II. Metodología de la evaluación geoambiental.	30
Introducción.	30
2.1 Estudio del medio geológico desde el punto de vista ambiental.....	30
2.2 Estudio de los procesos erosivos.....	31
2.3 Estudio de las inestabilidades de laderas.	32
Capítulo III. Resultados del análisis geoambiental del sector la Melba.	38
Introducción.	38
3.1. Cartografía geoambiental.....	38
3.2. Análisis de las condiciones geotécnicas de los suelos lateríticos.	46
3.3. Análisis de estabilidad de laderas y taludes. Mecanismos y tipologías.	47
3.4 Plan de manejo de las condiciones geoambientales.....	76
Valoración del trabajo.....	84
CONCLUSIONES	86
RECOMENDACIONES	87
BIBLIOGRAFÍA	88

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han producido cambios profundos en las interrelaciones Hombre–Medio Geológico. El hombre ha provocado una aceleración de los agentes naturales y al mismo tiempo, en el proceso de desarrollo económico, ha generado un cierto grado de vulnerabilidad, aumentando los riesgos de las actividades socioeconómicas de ellas derivadas. Bajo estas condiciones geoambientales, los deslizamientos constituyen un peligro geológico. Por lo general estos tienen lugar en zonas de difícil acceso y poco pobladas lo que provoca impactos a pequeña escala y de poca consideración, a excepción de algunos eventos catastróficos como el de Aberfan en el Reino Unido (Bishop et al., 1969), el del Nevado Huascarán en Perú (Plafker y Ericksen, 1979), el del Mount Sant Helens en Estados Unidos (Voigth et al., 1983) y el de Vaiont en Italia (Shuster, 1996) entre otros. En algunos terremotos recientes los deslizamientos han sido una de las principales causas de daños y pérdidas de vidas humanas (Kobayashi, 1981; Keefer, 1984; Plafker y Galloway, 1989; Schuster, 1996) y otros. La mejor estrategia para reducir los impactos de los deslizamientos es la prevención, la evaluación de la susceptibilidad y riesgos y la adopción de medidas para mitigar los efectos (Corominas, 1992).

Actualmente los estudios ambientales son de obligatorio cumplimiento para cualquier proyecto de desarrollo minero y más teniendo en cuenta el área de la presente investigación que se desarrolla dentro del parque Alejandro de Humboldt, reserva mundial de la biosfera, por lo que los resultados servirán como material de consulta para las investigaciones ambientales y de riesgos geológicos a desarrollar en el futuro y para un mejor manejo del medio ambiente en el parque.

La presente investigación se realiza en base a la política ambiental de las Empresas de la Unión del Níquel y del Instituto Superior Minero Metalúrgico, de aplicar el conocimiento teórico en la resolución de problemas prácticos en el medio en el cual se desarrollan, porque dentro del área de estudio se encuentra el yacimiento Piloto, concesión minera de la Empresa Pedro Sotto Alba-Moa Níkel SA.

Problema.

La problemática que se trata consiste en el insuficiente conocimiento desde el punto de vista ambiental del sector La Melba del parque Alejandro de Humboldt, lo que repercute en la ocurrencia de fenómenos geológicos como deslizamientos, erosión, deposición de sedimentos en taludes y laderas de suelos lateríticos, lo cual genera riesgos debido a la susceptibilidad del medio y a la predisposición del terreno frente a estos fenómenos.

Objeto de estudio.

Se seleccionó como objeto de estudio de la presente investigación las condiciones ambientales del sector La Melba del parque Alejandro de Humboldt, debido a las condiciones ingeniero-geológicas del terreno y la diversidad de factores condicionantes que lo convierten en un laboratorio natural para el análisis de los fenómenos de deslizamientos y erosión de suelos lateríticos.

Objetivo general.

Evaluar las condiciones geoambientales del sector la Melba del Parque Alejandro de Humboldt como base para futuras evaluaciones impactos ambientales y de riesgos para prevenir o mitigar los daños derivados de estos fenómenos.

Objetivos específicos.

- Caracterizar los procesos erosivos-deposicionales que se manifiestan en los suelos lateríticos.
- Caracterizar los mecanismos y tipologías de deslizamientos desarrollados en el área.

Hipótesis.

Si se conocen las tipologías y mecanismos que gobiernan los deslizamientos, así como la influencia que sobre estos tienen factores condicionantes como tipo de litología, estructura del macizo rocoso, geomorfología, condiciones hidrogeológicas y geotécnicas de la corteza laterítica y el uso de suelo, es posible evaluar las condiciones geoambientales en el sector La Melba.

Novedad científica.

La novedad de este trabajo está dada en el análisis de las condiciones geoambientales del sector La Melba del parque Alejandro de Humboldt como base para futuras evaluaciones de impactos ambientales y de riesgos para prevenir o mitigar los daños derivados de estos fenómenos.

Fundamento metodológico.

La metodología del estudio del medio geológico desde el punto de vista ambiental parte de los 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.

Capítulo I. Marco teórico conceptual de la investigación y descripción de área de estudio.

1.1 Marco teórico de la investigación

1.2 Marco legal en Cuba del los estudios geoambientales.

1.3 Descripción del medio geológico del Parque Alejandro de Humboldt.

1.4 Procesos geodinámicos.

1.1 Marco teórico de la investigación.

Durante la explotación de yacimientos, de viales, presas, etc. se han presentado problemas con los deslizamientos dado por las condiciones climáticas (abundantes lluvias), geológicas (intensos procesos de meteorización y tectónicos del macizo rocoso), ingenieriles del suelo (suelos con bajo ángulo de fricción, baja cohesión) influyendo negativamente en las condiciones ambientales de los yacimientos y el constante riesgo de los trabajadores y equipos.

De acuerdo a las características de la investigación que se presenta, las bibliografías consultadas se refieren a los primeros trabajos realizados en cuanto a estudios del agrietamiento desde el punto de vista geomecánico y análisis estructural, aspecto importante a considerar en este caso y a los trabajos relacionados con las clasificaciones geomecánicas aplicadas a la evaluación de estabilidad de taludes.

Actualmente se piensa en la mecánica de rocas como una disciplina moderna dentro de la ingeniería, sin embargo en 1773, Coulomb incluye resultados de ensayos en rocas de Bordeaux en un artículo escrito en la Academia Francesa en París. En 1884, ingenieros franceses comenzaron la construcción del canal de Panamá y fue tomado por *US Corps Army of Engineering* en 1908. En el mismo siglo entre 1910 y 1964, 60 deslizamientos fueron registrados en los cortes a lo largo del canal sin embargo estos no fueron analizados en términos geomecánicos; en trabajos posteriores por *US Corps Army of Engineering* mostraron que los deslizamientos fueron controlados por discontinuidades estructurales y se aplicaron conceptos modernos de análisis de estabilidad de mecánica de rocas.

El desarrollo formal de mecánica de rocas como una disciplina ingenieril se da en el período de los años 60. Stini fue uno de los pioneros de mecánica de rocas en Europa y enfatizó la importancia de las discontinuidades estructurales en el control y comportamiento de las masas rocosas.

Algunos acercamientos al estudio del agrietamiento fueron realizados por McMahon (1971), Maranhas (1974), Zambak (1977), quienes usaron los métodos estadísticos para describir los sistemas de grietas asumiendo distribuciones binormales del rumbo y el buzamiento de las grietas.

En cuanto a tipologías de movimientos gobernados por condiciones geomecánicas se han propuesto varias clasificaciones a partir de Collin A. (1846), algunas con enfoque particular y otras mas generales, diferenciándose además por las bases y objetivos.

La clasificación de Varnes D. J. (1958), tiene un enfoque ingeniero geológico. Estableció tres grandes tipos: caídas, desplazamientos (terrenos consolidados) y flujos (terrenos no consolidados) y un cuarto grupo de movimientos complejos sin establecer tipos.

La división en caídas, desplazamientos y flujos fue utilizada por Howe E. (1909), como subdivisiones de grupos formados por terrenos detríticos, consolidados y mixtos; el contenido de agua también fue considerado por Terzaghi (1925), para clasificar los movimientos pero el gran aporte de Varnes fue su ordenamiento matricial, la representación gráfica y la asignación de velocidades, que permite contemplar de forma sencilla las relaciones y evoluciones de los diferentes tipos, contribuyendo y sirviendo de base a posteriores propuestas y análisis. García Y. A. (1966), propone una clasificación basada en la de Varnes, por considerar que esta se ajustaba mejor al objetivo buscado: rápida identificación del movimiento, de su peligrosidad y posible estimación de los volúmenes movilizados. Incluyó algunos tipos frecuentes en España, desplegó en la representación matricial algún otro y tras laboriosa búsqueda y discusiones adoptó nombres castellanos fáciles de retener por su significado y gráficos de los mismos. Zaruba Menel (1969), propone una clasificación estableciendo cuatro tipos de movimientos de terrenos: movimientos de laderas de depósitos superficiales, deslizamientos en rocas pelíticas (arcillas, margas, argilitas, pizarras arcillosas), movimientos de laderas en rocas compactas y movimientos especiales.

En 1978, Varnes introduce a su clasificación dos nuevos grupos: vuelcos (toppling) y deslizamientos laterales (spreads), desarrolla más los movimientos complejos, conserva la presentación y no incluye a algunos tipos la velocidad. Tiene la gran virtud de presentar fenómenos de laderas (movimientos, deformaciones, evoluciones) que afectan a grandes masas que no habían sido relacionadas de forma con el conjunto de movimientos de laderas y que explican y aclaran importantes procesos previos o de evolución y acomodamiento de las masas movilizadas.

En cuanto a clasificaciones geomorfológicas, existen numerosos intentos que tratan de relacionar la geometría y el tipo de sostenimiento, pero en ninguna de ellas se tiene en cuenta la resistencia de la masa rocosa y las características de la juntas.

Selby (1980), propuso la clasificación RMS (*Rock Mass Strength*) cuyo objetivo declarado era proveer una base para entender los elementos de las masas rocosas que les proporcionan resistencia a los procesos de meteorización y erosión y que fuera universalmente aplicable de forma de establecer una base común de medición.

Según Selby el RMS (1987), se obtiene a partir de asignaciones numéricas a los parámetros: resistencia de la roca matriz, meteorización, espaciado de las juntas, orientación de las juntas, apertura, continuidad y flujo de agua (similares a los de la primera versión del RMR).

Una clasificación general cuantitativa de los niveles de riesgo para carreteras producidas por un eventual corrimiento fue propuesta por Hunt (1992). Una clasificación similar de riesgos para el desarrollo urbano en la región de Sydney fue establecida por un comité de la Sociedad Geomecánica Australiana (Walker et al, 1985).

Stevenson (1977), desarrolló en Tasmania una clasificación semicuantitativa estudiando taludes arcillosos. La misma ha tenido cierta difusión mundial y es citada por Varnes (1984), en un documento de Naciones Unidas y por la PIARC (1995) en un "Informe sobre reducción del efecto de los riesgos naturales sobre carreteras". La misma se establece en base a los índices de plasticidad, nivel freático, ángulo del talud, existencia de corrimientos y el uso humano del terreno. Se obtiene el Coeficiente de Riesgo (R) y solo es aplicable a taludes en suelos. Bieniawski en 1973, presentó un nuevo sistema de clasificación de macizos rocosos mediante el índice RMR (*Rock Mass Rating*). En una segunda versión en 1976 y 1979 estableció la forma actual. El índice numérico del macizo rocoso RMR es independiente de la estructura a construir y se obtiene sumando cinco parámetros: resistencia de la roca matriz, RQD, frecuencia de las juntas, estado de las juntas y agua dentro del macizo rocoso. De este valor hay que restar un valor de ajuste, que es función de la orientación de las discontinuidades, definido cualitativamente y que tiene valores diferentes según se aplique a túneles, taludes o cimentaciones. El resultado final es el índice RMR, que puede variar entre 0 y 100, clasificando los macizos rocosos en cinco clases.

Esta clasificación es muy conocida y se aplica sistemáticamente para muchos estudios de túneles, conjuntamente con la clasificación de Barton, 1974, pero hay muy pocas referencias publicadas sobre la aplicación de la clasificación del RMR a los taludes.

En la misma se establece un factor de ajuste de acuerdo a la orientación de las discontinuidades en caso de taludes, pero no existe ninguna orientación sobre la definición de cada clase. Probablemente la razón para esta falta de uso sea el elevado valor del factor de ajuste que puede alcanzar 60 puntos sobre un total de 100 (Romana, 1997). Cualquier error en la valoración de este factor superará con mucho la posible precisión obtenida mediante una valoración cuidadosa de los parámetros de la masa rocosa y el trabajo de clasificación resultará difícil y arbitrario.

La bibliografía referente a la temática se orienta en dos direcciones principales, por un lado en la búsqueda de un ángulo de talud estable y por otro en el uso de los valores de cohesión y rozamiento recomendados por la clasificación. En general los autores no especifican los criterios para la selección del factor de ajuste, lo que impide la verificación de sus resultados.

Respecto a la búsqueda del ángulo de talud estable la primera referencia publicada del uso del RMR para la estabilidad de taludes fue la de Laubscher (1975), proponiendo una relación entre el RMR y el ángulo de talud estable aplicable en cortas mineras en Sudáfrica para alturas inferiores a 50 m. Hall (1985), utilizando un inventario de taludes inestables propuso una correlación gráfica entre los valores del RMR y el ángulo de talud estable, para alturas inferiores a 20 m y valores del RMR superiores a 20. Orr en 1996 presentó un excelente resumen del uso del RMR en taludes según la práctica en Sudáfrica, Australia y Nueva Zelanda (Romana, 1997).

Respecto a la forma de rotura Robertson (1988), utilizando un valor modificado del RMR estableció que para valores del RMR superiores a 40 la estabilidad del talud está gobernada por la orientación y la resistencia al corte de discontinuidades, mientras que para valores del RMR inferiores a 30 la rotura puede aparecer dentro de la masa rocosa, con independencia de la orientación de las juntas.

Ayala et al (1988), presentaron un estudio sobre al “Estabilidad de taludes en la minería de lignito a cielo abierto de España” donde comprobaron la validez de los valores propuestos por Bieniawski en 1979, para la cohesión y rozamiento de la masa rocosa mediante el cálculo del coeficiente de seguridad de taludes estables.

Romana (1985), propone la clasificación SMR para taludes. Es un método de determinación de los factores de ajuste adecuados para aplicar la clasificación RMR de Bieniawski a los taludes. El índice SMR para la clasificación de taludes se obtiene del RMR sumando un factor de ajuste, que es función de la orientación de las juntas y un factor de excavación que depende del método utilizado.

En relación a investigaciones realizados en la zona de estudio, se puede decir que los trabajos geomecánicos se han encaminado en una dirección, o sea, en la evaluación geomecánica de los macizos rocosos aplicados a obras subterráneas y muy poco al estudio de laderas y taludes.

Dentro de las investigaciones realizadas en la región de estudio relacionadas con la temática podemos encontrar dos grandes grupos, uno dirigidos al análisis de estabilidad de macizos a partir de la aplicación, entre otros métodos, de las clasificaciones geomecánicas y un segundo grupo dirigido al análisis de la estabilidad de terrenos a partir de métodos geotécnicos.

Del primer grupo podemos citar algunos en los cuales se ha realizado la aplicación de las clasificaciones geomecánicas (RMR, Q, RQD), a partir del estudio del agrietamiento y propiedades geomecánicas de las rocas con vista a la determinación de la estabilidad de excavaciones subterráneas tales como: “Caracterización geomecánica de los macizos rocosos de la Mina Merceditas” (Cartaya M., 1996), “Estudio de la geometría del agrietamiento de la Mina Merceditas y su estabilidad” (Falero, 1996), “Acción de la presión minera en las minas de cromo” (Mondejar O., 1996), “Elección de método de arranque a partir de las clasificaciones geomecánicas de macizos” (Noa R, 1996), “Caracterización geomecánica de los macizos rocosos de la región oriental de Cuba” (Cartaya M., 2001), entre otras.

Del segundo grupo encontramos trabajos referidos al análisis del fenómeno de meteorización desde el punto de vista geotécnico, tal como “Relación de los espesores de los horizontes litológicos con los factores de intemperismo en las cortezas ferroniquelíferas, en el yacimiento Punta Gorda” (Fonseca J., 1986), se analiza el comportamiento de los diferentes materiales constituyentes del perfil de meteorización obteniéndose un mapa a escala 1:5 000 de la corteza de meteorización, sin embargo no se incluye un análisis de la meteorización a partir de las características físico mecánicas, elemento importante de las rocas y que representa los factores geológicos.

Además existen algunos trabajos referidos al análisis de estabilidad, dentro de los cuales tenemos “Estudio de áreas con peligros y riesgos geológicos en el territorio de Moa”, (Tamayo A., 1995), en el cual se evalúan los principales procesos y fenómenos naturales que generan peligros en Moa, tales como erosión, inundaciones, sismicidad y deslizamientos a partir del estudio de las propiedades físico mecánicas de los suelos. En el caso de los deslizamientos sólo se llega a describir los factores que influyen, los tipos de movimientos y las posibles condicionantes sin llegar a hacer un análisis de estabilidad de los taludes afectados.

Además se realizó el trabajo “Evaluación de las condiciones ingeniero geológicas para la zonificación de los fenómenos geológicos en áreas urbanas y suburbanas de la ciudad de Moa”, (Carmenate J., 1996) en el cuál se realiza una evaluación y clasificación de los suelos y rocas en el área a partir de las propiedades físico mecánicas resultando un mapa ingeniero geológico a escala 1:10 000 y una zonificación de áreas susceptibles a la ocurrencia de fenómenos geológicos exógenos que constituyen peligros para la población y objetivos económicos; se analizan las causas de estos dentro de los cuales se encuentra los deslizamientos proponiéndose medidas para su mitigación pero de una manera superficial pues no se caracterizan todas las posibles condicionantes del terreno que posibilitan la aparición de movimientos limitándose solamente a las propiedades físico mecánicas sin tener en cuenta el factor estructural. A partir de la investigación citada anteriormente se continuaron las investigaciones en ese sentido para profundizar en el análisis de la naturaleza y tipología de los deslizamientos en la zona del Camino Punta Gorda – La Melba.

Muchos autores coinciden en que los procesos de erosión por cárcavas y los factores determinantes, son menos conocidos que la erosión laminar (Heede, 1979; Imeson y Kwaad, 1980). Principalmente las investigaciones se han dirigido a la caracterización morfológica de las cárcavas y de los estados de desarrollo (Ireland et al., 1939; Heede, 1970; Imeson y Kwaad, 1980; Crouch y Blong, 1989). El desarrollo de modelos se ha encaminado a los modelos cualitativos y de base empírica (Seginer, 1966; Thompson, 1964; Donker y Damen, 1984), y se centran principalmente en la predicción del avance de la cabecera de las cárcavas.

Los estudios de erosión en cárcavas han estado asociados también a los mecanismos de transporte de sedimentos. Trabajos como el de Walter Willi (Willi Walter. “Zurfrage der sohlenerosion bei grossen gefaellen”. Mitteilungen Nr. 68. Technischen Hochschule Zuerich. 1966), muestran que los niveles de erosión expresados en volumen por unidad de ancho, dependen de la pendiente del tramo afectado por LS, de su longitud L, del caudal específico q y de la forma del perfil longitudinal, expresado por el factor F.

Entre los principales trabajos acerca del tema tratado, se puede mencionar el de los profesores investigadores de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua, en México (Olivas García J. M. y Palma Escamilla J. I., 1999), quienes realizaron estudios para la estabilización de un sistema de cárcavas profundas, aunque en un área restringida, pero donde se hizo necesario tener en cuenta varios factores para la recuperación. En el cuerpo del trabajo se dan algunas de las medidas aplicadas en este caso, las cuales en su mayoría son mecánicas o tecnológicas y por lo mismo costosas. La investigación corresponde al tipo de estudios puntuales y se refiere a condiciones únicas del lugar, tanto de suelo como de otros factores actuantes, y las medidas de recuperación son para esa zona en cuestión.

Referente a la erosión en cárcavas y la formación de estas en zonas de altas pendientes, se trata en el artículo publicado por la FAO, en 1967, con título “La erosión del suelo por el agua”, exponiéndose que:

La cantidad de surcos que se forman puede variar ampliamente, dependiendo de la irregularidad del terreno y de la magnitud que alcanzan las tensiones de corte. La erosión en surcos se atribuye a la energía del escurrimiento, proporcional al cuadrado de la velocidad de flujo. Así por ejemplo, cuando la velocidad de flujo supera valores de 30 cm/s, frecuente en el

flujo laminar, a 60 cm/s, la capacidad de desprendimiento de suelo del agua se cuadruplica. La capacidad de transporte de suelo varía en relación con la quinta potencia de su velocidad. Por ejemplo, si la velocidad de flujo varía de 30 cm/s a 60 cm/s, el poder de transporte de suelo aumenta en treinta y dos veces. La erosión en surcos origina el transporte de parte de la capa arable, pudiendo alcanzar el subsuelo.

La profundización de los surcos puede generar procesos de formación de cárcavas y se presentará cuando el escurrimiento incrementa las velocidades de flujo y por lo tanto las tensiones de corte del flujo superarán las tensiones de corte resistentes de los materiales componentes de los perímetros de suelo afectado.

Valentín Contreras Medrano, Director Técnico de Bonterra Ibérica, es otro investigador que trata el tema de la erosión en cárcavas y propone medidas de conservación para terrenos afectados por ese fenómeno; en su trabajo del año 2000, "Realización de trabajos prácticos: actuaciones de prevención y corrección de la erosión", correspondiente a un proyecto español para la protección del suelo en cultivos de olivo, expone diferentes ensayos y muestra técnicas no agresivas para el paisaje, la fauna y la flora.

Entre los estudios realizados por investigadores cubanos, se destaca el iniciado en 1966 por el Ingeniero Jaroslav Hylsky, colaborador del Instituto de Geología de la Academia de Ciencias de Cuba, el cual fue publicado en la Serie Oriente, con los números 7, 8, 9, 10, 11, 12, y con el título "Erosión en Cárcavas". En esta publicación se abordan ampliamente los temas relacionados con la erosión, particularizando en el desarrollo de las cárcavas y su posible manejo, por lo que ha servido de base a las labores de conservación del suelo con diversos fines, y es material obligado de consulta en la temática. Otros libros publicados exponen las mismas tesis presentadas por el investigador mencionado, como son los casos de los manuales de conservación de suelos editados en Cuba.

A pesar de lo anterior, se debe destacar que las investigaciones realizadas por el Ingeniero Jaroslav Hylsky, se concretan al suelo laterítico y no tienen en cuenta otros tipos con características distintas, aunque en algunos casos pueden coincidir las formas de manifestarse la erosión, y de todas formas los métodos de estudios se pueden utilizar en casos diferentes.

Es indudable que se ha avanzado considerablemente en el conocimiento de los procesos erosivos. No obstante, en cuanto a las cárcavas todavía se requiere más investigación a medio y largo plazo. La aplicación de la simulación de los procesos de erosión a través de formulaciones matemáticas requiere del reconocimiento visual de campo y región sin el cual será difícil interpretar, e incluso simular, los procesos de degradación de suelo y la erosión histórica, con la finalidad de luchar contra este proceso degradativo en las áreas protegidas, sin embargo, un conocimiento del fenómeno en áreas pequeñas, puede llevar a la aplicación de técnicas adecuadas que resuelvan los problemas de la erosión en cárcavas.

1.2 Marco legal jurídico de las investigaciones geoambientales

En la actualidad en Cuba están vigentes más de 350 disposiciones normativas relacionadas de forma directa o indirecta con la protección y conservación del medio ambiente, entre las que se incluyen leyes, decreto-leyes, decretos, resoluciones, acuerdos y otras denominaciones, muchas de las cuales avalan legalmente las actividades dentro de las áreas protegidas y en particular las relacionadas con el uso y manejo del recurso suelo.

Entre los principales instrumentos jurídicos internacionales relativos al ambiente, de los que Cuba es parte en la actualidad, se tienen más de 90 tratados internacionales, globales, regionales y bilaterales, algunos de los cuales tienen que ver con el tema del trabajo presente, como son: Convención para la protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, de 23-11-1972; Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, de 9 de mayo de 1992; la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la desertificación del 17 de junio de 1994; y la Carta Mundial de los Suelos, aprobada durante el XXI periodo de sesiones de la FAO, celebrada en Roma, en noviembre de 1981, entre otros.

En una certificación expedida en el Palacio de la Revolución a los 14 días de diciembre de 2001, en su Acuerdo Primero se declara al Parque Nacional Alejandro de Humboldt como área Protegida, con la categoría de Parque Nacional y su Acuerdo Tercero designa al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente como administrador de ese área protegida.

En julio de 1997 se aprueba por la Asamblea Nacional del Poder Popular la Ley 81 del Medio Ambiente y con ella, se regulan los instrumentos de política y gestión ambiental, y se establecen las esferas específicas de protección del ambiente, identificándose las acciones pertinentes en cada caso.

La incorporación de lo anterior, conllevó a que en las Disposiciones Transitorias PRIMERA y SEGUNDA de la Ley 81, así como en la Disposición Final PRIMERA, quedaran establecidos los mandatos que determinan la política en materia de derecho ambiental a desarrollar, para garantizar el marco legal adecuado, que contribuya a alcanzar un desarrollo sostenible. En cumplimiento de esta Disposición se elaboró y aprobó el Decreto Ley 201 del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de 1999.

El Decreto-Ley 2001, de 23 de diciembre de 1999 establece los principios generales por los que se rige el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, en el cual se dispone que el Consejo de Ministros y su Comité Ejecutivo, es el órgano encargado de aprobar la declaración de las áreas protegidas y sus zonas de amortiguamiento, a propuesta del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, es por tal razón que en cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 8 del Decreto-Ley, se realizó un proceso de compatibilización de estas áreas a nivel territorial con los órganos, organismos y otras entidades que ejecutan o tienen previsto ejecutar actividades en dichos sitios, o que ostentan responsabilidades estatales o de gobierno al respecto, y la entidad que administra, con lo que se autoriza a cada uno el tipo de actividad que debe y puede realizar.

En el artículo 47 del Decreto-Ley 201 se plantea que el Plan de Manejo de un área incluirá los correspondientes estudios para la conservación, uso sostenible o recuperación de los recursos naturales, lo cual avala el presente trabajo.

En la citada Ley 81 del Medio Ambiente, entre las esferas específicas para la protección del medio ambiente se encuentra el recurso suelo y conforme a su Artículo 90, expone como un objetivo básico de la misma, la conservación y restauración de los suelos y el control de la erosión, sedimentación, entre otros procesos degradantes.

El artículo 106 dispone que las personas naturales o jurídicas, deberán cumplir ineludiblemente, entre otras, las disposiciones siguientes:

Hacer su actividad compatible con las condiciones naturales de los suelos y con la exigencia de mantener su integridad física y su capacidad productiva y no alterar el equilibrio de los ecosistemas.

Adoptar las medidas que corresponda, tendentes a evitar y corregir las acciones que favorezcan la erosión y otras formas de degradación o modificación de las características topográficas y geomorfológicas de los suelos. Realizar las prácticas de conservación y rehabilitación que se determinen de acuerdo con las características de los suelos y sus usos actuales y perspectivas.

Que como se puede observar, son acciones acordes con las que se ejecutan en el desarrollo de la actual investigación y propuesta de manejo.

La Ley 85, o Ley Forestal, de 1998 es otro instrumento legal que ampara el presente trabajo; la misma tiene como objetivos, establecer los principios y las regulaciones generales para la protección, el incremento y desarrollo sostenible del Patrimonio Forestal, conservar los recursos de la diversidad biológica asociados a los ecosistemas forestales, entre otros, y en su Capítulo 2, el Artículo 8 dispone que el CITMA en su carácter de rector, ejerce en cuanto al Patrimonio Forestal funciones como la de realizar acciones para la integración y coordinación de la introducción de los requerimientos para la protección ambiental en los ecosistemas forestales y controlar que las actividades relacionadas con el Patrimonio Forestal en Áreas Protegidas, tengan lugar de conformidad con la categoría y Plan de Manejo aprobados para el territorio.

La producción de bienes y servicios constituye la esencia del sistema de relaciones que le establecen entre la sociedad y la naturaleza, lo que determina que la primera se comporte como generadora de alteraciones en los ecosistemas y, a la vez, como receptor de las consecuencias producidas por las modificaciones antrópicas introducidas en ellos.

La definición de medio ambiente, adoptada en el Artículo 27 de la Constitución de la República y en la Ley N°81 del Medio Ambiente¹, es un concepto amplio e integrador que refleja la interacción sistémica de sus diversos componentes.

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es un PROCESO continuo y dinámico que nos permite determinar, predecir, interpretar, comunicar y vigilar los posibles efectos que un proyecto de obra o actividad puede provocar sobre el medio ambiente y a partir del mismo facilitar a los responsables de tomar las decisiones respectivas al medio ambiente, definir las medidas posibles que eliminen, mitiguen o reduzcan algunos de los efectos negativos y concluye con un programa de vigilancia (programa de monitoreo) como parte integrante del mismo, contribuyendo a regular la utilización racional de los recursos naturales.

Guía general para realizar estudios de impacto ambiental.

Para llevar a cabo el estudio medio ambiental se tomó como referencia lo planteado por Conesa V. en 1996. El cual establece como objetivos principales en este estudio:

1. Definir, física y administrativamente, el área de impacto del proyecto de obra o actividad y los principales asentamientos poblacionales ubicados dentro de la misma, teniendo en cuenta la magnitud y el alcance de los posibles impactos.
2. Describir el estado actual de todos los componentes del medio ambiente, dentro de la zona definida como área de impacto del proyecto de obra o actividad.
3. Identificar todos los actores sociales involucrados en los impactos del proyecto y dentro de este conjunto, definir los actores sociales claves.

4. Caracterizar los actores sociales claves a través del conocimiento que poseen sobre su medio ambiente, el estado de conservación de los principales recursos naturales de la región, los problemas ambientales específicos de la localidad, las relaciones de apropiación con respecto a su entorno local inmediato y su participación en la gestión ambiental del territorio.
5. Identificar, clasificar y describir todos los posibles impactos que puedan derivarse del proyecto de obra o actividad.
6. Analizar e interpretar las relaciones causales que se establecen entre las modificaciones introducidas a partir de la ejecución del proyecto y los diversos componentes del medio ambiente.
7. Predecir y evaluar las transformaciones resultantes de la ejecución del proyecto.
8. Describir la influencia de los impactos directos e indirectos, efectos positivos y negativos, alteraciones reversibles e irreversibles del proyecto en los actores sociales claves.
9. Prevenir los efectos negativos del proyecto, de forma tal que sea posible evitar su corrección posterior.
10. Proponer medidas preventivas, correctoras y de restauración, orientadas a eliminar o atenuar los impactos negativos del proyecto, así como otras encaminadas a la transformación de actitudes y conductas sociales hacia el medio ambiente. Estas medidas serán controladas a través del plan de monitoreo.
11. Proponer alternativas tecnológicas y constructivas factibles para la ejecución del proyecto, ofreciendo elementos de comparación acerca de sus impactos ambientales e incluyendo las variantes de no ejecución y abandono.

Descripción de la línea base ambiental.

Previo a la descripción de la línea base ambiental, se realizará una valoración sobre la historia de las transformaciones ambientales del territorio según Conesa V. en 1996, lo que permitirá analizar la dinámica de los cambios en los componentes del medio, a través de sus modificaciones, espacial y temporalmente minadas, producto de la actividad del hombre.

Caracterización del medio físico:

- Geología:
 - Litología y tipos de rocas.
 - Formación a la que pertenecen y estructura tectónica.
 - Historia geológica.
 - Características geotécnicas y depósitos minerales.
 - Grado de estudio y reservas.
- Geomorfología:
 - Relieve, incluyendo el análisis de pendientes según rangos y su distribución porcentual.
 - Unidades geomorfológicas y balance geomorfodinámico.
 - Características hidrológicas.

En caso de que el proyecto afecte un territorio cárstico, se debe realizar un estudio especial sobre la estructura y funcionamiento de los sistemas acuíferos presentes.

- Suelos:
 - Caracterización de los suelos y su clasificación.
 - Estructura y composición química, física y biológica.
 - Descripción del perfil del suelo.
 - Potencialidades de explotación.
- Clima:
 - Descripción de las condiciones climáticas de la región.
 - Posibles relaciones entre el clima, la calidad del aire y la influencia del proyecto.
 - Mediciones meteorológicas in situ y su correlación con las aportadas por estaciones cercanas al área de interés, en cuanto a:
 - Temperatura, teniendo en cuenta las inversiones térmicas.
 - Vientos, considerando todos los rumbos, velocidad, calmas y turbulencias.
 - Humedad, considerando el número de días con niebla y neblina.
 - Precipitaciones, definiendo su origen y régimen.
 - Insolación.
 - Nubosidad.
 - Evaporación y evapotranspiración
 - Identificación y análisis de los impactos.

Los impactos pueden identificarse mediante la calificación de sus diversas manifestaciones espaciales y temporales. Sus posibles efectos permiten clasificarlos como positivos y negativos. Según su magnitud e intensidad pueden ser directos, indirectos o residuales. Por su duración pueden considerarse reversibles o irreversibles, y aparecer a corto, mediano y largo plazo.

Para la evaluación de los impactos, tradicionalmente, se han empleado diferentes procedimientos metodológicos característicos de las ciencias naturales. Esta guía sugiere la integración adecuada de técnicas cualitativas y cuantitativas, propias de la investigación social, al análisis de los impactos ambientales. La aplicación diferenciada de las técnicas depende de las características específicas de cada proyecto y del criterio de los especialistas que realizan el estudio.

1.3 Descripción del medio geológico del Parque Alejandro de Humboldt.

El Parque Nacional “Alejandro de Humboldt” (Figura 1.1) cubre parte de dos de las provincias más orientales del país: Holguín (municipios Sagua de Tánamo y Moa) y Guantánamo (municipios Yateras, Baracoa, y Guantánamo). Tiene una superficie de 70 680 ha, de las cuales 2 250 ha corresponden a la parte marina y las restantes son terrestres (Zabala et al, 2000).



Figura 1.1. Ubicación geográfica del sector de estudio.

Este Parque constituye el área protegida estricta (Categoría II de la UICN) más importante de Cuba en términos de biodiversidad, destacándose la misma no sólo por poseer los mayores niveles de riqueza de especies y endemismo del país, sino también por ser el remanente más grande de los ecosistemas montañosos conservados de Cuba. En el año 2001, el Parque fue declarado por la UNESCO como “Sitio de Patrimonio Mundial de la Humanidad” y además constituye el núcleo principal de la Reserva de Biosfera Cuchillas del Toa.

Geología.

En el área están presentes extensos afloramientos de rocas de las secuencias ofiolíticas representadas por peridotitos con textura de tectónitas, cúmulos ultramáficos, diques de diabasas, y niveles efusivos sedimentarios (Figura 1.2). Un rasgo geológico importante de la región lo constituye precisamente el desarrollo de la asociación ofiolítica, sin embargo el grado de conocimiento científico actual del complejo ofiolítico cubano sigue siendo insuficiente.

Una formación presente en el área es la Formación Sabaneta (de edad Eoceno Inferior-medio), la cual está compuesta por tobas ácidas, vidrio volcánico, calizas, margas, tufitas, y aleurolitas.

La Formación Castillo de los Indios (del Eoceno Medio al Eoceno Superior parte baja) está compuesta por tobas ácidas, con predominio de las variedades vitroclásticas y litovitroclásticas. Los fragmentos de las tobas vitroclásticas son de vidrio volcánico algo alterado. Muy ampliamente distribuidas en esta formación se encuentran las calizas, margas, tufitas, y aleurolitas de grano fino.

La Formación Jutía (Holoceno) también se encuentra en el Parque, y forma parte de la zona costera (franjas transgresivas litorales) compuestas por sedimentos no consolidados, friables, y fragmentarios, como aleurolita calcárea y organodetríticas. Es evidente la presencia de formaciones como Boquerón ubicada hacia el Noroeste, Gran Tierra situada al Suroeste de la región, La Farola localizada en al Sureste, Miranda presente en el Suroeste y San Luís ubicada en Suroeste, así como la presencia de rocas magmáticas que son significativas en el área de estudio ya que son las más predominantes.

Boquerones, Formación. (bq)

Autores: G. Millán y M. L. Somin, 1985a.

Referencia original: Contribución al conocimiento geológico de las metamorfitas del Escambray y del Purial. Rep. Inv. Inst. Geol. Paleont., Acad. Cienc. Cuba, (2):1-74. Origen del nombre: Proviene de la localidad de Boquerones, situada a unos 3 km del lado oriental de la presa Hanabanilla, en el extremo septentrional de la Sierra de Trinidad, provincia de Villa Clara.

Sinonimia: Schist formation (parte) (A.Thiadens, 1937a), Schists formation (parte) (R.H.Palmer, 1945).

Area tipo: Extremo septentrional del macizo del Escambray, provincia de Villa Clara.

Litología diagnóstica: Mármoles esquistosos y esquistos calcíticos, ricos en grafito y mica blanca, con restos fragmentados de calizas dolomíticas negras y muy fina con muchos moldes de radiolarios.

Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre la Fm. Herradura. Su sobreyacente se desconoce.

Edad: Probablemente Jurásico Superior.

Espesor: Supera los 100m.

Gran Tierra, Formación. (gt)

Autor: M. Iturralde, 1975.

Referencia original: Geología del cuadrante Calabazas sur, Mayarí Arriba, Oriente. Trabajo de Diploma. Filial Minero-Metalurgica (inédito).

Redescripción: D. P. Coutin en: E. Nagy et al., 1976.

Origen del nombre: Proviene del poblado Gran Tierra, provincia de Santiago de Cuba.

Sinonimia: Mbro. La Vuelta (parte) (J.L.Cobiella, 1973).

Establecido por P. Gyarmati y J. Leyé O'Connor.

Distribución geográfica: Se desarrolla en forma de pequeñas franjas en las provincias de Holguín, Guantánamo y Santiago de Cuba.

Litología diagnóstica: Calizas brechosas, conglomerados vulcanomícticos, brechas, margas, tobas, calizas organo-detriticas, areniscas vulcanomícticas de cemento calcáreo, limolitas y tufitas.

Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre la Fm. Mícará y discordantemente sobre las formaciones Santo Domingo y Sierra Verde. Está cubierta concordantemente por la Fm. Sabaneta.

Correlación: Es correlacionable con la Fm. Mercedes de Cuba Occidental y en parte con las formaciones Cocos y Santa Clara de Cuba Central.

Edad: Paleoceno Inferior (Daniano).

Ambiente de sedimentación: Se depositó en un ambiente marino de profundidades medias.

Espesor: Aproximadamente 200 m.

San Luís, Formación. (sl)

Autor: S. Taber, 1934.

Referencia original: Sierra Maestra of Cuba, part of the northern rim of the Bartlett Trough. Bull. Geol. Soc. Amer., 45:567-619.

Redescripciones: K.Brezsnyánsky en: E.Nagy et al., 1976.

Origen del nombre: Proviene del pueblo de San Luis, provincia de Santiago de Cuba.

Area tipo: Región de San Luis, provincia de Santiago de Cuba.

Litología diagnóstica: Areniscas polimícticas, limolitas, margas, arcillas, calizas arcillosas, calizas biodetríticas, calizas arenosas y conglomerados polimícticos. Se encuentra bien estratificada. En dirección hacia la parte superior del corte se observa un aumento de la cantidad del material clástico. Se encuentra cortada por diques y cuerpos de basalto. Sus depósitos aparecen ligeramente plegados.

Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre las formaciones Charco Redondo, El Caney, Farallón Grande y Puerto Boniato y discordantemente sobre las formaciones Sabaneta, San Ignacio, Sierra del Purial y el Gr. El Cobre (parte indiferenciada). Está cubierta concordantemente por la Fm. Camarones con la cual transiciona lateralmente también y discordantemente por las formaciones Cabacú, Cauto, Río Maya y los grupos Guacanayabo (formaciones Manzanillo, Sevilla Arriba y el Mbro. Rolanda de la Fm. Cabo Cruz), Guantánamo (Fm. Yateras y los miembros Baitiquirí de la Fm. San Antonio; Gobernadora de la Fm. Maquey; Guardarraya y Yacabo de la Fm. Punta Imías) y Nipe (formaciones Bitirí y Camazán).

Edad: Eoceno Medio parte alta- Eoceno Superior.

Ambiente de sedimentación: Inicialmente la sedimentación ocurrió en aguas marinas profundas, finalizando aquella en aguas de mediana a poca profundidad.

Espesor: 700m.

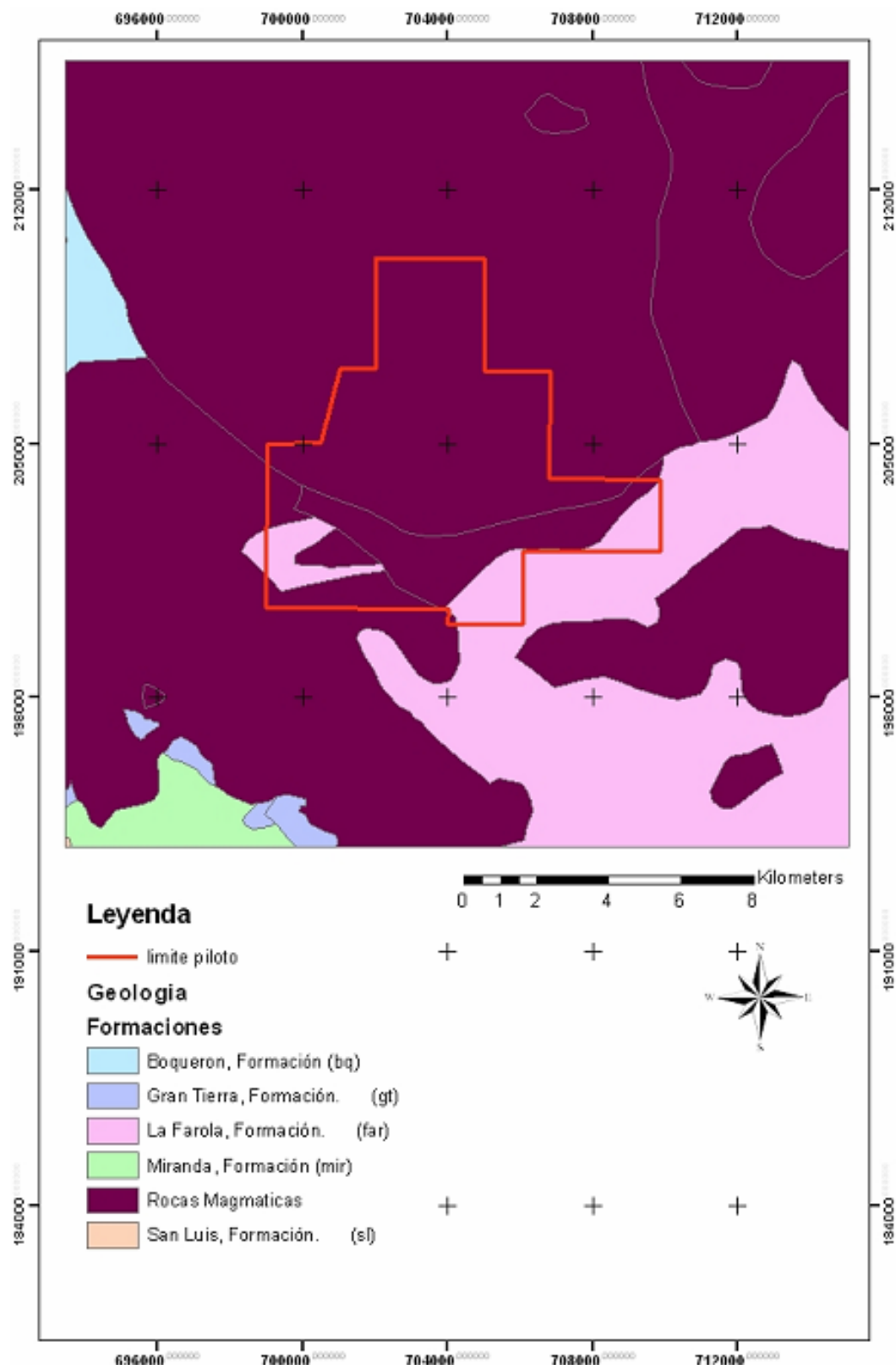


Figura 1.2. Mapa geológico del sector de estudio.

Complejo ofiolítico.

Las rocas que predominan en la asociación ofiolítica son ultramáficas, las que aparecen serpentinizadas en mayor o menor grado, asociadas a gabros, diabasas y basaltos, que en su conjunto forman la asociación ofiolítica.

Los contactos observados con las estructuras circundantes son tectónicos. Estas estructuras son complicadas debido al clásico emplazamiento que presentan, estando afectadas por dislocaciones plicativas y disyuntivas.

Los complejos que mencionaremos a continuación son representativos de las secuencias pertenecientes a la asociación ofiolítica.

1. *Complejo ultramáfico*
2. *Complejo máfico cumulativo*
3. *Complejo de diques paralelos o de diabasas*
4. *Complejo efusivo.*

El complejo ultramáfico es de composición heterogénea, con evidente predominio de las harzburgitas y en menor cantidad lherzolitas y piroxenitas.

Por su parte, el complejo máfico cumulativo está representado de abajo hacia arriba por troctolitas, gabros olivínicos, noritas, anortositas, y gabros normales de diferentes granulometrías. Los cuerpos de gabroides presentan estructuras en forma de grandes bloques, aunque la mayoría de los cuerpos están incluidos en el complejo ultramáfico. En el complejo Moa-Baracoa están representados dos tipos de gabros que se ubican hacia la parte superior, los cuales son del tipo bandeado y masivo, a los que se asocian cromitas y otros tipos de mineralizaciones dispersas.

Relieve.

La compleja evolución geológica y geomorfológica (Figura 1.3) ha dado lugar a la existencia de varios tipos de relieves donde se destacan las llanuras litorales aterrazadas; los valles y cañones fluviales encajados; las colinas bajas y altas; las alturas tectónico-erosivas; los picos tectónico-erosivos; y un elemento distintivo, las cuchillas tectónico-erosivas.

Las altitudes varían desde el nivel del mar hasta los 1 109 m en el Pico El Toldo, el punto culminante del Parque. Sobre estos tipos de relieves se han desarrollado un gran número de formas, incluyendo entre ellas el pseudocarst sobre rocas ultrabásicas, que no se encuentra en ningún otro sitio de Cuba.

En el sistema cársico sobre las rocas calizas presentes en los Farallones de Moa, se han originado formas como dientes de perro y, también, la gran caverna de los Farallones de Moa, declarada por la Comisión Nacional de Monumentos como "Patrimonio Natural Local."

El área está formada principalmente por montañas ubicadas de forma generalizada en toda la región de estudio, aunque es importante destacar que hacia noreste y noroeste se localizan alturas y llanuras.

Clima.

El clima de los dos sectores más orientales está clasificado como Tropical Lluvioso Típico, incitado por su ubicación geográfica en la porción nororiental del territorio y más próximo a la costa; y por los vientos alisios, que al interactuar con el relieve resulta en altas precipitaciones.

Los sectores más occidentales presentan condiciones intermedias entre el clima tropical lluvioso y el clima tropical de sabana (clasificación según Köppen, 1991); por encontrarse situados más al sur, los vientos llegan menos cargados de humedad. El número de días con lluvia en el año es muy elevado, presentando un promedio que oscila entre 180 y 240 días al año. Las lluvias generalmente son ligeras. La frecuencia de lluvias intensas es muy baja (especialmente en los sectores Baracoa y La Melba), sin embargo en los sectores Ojito de Agua y Cupeyal del Norte disminuye el número de días con lluvias pero es más frecuente la ocurrencia de lluvias intensas.

La ocurrencia de precipitaciones casi diarias en los sectores de Baracoa y La Melba impide que las temperaturas bajen considerablemente. Las temperaturas mínimas y medias son relativamente elevadas debido al calor latente de condensación que evita el enfriamiento excesivo. Por esto, las temperaturas en los sectores Ojito de Agua y Cupeyal del Norte son más bajas que en los otros sectores mencionados anteriormente. La diferencia en temperatura entre los meses más fríos (enero y febrero) y los más cálidos (julio y agosto) oscilan entre 4° y 5°C. Los vientos que más afectan esta área son provenientes del noreste con velocidades de entre 11 y 20 km/h, e incluso entre 21 y 30 km/h en las elevaciones más altas. Motivado por las irregularidades del relieve se puede observar mucha calma en las depresiones y cambio de dirección por efecto de los cañones y otras formas del relieve. Por esto, existen sitios con fuertes ráfagas de vientos y otros con calma permanente.

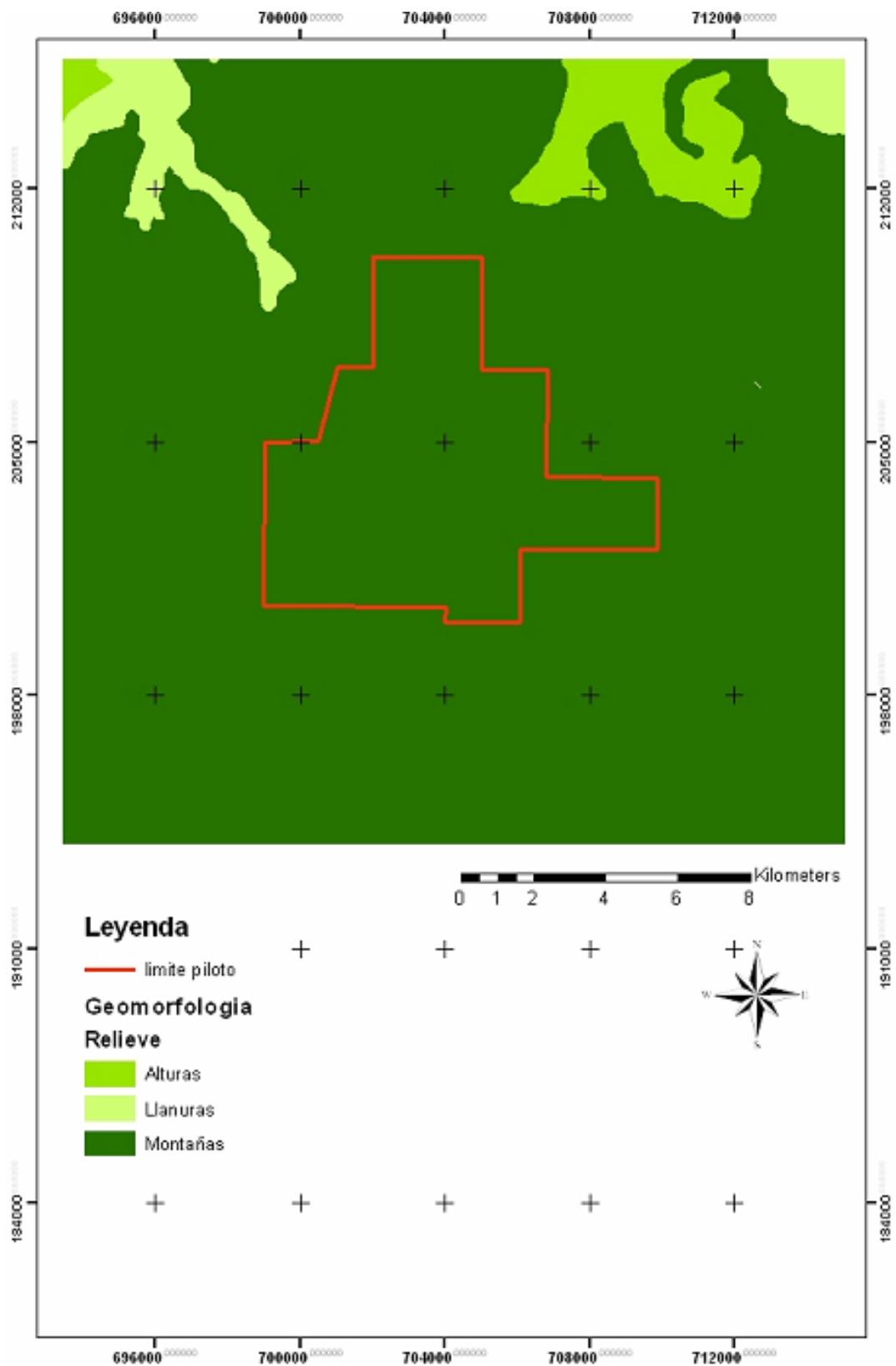


Figura 1. 3. Mapa geomorfológico del sector de estudio.
Hidrología.

La influencia de los vientos alisios y el relieve provocan la caída de abundantes lluvias en el Parque. Estos factores han propiciado la existencia de una rica red hidrográfica representada por 7 cuencas de primer orden, y 15 cuencas de segundo orden (Figura 1.4). En estas hay un gran número de asentamientos humanos dedicados a actividades socioeconómicas como forestales, agrícolas, y mineras, afectando la integridad y el buen funcionamiento de la red hidrográfica.

Las cuencas hidrográficas de primer orden son las de los ríos Toa, Sagua, Moa, Jiguaní, Nibujón, Santa María, y Taco. La cuenca del río Toa es una de las siete cuencas hidrográficas con prioridad a nivel nacional, y su nacimiento se encuentra en el sector Cupeyal del Norte, en la parte más occidental del Parque.

La orientación del cauce del río Toa es de oeste a este, e incluye las subcuencas Jaguaní, Naranjo, Quiviján y otras más pequeñas, con una extensión de 1 061 km². Esta región es la de mayor alimentación pluvial de Cuba, y se extiende por los municipios Yateras, San Antonio del Sur, y Baracoa, con una superficie de 130 km².

Las cuencas hidrográficas de segundo orden son las de los ríos Jaguaní, Castro, Macaguanigua, Yarey, Piloto, Jaragua, Riíto, Arroyo Prieto, El Toro, Calentura, Limones, El Naranjo, Mal Nombre, Palmarito, y Jucaral.

Se localizan 10 cuencas hidrográficas. Ubicadas al Norte Arrollo Punta Gorda, cuenca Jiguani, cuenca Yagrumaje y cuenca Cayo Guama. Ubicadas al noreste se encuentran cuencas Quesigua, cuenca Yamanigüey y cuenca Cupey. Al noroeste se localiza la cuenca Moa, al Este cuenca Jiguani y al Sur la cuenca Toa, siendo estas últimas las más significativas en el área de estudio.

Suelos.

Existen 10 tipos y 15 subtipos de suelos dentro del Parque, según la clasificación de Hernández et al. (1994). A continuación detallamos algunas características de los tres principales tipos.

Suelo Ferrítico Púrpura; Concrecionario (IB) Este suelo se encuentra situado en la parte norte del Parque, perteneciente casi en su totalidad a la provincia de Holguín. Cubre un área de 26 238 ha, y su pendiente predominante es alomada (16.1-30.0%, con una mínima de 8.1-16.0%). La erosión es fuerte, a causa de la topografía accidentada, y el tipo de arcilla (caolinita) del suelo, además del drenaje superficial que es excesivo, lo que provoca un fuerte arrastre de sedimento hacia la pendiente. El drenaje interno (la absorción) es moderado. La profundidad promedio de este suelo es de 53 cm y se evalúa como medianamente profundo. El contenido de materia orgánica en el primer horizonte es mediano (4.0%), y bajo (2.0%) en el horizonte B.

Suelo Ferralítico Rojo; Típico (IIA) Este tipo de suelo cubre una extensión de 10 529 ha, diseminado por todo el área del Parque en la zona de la provincia de Guantánamo. Predominan las pendientes alomadas y la erosión es severa, agravada por las abundantes precipitaciones de la zona. Son suelos de muy profundos a profundos, medianamente humificados.

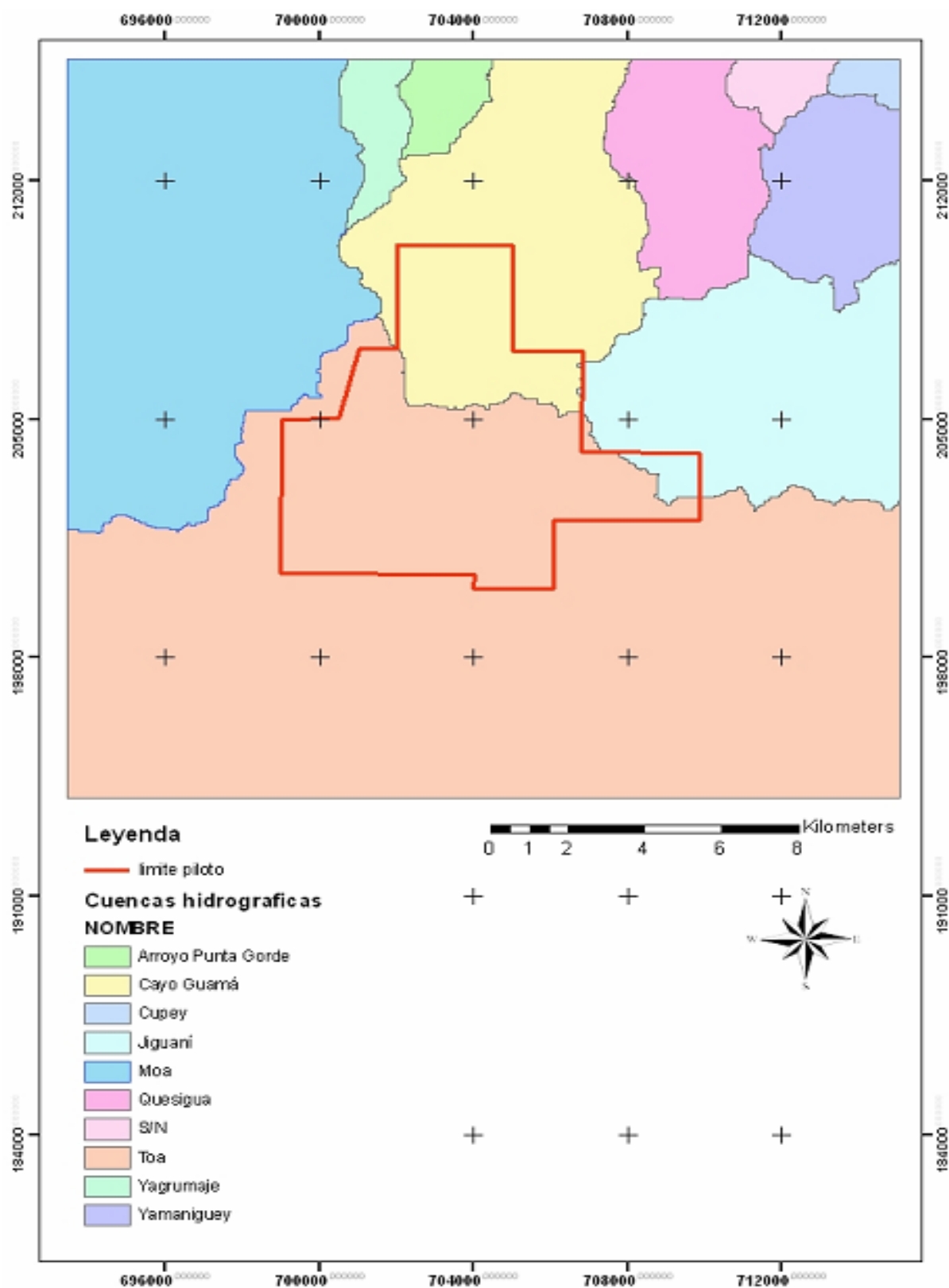


Figura 1. 4. Mapa de cuencas hidrográficas del sector de estudio.

El contenido de piedras y rocas es bajo, con 0.81% y 1.20% respectivamente. En general, el drenaje es normal, debido a la topografía predominante alomada (16-30%); el drenaje superficial es excesivo y la absorción es buena. La presencia de materia orgánica es evaluada como pobre en los dos primeros horizontes (<3.0%), disminuyendo con la profundidad. Los índices agroquímicos como son la disponibilidad del fósforo (P₂O₅) y del potasio (K₂O) asimilables, disminuyen con la profundidad, calificándose de muy bajo (<15%) y de baja fertilidad.

Suelo Esquelético; Natural (XXVIIIU) Este tipo de suelo ocupa un área de 7 461 ha y está diseminado por todo el Parque. Se encuentra principalmente en las colinas (con pendientes del 16.1 al 30.0%), pero también se encuentra en pendientes de más del 60%. A causa de las fuertes pendientes que poseen estos suelos, y ayudado por el drenaje superficial excesivo, la escorrentía de las aguas ha logrado arrastrar casi en su totalidad la escasa capa de suelo que se ha formado por los agentes atmosféricos. La erosión de estos suelos es muy fuerte.

Unidades de paisajes.

En el Parque encontramos dos unidades paisajísticas fundamentales (llanuras y montañas) con varias sub-unidades que describimos a continuación. Esta clasificación sigue el sistema de Acevedo (1996).

Llanuras.

Llanuras muy húmedas (>2 000 mm de precipitación anual) 01 Llanuras litoral-fluvio-marina-abrasivo-acumulativa aterrazadas muy húmedas, sobre tobas, lavas, calizas pizarrosas, aglomerados, fangos, turbas, dunas, arenas y aluvios; suelos pardos con y sin carbonatos, ferralítico rojo, aluvial y cenagoso; pendientes de 0.5 a 30% de inclinación; vegetación de costa rocosa, arenosa, manglares, bosques siempre verde, y vegetación cultural.

Montañas.

Montañas muy húmedas (>2 000 mm de precipitación anual) 01 Valles fluvio-acumulativos encajados, sobre serpentinitas, gabros, lavas, tobas, calizas pizarrosas, aglomerados y esquistos; suelos ferríticos púrpura, fersialítico rojo, ferralítico rojo amarillento, pardo sin carbonato, y esquelético natural; pendientes de 16 a 60% de inclinación; vegetación de matorral, pinar, y bosque pluvial.

Cañones fluviales erosivo-denudativos encajados, sobre serpentinita, gabros, lavas, tobas, calizas pizarrosas, aglomerados, y esquistos; suelos ferrítico púrpura, fersialítico rojo, y pardo sin carbonato; pendientes de 0.5 a 60% de inclinación; vegetación de bosque pluvial, pinar, y secundaria.

Colinas bajas tectónico-erosivo-denudativas, sobre serpentinita, gabros, lavas, tobas, calizas pizarrosas, aglomerados y margas; suelos ferrítico púrpura, ferralítico rojo, pardo con y sin carbonatos; pendientes de 16 a 45% de inclinación; vegetación de matorral, bosque pluvial, pinar, secundaria, y cultural.

Colinas altas tectónico-erosivo-denudativas, sobre aglomerados y esquistos; suelos ferrítico púrpura, fersialítico rojo, ferralítico amarillento, pardo sin carbonato, y esquelético natural; pendientes de 8 a 60% de inclinación; vegetación de matorral, pinar, bosque pluvial, y secundaria.

Alturas tectónico-erosivas, sobre serpentinitas, gabros, tobas, lavas, calizas pizarrosas, aglomerados y esquistos; suelos ferrítico púrpura, fersialítico rojo, ferralítico rojo amarillento, pardo sin carbonato, y esquelético natural; pendientes de 16 a 45% de inclinación; vegetación de bosque pluvial, y pinar.

Pendientes de enlaces tectónico-erosivas, sobre serpentinita, gabros, tobas, lavas, calizas pizarrosas, aglomerados y esquistos; suelos ferrítico púrpura, fersialítico rojo, pardo sin carbonato, y ferralítico amarillento; con 16 a 60% de inclinación; y vegetación de bosque pluvial, pinar, cultural.

Altiplanos tectónico-erosivos bajos, sobre serpentinita; suelos ferrítico púrpura y fersialítico rojo; fuertemente inclinados (16 a 30%); vegetación de bosque pluvial esclerófilo.

Altiplanos tectónico-erosivos altos, sobre serpentinita; suelo ferrítico púrpura; pendientes ligeramente a moderadamente inclinadas (4 a 16%); vegetación de pinar y bosque pluvial esclerófilo.

Picos tectónico-erosivos, sobre serpentinita; suelos ferríticos púrpura, y esquelético natural; de fuertemente a muy fuertemente inclinado (6 a 45%); vegetación de charrascal.

Vegetación.

La clasificación de la vegetación es un proceso dinámico, que se modifica en función del avance de los conocimientos. Además, depende de la percepción y los criterios del investigador, y por ello, siempre es difícil aunar criterios. La formación vegetal es la percepción sensorial de un tipo de vegetación delimitado principalmente por la fisionomía, y que depende de la organización espacial conferida por las formas biológicas de los predominantes. Tiene en cuenta también criterios florísticos, climáticos, edáficos, biogeográficos, paleohistóricos, antropogénicos, y catenales (Rivas-Martínez 1995). Con este concepto se realizó este estudio.

Debido a la evolución paleogeográfica de las montañas de Moa y Baracoa, a su gran antigüedad, a haber sido el primer lugar donde evolucionó la flora serpentínicola y montana de Cuba (Borhidi 1991, 1996; López et al. 1994; Reyes 1994), y a la gran cantidad de ambientes (gran pluviosidad, montañas ofiolíticas, gran variedad de ecótopos, etc.), este territorio constituye la zona con mayor biodiversidad del archipiélago cubano, incluso, con muchos taxones y comunidades vegetales estrictas.

Formaciones vegetales.

Pluvilsilva. Tiene rasgos fisionómicos muy peculiares. Las hojas no forman planos horizontales, sino tienen una inclinación con dicho plano de alrededor de 45°, lo que produce un aspecto característico. Ello ya fue observado por Leigh (1982) en otras vegetaciones montanas. Las plantas son fundamentalmente micrófilas y esclerófilas, y muchas de ellas con hojas gruesas.

El estrato arbóreo tiene entre 12 y 20 m de altura y una cobertura actual (debido a la antropización) entre 20 y 30%. A su vez, dicho estrato es muy pobre en especies. Las constantes y más abundantes son *Bonnetia cubensis* (Theaceae), y una ecomorfosis ofiolítica del *Pinus cubensis* (Pinaceae), en que las agujas son más duras y arracimadas que el fenotipo típico (Reyes 1978).

Matorral de galería. En la zona directamente influenciada por las grandes crecientes de los ríos y arroyos de la parte central del Parque, hay una comunidad característica. Se estudió principalmente entre La Melba y el río Los Lirios, es decir, en rocas del complejo metamórfico, y en la zona de mayor pluviosidad de Cuba. Generalmente se presenta un sólo estrato, el herbáceo, con dos sub-estratos. El más importante es el inferior, que tiene entre 10 y 15 cm de altura, y cubre entre 60 y 90%.

Herbazal de humedal. Se presenta en lugares donde la profundidad del agua permite el enraizamiento y desarrollo de algunas plantas. En esta zona está constituido por pequeños cayos aledaños al manglar. Las especies dominantes son *Typha domingensis*, *Eleocharis interstincta* (Cyperaceae), y *Acrostichum aureum* (Pteridaceae).

Herbazal de galería. Se halla en las orillas de algunos ríos, frecuentemente donde fue destruido el bosque de galería. En las orillas de los ríos Toa y Jaguaní son frecuentes cayos de *Gynerium sagittatum* (Poaceae), y en otros lugares son de *Cyperus alternifolius* (Cyperaceae).

Herbazal halófito. Está constituido por pequeñas áreas en las zonas periféricas de los manglares, donde la salinidad impide el desarrollo de los mismos. La especie principal es *Batis maritima* (Bataceae).

Vegetación cultural. La vegetación cultural es la que se produce por la acción antrópica directa, y que se mantiene debido a la intervención continua del hombre. Está constituida por los diferentes cultivos puros y sus mezclas (conucos). Los más extensos son los pastos (con árboles, y/o arbustos, y/o palmas) que se presentan en los alrededores de la confluencia de los ríos Naranjo y Toa; los cultivos en Cayo Verraco; y los Cocales en la parte norte. Además hay pequeños conucos en otras partes del Parque. Anteriormente se hicieron plantaciones de latifolias mixtas, de latifolias puras, y de *Pinus cubensis*.

Vegetación secundaria. La vegetación secundaria es la que se desarrolla naturalmente, después de la destrucción de la vegetación primaria. Generalmente conforma estadios sucesionales, por lo que debido a su gran cantidad y diversidad es preferible usar términos como “bosques, matorrales, y herbazales secundarios en ecótopos de bosque siempre verde” (o en ecótopos de pluvisilvas, pinares, etc.). Sin embargo, hay algunos estadios que aunque ocupan pequeñas extensiones son muy típicos, como los helechales (especies de *Nephrolepis*) y el herbazal arborescente (de *Cyathea arborea*), por lo que se considera que deben ser individualizados en el esquema de clasificación de la vegetación.

Principales amenazas en el sector.

- Alteración por tala de la pluvisilva submontana sobre suelos de mal drenaje, al norte de La Melba.
- La alteración de la vegetación por el fuego, y por la minería (toma de muestras) en El Toldo.
- Zonas agropecuarias considerables en Santa María-Nibujón, Cayo Berraco, y la parte baja de la cuenca del río Naranjo, para lo cual se destruyó la vegetación autóctona.
- Chapea de los estratos arbustivo y herbáceo en los pinares entre los ríos Macaguanigua y Nibujón, por lo que se han producido severas alteraciones en la composición florística de dichos estratos.
- Plantaciones de *Pinus cubensis* y otras latifolias desconociendo el origen de las semillas, por lo que pueden alterar el banco genético de algunas especies nativas del Parque.
- Existencia de especies exóticas (no-cultivadas) en algunas áreas del Parque, que pueden desplazar la vegetación autóctona.
- Insuficiente conocimiento de los valores de la biodiversidad por parte de la población aledaña al Parque.

Sismicidad.

Los eventos sísmicos mayores en la región del caribe se encuentran hacia el este y están asociados principalmente con zonas de subducción y límites transformantes entre las placa caribeña y norteamericana. La placa de Norteamérica buza de este a oeste por debajo de la placa caribeña a lo largo de una línea norte-sur, al este del arco de islas. Esto provoca niveles moderados de sismicidad interplaca. Hay acumulaciones de terremotos en algunos sitios, como las islas Leeward, pero son eventos someros. En la región noroeste, hacia la isla Trinidad, hay concentraciones de sismos donde la dirección del límite de placa cambia y se desarrollan a profundidades intermedias. No obstante, hay actividad manifiesta relacionada con el oriente cubano en el sur asociada con la falla Bartlett y al norte con la zona de sutura Sabana (figura 1.4). En relación al grado de amenaza sísmica a nivel regional, se considera con niveles medios a altos con valores de aceleración pico del terreno superior a 2 m/s^2 (Figura 1.5). Los niveles de sismicidad en la mayor parte del Caribe se consideran de moderados a severos.

El territorio de la región oriental cubana, y fundamentalmente su margen suroriental, limita con la zona de sutura de interacción interplacas Caribe - Norteamericana, a lo largo de la fosa profunda de Bartlett, eje principal de la endogénesis del Caribe septentrional, siendo la causa de la frecuente afectación sísmica de esta región. Algunos de ellos, de gran fuerza destructora, han afectado en varias ocasiones la ciudad de Santiago de Cuba, al Suroeste del territorio de Moa, desde su fundación como Villa en 1514.

Debido a la complejidad de la geología y la tectónica de Cuba, dentro de la región del Caribe, la sismicidad presenta dos génesis diferentes: la primera asociada a la frontera entre las placas Norteamericanas y Caribe. Es aquí, donde ha ocurrido el mayor número de sismos, incluyendo los de mayores magnitudes hasta el momento. A este tipo de sismicidad en la práctica sismológica se le llama: “de entreplacas”.

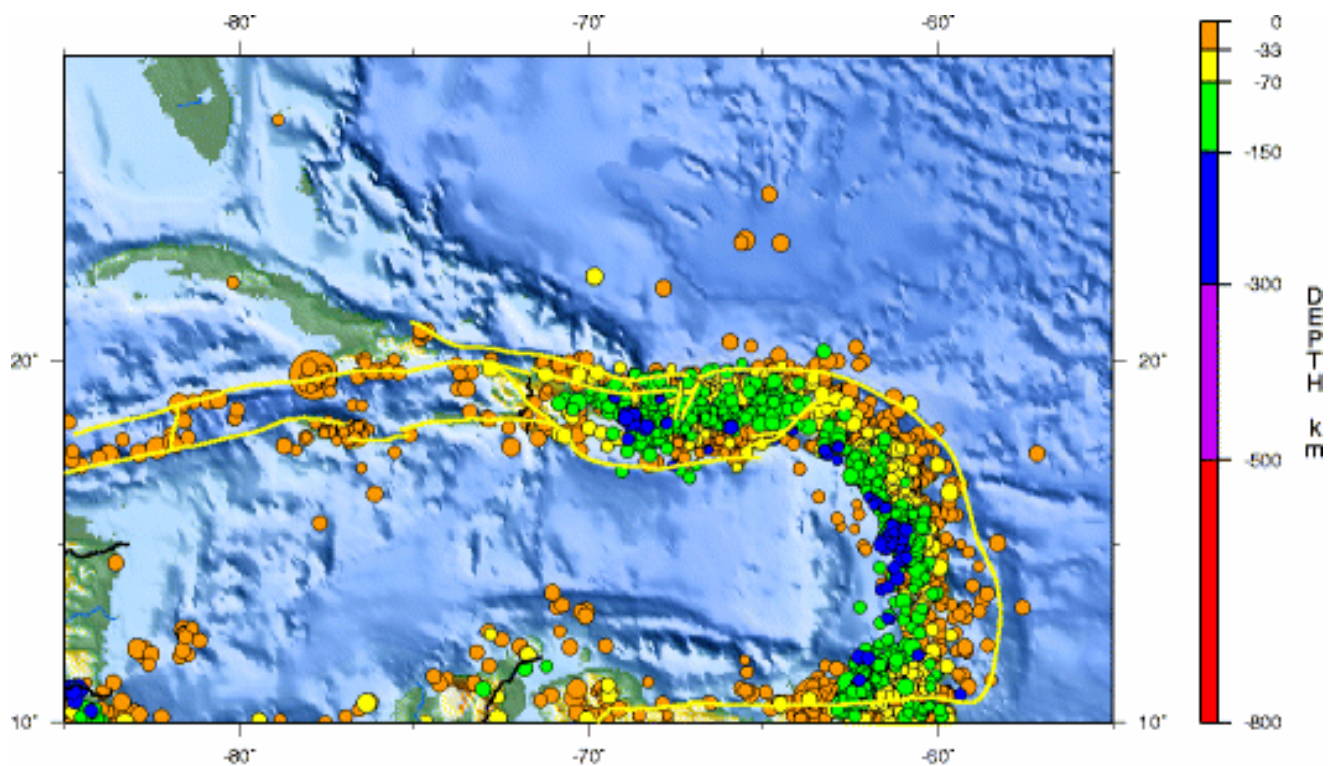


Figura 1.5. Sismicidad en la región del Caribe. (Tomado de <http://earthquake.usgs.gov/regional/world/caribbean/seismicity.php>)

Al segundo tipo de sismicidad, llamada “de interior de placas”, pertenecen los eventos asociados a estructuras geológicas de menor orden, distribuidas a lo largo del territorio nacional, aunque éstas presentan una frecuencia menor de ocurrencia de eventos. La poca profundidad de los hipocentros de los terremotos que originan, provocan daños considerables.

La región de estudio se encuentra localizada al Noreste de la parte oriental de la Isla, la correspondiente al extremo oriental de la provincia Holguín y norte y noreste de la provincia Guantánamo, en lo que podría llamarse una zona de transición entre el límite sur de la placa Norteamericana y los territorios de Cuba pertenecientes al interior de la misma. Esto conlleva a que se presente una sismicidad moderada (Cotilla et al., inédito) (Figura 1.6), debido a la influencia de la principal zona sismogeneradora de Cuba (falla Bartlett - Caimán) y de estructuras de menor orden como la Cauto - Nipe, la Cauto - Norte y la parte oriental de la Norte - Cubana.

En el catálogo macrosísmico de la provincia de Holguín (Chuy, 1982), se evidencia, que a una gran parte de los estremecimientos reportados (incluyendo los más fuertes), no se les puede asociar su epicentro dentro de los límites de la provincia, ubicándose los mismos en zonas de mayor potencial sismotectónico, casi siempre Bartlett - Caimán o la porción oriental de la Norte - Cubana (Sabana).

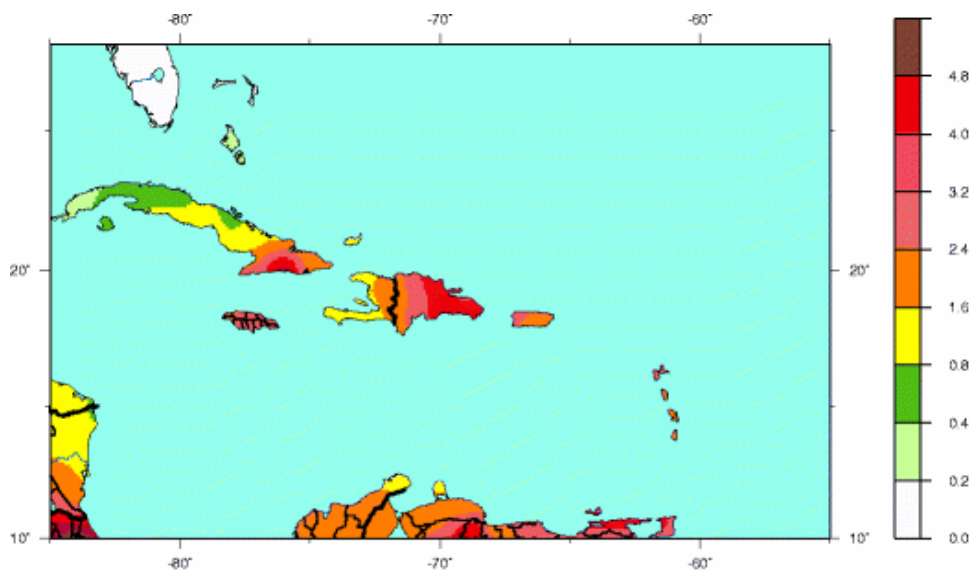


Figura 1.6. Amenaza sísmica. Aceleración pico para un 10% de probabilidad en un periodo de recurrencia de 50 años. (Tomado de <http://earthquake.usgs.gov/regional/world/caribbean/gshap.php>)

Sin embargo, localidades como Gibara y Sagua de Tánamo, en las que la mayoría de los eventos que se reportan, se pueden considerar asociados a una actividad local, atestiguan que existe una actividad sísmica propia, asociada a zonas sismogeneradoras de menor potencialidad ubicadas en la provincia y no estudiadas en profundidad hasta estos momentos. Los primeros reportes de estremecimientos producidos por terremotos archivados en los fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAI), se remontan en la segunda mitad del siglo XIX, cuando el terremoto ocurrido el 20 de agosto de 1852, con $I_{max} = IX$ grados (escala MSK) en la ciudad de Santiago de Cuba, provocó intensidades de entre VI grados en la localidad de Moa.

El análisis histórico de la sismicidad en Santiago de Cuba, antes del año 1852, reveló la existencia de al menos una decena de terremotos, que provocaron Intensidades entre VI y IX grados en la escala MSK, de acuerdo a las leyes de atenuación de este parámetro para la zona (Alvarez y Chuy, 1985; Rodríguez, 1996 y García, J., comun. pers.) y teniendo en cuenta que la región nororiental (Mayarí – Moa - Baracoa) se encuentra a unos 70-75 kilómetros de la costa suroriental, es muy probable, que la mayoría de ellos, hayan provocado estremecimientos de entre IV y VII grados en la escala MSK.

Por otra parte, es necesario destacar, que en esta última década ha habido un notable incremento en la ocurrencia de eventos perceptibles en la región, los cuales no han ocasionado daños de consideración, pero atestiguan una actividad sísmica creciente en la región oriental, que se debe ser considerada en caso de cálculos ingenieriles de construcciones sismorresistentes.

No obstante la frecuente sismicidad de la región suroriental, en los últimos años se ha activado la región de Moa y sus acuatorias septentrionales. El 28 de diciembre de 1998 ocurrió un sismo de magnitud 5,4 en la escala Richter. Desde esta fecha hasta el 4 de julio de 1999 ocurrieron 437 terremotos, de ellos 19 perceptibles; y en el período comprendido entre los días 5 y 16 de julio, se registraron 859 terremotos, de los cuales 16 fueron perceptibles, que considerándolos como un solo ciclo de actividad sísmica suman 1 296 terremotos con 35 perceptibles (CESIGMA, 2000). Las magnitudes de los terremotos posteriores al 5 de julio están por debajo de los 3,7 grados Richter, y sus localizaciones más al Sur de los ocurridos en la primera etapa. Las investigaciones realizadas por el CENAIIS descartaron la existencia de sismicidad inducida por la presa Nuevo Mundo.

Esta actividad sísmica se comportó como una serie de terremotos con liberación cíclica de baja energía, con una magnitud semejante y una gran cantidad de eventos, cuyo origen es de carácter tectónico, estando concentrada junto a la falla Miraflores, límite de los bloques morfoestructurales de Miraflores y Moa. La orientación predominante de los epicentros es NE-SW, lo cual se refleja notablemente en la localización de los sismos perceptibles.

Por otra parte, los registros instrumentales de la red internacional, que permiten obtener una cobertura uniforme de la sismicidad para esta región, están disponibles desde comienzo de este siglo, con un nivel de detección siempre ascendente, según aumentaban el número de estaciones y la calidad de los instrumentos utilizados. En la actualidad, para la región esta red garantiza el registro de todos los eventos con magnitud mayor que 4 en la escala de Richter. Los eventos con magnitud menor que ésta, deben ser registrados por redes regionales o locales.

1.4 Procesos geodinámicos.

Meteorización.

Es el fenómeno físico-geológico más importante en el área de estudio. Está vinculado con la formación de potentes cortezas lateríticas sobre rocas ultrabásicas y básicas. Las condiciones climáticas, geomorfológicas, tectónicas y características mineralógicas de las rocas existentes favorecieron los procesos de meteorización química del medio.

Movimientos de masas.

Este proceso está vinculado a los movimientos de laderas naturales y taludes generados por el proceso minero extractivo. Los mecanismos de rotura y las tipologías de los movimientos de masas desarrollados en las cortezas residuales, están condicionados por las características estructurales del macizo rocoso, aunque en las zonas de desarrollo de cortezas redepositadas, las condiciones geotécnicas de los materiales inciden con más fuerza sobre el tipo de movimiento. Las propias condiciones naturales de las cortezas lateríticas como alta humedad, granulometría muy fina, altos contenidos de minerales arcillosos, baja permeabilidad, así como la intensa actividad sismo-tectónica en la región y elevados índices pluviométricos, hacen que este fenómeno sea muy común y se convierta en un peligro latente, capaz de generar grandes riesgos no solo en la actividad minera sino en otros sectores del territorio. Un catalizador de este fenómeno es la propia actividad minera, que deja descubierta grandes áreas, sin cobertura vegetal, y genera taludes con grandes pendientes.

Erosión.

Es un fenómeno muy difundido en el sector La Melba. Es un proceso, que aunque se produce de forma natural en la potente corteza laterítica, se ha visto incrementado por la actividad antrópica. La erosión en cárcavas, piramidal o de otra topología, que se desarrolla sobre la superficie de la corteza laterítica, arrastra las partículas provocando la pérdida de suelo fundamentalmente en lugares donde el escurrimiento superficial es abundante. Se observa además, un amplio desarrollo del acarcavamiento, que aumentan sus dimensiones rápidamente en el tiempo (Foto 1.1.). La dirección de las cárcavas está condicionada fundamentalmente por las condiciones estructurales de los suelos presentes en el área de estudio.



Foto 1.1. Procesos erosivos en taludes de cortezas lateríticas.

Capítulo II. Metodología de la evaluación geoambiental.

2.1 Estudio del medio geológico desde el punto de vista ambiental.

2.2 Estudio de los procesos erosivos.

2.3 Estudio de las inestabilidades de laderas.

Introducción.

En el presente capítulo se describe la metodología aplicada en la investigación para la valoración de la estabilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos y erosión. Se parte de criterios de inestabilidad y erosión de una hipótesis de rotura y pérdida de terreno definida a partir de las características propias del sector estudiado y de los factores que influyen en las inestabilidades observados en las campañas de reconocimiento e inventario de los movimientos identificados.

2.1 Estudio del medio geológico desde el punto de vista ambiental.

El estudio del medio desde el punto de vista geoambiental parte de la aplicación de los métodos tradicionales de cartografía geológica, mediante el desarrollo de itinerarios geológicos sobre la base de la descripción geológica de los afloramientos. Para la documentación de los afloramientos se utilizaron fichas para la toma y organización de los datos (tabla 2.1).

Tabla 2.1. Ficha utilizada en los itinerarios geológicos.

Itinerario No.	Fecha:	Geólogo:
Punto No:	Coordenadas: X: Y: Z:	Referencia geográfica:
Características del afloramiento: Dirección: Longitud: Altura:		
Litología:		
Características estructurales (grietas, fallas, estratificación, zonas de cizallas):		
Fenómenos geológicos (erosión, deslizamientos, deposición, Carso): Factores condicionantes:		
Características hidrogeológicas:		

2.2 Estudio de los procesos erosivos.

Se realizó un estudio de la erosión para determinar el grado de erosión actual mediante la identificación de formas erosivas y la clasificación de terrenos.

Estudio de las cárcavas.

Para el estudio de esta tipología de erosión se caracterizó la morfología a través de las mediciones de las características geométricas como longitud, ancho, profundidad, así como el tipo de material (suelo), inclinación de la ladera o camino.

Cartografía de susceptibilidad de erosión. Se elaboraron mapas de susceptibilidad de erosión con la finalidad de predecir espacialmente las zonas con mayor probabilidad de pérdida de suelo por erosión hídrica en un área, formulando estrategias para su mitigación y conservación del suelo.

Las instrucciones básicas de organización y realización de trabajos de levantamiento geológico (Kumpan et al., 1986) se realizaron mediante las siguientes exigencias con respecto al volumen de las informaciones geomorfológicas que caracterizan los elementos principales y los procesos de conformación del relieve.

1. Los procesos de meteorización y denudación: tipo de meteorización; distribución y potencia de las formaciones eluviales y diluviales; signos de desplazamiento del diluvio en dependencia de la composición del mismo, pendiente del talud natural; particularidades de la vegetación y del nivel de las aguas freáticas; formas de denudación (desplazamiento gravitacional, derrubio, erosión hidráulica, corrimientos de tierras, hundimientos y desmoronamientos, etc.); fronteras espaciales de manifestación de distintos procesos de denudación, bases locales de denudación.

2. Las superficies antiguas de nivelación: altura absoluta; superación sobre los fondos de los valles y de unas con respecto a otras; ángulo y dirección de la pendiente; composición de las formaciones mullidas, incluyendo los sedimentos aluviales antiguos.

3- Las divisorias de las aguas de crestas y picos: dirección, forma y grado de afloramiento de los picos y de las divisorias de las aguas; distribución de los salientes de rocas, distribución y altura relativa de los picos sobre las superficies de las divisorias de las aguas.

4. Taludes: pendiente (ángulo) en sus distintas partes; de los taludes y la relación del mismo con la composición y condiciones de yacimiento de las rocas originarias con el carácter y potencia de los depósitos mullidos; con la posición de las bases locales de erosión; fracturas en el perfil; escalones; mesetas en forma de terrazas y sus distribuciones en el talud en dependencia de la composición y condiciones de depósito de las rocas originarias; forma de los escalones rocosos.

Pies de los taludes: forma de transición del talud en el pie (ángulo entrante, curva de los taludes y la relación del mismo con la composición y condiciones de yacimiento de las rocas originarias con el carácter y potencia de los depósitos mullidos; con la posición de las bases locales de erosión; fracturas en el perfil; escalones; mesetas en forma de terrazas y sus distribuciones en el talud en dependencia de la composición y condiciones de depósito de las rocas originarias; forma de los escalones rocosos. Pies de los taludes: forma de transición del talud en el pie (ángulo entrante, curva suave, etc.); colas diluviales, sus dimensiones.

5. Valles: configuración general; carácter de la unión de los valles principales con los laterales; forma y profundidad del corte; anchura; característica de los perfiles longitudinales y transversales en distintos lugares del valle;

Sectores antecedentes. Terrazas: cantidad; forma; superación relativa de las alturas, carácter de las terrazas (acumulativa, mixta, escultural, etc.) composición de los sedimentos mullidos; morfología de los escalones; carácter de la articulación de los escalones con los fondos de los valles.

La metodología de las observaciones de campo geomorfológicas se caracteriza por las siguientes particularidades fundamentales. Los puntos de observación, fijados en el mapa y en la aerofotografía, se acuerdan con los lugares de cambios del carácter del relieve; dobladuras, aristas, salientes, pies de los taludes, picos, etc. En consecuencia, las distancias entre los puntos dependen no tanto de la escala de los trabajos, como de la complejidad del relieve; la descripción en el punto de referencia debe caracterizar el relieve no sólo en el punto dado, sino en todo el segmento del itinerario.

Las formas del relieve vinculadas con deformaciones disyuntivas novísimas son más frecuentes. Las más difundidas son los escalones tectónicos, formados por fallas de ruptura que tienen las dimensiones más diversas. Son sus indicios característicos la linealidad recta en el plano y ángulos de caída de buzamiento abruptos. Como indicios complementarios pueden ser: un profundo corte erosivo de los valles, el desarrollo de los abanicos y de deslizamientos del suelo al pie del talud, saltos de agua, formación de cortes en los lechos de los ríos y de lagos en los puntos de unión con los bloques levantados, flexiones acodadas de los valles fluviales en el plano.

2.3 Estudio de las inestabilidades de laderas.

Se realizó una cartografía de la susceptibilidad a los movimientos en masa relacionados con factores tales como estratigrafía, grado dependiente, socavaciones y desmontes por cursos fluviales.

Se analizaron los deslizamientos en el campo reconociendo las evidencias de los movimientos con la finalidad de identificar las causas y el tipo de movimiento existente antiguo o reciente.

Estos deslizamientos se analizaron a través de los criterios morfológicos siguientes:

- Ruptura dependiente con acumulación de material al pie del talud.
- Planos inclinados lisos, rocosos con aspecto fresco y bloques deslizados.
- Bloques caídos a pie de acantilados o escarpes.
- Macizos fracturados y meteorizados con bloques o cuñas caídas o deslizadas.
- Presencia de grietas de tracción.
- Cicatrices que evidencian planos de ruptura.
- Hundimiento subsidencia con grietas de tracción.
- Lóbulo en cuchara en laderas.
- Señales de avalancha o flujos.

- Laderas escalonadas y agrietadas con escarpes.

Para la caracterización de los deslizamientos cartografiados en le área de estudio se utilizaron fichas para la toma de datos y organización de la información que posteriormente sería procesada e interpretada. En este sentido se recogen datos sobre el movimiento, ubicación espacial, características geométricas de la ladera y del movimiento, definiendo los factores condicionantes que propiciaron la inestabilidad desde el punto de vista natural y antrópico.

La ficha recoge además datos relacionados con los tipos de materiales como suelos y rocas presentes en le afloramiento, elementos de yacencia de las discontinuidades como grietas, fallas, estratos, zonas de cizallas y describe las condiciones hidrogeológicas de la zonas como presencia de manantiales, humedad de los suelos, flujos de aguas en la base de la ladera o talud.

Inventario de deslizamientos.

El inventario se confeccionó a partir de varias campañas de reconocimiento, a escala 1:25 000, ejecutadas desde el año 1997, en las cuales se describieron todos los deslizamientos y la presencia de erosión desarrollados en el área del yacimiento Piloto. Para esto se recorrieron las áreas antiguamente minadas y no minadas, las áreas reforestadas, y los cauces de los ríos Piloto y Monte Lejos. Para perfeccionar el cartografiado de los movimientos, fundamentalmente los de mayor extensión, se realizaron diferentes itinerarios para la documentación de diferentes puntos de observaron, se realizo la interpretación de fotografía aérea utilizando los siguientes criterios de reconocimiento:

Laderas de altas pendientes con depósitos extensos de suelo y rocas es los pies de las mismas.

- Presencia de líneas nítidas relacionadas con escarpes.
- Superficies onduladas formadas por el deslizamiento de las masas de suelo desde los escarpes. Formas topográficas onduladas no naturales semejantes a una concha.
- Depresiones elongadas.
- Acumulación de detritos en canales de drenajes y valles.
- Presencia de tonos claros donde la vegetación y el drenaje no han sido restablecidos.
- Cambios bruscos de tonos claros a oscuros en las fotografías (tonos oscuros indican zonas húmedas).
- Cambios bruscos de la vegetación, indicando variaciones en una unidad de terreno.
- Presencia de erosión piramidal.
- Presencia de cárcavas.

Para facilitar la documentación de los deslizamientos en los taludes y laderas se confeccionó una ficha en la cual se incluye la ubicación geográfica del punto, las dimensiones de los deslizamientos y del talud, la pendiente del escarpe del movimiento y del talud, las condiciones hidrogeológicas y tectónicas. Además, se incluye el tipo de material rocoso, la potencia y yacencia y un croquis del deslizamiento.

Tabla 2.2. Ficha utilizada en la descripción de los deslizamientos.

COORDENADAS	X:	Y:	Z:	PRESENCIA DE FLUJOS DE AGUA:
TIPO DE MOVIMIENTO				
Rotacional	Suelo	Residual		
Planar		Coluvial		OBSERVACIONES:
Cuña				
Vuelco	Roca			
Derrubio				DIBUJO DEL DESLIZAMIENTO
Otros				
TIPO DE FORMACION				
CAUSAS:				
POTENCIA DE LA MASA DESPLAZADA (m)				
Máxima				
Mínima				
Dimensiones de la masa (m)				
Perpendicular al movimiento				
DATOS ACERCA DEL TALUD				
Dirección		Inclinación		
Altura				
Discontinuidades:		Tipo:		
Rumbo	Acimut	Buzamiento	Espaciamiento	Observaciones
				NOMBRE DEL OBSERVADOR:
				FECHA:

Criterios de inestabilidad.

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

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

Donde FS es el factor de seguridad igual a la relación entre las fuerzas resistentes al movimiento y la suma de las fuerzas movilizadoras a lo largo de la superficie de deslizamiento.

De lo dicho anteriormente se desprende que en toda ladera o talud, obligatoriamente actúan los esfuerzos de ruptura debido a las fuerzas gravitacionales, no obstante, en estas condiciones no siempre pueden formarse deslizamientos porque requieren de ciertas causas de alteración del equilibrio de las masas de rocas y la acción del efecto de las fuerzas de ruptura (Lomtatze, 1977). Las principales causas condicionales de inestabilidades se enumeran a continuación:

- Aumento de la pendiente del talud o ladera por cortes, laboreo o derrubio.
- Disminución de la resistencia de las rocas a consecuencia del cambio de su estado físico, al humectar, hinchar, descompactar, erosionar, alterar su constitución natural, así como el desarrollo de fenómenos de flujos subterráneos en las rocas y suelos.
- La acción de las fuerzas hidrostáticas e hidrodinámicas sobre las rocas y suelos que causan el desarrollo de deformaciones de filtración (erosión subterránea, abultamiento del suelo, transición al estado de fluencia, etc.)
- La variación del estado tensional de las rocas y suelos en la zona de formación de la ladera o construcción del talud.
- Los efectos exteriores: sobrecarga de la ladera o talud, así como de sus tramos adyacentes a sus bordes, las oscilaciones microsísmicas y sísmicas, etc.

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

- La base de los taludes y las laderas está constituida por un substrato rocoso impermeable compuesto por rocas ultrabásicas serpentinizadas y en menor medida por básicas. Sobre éste yace, en la mayor parte del yacimiento, una corteza laterítica residual y en el resto del área, de forma discordante, una corteza laterítica redepositada. De forma intercalada, aparecen arcillas, formadas a partir de la meteorización de gabros.
- Las cortezas lateríticas, por sus propiedades físicas y composición mineralógica, presentan gran capacidad de almacenaje, acumulando considerables cantidades de aguas que son transmitidas muy lentamente, manteniéndose con alta humedad durante todo el año. Esta situación aumenta el peso, las presiones intersticiales en los poros y disminuye las propiedades resistentes de los suelos.
- Las condiciones estructurales del sistema roca-suelo, junto a las propiedades geomecánicas, determinan los mecanismos y tipologías de deslizamientos desarrollados en el yacimiento.

Análisis del factor de seguridad.

Los métodos de cálculo, para analizar la estabilidad de un talud, se pueden clasificar en dos grandes grupos: métodos de cálculo en deformaciones y los de equilibrio límite. Los primeros consideran las deformaciones del terreno, además de las

leyes de la estática. El segundo grupo, se basa exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable, sin tener en cuenta las deformaciones del terreno.

En los métodos de equilibrio límite, se destacan los métodos exactos, cuya aplicación proporciona una solución exacta del problema, con la salvedad de las simplificaciones propias del método de cálculo que considera la ausencia de deformaciones y un factor de seguridad constante en toda la superficie de rotura, siendo posible su uso en casos de superficies con geometría sencilla, como la rotura planar y en cuña. El otro grupo son los métodos no exactos, en los casos en que la geometría de la superficie de rotura, no permite obtener una solución exacta del problema, mediante la aplicación de las leyes de la estática. En estos métodos se distinguen, los métodos que consideran el equilibrio global de la masa deslizante y los métodos de dovelas, que consideran a la masa deslizante dividida en una serie de fajas verticales. Justamente estos métodos, son los utilizados en la investigación para el cálculo del factor de seguridad.

Los métodos de equilibrio límite, están ampliamente avalados por la práctica. Se conocen sus límites y sus grados de confianza, donde la seguridad del talud, se cuantifica por medio del factor de seguridad, que se define como el cociente entre la resistencia al corte en la superficie de deslizamiento y la resistencia necesaria para mantener el equilibrio estricto de la masa deslizante.

Para el análisis de estabilidad de taludes mediante el cálculo del factor de seguridad se empleó el programa SLIDE, que permite obtener soluciones a los problemas de estabilidad de taludes en dos dimensiones, a través del método de las dovelas, mediante una adaptación del método de Bishop simplificado, Jambú y Spenser, que admite el análisis de superficies irregulares, además de las roturas circulares, generadas de forma aleatoria o definidas por el usuario, proporcionando de forma geométrica, las superficies de deslizamiento pésimas, con sus respectivos factores de seguridad. En los métodos de cálculo, se supone que la resistencia intrínseca al corte o tensión tangencial máxima, en un punto de la superficie de deslizamiento, sigue la ley lineal de Mohr-Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi$$

Donde:

τ : Tensión máxima tangencial, en un punto de la superficie de rotura.

σ : Tensión normal a la superficie de rotura en un punto considerado.

φ : Ángulo de fricción interna en la superficie de rotura.

c : Cohesión.

Además del método anteriormente descrito, se aplicó el cálculo del factor de seguridad para el área del yacimiento adoptándose un modelo de deslizamiento con superficie planar en talud infinito y sin la información del nivel de agua en el talud. En estas condiciones se considera un perfil de alteración típico de meteorización, con substrato rocoso formado por rocas serpentinizadas, una corteza laterítica de baja permeabilidad y en la parte superior un horizonte de mayor permeabilidad. La superficie de rotura se considera en el contacto roca-corteza laterítica, según las observaciones de campo en la región de estudio. Este modelo de rotura es uno de los más usados por investigadores en regiones

montañosas tropicales (Terzaghi, 1950; Matos, 1974; Wolle et al., 1978; Dos Santos et al, 2005). De acuerdo al modelo, el factor de seguridad (FS) se obtiene por la ecuación siguiente:

$$FS = \frac{c + \gamma \times \cos^2 i \times \tan \varphi}{\gamma \times Z \times \cos i \times \text{seni}}$$

Donde:

FS: Factor de seguridad.

C: Cohesión.

γ : Peso específico del suelo.

φ : Ángulo de fricción interna del suelo.

Z: Profundidad de la zona de ruptura.

i: Pendiente de la ladera o talud.

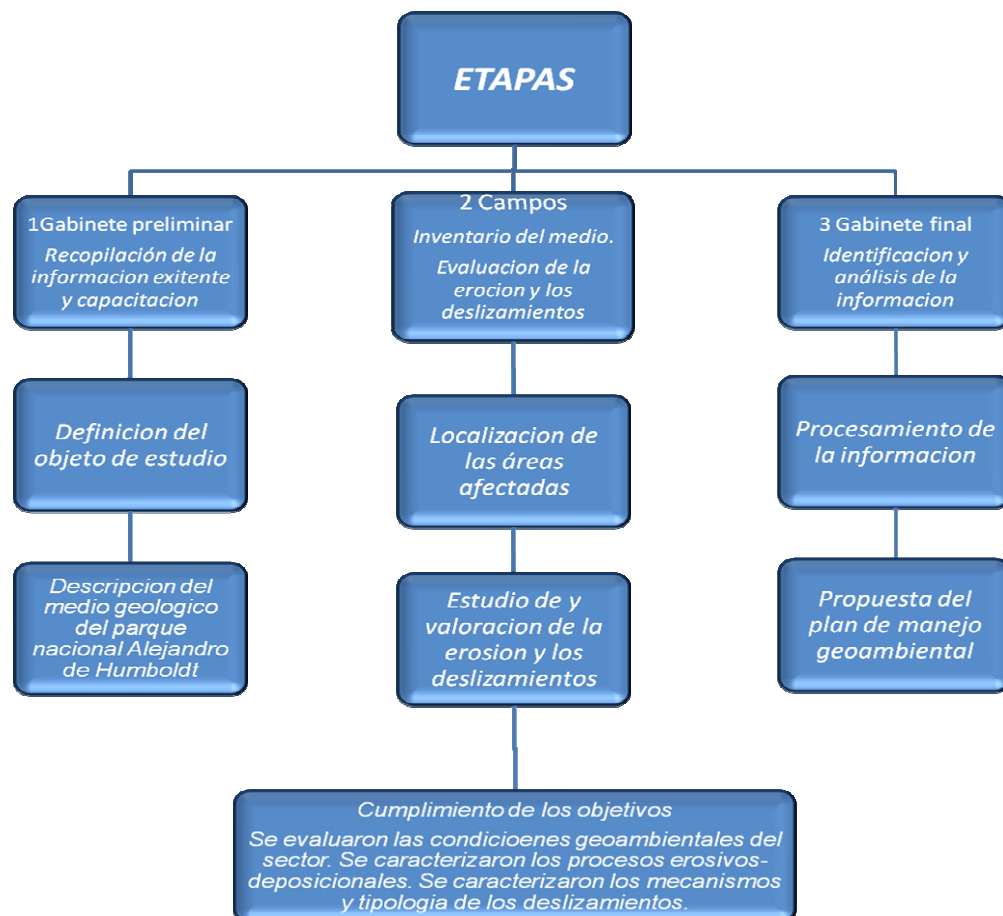


Figura 2.1 Metodología de la investigación.

Capítulo III. Resultados del análisis geoambiental del sector la Melba.

- 3.1 Cartografía geoambiental.
- 3.2. Análisis de las condiciones geotécnicas de los suelos lateríticos.
- 3.3. Análisis de estabilidad de laderas y taludes. Mecanismos y tipologías.
- 3.4. Plan de manejo de las condiciones geoambientales.
- 3.5 Valoración de los trabajos.

Introducción.

Para determinar los deslizamientos y los procesos erosión existen diversas aproximaciones basadas, la mayor parte de ellas, en la determinación de los factores que influyen en la ocurrencia de estos fenómenos. En general, estos factores se combinan para definir los distintos grados de susceptibilidad, expresándose los resultados de forma cartográfica mediante los mapas de susceptibilidad. En el presente capítulo nos referiremos a los resultados del análisis de los factores condicionantes y su influencia sobre las inestabilidades, y la aplicación de los métodos estadísticos en la cartografía de susceptibilidad del terreno al desarrollo de deslizamientos y erosión en el área de estudio.

3.1. Cartografía geoambiental.

Itinerarios Geológicos. Uno de los trabajos más importantes realizados está dado por un reconocimiento geológico en el campo. Trazando diferentes itinerarios (Figura 3.1) se ubicaron y documentaron los puntos más significativos del área de estudio.

Itinerario 1:

En la primera Itinerario se documentaron 11 puntos significativos, tomando como referencia 0 el campamento con coordenadas $x=701722$; $y=725790$ y altura de 725.

Punto 1. Coordenadas $x=701600$; $y=201900$. Altura 820m.

Descripción: Existen agrietamientos con direcciones: EW, N70W, N50E, N60E, N20W, EW, movimiento, sinistras. Signos de redeposición 0.80m pot. Erosión en cárcavas

Punto 2. Coordenadas $x=701874.544$; $y=202989.714$.

Descripción: Se encuentra el límite sur del área.

Punto 3. Coordenadas $x=701683$; $y=203135$. Altura 857.

Descripción: Intersección con trocha con dirección EW. OF 2. Arroyo natural EW.

Punto 5. Coordenadas $x=701074$; $y=203825$. Altura 883m.

Descripción: Se localiza una zona anegada por represamiento de drenaje natural de aguas pluviales.

Punto 6. Coordenadas x=701023,445; y=203880,605. Altura 895.

Descripción: Se encuentra un cruce con trocha con dirección N30E, este presenta 5m de ancho.

Punto 7. Coordenadas x=701130,044; y=204177,095.

Descripción. Se evidencia una corteza blanca rosácea, dando idea de una posible intercalación de gabros.

Punto 8. Coordenadas x=701112,298; y=204450,578. Altura 886m.

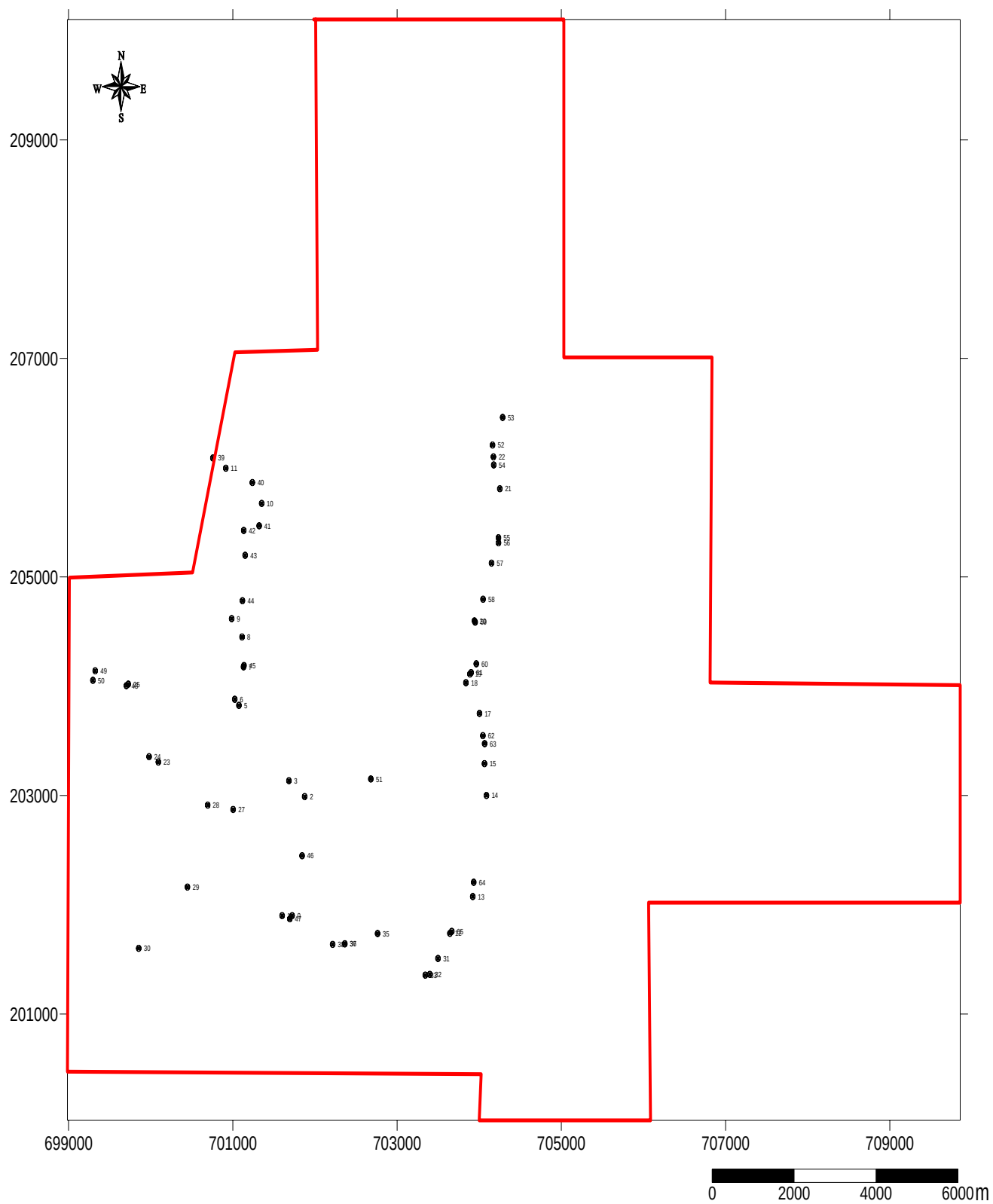


Figura 3.1. Ubicación de los puntos de documentación en el área de estudio.

Punto 8. Coordenadas x=701112,298; y=204450,578. Altura 886m.

Descripción: Aparece corteza sobre gabros. Los procesos de silicificación, además de roca foliada y dique diabasa alterado.

Punto 9. Coordenadas x=700985,69; y=204618,209. Altura 882m,

Descripción: Obra de fábrica OF3. Se localiza un cruce con un arroyo con rumbo N5E.

Punto 10. Coordenadas x=701351; y=205673. Altura 898.

Descripción: Se encuentra el camino con rumbo N20E, así como el cruce con un arroyo con rumbo N30W.

Punto 11. Coordenadas x=700914,253; y=205995,057. Altura 939.

Descripción: Se ubica un dique con un rumbo N15W, presentando 10cm ancho y 12m longitud. En el cauce se encuentran fragmentos de cromitas.

Itinerario 2:

Punto 12. Coordenadas x= 703643; y=20173. Altura 787.

Descripción: Se encuentra un cruce con el río Piloto en el que localizan grietas: 150/50 dan apariencia de pseudoestratificación, silicificación y serpentización.

Punto 13. Coordenadas x=703921; y=202075. Altura 804.

Descripción: Se localiza un cruce de camino con dirección (SE) hacia Las Merceditas, es evidente las intensas cárcavas y sifones.

Punto 14. Coordenadas x=704088; y=203000. Altura 810m.

Descripción: El camino tiene de 4-5m ancho, se desarrollan cárcavas de 1m de profundidad en corteza potente. El relieve es ondulado en el que existe trocha al W.

Punto 15. Coordenadas x=704064; y=203291. Altura 794m.

Descripción: Se encuentra el cruce con el arroyo afluente del Jaragua. Es importante destacar que este corre hacia el Este.

Punto 17. Las coordenadas en este punto son x=704003; y=203751. Altura 819m.

Descripción: Se localiza un arroyo permanente que corre hacia el Este. El suelo presente en esta área es arcilloso ocreo.

Punto 18. Coordenadas x=703838; y=204032. Altura 829m.

Descripción: Se encuentra un cruce de trochas con direcciones SE y NE. La presencia de pseudocarst es evidente en grietas con espaciamiento de 30cm y rumbo N.

El punto 19. Coordenadas x= 703886,9; y= 204111,731. Altura 837m.

Descripción: en el se localiza el cruce de un arroyo, es probable que este arroyo sea del río Jaragua. Se presentan afloramientos con grietas N60E30NW. Al Norte del área se ubica (desplazamiento dextral del 1ro).

Punto 20. Coordenadas x= 703942; y= 204598. Altura 889m.

Descripción: Hay una pequeña coraza de 3cm ancho.

Punto 21. Coordenadas x= 704251; y= 205807. Altura 851m.

Descripción: Extremo final al Norte En este punto las trochas están cubiertas por abundante vegetación.

Punto 22. Coordenadas x=704172,97; y=206099,32. Altura 853m.

Descripción: Se localiza el extremo norte por el Este

Itinerario 3:

Punto 23. Coordenadas x= 700093; y= 203306. Altura 877m.

Descripción: Se encuentra el extremo W cerca de dos fuentes primigenias del río Jaguaní.

Punto 24. Coordenadas: x= 699980; y= 203355.

Descripción: Esta dado por una plataforma de perforación, donde se localizan pendiente altas de 30 grados. Es evidente la presencia de cárcavas en dirección del camino W.

Punto 25. Coordenadas x=699726,35; y=204018,98. Altura 818m.

Descripción: Se encuentra la cima silicificada donde predomina la erosión piramidal, en el cual los fragmentos de sílice son protagonistas de este tipo de erosión. La presencia de erosión en cárcavas con dirección NS es muy común en el área.

Itinerario 4:

Punto 27. Coordenadas x= 701003,57; y=202871,7. Altura de 890m.

Descripción: La cima es aplanada y presenta afloramiento, a este punto corresponden la. La potencia de la corteza es pobre en la que se destaca, tipo de roca dunita. Se destacan grietas con rumbo N45E40SE, N20E con presencia de pseudocarst. Es importante destacar que en esta zona se desarrollo un antiguo incendio forestal (1960).

Punto 28. Coordenadas x= 700694; y= 202912.

Descripción: Existe una trocha al Sur.

Punto 29. Coordenadas x= 700447; y=202162. Altura 897m

Descripción: Afloran dunitas y cromitas en una antigua calicata. Aparecen grietas con rumbo N45E, N30E, EW, N50W.

Punto 30. Coordenadas x= 699854; y=201601. Altura 897m.

Descripción: Se encuentra el final de una trocha, en la cual las rocas existentes son peridotitas. La zona es estable, o sea no hay erosión y el relieve es llano. También se destacan afloramientos cerca del cauce del río Jaguaní.

Itinerario 5:

Punto 30. Coordenadas x=703699,53; y= 201864,558. Altura 802.

Descripción: Se encuentra la intersección de una trocha con dirección EW. OF 2 y un arroyo natural con dirección EW.

Punto 31. Coordenadas x=703498,027; y=201508,48. Altura 831m.

Descripción: Se destaca un deslizamiento de tipo rotacional en la corteza laterítica, donde el escarpe es de 80grados, el acimut es 340, la dirección del movimiento es N-NW, la ladera presenta una inclinación de 40 grados, la potencia del removimiento de material es de 15m y la longitud es de 20m.

Punto 32. Coordenadas x=703398,332; y=201362,745. Altura 835m.

Descripción: Se ubica un área impactada de 12-15m ancho, en el que hay una trocha con plataforma de perforación.

Punto 33. Coordenadas x=703343,341; y=201355,932. Altura 837m. Descripción: Existe una calicata junto al camino, producto a esta se ha generado erosión y desprendimiento de corteza así como socavación del camino por dejar abierta la calicata.

Punto 35. Coordenadas x=702761, 963; y=201736,424. Altura 834m.

Descripción: Se encuentra una plataforma antigua de perforación. La erosión del camino ha provocado que las rocas queden totalmente expuestas. Paralelo al camino existen abundantes cárcavas con una profundidad de 0.5m.

El punto 36 coordenadas x=702363,096; y=201642,462. Altura 811m.

Descripción: Son evidentes las cárcavas paralelas al camino de 0.6m de profundidad y 10m longitud.

Punto 37. Coordenadas x=702363,096; y=201642,462. Altura 811m.

Descripción: La presencia de manantiales en el camino hace que este sea destruido parcial o totalmente. Existen grietas con direcciones: N40E60NW, N55E30SE.

Punto 38. Coordenadas x=702215,33; y= 201637,62. Altura 808m.

Descripción: En este se desarrolla un intenso proceso de erosión en cárcavas dado por la pendiente de la trocha con dirección NS.

Itinerario numero 6:

Punto 39. Coordenadas x= 700756,664; y= 206088,516. Altura 956m.

Descripción: En este punto ocurren deslizamientos rotacionales, desprendimientos y flujos de tierras con una dirección: N50E, inclinación del escarpe: 60-70grados. La inclinación de las laderas: 40grados. La altura es 25-35m y el ancho es de 60-70m.

El punto 40. Coordenadas x=701237,47; y=205863,594. Altura 941m.

Descripción: Es evidente la presencia de cárcavas en pendiente de 15 grados, estas cárcavas presentan profundidad: 0.6-0.7m, ancho 6m y dirección NW-SE.

El punto 41. Coordenadas x= 701320,426; y= 205467,879. Altura 909.

Descripción: Existen cárcavas con dirección S30W, profundidad de 2m y 25m de longitud.

El punto 42. Coordenadas x= 701132,568; y= 205425,664. Altura 915m.

Descripción: La morfología de las cárcavas está condicionada por el agrietamiento. La dirección de las cárcavas es EW, la inclinación es de 18 grados, la longitud es de 20m y la profundidad es de 0.7m. El punto 43. Coordenadas x=701149,764; y=205198,302. Altura 919m.

Descripción: Las cárcavas son de grandes longitudes, estas llegan hasta los 100m, la inclinación es de 15 grados y la profundidad alcanza 1m. Estas se desarrollan sobre corteza laterítica.

Punto 44. Coordenadas x= 701117,038; y= 204782,758. Altura 889m.

Descripción: Las cárcavas son de grandes longitudes, estas llegan hasta los 70m, la inclinación es de 8-10 grados y la profundidad alcanza 1-1.5m. Estas se desarrollan sobre corteza laterítica, es importante destacar que el ancho del camino en este punto es de 10-12m y esta bastante erosionado predominando una vegetación seca.

Punto 45. Coordenadas x= 701135,693; y= 204189,463. Altura 895m.

Descripción: Las cárcavas presentan dirección NS, longitud 50m, la inclinación es de 18 grados y la profundidad alcanza 1m. Estas se desarrollan sobre corteza laterítica, el ancho de ellas es de 0.3-0.5m.

Punto 46. Coordenadas x= 701843,336; y= 202448,103. Altura 854m.

Descripción: Las cárcavas presentan dirección NS, longitud 300m, la inclinación es de 10 grados y la profundidad alcanza 1-2m. Estas se desarrollan sobre corteza laterítica, el ancho de ellas es de 2-4m.

Punto 47. Coordenadas x=701693,709; y= 201871,25. Altura 828m

Descripción: Las cárcavas presentan dirección NS, longitud 10m, la inclinación es de 5-10 grados y la profundidad alcanza 0.5-0.7m.

Itinerario numero 7:

Punto 48. Coordenadas x= 699704; y= 204005. Altura 869.

Descripción: La cima esta en su mayor parte silicificada, permitiendo la erosión piramidal y la formación de pequeñas cárcavas que se forman producto a las aguas superficiales. Se encuentran muestras de esquisto micáceo.

El punto 49. Coordenadas x= 699324; y= 204141. Altura 869.

Descripción: En este punto se encuentra el cauce del río, donde el agua corre por el aluvión. Se produce la silicificación permitiendo la erosión piramidal, es importante destacar la presencia de cromitas y diabasa.

Punto 50. Coordenadas x= 699296; y= 204054. Altura de 869m.

Descripción: En el sustrato rocoso se evidencian manantiales. Hay presencia de pseudocarst con dirección N40E, además de rocas serpentiniticas, gabros y sílice.

Punto 51. Coordenadas x= 702680; y= 203151. Altura de 843m.

Descripción: Se encuentran ultrabasitas serpentinizadas, pseudocarst con dirección N60W, cantos rodados de gabros y sílice. La corteza posee una 0.5-1m. Las grietas presentes tienen 5cm de ancho, se encuentran rellenas de mineral serpentinitico, y tienen yacencia con dirección NS25E.

Itinerario numero 8:

Punto 52. Coordenadas x= 704162; y= 206207. Altura 854m.

Descripción: Se ubico un punto de referencia en la cima, después del límite norte del área.

Punto 53. Coordenadas x= 704285; y= 206460. Altura 824m.

Descripción: Arroyo con dirección N40E y la ladera con inclinación de 40grados contienen agua en su interior, el agua que estos desprenden son las que contribuyen a la formación de cárcavas con una longitud de 25m, profundidad de 0.4m y ancho similar a la profundidad.

Punto 54. Coordenadas x= 704176,771; y= 206024,94. Altura 845m.

Descripción: se destacan cárcavas que presentan 0.4m de profundidad y 15m de longitud.

El punto 55. Coordenadas x= 704234,092; y= 205358,315. Altura 859m.

Descripción: Las cárcavas presentan, inclinación de 30grados paralelo al camino, la profundidad alcanza 2m y el ancho 4m.

El punto 56. Coordenadas x= 704234,092; y= 205358,315. Altura 857m.

Descripción: Las cárcavas presentan, inclinación de 30grados paralelo al camino formando una zona de inundación, la profundidad alcanza 0.5m y el ancho 0.5m.

El punto 57. Coordenadas x=704149,955; y=205126,656. Altura 864m.

Descripción: Las cárcavas presentan, inclinación de 15grados, la profundidad es de 2.5-3m, la longitud de 30m y el ancho 3m.

El punto 58. Coordenadas x= 704046,721; y= 704046,721. Altura 868m.

Descripción: Las cárcavas presentan, inclinación de 30grados, la profundidad es de 0.3m, la longitud de 10m y el ancho 0.2m.

Punto 59. Coordenadas x= 703950,728; y= 204586,086. Altura 890m.

Descripción: La cárcava paralela al camino, presenta una dirección N30E, inclinación de 20grados, la profundidad es de 0.2-0.45m, la longitud de 50m y el ancho 0.25m.

Punto 60. Coordenadas x=703964,024; y=204204,918. Altura 860m.

Descripción: La cárcava presenta una, inclinación de 30grados, longitud de 50m y el ancho 0.2-0.4m.

Punto 61. Coordenadas x= 703901,24; y= 204124,205. Altura 844m.

Descripción: Se encuentra el río Jaragua. Las márgenes del río presentan laderas con pendientes de 35 y 40 grados en las que se manifiesta erosión.

Punto 62. Coordenadas x=704044,41; y=203547,79. Altura 830m.

Descripción: La cárcava presenta una inclinación de 30grados, la longitud de 50m y el ancho 0.2-0.4m.

Punto 63. Coordenadas x= 704065,59; y= 203470,34. Altura 812m.

Descripción: Se realizo un muestreo de sedimentos+agua.

Punto 64. Coordenadas x= 704065,587; y= 203474,241. Altura 817m.

Descripción: El camino se encuentra sobre lateritas redepositadas con una inclinación de 3-5grados, donde se manifiesta la erosión en cárcavas con una longitud de 50m, con una profundidad de 0.60m y el ancho 3m.

Punto 65. Coordenadas x=703666,05; y=202205,65. Altura 796m.

Descripción: Se realizo un muestreo de sedimentos+agua.

3.2. Análisis de las condiciones geotécnicas de los suelos lateríticos.

Para el análisis de las condiciones geotécnicas de los suelos lateríticos se parte de la caracterización de las propiedades físico mecánicas tomadas en investigaciones realizadas en el área de cortezas lateríticas del territorio de Moa (De Miguel et al., 1998; Almaguer et al., 2001; Blanco et al., 2004), analizando el comportamiento de los diferentes horizontes ingeniero-geológicos los cuales se describen a continuación:

Horizonte 1. Arena gravo-limosa (SM): Corresponde a los ocre inestructurales con perdigones (OIP), formada por una arena limo-gravosa con arcilla. El color es rojo ladrillo oscuro, en partes aparecen manchas amarillas y negras. La fracción areno gravosa, esta constituida fundamentalmente por perdigones de hierro que disminuyen su diámetro y cantidad con la profundidad. La presencia de éstos últimos son los que establecen una diferencia notable, apreciable a simple vista, con el resto de los estratos lateríticos presentes. Se clasifica, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, como un SM (arena limosa de baja plasticidad). La granulometría se distribuye: Grava 31 %, Arena 46 %, Limo 17 %, Arcilla 5 %, Coloide 3 %. El peso específico relativo de los sólidos es de 36.4. De acuerdo a los Límites de Atterberg, es de baja plasticidad, con Límite Líquido 42 %, Límite Plástico 30 % e Índice de Plasticidad 12 %.

Las condiciones naturales por encima de la zona saturada se presentan con humedad 31.8 %, peso específico húmedo y seco de 20.4 kN/m³ y 15.6 kN/m³ respectivamente. Son los pesos específicos más altos de todos los estratos lateríticos. La cohesión es de 0.031 MPa y el ángulo de fricción interna de 18.3°.

Horizonte 2. Limo arcilloso de alta plasticidad (MH): este horizonte ingeniero geológico con las mapas geólogo-genéticas: ocre inestructural inicial (OII), ocre estructural final (OEF) y ocre estructural inicial (OEI) respectivamente. Las semejanzas en sus propiedades, permiten agruparlas en una sola capa ingeniero geológica. Está constituido por un limo arcilloso con poca arena, de alta plasticidad, de color carmelita amarillento a verde amarillento con algunas manchas de color negro, verdosas y otras de color rojo. Se clasifica según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos como un MH (limo arcilloso de alta plasticidad).

Los valores promedios de su granulometría son: Grava 1 %, Arena 10 %, Limo 54 %, Arcilla 34 %, Coloide 21%. El peso específico relativo de los sólidos es de 36.1. La plasticidad es alta, con Límite Líquido 75 %, Límite Plástico 47 % e Índice de Plasticidad 28%. En la zona saturada se presenta con humedad 69.0 %, pesos específicos húmedo y seco son 17.2 kN/m³ y 10.3 kN/m³, respectivamente. La cohesión es de 0.034 MPa y el ángulo de fricción interna de 16.5°.

Horizonte 3. Arena limo-gravosa con arcilla (SM): Corresponde al horizonte de Serpentinita Lixiviada (SL), eluvio de las serpentinitas o rocas de la base. Constituyen una arena limo-gravosa con arcilla, en partes es un limo arcilloso con arena. Es talcosa al tacto, con fragmentos angulosos de la roca original de diámetros variables. El color es verdoso y la plasticidad es alta. Se clasifica según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos como SM (arena limosa). Los valores promedios de su granulometría son: Grava 36 %, Arena 37 %, Limo 18 %, Arcilla 9 %, Coloide 6 %. El peso específico relativo de los sólidos es de 27.4. La plasticidad es alta, con Límite Líquido 63 %, Límite Plástico 37 % e Índice de Plasticidad 26 %. Las

condiciones naturales en la zona saturada presenta humedad 85.3 % y pesos específico húmedo y seco son 15.5 kN/m³ y 8.4 kN/m³ respectivamente.

3.3. Análisis de estabilidad de laderas y taludes. Mecanismos y tipologías.

En el área se desarrollan varios mecanismos de inestabilidades en laderas y taludes asociados a caminos principales, secundarios y trochas de exploración. Los principales mecanismos y tipologías de fenómenos gravitacionales en laderas y taludes en el área de estudio se describen a continuación:

1. Mecanismos relacionados con caída libre de la roca.

Desprendimientos de rocas. En el área los fenómenos de desprendimientos de rocas lo podemos dividir en dos tipos: los desprendimientos propiamente dichos y los derrumbes. Estos mecanismos representan un movimiento de ruptura y caída sorpresiva desde taludes, desmontes y laderas abruptas, localizados fundamentalmente en las vertientes de los valles de los ríos y arroyos. En ocasiones en los taludes de rocas serpentinizadas, intensamente agrietadas, tiene lugar los fenómenos de derrumbes los que están asociados con la alteración del material que lo compone.

2. Deslizamientos a través de una superficie de fallo definida: se manifiestan ladera abajo de una masa de suelo o roca y tiene lugar a través de una o más superficies de rotura o zonas relativamente delgadas con intensa deformación de cizalla.

Deslizamientos traslacionales. Se le llama deslizamiento traslacional o planar a aquellos que se producen a través de una única superficie plana u ondulada. En el área de estudio se manifiestan en la roca serpentizada cuando existe una familia de grietas dominante y orientada aproximadamente en el mismo sentido del talud o ladera, a veces estas discontinuidades se relacionan con fallas de sobrecorrimiento de escamas tectónicas en la cual se manifiesta un intenso cizallamiento con espesores mayores de 1m. Este tipo de movimiento también se produce en las cortezas lateríticas residuales o redepositadas, en las cuales la superficie de deslizamiento se encuentra en el contacto roca/suelo, donde el material presenta menos resistencia y a través del cual se mueven las aguas subterráneas. Las condiciones determinadas por Hoek y Bray (1977) para la ocurrencia de este tipo de rotura se ponen de manifiesto en el área:

- Los rumbos del plano del talud o ladera y del plano de deslizamiento son paralelos o casi paralelos, formando entre sí un ángulo máximo de 20 grados.
- Los límites laterales de la masa deslizante producen una resistencia al deslizamiento despreciable.

Deslizamientos a través de una superficie circular. Los materiales de suelo laterítico se desplazan a través de una superficie de rotura curvilínea o cóncava. Generalmente la masa desplazada se divide en bloques o escalones los cuales experimenta un giro según un eje situado por encima del centro de gravedad de esta. El material de la cabecera de los escalones se inclina contra la ladera, generando depresiones paralelas a la corona del talud o ladera y a través de la cuál se infiltran las aguas superficiales y pueden lograr reactivaciones. Como generalmente hay presencia de agua en estos tipos de

movimientos en cortezas lateríticas, la parte frontal del cuerpo del deslizamiento evoluciona como una colada de suelo. En algunos casos este tipo de movimiento se desarrolla en laderas compuestas por roca serpentínizada, en la cuál el espaciado de las grietas es tan pequeño que le confiere un comportamiento tipo suelo.

- 1 .Movimientos de masas de manera desorganizada (movimientos de flujos). Se definen como movimientos continuos desde el punto de vista espacial; las superficies de cizallas tienen corta duración y generalmente no se conservan. La masa movida no conserva su forma en el movimiento descendente, tomando formas lobuladas cuando se desarrollan en materiales finos y cohesivos y dispersándose cuando se manifiestan en materiales de granulometrías más gruesas.

Coladas de tierra. Se definen como deformación plástica, lenta y no necesariamente húmeda, de tierra o rocas blandas en laderas de inclinación moderada. En las cortezas lateríticas se forman depósitos elongados, en forma de lengua en la parte frontal (pie), generando un relieve positivo sobre la superficie del terreno.

Corrientes de derrubios. Se definen como movimientos rápidos de material detrítico con predominio de fracciones gruesas (arenas, gravas, bloques). En el área del yacimiento se reportan en vaguadas u hondonadas del terreno en las laderas de los cauces de los ríos y en laderas o taludes modificados por la construcción de caminos. Por la falta de cohesión, típico de la masa removida, los depósitos se dispersan en el pie de los taludes y laderas (Foto 3.1).



Foto 3.1. Flujos detríticos en laderas y taludes cercanos al área de estudio (Mina Merceditas).

En los mecanismos de caída libre de la roca, el tipo de movimiento más frecuente es la caída de rocas o desprendimientos de rocas. Los fragmentos son de variados tamaños, desde pocos centímetros hasta grandes bloques de 1 –3 metros cúbicos. Estos se pueden encontrar en las laderas con altas pendientes, normalmente por encima de los 50 grados. También están asociados a algunos cortes al borde caminos principales con taludes de alturas superiores de 5 a 10 metros.

Los mayores desprendimientos reportados en el área condicionados por la acción humana se encuentran en el nacimiento del río Piloto. Estos desprendimientos se asocian también a grandes deslizamientos rotacionales y flujos detríticos. Los taludes sobrepasan los 60 y 70 grados y la altura a los 40 metros y buzan al sureste.

Otro mecanismo frecuente es el movimiento a través una superficie definida de inestabilidad y la tipología asociada es el movimiento rotacional típico de los horizontes lateríticos. Las dimensiones van desde pequeños movimientos de unos pocos metros hasta grandes deslizamientos con potencias de materiales removidos superiores a los 20 metros.

En el área se reportan numerosos deslizamientos junto al camino principal de acceso a toda el área de estudio. A continuación se describen y se visualizan para su mejor comprensión.

Deslizamiento 1. Ubicado en el camino principal de acceso al campamento, cerca del cauce del río Piloto. Coordenadas: X: 703498.02, Y: 201508.47 (Foto 3.2).

Mecanismo: movimiento a través de una superficie definida.

Tipología: deslizamiento rotacional.

Características:

Tipo de material: corteza laterítica de coloración rojiza-marrón. En superficie posee una capa de suelo vegetal de unos 30 cm de espesor. En composición contiene abundante material arcilloso y alto por ciento de humedad. Tiene alta plasticidad.



Foto 3.2. Deslizamiento rotacional en talud de camino principal cerca del cauce del río Piloto.

El movimiento se ha desarrollado en una ladera con pendiente de 35-50 grados. El escarpe principal del deslizamiento posee una pendiente de 80 grados, una dirección de movimiento de la masa desplazada de 340 grados (acimut). El ancho es de 22 metros y la potencia del movimiento de 15 metros.

Factores condicionantes:

Naturales:

- Potente corteza laterítica.
- Alta humedad en los horizontes de suelos.
- Arroyo afluente del río Piloto en el pie de la ladera.

Antrópicos:

- Corte de la ladera para la construcción del camino, lo que cambia el equilibrio de las fuerzas y desestabiliza las fuerzas resistentes.

Factor causal: Lluvias intensas o acumuladas, lo que aumenta las presiones de poros y debilita las fuerzas resistentes dadas fundamentalmente por la fricción interna y la cohesión entre las partículas.

Deslizamiento 2. Ubicado en el nacimiento del río Piloto.

Coordenadas: X: 700756.66, Y: 206088.51.

Mecanismos: se desarrollan combinaciones de varios mecanismos como movimiento a través de una superficie definida, caída libre y movimientos de forma desorganizada.

Tipología 1: Deslizamiento rotacional.

Características: se desarrolla en horizontes lateríticos de potencia entre 15 y 25 metros. El suelo es arcillo y contiene alta humedad y plasticidad. La capa vegetal es de 20 cm. El movimiento se desarrolla en una ladera con 40 grados. La altura del movimiento es de 25-35 metros y el ancho de 70 metros.

Tipología 2. Desprendimiento de roca.

Características: esta asociado a los movimientos rotacionales. Los bloques desprendidos varían entre 0.5 y 3 metros cúbicos y se relacionan espacialmente con el escarpe principal de la inestabilidad donde la pendiente es superior a 60 grados. Como condicionante, además de la pendiente del escarpe se manifiesta un intenso agrietamiento en la roca.

Tipología 3. Flujos de tierras y flujos detríticos.

Características: se asocian también a los movimientos rotacionales, específicamente en los bordes de los escarpes primarios y secundarios y escalones desplazados.

Deslizamiento 3: Ubicado en el camino principal.

Mecanismos: se desarrollan combinaciones de varios mecanismos como movimiento a través de una superficie definida, caída libre y movimientos de forma desorganizada (Foto 3.3).

Tipología 1: Deslizamiento rotacional.

Características: se desarrolla sobre dunitas meteorizadas con una potencia de 20 metros. La capa vegetal es de 10 cm. El movimiento se desarrolla en una ladera con 70 grados. La altura del movimiento es de 25-35 metros y el ancho de 15 metros.



Foto 3.3. Flujo detrítico.

Tipología 2. Desprendimiento de roca.

Características: esta asociado a los movimientos rotacionales. Los bloques desprendidos varían entre 0.2 y 1 metro cúbico y se relacionan espacialmente con el escarpe principal de la inestabilidad donde la pendiente es superior a 60 grados. Como condicionante, además de la pendiente del escarpe se manifiesta un intenso agrietamiento en la roca.

Tipología 3. Flujos de tierras y flujos detríticos.

Características: se asocian también a los movimientos rotacionales, específicamente en los bordes de los escarpes primarios y secundarios y escalones desplazados.

Deslizamiento 4: Ubicado en el camino principal.

Mecanismos: se desarrollan combinaciones de varios mecanismos como movimiento a través de una superficie definida, caída libre y movimientos de forma desorganizada (Foto 3.4).



Foto 3.4. Desprendimiento de rocas.

Tipología 1: Deslizamiento rotacional.

Características: se desarrolla sobre dunitas meteorizadas con una potencia de 25 metros. El movimiento se desarrolla en una ladera con 60 grados. La altura del movimiento es de 20 -25 metros y el ancho de 15 metros.

Tipología 2. Desprendimiento de roca.

Características: esta asociado a los movimientos rotacionales. Los bloques desprendidos varían entre 0.5 y 2 metro cúbico y se relacionan espacialmente con el escarpe principal de la inestabilidad donde la pendiente es superior a 60 grados. Como condicionante, además de la pendiente del escarpe se manifiesta un intenso agrietamiento en la roca.

Tipología 3. Flujos detríticos.

Características: se asocian también a los movimientos rotacionales, específicamente en los bordes de los escarpes primarios y secundarios y escalones desplazados.

Deslizamiento 5: Ubicado en el camino principal.

Mecanismos: se desarrollan combinaciones de varios mecanismos como movimiento a través de una superficie definida, caída libre y movimientos de forma desorganizada (Foto 3.5).



Foto 3.5. Flujos de tierra.

Tipología 3. Flujos de tierra y flujos detríticos.

Características: se asocian también a los movimientos rotacionales, específicamente en los bordes de los escarpes primarios y secundarios y escalones desplazados

Deslizamiento 6. Ubicado en el camino principal del área de estudio.

Mecanismo: movimiento a través de una superficie definida (Foto 3.6).

Tipología: deslizamiento rotacional.

Características:

Tipo de material: corteza laterítica de coloración rojiza-marrón. En su composición contiene abundante material arcilloso y alto por ciento de humedad. Tiene alta plasticidad. El movimiento se ha desarrollado en una ladera con pendiente de 40-45 grados. Existe un puente en función de desagüe que ha sido restaurado porque ha sufrido afectaciones por las condiciones del medio.

Factores condicionantes:

Naturales:

- Potente corteza laterítica.
- Alta humedad en los horizontes de suelos.



Foto 3.6. Deslizamiento rotacional y erosión (camino).

Antrópicos:

Corte de la ladera para la construcción del camino, lo que cambia el equilibrio de las fuerzas y desestabiliza las fuerzas resistentes.

Factor causal: lluvias intensas o acumuladas, lo que aumenta las presiones de poros y debilita las fuerzas resistentes dadas fundamentalmente por la fricción interna y la cohesión entre las partículas.

Estabilidad de taludes

El análisis de estabilidad se realizó aplicando los métodos de equilibrio límite utilizando como variables de cálculos las propiedades resistentes de los horizontes lateríticos, peso específico, potencia de los horizontes, altura del agua subterránea en los taludes, la altura e inclinación del talud y la acción de sobrecargas. Para una mejor comprensión del peso de las variables analizadas sobre el factor de seguridad obtenido. La matriz de correlación (tabla 3.1) muestra correlaciones negativas relevantes, entre el factor de seguridad y la potencia de serpentinitas lixiviadas y la altura del talud. Esto significa que a medida que aumenta estas potencias en la corteza laterítica, la estabilidad de los taludes disminuye. Es evidente que, la presencia de equipos pesados como excavadoras camiones o sobrecargas por deposición de materiales ubicados a poca distancia, genera un desequilibrio de las fuerzas dentro de la corteza, aumentando las fuerzas motoras y la inestabilidad de los taludes.

Aplicando el método de análisis de componentes principales, da como resultado dos grupos que explican en conjunto, el comportamiento de las variables en un 82 %. La primera componente explica el 53.5 %, incluyendo la potencia de las

menas lateríticas, la potencia de la serpentinita lixiviada, el nivel de agua y la altura del talud. La segunda componente explica en 28.5 %, incluyendo la posición de las cargas en el talud.

Tabla 3.1. Análisis de correlación entre variables de cálculo del factor de seguridad.

Análisis de correlación	Potencia de ocre (m)	Potencia de serpentinitas lixiviadas (m)	Nivel de agua en el talud (m)	Altura del talud (m)	Distancia de excavadora al borde del talud (m)	Factor de seguridad
Potencia de ocre (m)	1					
Potencia de serpentinitas lixiviadas (m)	0,19	1				
Nivel de agua en el talud (m)	0,37	0,41	1			
Altura del talud (m)	0,55	0,86	0,45	1		
Distancia de excavadora al borde del talud (m)	0,07	-0,06	-0,02	-0,07	1	
Factor de seguridad	-0,21	-0,72	-0,44	-0,75	0,62	1

Análisis de estabilidad.

Para el análisis de estabilidad por desprendimiento en laderas del área de estudio se utilizó el software RockFall V:4 (Rockscience, 2004), el cual permite un análisis estadístico diseñado para asistir evaluaciones de riesgo en taludes con peligrosidad por caídas de rocas. El programa permite evaluar la distancia final de caída de los fragmentos de rocas en la ladera; permite además, determinar mediante el análisis, medidas de remediación frente a este mecanismo de rotura.

Las laderas y taludes se diseñan a través de segmentos a los que se les asigna una propiedad de tipo de material, el cual puede ser cambiado y comparar los resultados obtenidos. La información acerca de la energía cinética y localización del impacto puede orientar en la determinación de la capacidad, tamaño y localización de las barreras frente a estos fenómenos.

Análisis 1.

Talud 1. Altura de 25 metros, formada litológicamente por rocas ultrabásicas serpentinizadas. La pendiente es mayor de 80 grados. En la base hay un camino de 10 m de ancho y más abajo un cauce de un arroyo. Esta es una situación típica de los taludes en el área de estudio.

Se realizaron 50 corridas de fragmentos de rocas de 50 Kg de peso con velocidades de despegue de 0.2 a 0.5 m/s. (Figura 3.2) y la modelación da una distancia crítica entre 28 y 30 m de longitud desde el punto de caída (Figura 3.3 y Tabla 3.2), pasando todos los fragmentos por encima del camino, lo cual constituye un riesgo potencial para las laderas con este tipo de características geométricas.

Medidas preventivas:

- Revegetar el frente del talud con cobertura herbácea para amortiguar y disminuir la velocidad de caída de los fragmentos de rocas.
- Construir zanjas de retención entre el talud y el camino para contener los fragmentos de rocas caídos (Figura 4).
- Realizar limpieza temporal de las zanjas de retención para mantener su funcionalidad.

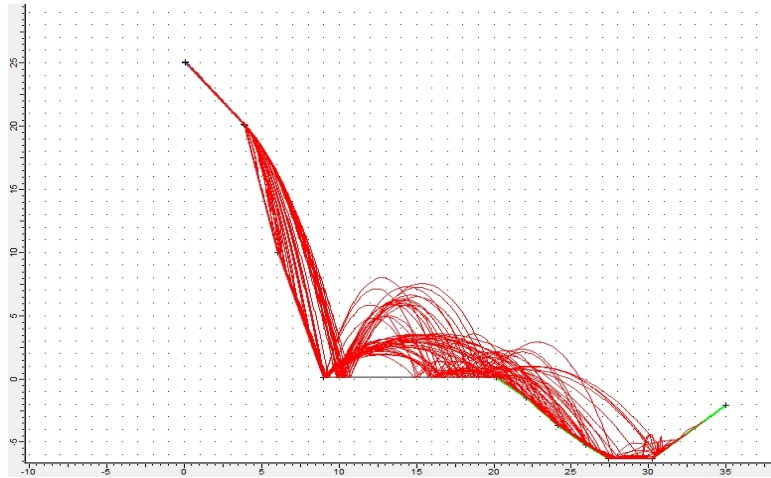


Figura 3.2. Análisis de desprendimiento en el talud 1.

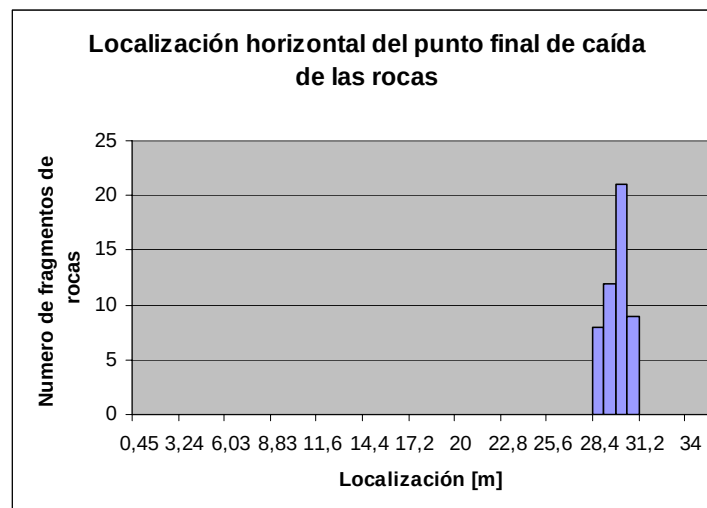


Figura 3.3. Localización del punto final de caída de rocas en el talud 1.

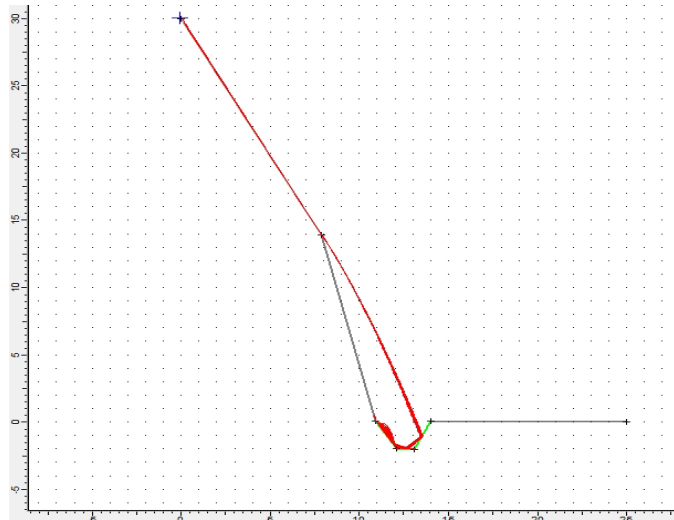


Figura 3.4. Contención de fragmentos de rocas en zanjas de retención.

Tabla 3.2. Localización del punto final de caída de los fragmentos de rocas en el talud 1.

Localización [m]	Número de rocas	Localización [m]	Número de rocas
0,44619	0	17,90569	0
1,14457	0	18,60407	0
1,84295	0	19,30245	0
2,54133	0	20,00083	0
3,23971	0	20,69921	0
3,93809	0	21,39759	0
4,63647	0	22,09597	0
5,33485	0	22,79435	0
6,03323	0	23,49273	0
6,73161	0	24,19111	0
7,42999	0	24,88949	0
8,12837	0	25,58787	0
8,82675	0	26,28625	0
9,52513	0	26,98463	0
10,22351	0	27,68301	0
10,92189	0	28,38139	8
11,62027	0	29,07977	12
12,31865	0	29,77815	21
13,01703	0	30,47653	9
13,71541	0	31,17491	0
14,41379	0	31,87329	0
15,11217	0	32,57167	0
15,81055	0	33,27005	0
16,50893	0	33,96843	0
17,20731	0	34,66681	0

Análisis 2.

Talud 2. Altura de 30m con pendiente mayor de 75 grados; presenta una pequeña zanja de 0.50m de profundidad y 2m de ancho entre el talud y el camino; este ultimo de 10m de ancho. La litología es roca ultrabásica con grado de serpentización variable. El frente esta afectado por fenómenos de flujo de tierras y desprendimientos de rocas, lo que lo mantiene desprovisto de cobertura herbácea. Las inestabilidades están controladas por el factor estructural relacionado con agrietamiento, la altura y pendiente del talud.

Se analizaron 50 corridas con fragmentos de 60 Kg de peso con velocidades de despegue de 0.2 a 0.5 m/s. las distancias críticas de caída están relacionadas espacialmente con la zanja de drenaje donde se retienen un número considerable de fragmentos de rocas a 8 m de distancia del punto de caída; otro grupo rebota y pasan por encima del camino o caen sobre este a una distancia del punto de salida de 19m (figuras 3.5 y 3.6).

Medidas preventivas:

- Aumentar el tamaño de la zanja de drenaje para que tenga una doble funcionalidad como zanja de retención entre el talud y el camino para contener los fragmentos de rocas caídos.
- Realizar limpieza temporal de las zanjas de retención para mantener su funcionalidad.

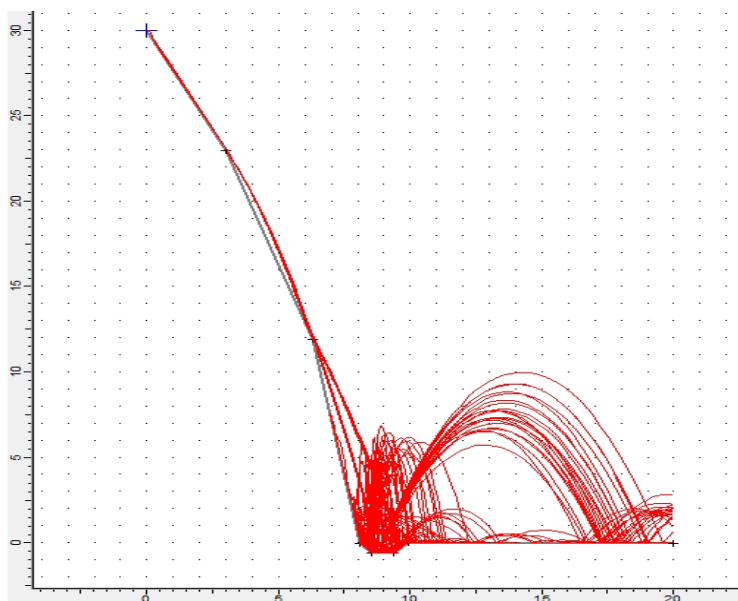


Figura 3.5. Análisis de desprendimiento en el talud 2.

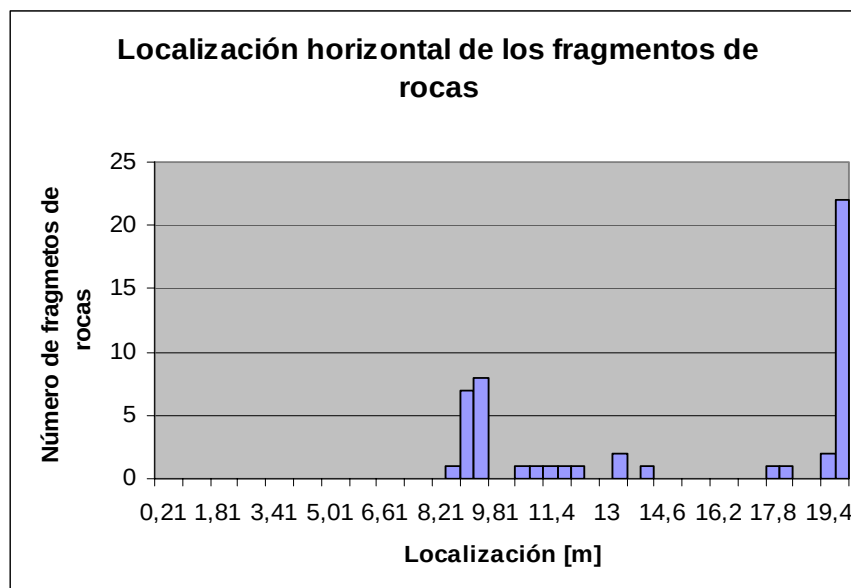


Figura 3.6. Localización del punto final de caída de rocas en el talud 2.

Erosión y escurrimiento.

Las cortezas de intemperismo, desprovistas de la cobertura boscosa y herbácea son susceptibles al fuerte lavado erosivo espacial y lineal producto al escurrimiento de las aguas superficiales.

Las primeras concentraciones del flujo superficial originan redes de surcos erosivos, los cuales en etapas ulteriores contribuyen al desarrollo de cárcavas y en ocasiones, deslizamientos asociados a estos fenómenos. El reconocimiento del territorio reportó una amplia presencia de estas formas erosivas fundamentalmente relacionadas con los caminos principales de acceso, trochas y laboreos, ejecutados en las etapas de exploraciones geológicas pretéritas, en los cuales el suelo esta desprovisto de la capa vegetal y combinado con pendientes elevadas.

Los estudios de reconocimiento de campo permitieron establecer tres categorías básicas de la intensidad erosiva.

- **Muy fuerte:** Para aquellas zonas, donde los trabajos de exploración han provocado cambios substanciales en el relieve superficial o desprovisto el suelo de la cobertura y donde naturalmente se manifiestan grandes pendientes.
- **Fuerte:** Resulta en aquellas localidades bajo construcciones y laboreos en las etapas exploratorias, donde los movimientos de tierra no originan deformaciones significativas al relieve. Cabe destacar, el desarrollo de estos procesos a lo largo de los caminos principales de acceso al área y trochas de exploración.
- **Moderada:** Por lo general ocupa las áreas montañosas boscosas con una cobertura vegetal estable.
- **Baja:** Muy extendida sobre las superficies aplanadas en el área central del yacimiento, cubiertas de bosques.

Sobre la base de los mecanismos que gobiernan la erosión se identificaron varios tipos como la superficial o laminar, que ocurre sobre las superficies de suelos sin cobertura herbácea y donde las pendientes pueden variar desde pocos grados hasta mayores de 45 grados. Este tipo es muy extendido en el área y es responsable del arrastre de considerables volúmenes de sedimentos.

La erosión en cárcavas constituye una de las formas más representativas de los fenómenos erosivos en el territorio y son evidencias de la velocidad de los procesos. En las laderas del área pueden encontrarse desde los estadios iniciales caracterizado por pequeños surcos hasta grandes cárcavas. Y como tipologías de los procesos erosivos también se desarrollan formas típicas de erosión piramidal, fundamentalmente desarrollados en aquellos sitios donde en las cortezas hay remanentes de los procesos de serpentización de las rocas del substrato o de opalización.

En las cortezas lateríticas y en especial el área de estudio hay varios factores que condicionan la erodabilidad de los suelos como la capacidad de absorción de agua, permeabilidad que tiende a disminuir en los horizontes intermedios más arcillosos, la facilidad de dispersión de los componentes del suelo, el tamaño de las partículas y el grado de agregación.

Los procesos erosivos se manifiestan varias fases en su accionar sobre las superficies de suelos, primeramente se forman elementos susceptibles de ser arrastrados por el agua y posteriormente ocurre el arrastre y transporte de los elementos. El trabajo sobre el medio está dado por la acción de las precipitaciones y la acción de la escorrentía. Y los factores causales relacionados con las precipitaciones está dado por su intensidad, la altura y frecuencia, donde la intensidad es el factor más importante, provocando la ruptura de los agregados y terrones y separa las partículas finas.

Cada vez que la intensidad de las precipitaciones sobrepasan la velocidad máxima de infiltración, se forma en la superficie una película de agua y después un charco. El suelo se satura y con ello el suelo es susceptible a ser arrastrado posteriormente por la escorrentía. Este fenómeno en el yacimiento Piloto se desarrolla cuando el suelo deja de absorber la totalidad de la lluvia que cae sobre él. No obstante para cada horizonte o tipo de suelo existe una velocidad de infiltración determinada por las propiedades físicas (granulometría, estructura) y existe una intensidad máxima de lluvia de absorción del suelo. Si la lluvia es excesiva no se manifiesta la infiltración, provocando la circulación de las aguas superficiales sobre las laderas.

Los efectos que sobre el medio ejerce el escurrimiento está dado por el efecto mecánico sobre las partículas del suelo, la erosión del agua a las orillas de arroyos, ríos y barrancos o cárcavas, el socavamiento en las bases de las laderas y orillas o márgenes de ríos y arroyos y el transporte de los sedimentos.

Se identificaron varios tipos de escurrimientos en el área dado por los mecanismos que se operan sobre la superficie y los factores que los controlan. A continuación se describen los mismos y su relación con los procesos erosivos:

- Superficial.

Se manifiesta tanto de forma lineal en los cauces fluviales, tanto en ríos como arroyos o vaguadas y barrancos presentes en el terreno. Las pendientes que condicionan los procesos erosivos asociados a este tipo de escurrimiento son variables, pueden existir altas pendientes mayores de 40 grados en las cuales la energía del agua que escurre rompe con la armazón de las partículas del suelo y ocurre el proceso de arranque y arrastre. También puede operar en pendientes suaves entre 3 y 10 grados, donde la aceleración de los flujos es menor pero si coincide con zonas desprovistas de vegetación la erosión ejerce una influencia considerable en la remoción de los horizontes superiores de suelos lateríticos. Otra tipología es el escurrimiento de tipo espacial difuso sobre la superficie del terreno, junto al cual los procesos erosivos asociados están condicionados fundamentalmente por las pendientes de las laderas o taludes, las características resistentes de los suelos y la existencia o ausencia de cobertura vegetal. Otro factor que condiciona la intensidad de este fenómeno es el mal manejo del terreno durante la construcción de caminos y realización de laboreos como métodos de exploración.

- Subsuperficial.

Este tipo se manifiesta a través de grietas existentes en los horizontes superiores de las cortezas lateríticas, las que en ocasiones es agrietamiento relíctico, el cual manifiesta las mismas direcciones de las discontinuidades presentes en el substrato rocoso. Se puede apreciar también sobre el lecho rocoso en áreas donde la potencia de suelos es pequeña. Otro tipo de se manifiesta a través del sistema de poros presentes en el horizonte laterítico superior, condicionado por sus características granulométricas, siendo un suelo arenoso, gravo-arenoso con la presencia de las concreciones ferruginosas. Cuando operan los fenómenos erosivos asociados a este tipo de escurrimiento, pueden formarse pequeños conductos u oquedades alargadas a través de las cuales se manifiesta el lavado o arrastre de las partículas más finas del suelo.

- Subterráneo.

Este tipo ocurre a través de conductos y grietas que existen tanto en el contacto entre el substrato rocoso y el suelo como en los horizontes lateríticos intermedios. Cuando el suelo es muy poroso, condicionada esta porosidad tanto por las características granulométricas como por el agrietamiento relíctico, las aguas se mueven agrandando estas oquedades debido a la energía o aceleración de las aguas y al contenido de sólido el cual aumenta el poder de arranque. En otros sitios donde los suelos son arenosos o limo-arenosos y el gradiente hidráulico es alto próximo a uno, se inician los procesos de inestabilidad hidráulica conocido como tubificación, donde se producen conductos en los suelos, generalmente alineados y provocados por una erosión interna con carácter remontante, a través de los cuales se produce escurrimiento subterráneo.

Procesos erosivos ubicados en el camino principal.

Las cortezas se encuentran desprovistas de la cobertura vegetal quedando susceptibles al fuerte lavado erosivo espacial y lineal producto al escurrimiento de las aguas superficiales. La amplia presencia de estas formas erosivas fundamentalmente presentes en los caminos principales de acceso al área (Foto 3.7).

La intensidad de las precipitaciones hace que el suelo se sature y con ello sea arrastrado posteriormente por la escorrentía todo el material existente. Este fenómeno en el yacimiento Piloto se desarrolla cuando el suelo deja de absorber la totalidad de la lluvia que cae sobre él.



Foto 3.7. Procesos erosivos y pequeñas inestabilidades en laterales de caminos de primer orden.

Las intensas lluvias acumuladas, aumenta las presiones de poros y debilita las fuerzas resistentes dadas fundamentalmente por la fricción interna y la cohesión entre las partículas provocando la erosión sobre la corteza laterítica de coloración rojiza-marrón (Foto 3.8).



Foto 3.8. Erosión en cárcavas.

Su composición contiene abundante material arcilloso y alto por ciento de humedad. Tiene alta plasticidad. La erosión se ha desarrollado en una ladera con pendiente de 45 grado, en la cual es evidente la presencia de acarcavamiento donde se han tomado medidas para evitar la pérdida de material terrígeno, con la construcción de barreras con estacas de madera.

Sobre los suelos rojos son comunes las cárcavas profundas, con fondos erosionados desigualmente, presentando saltos y huecos como especies de marmitas (Foto 3.9). La gran variedad de formas que han adoptado las cárcavas en su erosión, hace que se tenga especial cuidado con aquellas que más afectaciones tengan hacia el ambiente, para el momento de establecer su manejo, sin dejar de lado las secundarias.



Foto 3.9. Acarcavamiento en caminos sobre cortezas lateríticas en bajas pendientes.

Se localiza en una trocha de exploración (Foto 3.10). La morfología de las cárcavas está condicionada por el agrietamiento. Las aguas se mueven agrandando los surcos debido a la energía o aceleración de las aguas y al contenido de sólido en el cual aumenta el poder de arranque de material terrígeno en las grietas existentes.



Foto 3.10. Desarrollo de erosión en cárcavas en zonas de camino o trochas de exploración.

La ausencia de cobertura vegetal hace que la corteza quede susceptible a una fuerte erosión de tipo piramidal (Foto 3.11). Esta forma erosiva se desarrolla a partir de las precipitaciones que inciden fundamentalmente sobre los fragmentos de material silíceo y serpentiniticos provocando la pérdida de material alrededor del fragmento duro y dejando formas típicas similares a pirámides. Esta forma de erosión se encuentra presente en los caminos principales de acceso al área de estudio.



Foto 3.11. Erosión piramidal desarrollada por fragmentos de materiales silíceos o serpentinitos

Susceptibilidad a procesos erosivos-deposicionales.

Para la evaluación cualitativa de estos fenómenos en el sector de estudio se aplicó un procesamiento digital sobre el MDE analizando la curvatura del perfil del terreno, obteniendo un mapa de susceptibilidad a la erosión y deposición de sedimentos. La susceptibilidad está dada por el aumento o disminución de la aceleración de los flujos de aguas superficiales o el análisis de la energía de la escorrentía sobre el terreno.

En la figura 3.1 se muestra en mapa de susceptibilidad donde los procesos erosivos se distribuyen espacialmente en toda la periferia del área, relacionados con zonas de altas pendientes. Así mismo se distribuye en estas mismas áreas algunas zonas de acumulación o deposición por la pérdida de energía, aunque no necesariamente tienden a estar relacionados. Hay áreas en las cuales predominan los procesos de deposición de sedimentos y otras en las cuales existe un equilibrio entre estos como son las zonas centrales aplanadas.

Análisis de la erosión en cárcavas.

El estudio de los procesos erosivos en cárcavas se realizó durante los trabajos de cartografía geológica. Para la caracterización de estos se midieron varios parámetros como la dirección, altitud del terreno, pendiente del terreno, longitud, ancho y profundidad de las cárcavas. En la tabla 3.3 se presentan los valores de estos parámetros.

La figura 3.12 muestra el comportamiento de los parámetros de las cárcavas de forma cualitativa, comparando, entre los parámetros, el porcentaje que cada valor aporta al total. Las mayores longitudes de estas estructuras y mayor intensidad de avance de la erosión se manifiestan al este, sureste y noreste, coincidiendo con las principales direcciones del agrietamiento en la zona de estudio (Figura 3.13). Esto condiciona que en las cortezas se manifiesten grietas relícticas y sirvan de conductos a través de las cuales se infiltran las aguas como agente erosivo, iniciando el arrastre de las partículas

de suelo por estas zonas de debilidad. Otro rasgo distintivo es que las mayores longitudes se corresponden con pendientes del terreno menores a 10 grados, donde la longitud de la ladera es mayor además. Espacialmente se corresponden también en su mayoría con caminos, trochas y plataformas de perforación antiguas realizadas sin tener en cuenta la dirección de las laderas y de los flujos superficiales, acelerando y condicionando en muchos de los casos la existencia de las cárcavas. Las cárcavas de menores longitudes se desarrollan hacia el noreste en su mayoría, coincidiendo con las mayores pendientes del terreno con valores entre 30 y 40 grados. En estos sitios las longitudes de las laderas son menores, por lo que el área de exposición a los agentes erosivos es menor.

Tabla 3.3. Parámetros de las cárcavas.

Cárcavas	Dirección (grados)	Altura (m)	Pendiente (grados)	Longitud (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)
1		826		10		0,6
2	360	808	3			
3	315	941	15		6	0,7
4	210	909		25		2
5	90	915	18	20		0,7
6		919	15	100	0,6	1
7	150	889	10	70	12	1,5
8	360	895	18	50	0,5	
9	225	854	10	300	4	2
10	180	828	10		3	0,7
11		824	40	25	0,4	0,4
12		845		15	0,3	0,4
13		859	30		4	2
14		857	30			
15	360	864	15	30	3	3
16		868	30	15	0,2	0,3
17	30	890	20	50	0,25	0,45
18		860	25	50	0,4	
19	360	830	20			
20		812	5	40	3	0,6
Valores medios			18,47	57,14	2,69	1,09

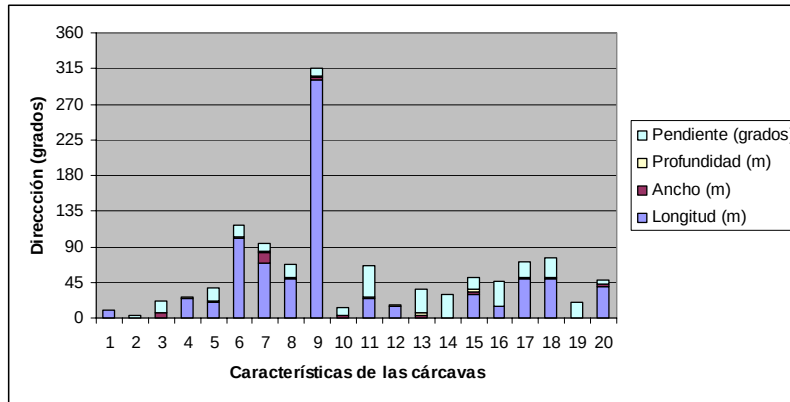


Figura 3.12. Relación cualitativa de las características de las cárcavas con su dirección.

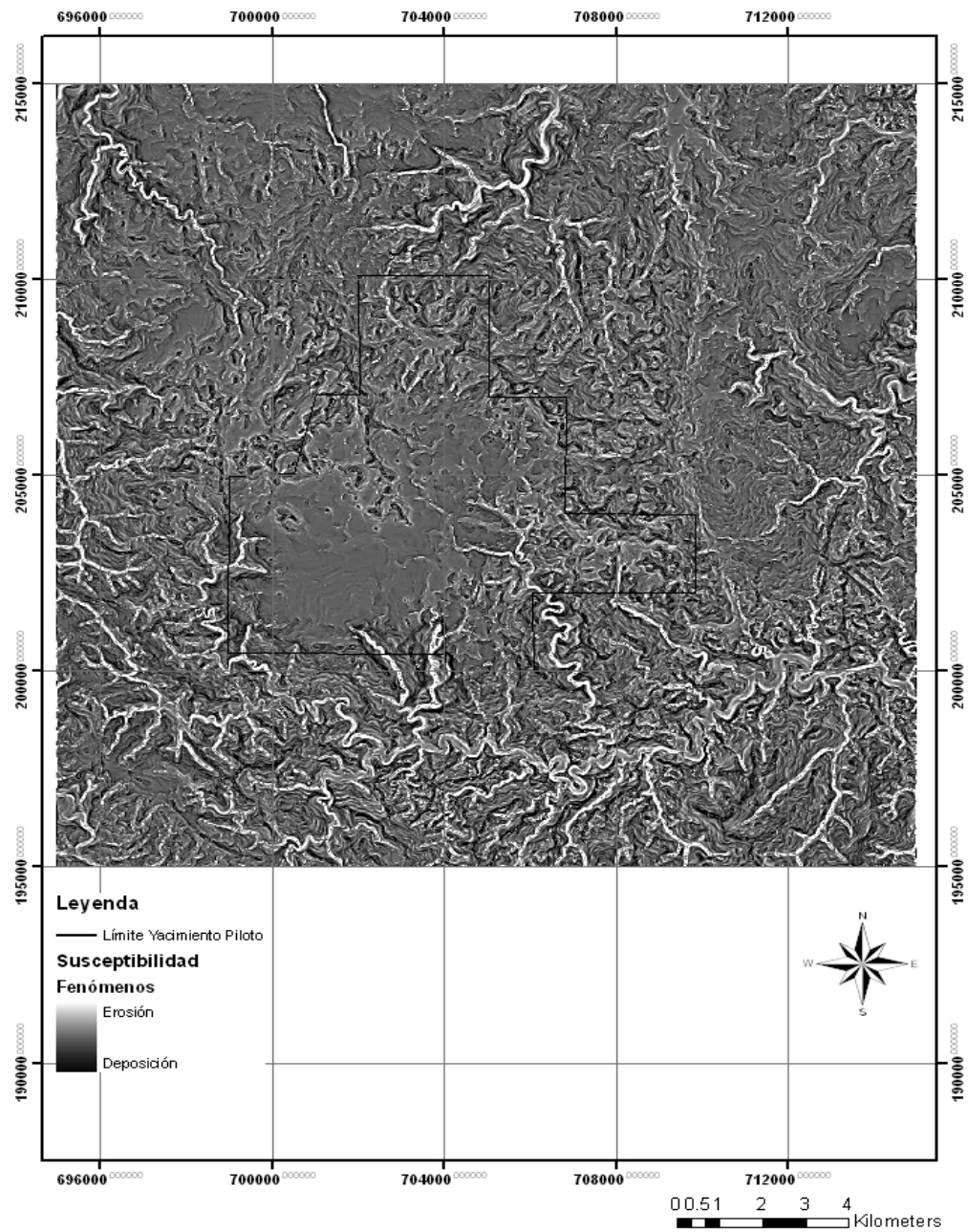


Figura 3.13. Mapa de susceptibilidad a procesos erosivos-deposicionales (tamaño de píxel 15x15m).

Características de las pendientes del terreno

En el área existe un predominio de las pendientes bajas por debajo de 20 grados, ocupando el 58.91% del área total, lo que le confiere un relieve de meseta (Tabla 3.4). Espacialmente se distribuyen hacia el suroeste y noreste del área, divididas estas por una zona central alineada hacia el noroeste de zonas elevadas.

Existen pendientes de valores medios entre 20 y 30 grados (Figura 3.14), que ocupan alrededor del 26.19 % y están asociadas espacialmente con las más elevadas desde 40 hasta valores superiores a 50 grados. Estas se distribuyen fundamentalmente en cañadas y cauces de arroyos y ríos que circundan el yacimiento (Figura 3.15).

Tabla 3.4. Caracterización de las pendientes del terreno en el área.

Clases de pendientes	Cantidad de píxel	Por ciento del área
0-5	204916	10,34
5-10	226866	11,45
10-15	359012	18,12
15-20	338734	17,10
20-25	289110	14,59
25-30	229869	11,60
30-35	168126	8,48
35-40	99628	5,02
40-45	45514	2,29
45-50	18946	0,95

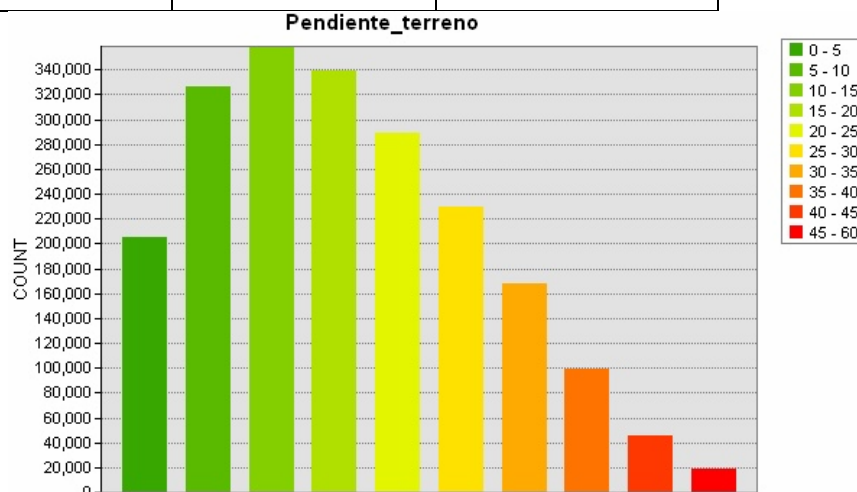


Figura 3.14. Histograma de cantidad de píxeles del mapa de pendiente del terreno.

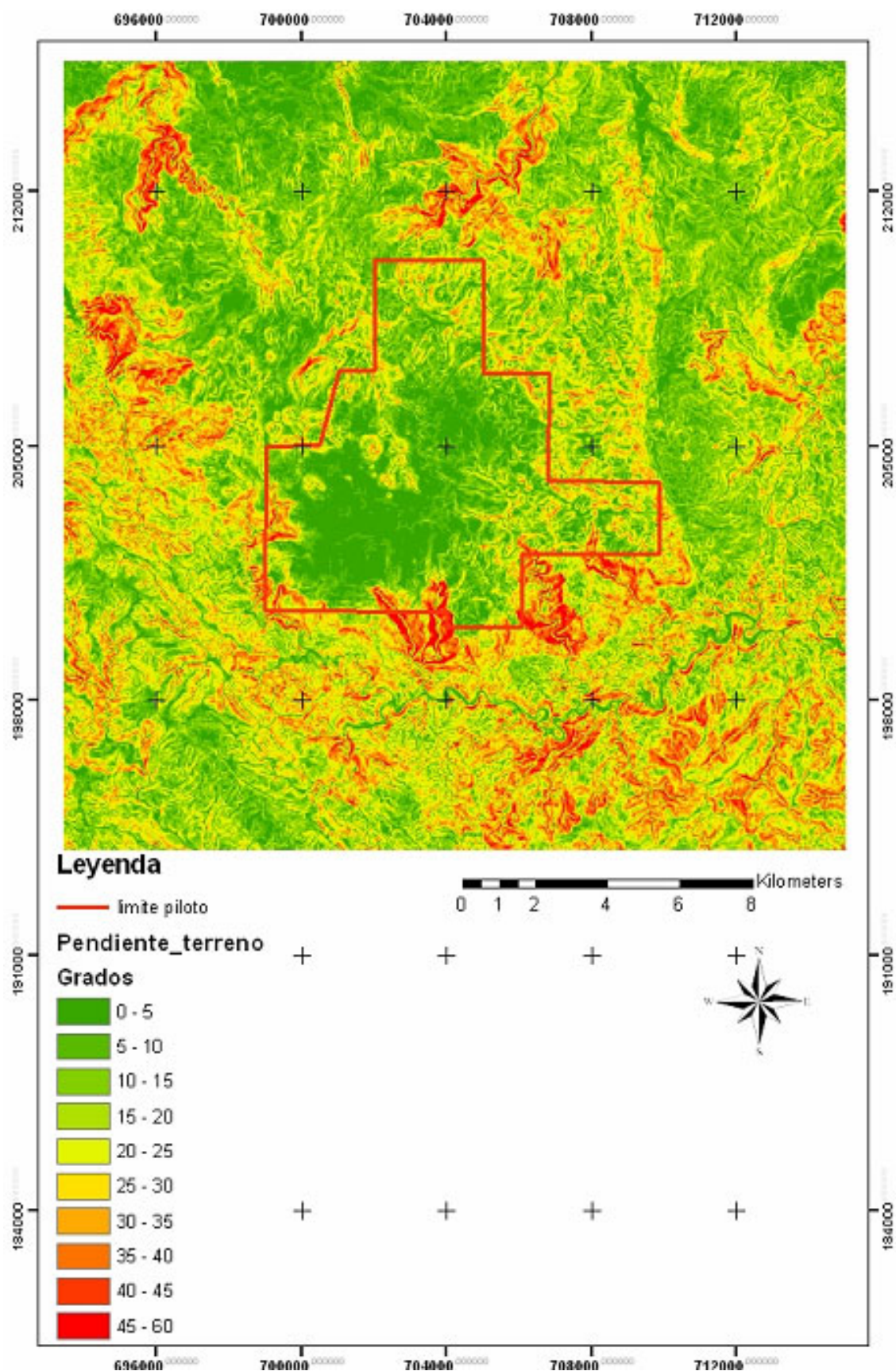


Figura 3. 15. Mapa de pendientes del terreno en el área (tamaño de píxel 15x15m).

Dirección de las laderas.

En el análisis de dirección de las laderas en el área de estudio demuestra que no existe predominio en alguna en específico, sin embargo la dirección norte manifiesta bajo por ciento con respecto a las restantes.

En la tabla 3.5 se muestran los resultados de las clases y los por cientos correspondientes a cada uno. Analizando la misma podemos inferir que los movimientos de las aguas superficiales o escurrimiento se manifiestan siguiendo las direcciones predominantes, fundamentalmente hacia el este, sureste, sur y suroeste.

Tabla 3.5. Caracterización de la dirección de las laderas en el yacimiento Piloto.

Clases de direcciones	Cantidad de píxel	Por ciento del área
Horizontal	673	0
Norte	138223	6
Noreste	319523	15
Este	280403	13
Sureste	244654	11
Sur	214253	10
Suroeste	241470	11
Oeste	240882	11
Noroeste	272152	13
Norte	128567	6

De acuerdo a la figura 3.16 y 3.17, las laderas con direcciones norte y noroeste se distribuyen espacialmente hacia el norte del área, aunque hay algunas hacia el este y sur, con un patrón de alineación noreste-sureste.

Las laderas de direcciones el este y sureste espacialmente se distribuyen prácticamente en toda el área, sin embargo las mayores se ubican hacia el centro y suroeste, con un patrón de alineación noroeste-sureste. Las laderas dirigidas hacia el sur, suroeste y oeste se distribuyen en parches alineados norte-sur en todo el borde del área, aunque aparecen en la región central pequeños sitios con estas direcciones.

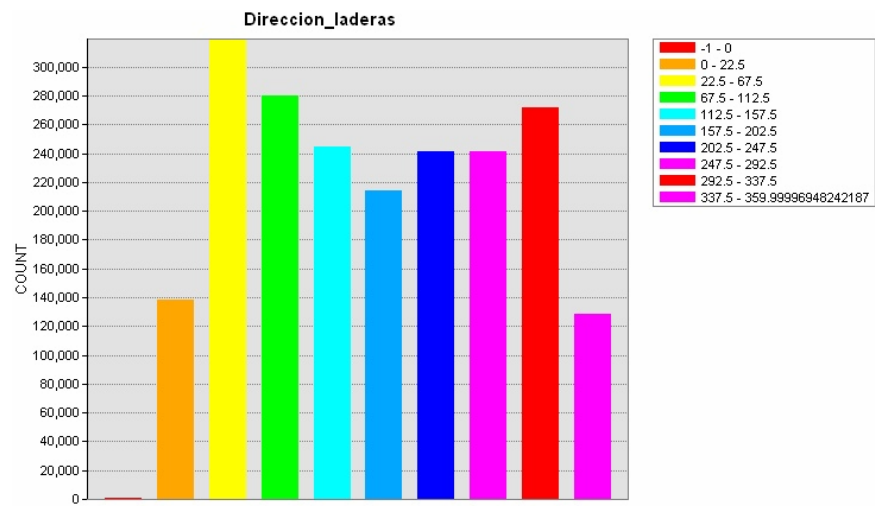


Figura 3.16 Histograma de cantidad de píxeles del mapa de dirección de laderas

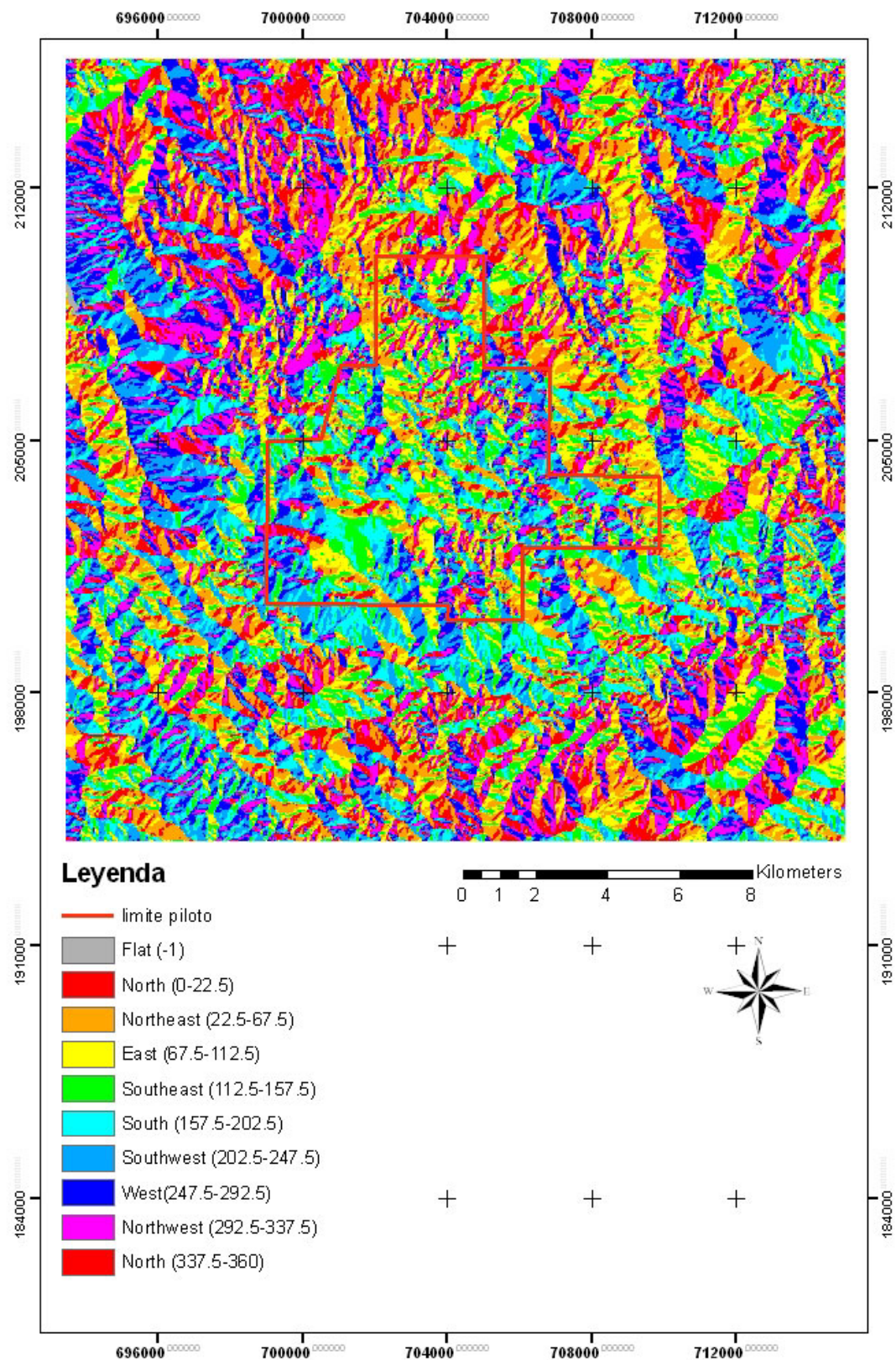


Figura 3.17. Mapa de dirección de laderas en el área (tamaño de píxel 15x15m).

Dirección de los flujos de aguas superficiales.

La dirección de los flujos de aguas superficiales en el área de estudio manifiesta cierta regularidad. En la figura 3.18 se muestra que hacia el este y oeste del y área de estudio hay un predominio de un escurrimiento hacia el sur y suroeste, evacuando las aguas hacia los drenes naturales representados por los ríos Jaragua, Piloto y Jaguaní. El drenaje hacia el norte y noreste se distribuye desde la parte central hacia el norte del área.

Divergencia o convergencia de los flujos superficiales

En la caracterización de los flujos superficiales también se analizó la tendencia a la divergencia o convergencia de estos sobre la superficie del terreno en el sector. En la figura 3.19 y 3.20 se muestra un mapa que refleja este comportamiento obtenido a partir del estudio de la curvatura del terreno mediante el MDE.

La convergencia o acumulación de los flujos es un fenómeno que se manifiesta en toda la zona limítrofe del yacimiento y están relacionados con los sistemas de cañadas, arroyos y ríos del área. El patrón en la mayoría de las áreas es dendrítico, sin embargo hacia el sur manifiesta patrones rectangulares entre los sistemas convergentes con direcciones noroeste y noreste.

La divergencia de los flujos también se distribuye en toda la periferia del área, pero no en todos los casos está vinculado espacialmente con la convergencia de estos. Pueden relacionarse con divisorias principales y secundarias de las aguas y con zonas de pequeñas ondulaciones en el terreno que permiten este fenómeno superficial. En la parte central hay divergencia con un patrón alineado con dirección noroeste-sureste, relacionado con las elevaciones centrales que hay en el área.

En la parte central del yacimiento, donde el relieve es aplanado, hay un comportamiento intermedio o la existencia de un equilibrio entre estos dos fenómenos (convergencia-divergencia), en el cual las aguas pueden manifestar infiltración hacia los horizontes inferiores del suelo o inundar áreas más amplias sin manifestar acumulaciones en forma de corrientes alineadas.

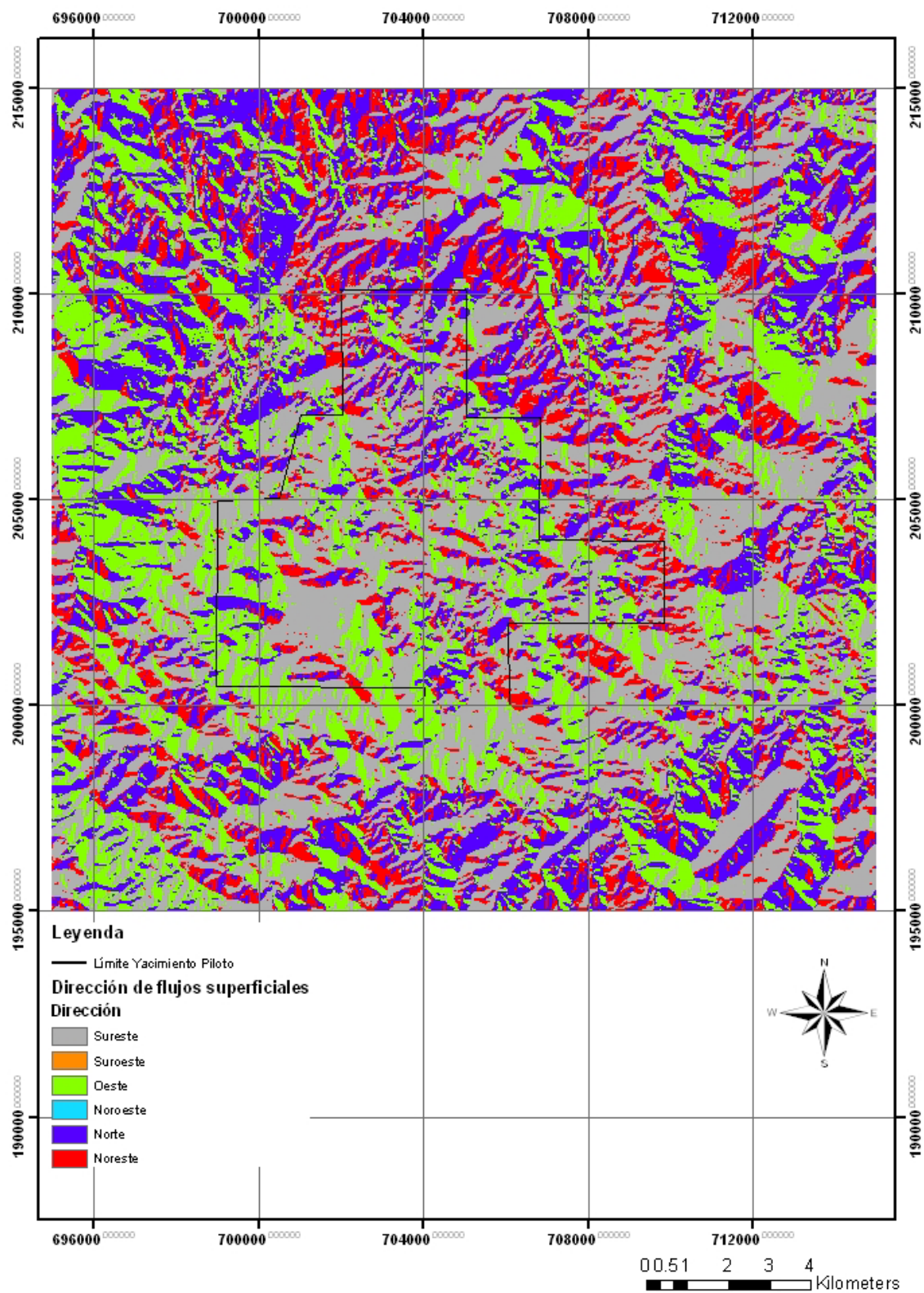


Figura 3.18. Mapa de dirección de los flujos de aguas superficiales en el área (tamaño de píxel 15x15m).

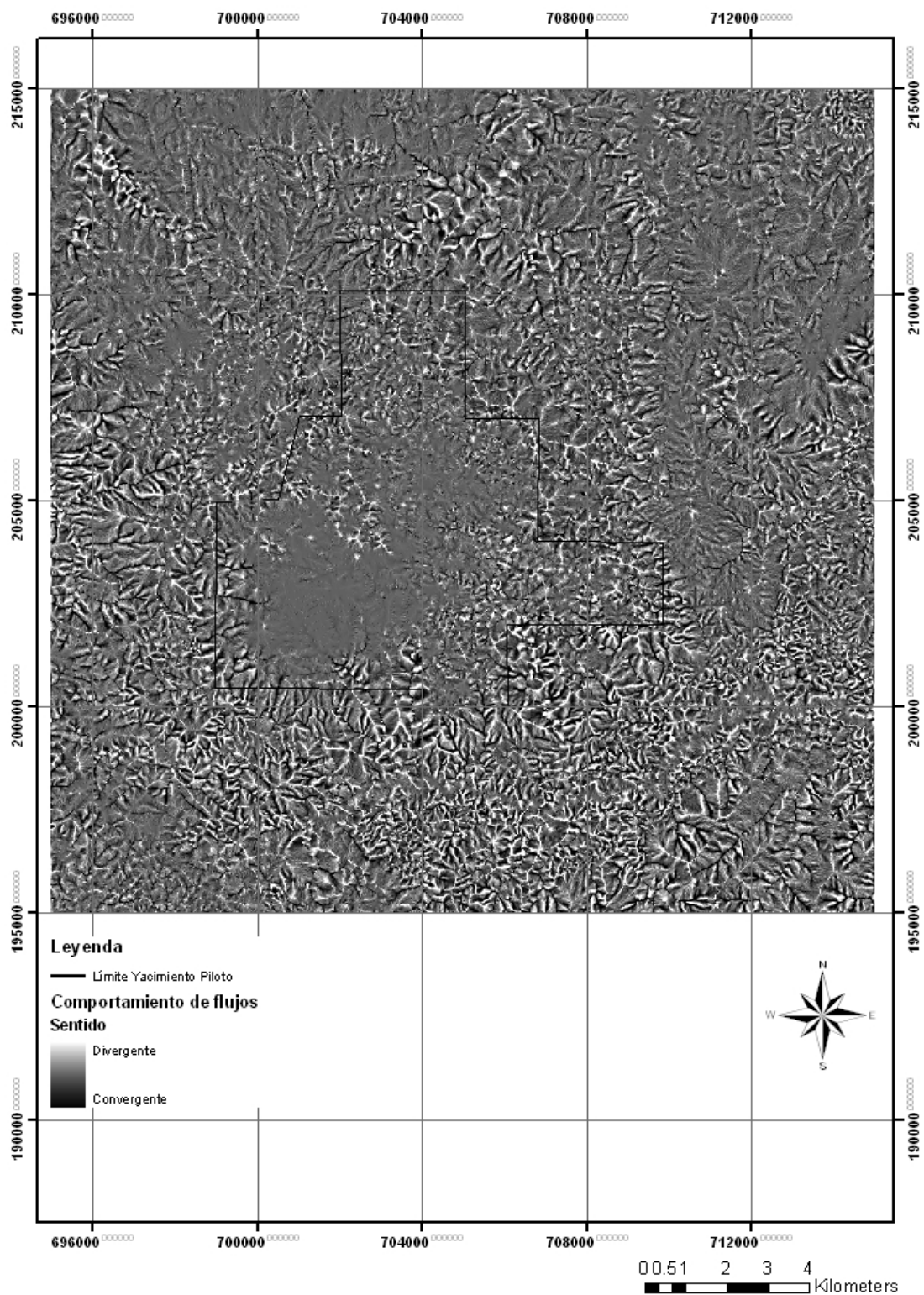


Figura 3.19. Mapa de zonas de acumulación/divergencia de flujos superficiales en el área (tamaño de píxel 15x15m).

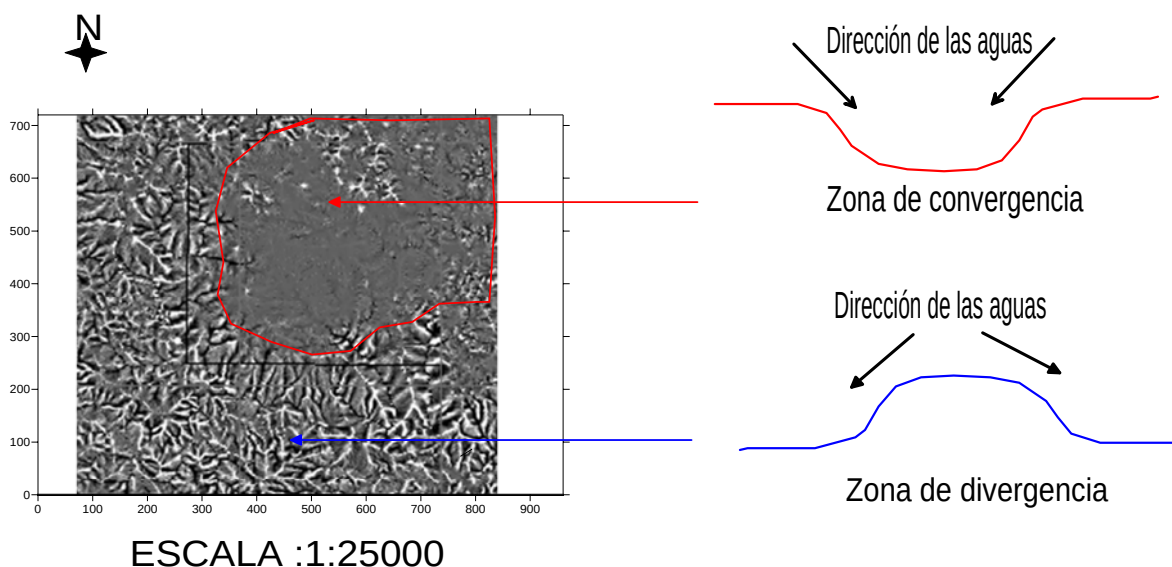


Figura 3.20. Divergencia y convergencia de los flujos de agua superficiales en el área.

3.4 Plan de manejo de las condiciones geoambientales.

En las áreas protegidas, los Planes de Manejo tienen la función de definir el conjunto de acciones y medidas necesarias para lograr los objetivos propuestos, encaminados sobre todo a la restauración, conservación y mejora de los valores naturales; por tal motivo deben ser realmente oportunos y factibles de implementar, articulados con la disponibilidad de recursos existentes. Asimismo, las propuestas y enfoques deben expresarse con claridad a fin de evitar errores, por lo que en el presente trabajo se da primeramente una explicación de las medidas a aplicarse en los diferentes puntos, los cuales aparecen a continuación (modificado de Correa 2004).

Análisis de las medidas a implementar.

Las causas fundamentales de los fenómenos erosivos y los deslizamientos, son los escurrimientos de aguas superficiales concentrados así como lluvias intensas que aumentan la presión de poros y debilita fuerzas resistentes, por lo que las medidas de conservación para manejar las áreas degradadas donde se manifiesta la erosión y la presencia de deslizamientos o la combinación entre estos deben encaminarse a evitarlos, lo que puede ser posible mediante la retención e infiltración del agua, la dispersión del escurrimiento superficial y su transferencia hacia lechos resistentes a la erosión y deslizamientos.

Para lograr lo anterior expuesto y conseguir la estabilidad de taludes y laderas así como la acción erosiva de las áreas estudiadas, se pueden utilizar diversas vías como son:

- Construcción de obras de ingeniería.
- Vegetación natural que se propaga y establece fácilmente.

- Material disponible en la localidad, cuya instalación es manual.

La estabilidad de los terrenos en los que se ha aplicado sistemas de tratamiento de la vegetación y el suelo, suele ser más duradera que las obras de ingeniería y no necesitan costos adicionales de tratamiento una vez implantados; además, pueden incorporar valores estéticos al paisaje o por lo menos no perturbarlo, lo que es de suma importancia para un área natural protegida. El costo de inversión de este sistema es menor que el costo de construcción de las obras de ingeniería, por tal motivo en el trabajo se aplican métodos que faciliten una buena recuperación de las áreas con el mínimo costo, utilizando materiales locales, y no se hace énfasis en las obras ingenieriles.

A continuación se exponen y caracterizan las medidas que luego de un análisis detallado de un conjunto de ellas, son consideradas efectivas para la recuperación de las áreas afectadas por la erosión y los deslizamientos en el Sector La Melba del Parque Nacional Alejandro de Humboldt.

Construcción de colchones de ramas

Es un método de protección superficial en el que se utilizan ramas colocadas en el terreno suficientemente próximas como para establecer una cubierta completa.

Lo primero que se hace es introducir en el suelo estacas de madera muerta con ganchos (garabatos), a una profundidad de unos 20cm y distancia de 60-80cm; seguidamente se colocan ramas vivas o muertas en el suelo, lo suficientemente próximas como para cubrir el terreno completamente. El colchón de ramas se sujeta luego al terreno con ramas cruzadas o empalizadas trenzadas en hileras y en última instancia con alambres, aunque este último no se recomienda debido a que puede causar impactos negativos en los ecosistemas. Un método que puede ser sencillo y económico, es la utilización de lianas para el anclaje, las que se atan a las estacas y luego estas se hincan a mayor profundidad, de tal modo que el colchón de ramas quede fuertemente presionado contra el terreno, al aumentar la tensión de las cuerdas o lianas.

Materiales a emplear: Deben emplearse ramas largas y rectas de por lo menos 150 cm de longitud. En dependencia del grueso y del número de ramas laterales, se necesitarán de 20-50 ramas por metro de recorrido, siempre que la longitud de dicha rama sea igual al ancho de la cárcava. El peso por m² de ramas lisas será por lo menos de 5 Kg, y si son ramas con abundantes ramillas, de 5'10 Kg. También se pueden usar hojas de las palmas, que son muy efectivas para este colchón, el cual será empleado para reducir la acción de las gotas de lluvia sobre el terreno denudado y la velocidad de las aguas de escorrentía.

Eficacia ecológica y técnica: Proporcionan una cubierta inmediata y ofrecen buena cubierta erosiva, además favorecen el crecimiento de la vegetación y no resultan agresivos al medio natural.

Método de Schiechteln

Consiste en la colocación de pajas en el terreno, formando una capa continua, en dependencia de las condiciones del lugar y de los objetivos de recubrimiento se produce una mezcla específica de semillas y se extiende sobre la capa de recubrimiento, conjuntamente con fertilizantes orgánicos; también se pueden incorporar productos aditivos para estabilizar el suelo y favorecer el desarrollo de la vegetación.

Lo primero que se hace es introducir en el terreno estacas de madera muerta o viva con ganchos (garabatos), a una profundidad de 20-30 cm en la parte inferior de la pendiente y a una distancia de 50-75 cm. Seguido se conforman filas de estacas, las que deben de estar separadas 2 m como mínimo. Luego se coloca la paja en el suelo de forma tal que establezca una cubierta completa.

La cubierta de paja se sujeta al terreno utilizando para ello ramas cruzadas o lianas, y como en el caso anterior, se puede utilizar alambre aunque no es lo más recomendable. El método que se propone es su anclaje con ramas, las que se colocan paralelas a la línea de máxima pendiente y se atan a estacas que se hincarán más profundo, de modo que la capa de paja quede fuertemente presionada contra el terreno.

Materiales a emplear: Deben emplearse ramas largas y derechas, cuya longitud irá en dependencia de la distancia entre las estacas lineales, para presionar la capa de paja contra el terreno. Se utilizan también estacas de madera de longitud entre 50-60 cm y como paja se proponen especies de gramíneas locales como Caña Brava o Faragua u otras plantas como es el caso de la dracena, las que deben ser colocadas en dos capas superpuestas. También en esta medida se puede experimentar con las hojas de palmas, las que tienen la posibilidad de arrojar buenos resultados, por ser de fácil manejo y abundar en la región.

Eficacia ecológica y técnica: Con la aplicación de este método se proporciona al terreno una cubierta inmediata y total, la que lo protege de los efectos destructores de las gotas de lluvia, incrementa los niveles de infiltración y con ello reduce la cantidad de agua de escorrentía, lo que se traduce en una reducción de la erosión y por tanto, disminución del arrastre del suelo.

Sistema de estructuras transversales

Se elevan sobre la corriente fluvial y su fin es desviar la corriente de la orilla y retener los sedimentos acarreados. De este principio funcional parte también el método con el que se proyecta su colocación y que es como sigue:

a) Se prolonga la dirección de una línea de corriente desde un tramo recto de la cárcava, hasta interceptar un segmento exterior del pie del talud, con lo que se fija el punto 1, del que parte la construcción de la estructura transversal A.

- b) Por el borde exterior de A se traza una paralela (b) al sentido de la línea de corriente del tramo recto. Su intersección con el segmento del pie del talud determina el punto 2. El dique B partirá del punto 3, con lo que la distancia 1-3 será igual al doble de la distancia 1.2.
- c) Por los puntos extremos de las estructuras A y B se traza la recta c, la que corta los segmentos del pie del talud en el punto 4, en el cual se debe proyectar la estructura transversal C.
- d) Se continúa de modo análogo y se determina si la línea que une los puntos extremos de las estructuras B y C, corta un segmento del pie del talud; si esto ocurre, se coloca una estructura transversal adicional a partir de la intersección.
- e) El sistema de estructuras transversales se complementa con una estructura adicional E, ubicada contra la corriente, desde el punto 1 y a una distancia igual a la longitud 1-3.

Materiales a emplear: Para construir las estructuras transversales (Foto 3.12), se pueden utilizar materiales locales como fragmentos grandes de rocas, ramas gruesas y combinaciones de restos vegetales, madera y material clástico, los cuales se colocarán de manera que no puedan ser arrancados o arrastrados por la fuerza de la escorrentía.



Foto 3.12 Sistema de estructuras transversales.

Eficacia ecológica y técnica: Estas construcciones son efectivas para proteger el pie de los taludes y contribuyen a reducir el material arrastrado por la corriente, el cual se sedimenta en sus frentes; de esta manera se evita la posible contaminación de las aguas en el cauce donde vierte la cárcava, y facilita la regeneración natural en las áreas que ocupa esta forma de erosión hídrica.

Represas transversales

Son construcciones muy económicas desde el punto de vista de su efectividad, facilidad de realización y materiales a emplear, por tal razón son ampliamente utilizados en las áreas forestales, donde las pendientes son grandes, con probabilidad de ocurrencia de deslizamientos y las fuerzas erosivas son considerables.

Mediante su implementación se disminuye la velocidad del agua, con lo que se protegen las márgenes, el fondo y las cabezas de las cárcavas, ya que constituyen verdadero freno a la corriente fluvial y facilitan además la sedimentación e infiltración.

Existen diferentes tipos de represas transversales, pero para la conservación de las riquezas naturales con el mínimo de afectaciones al paisaje, son de gran utilidad las siguientes:

Represas de ramas: Se emplean fundamentalmente para la estabilización del fondo de cárcavas llanas y se distribuyen de través, insertándose bastante profundas en los laterales. Su fin consiste, sobre todo, en disminuir la velocidad del agua en la cabeza, así como la fuerza de transporte y en la retención del material del arrastre. Después de cierto tiempo se llenarán completamente, sirviendo como soportes transversales que estabilizan el fondo.

En las zonas de estudio, serán empleados dos métodos fundamentales de los varios que existen en este grupo:

- Tabique sencillo: Formado por una fila de estacas entretejidas de ramas. La altura del tabique suele ser de 30-70 cm, las estacas se clavan a una profundidad de 50-70 cm. Para el entrelazado se utilizan las ramas flexibles de árboles y arbustos que serán obtenidos de raleos u otros tratamientos silviculturales en áreas cercanas.
- Represa combinada: Formada por dos tabiques simples contruidos en forma paralela. El espacio entre las filas de estacas se rellena con ramas, también se puede utilizar piedras sueltas. La construcción se hace más resistente por medio de una tercera fila de estacas colocada entre las dos anteriores. Las cabezas de las estacas se atan entre sí con lianas.

El tabique sencillo se empleará en la parte superior de las cárcavas, con el objetivo de detener las partículas grandes que se trasladan conjuntamente con las aguas de escorrentías, los mismos deben construirse separados a una distancia de 8-10 metros, hasta llegar a la mitad de la zanja. Luego se construyen las represas combinadas con la finalidad de reducir la cantidad de partículas finas que continuaron su paso a través de los tabiques anteriores.

Represas de piedras: Consisten en la ejecución de una especie de diques de piedras no consolidadas, las que preferiblemente deben ser grandes y resistentes a la desintegración, el cual hará el efecto de filtro y en su frente se acumularán los sedimentos. Los espacios grandes que queden entre las piedras, se rellenan con un material más suelto, preferiblemente gravas.

Represas de troncos

En este caso se debe destacar que un método eficaz será la utilización de troncos vivos, que sirvan de estacas, contribuyendo al aumento de la resistencia de la represa. Los mismos deben estar enterrados a unos 50 cm de profundidad y su altura no necesariamente alcanzará los bordes de las cárcavas. Se debe reforzar la base utilizando fragmentos de

rocas grandes y ramas gruesas horizontales, fijadas a ambos lados de la cárcava. Estas represas con el paso del tiempo aumentan su resistencia y si las estacas son de especies que pueden germinar con facilidad, se desarrollarán por selección natural y hasta pueden lograr la estabilización total del proceso erosivo.

También las represas se pueden construir con troncos y ramas gruesas de árboles que no están destinados a su germinación, las que se colocarán al igual que la anterior, lo que es más factible, de manera horizontal, con sus extremos fijados al terreno firme, a ambos lados de la cárcava.

Se debe destacar que la implantación errónea de estas represas, pueden dar lugar a una fuerte erosión en la zona de caída del agua, al ser rebasados los obstáculos, por tal razón, las partes posteriores de las mismas deben estar cubiertos de piedras, ramas u otros materiales biodegradables.

Una buena utilización de esta medida conlleva a la contención del suelo, formando bancos de sedimentos que hacen la función de terrazas, donde la velocidad de la escorrentía es menor.

Materiales a emplear: Se utilizarán ramas fuertes para las estacas; ramas flexibles de árboles y arbustos, las que serán entrelazadas entre las estacas para la conformación del tabique, además, se puede emplear piedras, bagazo, aserrín, etc. En la construcción de las represas de piedras, estas deben ser lo suficientemente grandes, bastando por lo general que la mitad tenga un diámetro mayor de 30 cm, pero será más factible si la mayoría sobrepasa los 50 Kg.

Para las represas de troncos, estos deben ser gruesos, tomados en las cercanías de las cárcavas y en caso de estacas vivas se emplearán especies afines con el medio natural. En nuestro caso pueden ser las siguientes:

- Chrysobalanus icaco. (Icaco)
- Gliricidia sepium (Piñón Florido)
- Dracaena cubensis (dracena)
- Plumeria S.P. (Súcheli)
- Ficus S.P.(Jagueyes)

En todos los casos, las represas transversales aumentan su efectividad, si se coloca un sistema de ellas, separadas de 7-10 metros una de otra. En tal caso, los que estén situados en la cabecera de la cárcava o en las mayores pendientes, deben ser las más resistentes.

Eficacia ecológica y técnica: Las represas son efectivas para la protección del talud y el fondo de las cárcavas, favorecen la sedimentación y con ella la regeneración de la cobertura vegetal, posibilitando menor agresividad al paisaje, además de constituirse en verdaderos filtros fluviales. Su instalación en las cárcavas sirve para reducir el material arrastrado por las aguas, contribuyendo a la reducción de la cantidad de artículos que pueden llegar a los cuerpos de aguas superficiales a los que se dirigen y con ello influyen en el mantenimiento de la calidad de dichos cuerpos hídricos.

Tecnologías de revegetación

La importancia de la vegetación como medida contra los procesos erosivos y la ocurrencia de deslizamientos es innegable, se pueden mencionar muchas observaciones representativas que documentan la eficacia de una buena cobertura en la defensa del suelo; para establecer estas medidas protectoras, es necesario definir en qué área se realizará y las características de la misma, así como las especies a desarrollar. En fin, que es posible dividir esta tecnología en dos grupos: Repoblación forestal y empleo de cobertura herbácea.

Repoblación forestal: Se debe realizar utilizando especies de la población local, sobre todo aquellas con especial interés económico o ecológico para su conservación. Así, este caso es útil sobre todo para territorios en que las pendientes son grandes y se debe combinar con el mejoramiento de los bosques si estos existen, desarrollándose en toda la extensión del área afectada, en forma de fajas protectoras lineales o de plantaciones forestales comunes. El efecto protección aumenta sustancialmente, si la siembra de los árboles alrededor de las cárcavas se hace más densa por medio de hileras de arbustos con un sistema de raíces bien desarrollado.

Para la plantación de árboles y arbustos se preparan terrazas individuales sobre las pendientes, para cada ejemplar; las mismas tienen aproximadamente 1.5 metros de ancho y su superficie puede ser horizontal o inclinada en contra de la pendiente, con valores entre 5-10 grados, a fin de contener mejor el agua.

Cobertura herbácea: Es una medida muy simple, pero para alcanzar buena protección, es necesario aplicarla en combinación con otras como es el caso de las barreras, represas y colchones de ramas (Foto 3.13).

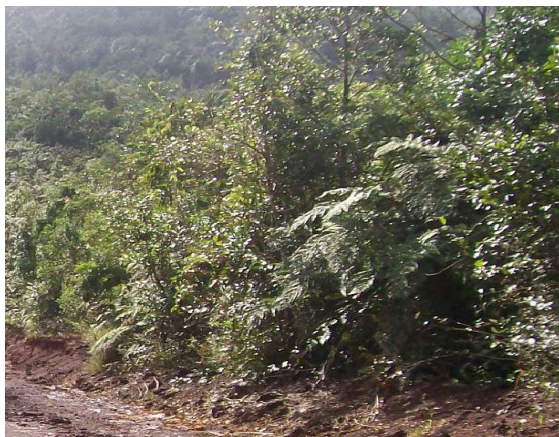


Foto 3.13. Cobertura herbácea

La siembra de las semillas de la hierba se lleva a cabo en la capa de humus del terreno y también la medida se puede implementar obteniendo los ejemplares con la técnica de moteo.

En las pendientes muy abruptas o demasiado largas, se pueden proteger las plantas y semillas, formando terrazas de materia vegetal sujetas con estacas y lianas, y se debe tener en cuenta que el éxito de la siembra depende del mantenimiento posterior de la cobertura, hasta que esta se desarrolle, alcanzando densidad y continuidad, por lo que es

conveniente realizarla en épocas del año adecuada, de modo tal que la hierba joven tenga condiciones favorables para su desarrollo.

En las áreas degradadas del Sector, son factibles para implementar la medida, los siguientes ejemplares:

- Faragua.
- Pata de Gallina (*Digitaria sanguinalis*)
- Pitilla Americana (*Andropogon annatus*)
- Camagüeyana (*Andropogon pertusus*)
- Alpastillo (*Panicum adspersum*).
- Sacasebo (*Paspalum notatum*)
- Alambrillo (*Sporobolus indicus*), entre otros...

Eficacia ecológica: Ecológicamente, las tecnologías de revegetación son las más adecuadas, ya que favorecen el desarrollo del suelo, su protección contra el impacto de la lluvia y la cohesión del mismo. Además, contribuye a la distribución del agua en la superficie del terreno, la infiltración y con ello se disminuye en accionar de la erosión; por otro lado mejora el paisaje y los ecosistemas, alcanzándose ventajas sustanciales en la recuperación de las áreas degradadas como un todo.

Canales derivadores: Constituyen una de las prácticas más comunes y fundamentales en la conservación de los suelos. Serán construidos en la parte del terreno que se encuentra con vegetación o dirigidos hacia ella, con el objetivo de recolectar las aguas de escorrentías existentes y dirigir las a un cauce seguro, fuera del lugar donde se están realizando. Estos canales pueden tener distintas formas en la sección transversal como es trapezoidal, parabólico, triangulares o en V. La sección parabólica es la que más se aproxima al cauce natural. Bajo condiciones normales, la acción del flujo, la erosión y la sedimentación en los cauces de la sección triangular y trapezoidal tienden a darle una sección parabólica en el transcurso del tiempo.

Toda vez que la acumulación de sedimentos es un problema en este tipo de cauce, la velocidad de diseño para el trazado debe mantenerse tan alta como la protección del canal lo permita. Los sedimentos depositados en el cauce deben sacarse cada vez que sea necesario, para que él mismo conserve toda su capacidad.

Eficiencia ecológica y técnica: La construcción de los canales de derivación trae consigo una reducción en la cantidad de agua que penetra en la cárcava y con ello, se minimizan los efectos erosivos producidos por dichas aguas.

Un manejo adecuado en las áreas degradadas por la erosión en cárcavas, es de gran importancia para la recuperación de las mismas, por tal medida se debe tener en cuenta que aunque se dispone de un conjunto de medidas analizadas para su implementación, es necesario aplicar estas a partir de las condiciones imperantes a nivel local, tanto desde el punto de vista de las condiciones de la vegetación y el clima, como de los tipos de suelos existentes, desarrollo de la erosión y

deslizamientos dado por la microtopografía, todo lo cual debe estar bien analizado a la hora de poner en práctica el Plan de Manejo.

Esta etapa se corresponde con la fase programática de los Planes de Manejo para un área protegida, que a su vez es la última y plantea qué hacer en cada área estudiada, lo que constituye el punto más importante del documento, pues de aquí dependen los resultados finales, además de constituir una guía adecuada para orientar las acciones a realizar.

3.5 Valoración del trabajo

En el plano ambiental, el presente estudio geoambiental en el área del sector La Melba ubicado en el parque nacional Alejandro de Humboldt, como método de prevención de desastres, se convierte en una útil herramienta para el ordenamiento medioambiental del área en cuestión. Además, encuentra un amplio campo de acción en la identificación y caracterización de los fenómenos de deslizamientos y erosión evaluando el comportamiento de los terrenos en función del tipo de uso de suelo y de las condiciones naturales inherentes de las cortezas lateríticas, convirtiéndose en una herramienta, además, para controlar, monitorear y evaluar los riesgos asociados al desarrollo de movimientos de masas y procesos erosivos en los demás sectores del parque.

En el orden económico, el mayor impacto que representa la investigación, es que sirve para prevenir pérdidas económicas considerables en el sector clasificado con niveles relativamente altos de susceptibilidad en función del uso de suelo que se manifieste en el sector de estudio. Así como los costos de los trabajos geológicos que se proyectan para realizar la evaluación ambiental de dicha área. Los trabajos realizados se relacionan en la tabla 3.6 con sus costos en moneda nacional y moneda libremente convertible.

Tabla 3.6. Tabla de costos de los trabajos geológicos realizados en la investigación.

			Precio		Importe	
Métodos	UM	Volumen	MN	USD	MN	USD
Topografía						
Reconocimiento de puntos.	ptos	63	146.75	8.36	9245,25	526,68
Geología						
Muestreo integral y determinación de peso volumen.	mtras.	20	26.3	4.74	526	94,8
Itinerario geológico.	km	120	130	10.4	15600	1248
Hidrogeología						
Levantamiento hidrogeológico.	km	70	90	15	6300	1050
Total					31671,25	2919,48

Para la defensa civil presenta un valor significativo. Esta ubica los puntos más susceptibles de riesgos por procesos erosivos y deslizamientos, así como la proposición de un plan de manejo de medidas de mitigación para el mejoramiento de las áreas afectadas por estos fenómenos causantes de desastres naturales que afectan la economía y la población.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la evaluación de las condiciones geoambientales del sector La Melba del Parque nacional Alejandro de Humboldt a través de las técnicas de cartografía geológica se determina la manifestación de fenómenos como erosión y deslizamientos, condicionados fundamentalmente por las características geológicas, litológicas, geomorfológicas, la geotécnica de los suelos lateríticos y la acción antrópicas que en muchos casos acelera estos procesos. Se caracterizaron los procesos erosivos-deposicionales que se manifiestan en los suelos lateríticos condicionados por la geomorfología del terreno y las modificaciones antrópicas al medio.

Los mecanismos y tipologías de deslizamientos desarrollados en el área son a través de una superficie con topologías de deslizamientos rotacionales en cortezas lateríticas y deslizamientos planares en rocas, además se manifiestan mecanismos de caída libre de las rocas aunque en algunos sitios se desarrollan flujos de tierras detríticos.

A partir del análisis geoambiental se confeccionó un Plan de Manejo para el sector de estudio, que presenta disponibilidad de recursos laborales para ejecutar las diferentes medidas de prevención o mitigación de los daños derivados de estos fenómenos en el área.

RECOMENDACIONES

El parque Alejandro de Humboldt presenta una gran extensión enmarcada en el macizo montañoso Sagua- Moa- Baracoa, donde las condiciones climáticas, geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas son muy similares a las analizadas en el sector de estudio, por este motivo recomendamos utilizar la metodología empleada en este trabajo en otros sectores del parque. Así como poner en práctica el Plan de Manejo Geoambiental propuesto en dicha investigación, para mitigar los fenómenos de deslizamientos y erosión en las áreas donde se localicen estos procesos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Almeja, C. Direcciones de drenaje en la vertiente sur de Sierra Almijara. Influencia de la facturación. Boletín Geológico y Minero, Vol. 197, No. 1, Enero- febrero, 1996.
2. Alfaro.S. J. M. Aplicación de nuevas técnicas en el estudio ingeniero geológico de los macizos rocosos. Memorias "Primer Simposio Internacional la geodesia y la Geomecánica Aplicadas a la Construcción: Ciudad de la Habana. Cuba. 19-28p. 2000.
3. Ayala, C. F. J. Manual de ingeniería de taludes: Instituto Tecnológico Geominero de España. 1991.
4. Almeida, N. Valoración de la estabilidad de la Mina Merceditas. Trabajo de Diploma. Cuba, 1995.
5. Baklachov, I. V y B. A, Kartosia. Procesos mecánicos en los macizos Septiembre. 1972.
6. Barton, N, R y Choubey. A review of the shear strength of filled
7. Beniaowski, Z. Roock, T. Determining rock mass deformability experience from case history. International Journal of Rock Mechanic Geomechanics Abstracts. Vol 15, No.15, Oct. 1978.
8. Blanco, T. R. Mecánica de rocas: Oriente, Cuba. 1981.
9. Blanco, T. R. Elementos de la mecánica de los medios rocoso: Félix Varela, La Habana, 1998.327p.
10. Blanco, T. R y M. P. Cartaya. Estimación de la resistencia de las rocas. Minería y Geología (Moa).No.1. 2000. Instituto de Geología y Paleontología. Memorias III Congreso Cubano de Geología y Minería. La Habana. Cuba.57 - 60p.1998
11. Blanco, M. J y J. Proenza. Terrenos tectonoestratigráficos en Cuba Oriental. Minería y Geología (Moa). No.3. Vol XI. 1994.
12. Borisov. A.A. Mecánica de rocas y de los Macizos: Niedra, Moscú. 1986.
13. Bieniawski. Z. T. Geomechanic classification of rock masses and its application to tunnelinng. Proc. III. Tnt. Congress for Rock Mechanic. ISMR. Vol IIA. 1974.
14. Bieniawski. Z. T. Geomechanic classification of rock masses and its application to tunnelinng. Proc. II. Tnt. Congress for Rock .
15. Cartaya, P. M. Caracterización geomecánica de los macizos rocosos de la mina Mercedita.[Tesis de Maestría]. ISMMANJ. 1996. 77h.
16. Cartaya , P. M y R .Blanco. Modelos geomecánicos del macizo rocoso en la mina de cromo Merceditas. Minería y Geología (Moa). XVI (2):47- 52p,1999.
17. Cartaya , P. M y R .Blanco. Caracterización geomecánica de los macizos rocosos de algunas minas y túneles subterráneos de la región oriental del país: Memorias "Primer Simposio Internacional la geodesia y la Geomecánica Aplicadas a la Construcción: Ciudad de la Habana. Cuba. 122- 130p. 2000
18. Cartaya, P. M; Blanco, T. R. Informes Ingeniero – Geológicos y valoración de estabilidad de los túneles populares del municipio Moa. Estado Mayor Municipal de la Defensa Civil – Moa, 1997.

19. Campos, M. Estructura de las ofiolitas de Cuba Oriental. Fondo geológico. ISMMANJ. 1989.
20. Falero, S.F. Geometría del agrietamiento del macizo rocoso de Mina Merceditas y su estabilidad. [Tesis de Maestría]. ISMMANJ. 1996. 44h.
21. Gonzales, N. Caracterización del agrietamiento en la Mina Merceditas. Trabajo de Diploma. Cuba, 1995.
22. Gutiérrez, G. L. Caracterización geomecánica de los macizos rocosos de las minas Merceditas y Amores. [Trabajo de diploma]. ISMM. 1996.
23. Hoek, E and Brown, E.T. Underground Excavations in rock. – London: The Institution of mining and metallurgy, 527p. 1980.
24. Iturralde – Vinent, M. Ofiolitas y arcos volcánicos de cuba oriental: Miami. 1996.
25. Mapa Geológico de Cuba Orienta Esc. 1:250 000. Academia de Ciencias de Cuba, Instituto de Geología y Paleontología. 1985.
26. Mondejar. O. O. Mecanismo de acción de presión minera en Mina Merceditas: Centro nacional de informaciones geológicas. Instituto de Geología y Paleontología. Memorias III Congreso Cubano de Geología y Minería. La Habana. Cuba.442 –445p.1998
27. Quintas, C. F. Formaciones geológicas de cuba oriental, [Tesis doctoral]. ISMM. 1989. Aguilo Alonso M. y Otros. Guía para la elaboración de estudios del medio físico:"contenido y metodología". Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. España.1998.
28. Alberts, E.E., Holzhey, C.S. West, L.T. y Nordin, J.O. 1987. Soil Selection: USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP). Trans. 87-2S42, ASAE.
29. Almaguer Carmenates Y. Tesis de maestría en Geomecánica. ISMM. Moa. 2001.
30. Bali, Y.P. y Karale, R.L. 1977. A sediment yield index for choosing priority basins. Proceeding of the Symposium of Erosion and solid matter transport in inland waters, UNESCO, Palis. pp. 180-188. Cabrales 31. Rodríguez A. A. Protección de las aguas superficiales de la parte baja de la cuenca del río Cayo Guam. Tesis de maestría. ISMM. Moa. 2001.
32. Chavez, H.M.L. y Nearing, M.A. 1991. Uncertainty analysis of the WEPP erosion model.. Transactions of the ASAE 34(6): 2437-2444. Chávez, H.M.L. 1990. Uncertainty analysis of a steady-state erosion modal. Tese de doutorado. Purdue University, W. Latayette. 200 pp.
33. Chow, V.T., Msidment, D.R. y Mays, L.W. 1988. Applied hydrology. McGraw-Hill, New York. 572 pp.
34. De Coursey, D.G. y Meyer, L.D. 1977. Philosophy of erosion simulation for land use management. In: Foster (ed.): Soil erosion: Prediction and control. SCSA Publ., Ankeny. pp. 193-200.
35. Dunne, T. 1979. Field studies of hillslope flow processes, in Kirby (ed.) Hillslope hydrology. Wiley, New York. pp. 227-293.
36. El-Swaify, S.A. y Dangler, E.W. 1977. Erodibilities of selected tropical soils in relation to structural and hydrologic parameters. In: G.R. Foster (ed.) Soil erosion: Prediction and control Proc. of the National Conf. on Soil Erosion, W. Latayette, IN pp. 105-114.

37. Foster, G.R. (Editor). 1987. User requirement: USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP). DraR 6.2. USDA-ARS, Washington. 44 pp.
38. González Pedroso C. y Otros. Atlas Climático de Cuba. La Habana.1983. -Harr. M.E. 1987. Rdiability-based design in civil engineering. McGraw-Hill, N.York.
39. Huggins, L.F. 1986. Field data acquisition systems, in Giorgini & Zingales (eds.): Agricultural nonpoint source pollution: Model selection and application. Developments in esological modeling 10. Elsevier, Amsterdam. pp. 399-409.
40. Lal, R. 1978. Soil conservation and management in the tropics. En: Anais do II Encontro Nacional sobre Pesquisa em Erosão. Passo Fundo, RS. pp. 5-18.
41. Lane, L.J. y Nearing, M.A. (eds.). 1989. USDA-Water Erosion Predictioo Project: Hillslope Profile Model Documentation. NSERL Report N° 2 W. Lafayette. 300 pp.
42. Lecha Estela L. B. y A. Florida Trujillo. Principales características climáticas del régimen térmico del Archipiélago Cubano. La Habana. 1989.
43. Manoel Dos Santos O. A. Geología Aplicada y medio ambiente. Aspectos geológicos de protección ambiental. Vol. 1. 1995.
44. Morgan, R.P.C. 1986. Soil erosion and conservation. Longman, London. 298 pp.
45. Mutchler, C.K., Murphree, C.E. y McGregor, K.C. 1988. Laboratory and field plots for soil erosion studies, in Lal (ed.): Soil erosion research methods. SWCS Publ., Ankeny. pp. 9-38.
46. Osman, A.M. y Thorne, C.R. 1975. Riverbank stability analysis. I: Theory. J. of Hydr. Div. ASCE 114(2): 134-IS0.
47. Pérez Domínguez C. La erosión del suelo: causas, efectos y control. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de La Habana. 1983. 203 p.p.
- 48.Proenza J. A. Mineralizaciones de cromita en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba) Ejemplo del yacimiento Merceditas. Barcelona. España. 1997.
49. Rogowski, A.S., Khanbilvardi, R.M. y DeAngelis, R.J. 1985. Estimating erosion on plot, field, and watersbed scales., in El-Swaify et al (eds.): Soil erosion and conservation. SCSA Publ., Ankeny. pp. 149-166.
50. Suárez de Castro f. Conservación de suelos. régimen térmico del Archipiélago Cubano. La Habana. 1989.
51. Manoel Dos Santos O. A. Geología Aplicada y medio ambiente. Aspectos geológicos de protección ambiental. Vol. 1. 1995.
52. Morgan, R.P.C. 1986. Soil erosion and conservation. Longman, London. 298 pp.
53. Mutchler, C.K., Murphree, C.E. y McGregor, K.C. 1988. Laboratory and field plots for soil erosion studies, in Lal (ed.): Soil erosion research methods. SWCS Publ., Ankeny. pp. 9-38.
54. Pérez Domínguez C. La erosión del suelo: causas, efectos y control. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de La Habana. 1983. 203 p.p.
55. Rogowski, A.S., Khanbilvardi, R.M. y DeAngelis, R.J. 1985. Estimating erosion on plot, field, and watersbed scales., in El-Swaify et al (eds.): Soil erosion and conservation. SCSA Publ., Ankeny. pp. 149-166.

Heede, B.H. (1970): Morphology of gullies in the Colorado Rocky Mountains. Bull. Int. Assoc. Sci. Hydr., 12, 4: 78-89.

Heede, B. H. (1979): Gully development and control. USDA Forest Service Research Paper RM-169, Fort Collins, May 1976.