



ISMMM

INSTITUTO SUPERIOR MINERO
METALURGICO DE MOA
DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ

Facultad: Geología y
Minería
Departamento de Geología

Trabajo de Diploma

En opción al Título de
Ingeniero Geólogo

Análisis de la degradación de los suelos en el municipio Moa.

Autor: Yunier Céspedes Hernández.

Tutor: Dr.C. Yuri Almaguer Carmenates.

Ing.Yurisley Valdes Marino

Moa, Holguín
Abril del 2014
"Año 56 de la Revolución"



Declaración de Autoría

Declaro ser el único autor del presente trabajo de diploma y reconozco al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez” y al Departamento de Geología los derechos patrimoniales del mismo, con carácter exclusivo.

Para que así conste firmamos la presente a los ____días del mes de _____ de 2014.

Yunier Céspedes Hernández

Firma Autor

Dr.C. Yuri Almaguer Carmenates.

Firma Tutor

Pensamiento

Dedicatoria

Mis padres Hilda Hernández Góngora, Juan B Céspedes Cuenca y a mi ángeles de la guarda Yoslainy Céspedes, Eddy Guilarte.

Mis abuelos Carmelina Cuenca, Irene Góngora y Adolfo Sánchez.

Mis hermanas Mayte Céspedes, Adriannisy Céspedes y a toda mi familia en general.

Agradecimientos

Le agradezco a mi familia por el apoyo incondicional que me ha dado desde el principio de mis años de estudios en esta universidad para que me forjase como un profesional, en especial a mis padres que son el motor impulsor de todos mis logros.

También quisiera agradecerle a mi tutor el doctor en ciencias geológicas Yuri Almaguer Carmenates que ha sido un pilar importante en esta investigación enseñándome y preparándome para un futuro lo cual se lo agradezco y se lo voy a agradecer siempre.

Por último agradecer a todos los profesores del departamento de geología por su apoyo incondicional en la realización de esta investigación, en especial a Yurisley Valdes Mariño.

Resumen

En las últimas décadas los daños causados por el hombre a los recursos naturales son evidentes y no puede negarse que los procesos de degradación de los suelos se producen a una velocidad 10 veces mayor en las áreas destinadas a la producción de alimentos. El análisis de la degradación ambiental en el municipio Moa, tiene como objetivo principal hacer una evaluación de los factores que inciden en el proceso de degradación de los suelos con vista a perfeccionar los planes de gestión por la pérdida de biodiversidad, mediante métodos de cartografía digital.

La metodología aplicada integra métodos de cartografía geológica de campo, procesamiento digital de la información e integración y análisis en un sistema de información geográfico; se caracteriza desde el punto de vista geológico el municipio y se analizan los factores naturales y antrópicos que influyen sobre la degradación de los suelos.

Como resultados se describen los factores que contribuyen al proceso de degradación. El uso del suelo en algunas áreas ha eliminado la vegetación natural y ha transformado el medio, disminuyendo la fertilidad de los suelos y dañando cursos fluviales. En las zonas de baja densidad de vegetación la principal causa es la acción antrópica y en las zonas de altas pendientes (15°-60°) y de mayor altitud los procesos erosivos son más intensos por lo que la densidad de vegetación disminuye. Provocando un aumento considerable en la degradación de los suelos del Municipio.

Abstract

The damages caused by man to the natural resources in the last decades are evident and it cannot be refuse that the degradation processes of the soils nowadays take place at a speed 10 times superior in the areas dedicated to the allowance production. The main objective of the environmental degradation analysis in the municipality of Moa is the evaluation of the factors that impact in the soils degradation processes, in order to perfect the administration plans for the biodiversity loss using methods of digital cartography.

The methodology used integrates methods of geological field mapping, digital information processing, integration and analysis in a geographic information system; the municipality is characterized from the geologic point of view and also the natural and anthropic factors that influence on the soils degradation are analyzed.

As results the contributing factors to the degradation process are described. The investigation makes evident that the natural vegetation has been removed due to the land use, which in some areas has transformed the medium, decreasing soil fertility and damaging rivers. In areas of low vegetation density the main cause is human action, and in areas of steep slopes (15 ° -60 °) and high altitude erosion processes are more intense, so the vegetation density decreases causing a significant increase in the degradation of the municipality.

Índice de contenido	
Introducción	1
Capítulo I: Marco teórico conceptual de la investigación	3
1.1 Conceptos y definiciones utilizados en la degradación	3
1.2. Procesos relacionados con la degradación del suelo.	5
1.2.1. Erosión.	5
1.2.2 Salinización	7
1.2.3 Compactación	7
1.2.4 Acidificación	7
1.2.5 Contaminación química.....	8
1.2.6 Uso y pérdida de nutrientes	8
1.2.7 El bajo contenido de materia orgánica.....	9
1.2.8 Procesos de degradación	9
1.3 Factores de la degradación	9
1.4 Causas de la degradación	11
1.5 Investigaciones precedentes.....	12
1.5.1 Investigaciones realizadas a nivel mundial	12
1.5.2 Investigaciones realizadas en Cuba	13
1.5.3 Investigaciones realizadas en el territorio de Moa	15
Capítulo II: Características generales locales del territorio.....	17
2.1 Características físico – geográficas. Ubicación geográfica.	17
2.1.1 Relieve.	18
2.1.2 Hidrografía.	18
2.1.3 Clima.	18
2.1.4 Vegetación.	19
2.1.5 Suelos.	20
2.1.6 Sismicidad.....	21
2.1.7 Características socioeconómicas.....	21
2.2. Características geológicas del territorio.....	22
2.2.1 Principales Sistemas de Fallas del Territorio.	26
2.2.2. Características geomorfológicas.....	27

Capítulo III: Materiales y métodos utilizados.....	29
3.1 Trabajos de cartografía geológica	29
3.2 Análisis de los factores de degradación	30
3.2.1 Pérdida de la vegetación.....	30
3.2.2 Geología de área	31
3.2.3 Forma del terreno.....	31
3.2.4 Morfotectónica del área.....	32
3.2.5 Factor antrópico	32
3.3 Procesamiento de la información	33
3.4 Metodología para la evaluación de la degradación.....	37
Capítulo IV: Evaluación de la susceptibilidad por degradación de los suelos en el municipio Moa.	38
4.1 Inventario de zonas degradadas.	38
4.2 Caracterización de los factores que inciden en la degradación de los suelos.	46
4.2.1 Factores naturales	46
4.2.2 Factor antrópico.	53
4.3 Evaluación de la susceptibilidad frente a la degradación de suelos.	55
4.4 Impactos ambientales que inciden en la degradación de los suelos en el municipio.	56
4.5 Medidas para minimizar el proceso de degradación de los suelos.....	62
Conclusiones Generales.....	66
Recomendaciones	67
Bibliografía	68

Introducción

El Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo desarrollado en Cuba se sustenta sobre una base jurídica y legal acorde con el desarrollo actual del país y con la legislación ambiental vigente cuya expresión más reciente es la Ley No. 81 de Medio Ambiente. Este programa tiene como objetivo general prevenir y controlar las causas que contribuyen al desarrollo de los procesos conducentes hacia la desertificación, partiendo de la degradación del suelo, fenómeno que se relaciona con la disminución de la productividad del mismo mediante la aplicación de las medidas prácticas necesarias que permitan detener y revertir dichos procesos, mitigar los efectos de la sequía y contribuir al desarrollo sostenible de las zonas afectadas con el propósito de elevar la calidad de la vida de sus pobladores.

Este trabajo nos permite tener una idea del comportamiento de la degradación de los suelos en el municipio Moa, partiendo de los factores que la provocan siendo estos naturales o antrópicos, obteniendo como resultado un mapa de degradación de los suelos gracias a la posibilidad de trabajar con técnicas computacionales y la generación de nuevos software, que nos permiten realizar análisis de cantidad de áreas afectadas, determinar la susceptibilidad y la vulnerabilidad del terreno a los movimientos de masas de manera más precisa y confiable.

El Sistemas de Información Geográfica (SIG), es una herramienta que nos permite la elaboración de mapas partiendo de un procesamiento de la información, tratando bases de datos y realizando cálculos de diferentes mapas al mismo tiempo.

En la región de Moa existen evidencias de factores que conducen a la pérdida de suelo ya sea por la influencia de condiciones climáticas o por el factor antrópico, es por esto que se nos hace urgente tomar medidas pensando en el futuro, que permitan que cuando el municipio no tenga como actividad fundamental la mineras, cuente con suelos productivos para la sustentabilidad socioeconómica.

En esta investigación se hace alusión al impacto ambiental provocado por un desarrollo socioeconómico que no tuvo como prioridad el orden territorial y la planificación de la estructura urbanística. Lo que hace que el hombre como máximo responsable de este fenómeno sea el protagonista de todas las soluciones futuras para obtener un desarrollo sustentable y sostenible.

Problema. Insuficiente conocimiento de los factores que inciden en los procesos de degradación de los suelos en el municipio Moa, que afecta todos los elementos del medio físico (agua, suelos, aire) y compromete la sustentabilidad de las actividades socioeconómicas del municipio.

Objeto de estudio. Los suelos presentes en el municipio Moa.

Campo de acción. Los factores naturales y antrópicos que inciden en la degradación de los suelos del municipio Moa.

Objetivo General. Evaluar los factores que inciden en el proceso de degradación de los suelos del municipio Moa con vista a perfeccionar los planes de gestión por la pérdida de biodiversidad.

Objetivos Específicos.

1. Caracterizar los procesos geodinámicos que inciden en los procesos degradativos.
2. Determinar la influencia de la acción antrópica en el proceso de degradación de los suelos.
3. Evaluar escenarios prospectivos de degradación ambiental con el uso de un sistema de información geográfico.

Hipótesis.

Si se caracteriza el municipio desde el punto de vista geológico así como los procesos geodinámicos que se desarrollan, se determina la influencia de factores antrópicos sobre los procesos de degradación ambiental y se evalúan escenarios prospectivos, es posible analizar el proceso de degradación ambiental del municipio con vista a proponer medidas de mitigación.

Aportes técnicos.

- La caracterización de los procesos geodinámicos como la meteorización, erosión y sismicidad, que inciden en los procesos degradativos en el municipio Moa.
- El análisis de la influencia de la acción antrópica en el proceso de degradación ambiental en Moa.

Capítulo I: Marco teórico conceptual de la investigación



- Introducción.
- Conceptos y definiciones utilizados en la degradación.
- Procesos relacionados con la degradación del suelo.
- Factores de la degradación.
- Causas de la degradación.
- Investigaciones precedentes.

Introducción

En el presente capítulo se explica detalladamente los procesos de degradación, empezando por su significado, las causas que la provocan y en qué lugares ocurren, así como su vinculación con otros procesos geológicos que ayudan a que este se produzca e intensifique. También se hace una descripción de los trabajos realizados sobre esta temática en el mundo, Cuba y el área de estudio.

1.1 Conceptos y definiciones utilizados en la degradación

En las definiciones reflejadas por Rubio. J en la Convención de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, por **degradación** de las tierras se entiende la reducción o la pérdida de la productividad biológica o económica esta puede ser producto de un proceso o una combinación de procesos, incluidos los resultantes de actividades humanas y pautas de población, tales como: la erosión del suelo causada por el viento o el agua, el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas o de las propiedades económicas del suelo y la pérdida duradera de vegetación natural.

Desierto. El término "desierto" nunca ha sido definido con precisión. En el imaginario popular, generalmente es una región con poca o ninguna vegetación, que se caracteriza por una escasa pluviosidad, temperaturas extremas, frías o cálidas, que hacen que las condiciones para la vida humana, animal y vegetal sean muy adversas.

Zona árida. Un área que tiene una baja relación de precipitación a evapotranspiración potencial ($P/PET=0,03$ a $0,20$). Como resultado, las zonas áridas son regiones de baja productividad biótica. Las zonas áridas son áreas de tierra seca con especies anuales y perennes. En su forma natural

generalmente pueden sostener un extenso pastoreo de ganado pero no agricultura de secano (Dregne, 1983).

Sequía. Un extendido período de sequedad; generalmente cualquier período de deficiencia de humedad que está por debajo de lo normal para una área específica. Compartiendo este concepto, hay varias definiciones que tienden a ser conceptuales u operacionales y varían de acuerdo a la disciplina (sequía meteorológica, sequía agrícola, sequía hidrológica, sequía socio-económica) y de acuerdo al país (Wilhite y Glantz, 1987).

Zona húmeda. Una área que tiene una relación de precipitación a evapotranspiración potencial mayor de 0,75 ($P/PET > 0,75$). Es decir es un área que tiene exceso de agua y donde las condiciones de sequía ocurren muy rara vez. Si lo permiten las temperaturas, en estas zonas los bosques crecen, y ciertos cultivos pueden crecer sin irrigación, aunque el extremo inferior del rango de precipitación puede reducir la producción (Dregne, 1983).

Zona sub-húmeda. Un área con una relación de precipitación a evapotranspiración potencial de 0,5 a 0,75 ($P/PET = 0,5-0,75$) cubierta con zonas pequeñas de vegetación natural que son más densas pero que pueden incluir las sabanas tropicales. La agricultura en secano es común en esta zona para cultivos adaptados a sequías ocasionales (CCD/PNUMA, 1995).

Zona semi-árida. Un área con una razón de precipitación a evapotranspiración potencial de 0, 20 a 0, 50 ($P/PET = 0, 20-0, 50$) y una cobertura de vegetación natural herbácea discontinua con una frecuencia mayor de especies perennes que las zonas áridas. Esta zona normalmente puede sostener agricultura de secano y actividades de crianza de ganado con poca ayuda adicional si es que las tasas de crecimiento se mantienen a niveles adecuados para sostener la producción (CCD/PNUMA, 1995).

Zona hiper-árida. Un área de extrema aridez con una relación de precipitación a evapotranspiración potencial de menos de 0,03 ($P/PET < 0,03$) y donde pueden transcurrir períodos (aún años) sin precipitación. Exceptuando los freáticos no existe vegetación permanente aunque con la precipitación crezcan plantas efímeras. Excepto durante períodos raros de precipitación, cuando los

efímeros pueden ser usados para pastoreo, son imposibles la agricultura, la silvicultura y el pastoreo sin algún tipo de irrigación (Reining, 1978).

1.2. Procesos relacionados con la degradación del suelo.

1.2.1. Erosión.

Es un proceso de pérdida de suelo por arranque, transporte y posterior deposición del material que lo constituye, dependiente de las condiciones intrínsecas del suelo, las precipitaciones, la pendiente, la vegetación y los usos humanos (CCD/PNUMA, 1995).

Erosión acelerada. Este proceso provoca grandes pérdidas de la masa de suelo, tiene su origen en el establecimiento de inadecuados sistemas agrotécnicos y manejo del riego: la ejecución del laboreo de las tierras y cultivos en sentido de la mayor pendiente; uso de sistemas de riego por aspersión a alta presión, con una fundamentación técnica incorrecta para el tipo de suelo y de cultivo; eliminación de cauces naturales de evacuación de agua; normas de riego que superan la capacidad de infiltración del suelo, lo cual provoca escorrentías superficiales; labores profundas en suelos poco profundos, así como cultivos y procedimientos denudativos de los suelos.

Erosión eólica: el viento, por sí mismo, no tiene suficiente fuerza para producir efectos de erosión. Lo que sí puede hacer es transportar partículas que, cuando chocan con el terreno, lo van desgastando. Este tipo de erosión suele ser lenta y, para que se produzca, el territorio debe estar desnudo, ya que la vegetación disminuye o anula el efecto. La erosión eólica se produce en zonas áridas, como los desiertos y las altas montañas. Estos tienen además otra característica imprescindible: las grandes diferencias de temperaturas. Esto hace que la roca se rompa y la erosión eólica pueda actuar con mayor eficacia.

Erosión hídrica. Es el transporte y sedimentación de las partículas del suelo por las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial. Este se ve afectado por varios factores, como son, el clima, el suelo, la vegetación y la topografía a través de la cual se verifica la intensidad erosiva principalmente por la inclinación y el largo de las laderas. La erosión hídrica se clasifica en: laminar, regueros o surcos y barrancos o cárcavas las cuales arrastran el suelo de la superficie, provocando importantes pérdidas en extendidas superficies (conviene recordar que 1 mm de suelo perdido equivale a 10 tm/ha y que la naturaleza puede demorar entre 3000 y 12000 años en producir 30 cm de espesor de la capa

superior del suelo). La única manera de disminuir este proceso en forma masiva es manejando la cobertura vegetal, a efectos de amortiguar la fuerza erosiva de la lluvia. También es necesaria la nivelación de los terrenos a cultivar para favorecer la infiltración y disminuir el escurrimiento. Se han desarrollado tecnologías de laboreo que han acelerado el proceso de erosión, salinización y compactación de las tierras. Los procesos de degradación más importantes que se desarrollan en Cuba son: la erosión, la salinidad y la degradación de la cubierta vegetal.

Tipos de erosión hídrica (CCD/PNUMA, 1995).

Erosión laminar. Es la más extendida y la menos perceptible. El daño causado, a igualdad de pérdida del suelo es mayor, ya que selecciona las partículas del suelo (deja atrás las más gruesas, llevándose el limo, la arcilla y la materia orgánica).

Erosión por arroyamiento. Tiene lugar cuando el agua concentra el poder erosivo a lo largo de un canal, en función de su energía cinética. Presenta tres tipos:

- Regueros o canales de menor tamaño: pueden cruzarse y suavizarse con operaciones normales de laboreo. El efecto es parecido al de la erosión laminar.
- Cárcavas y barrancas: se forman donde se concentra el agua que fluye descendiendo por una pendiente.
- Erosión de depósitos fluviales: tiene lugar cuando el canal principal de una corriente establecida incide contra sus propios sedimentos.

Coladas de lodo. Desplazamientos de tierra en forma de fluido viscoso por efecto de la gran cantidad de agua embebida en el suelo.

Deslizamientos:

- Superficiales: es cuando una capa superficial de terreno resbala por efecto de la gravedad y de la cantidad de agua embebida.
- De fondo: es cuando una capa permeable resbala sobre otra más profunda impermeable, debido a la formación de un plano lubricado.

Reptación. Movimiento lento e imperceptible de una película superficial de suelo en el sentido de la pendiente, debido a varias causas.

Erosión en túnel. Se manifiesta por hundimientos y deslizamientos, debido a flujos subterráneos o la existencia de rocas solubles que dan lugar a cavernas.

1.2.2 Salinización

Son procesos que se manifiestan en las tierras secas donde las aguas cargadas de sales se acumulan en depresiones, tanto subterráneas como superficiales, formando niveles freáticos salinos o charcas y lagunas (Salatino, 1996).

La degradación en general, comienza con la salinización de los suelos debido a que la misma ha sido definida como la degradación de las tierras en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, producto de diversos factores, incluyendo las variaciones climáticas y las actividades humanas (Constantino, 2012).

En zonas áridas y semiáridas, donde la evapotranspiración es mayor que la precipitación, las aguas freáticas tienden a mineralizarse progresivamente. Cuando la capa freática está cerca de la superficie del suelo menos de 3 metros, éste puede salinizarse como consecuencia del aporte capilar del agua subterránea. Estas sales permanecen en la solución del suelo, salinizándolo a su vez y dificultando el desarrollo de los cultivos.

1.2.3 Compactación

Se manifiesta con el aumento de la densidad aparente del suelo, en las capas superficiales o profundas. Es el resultante del deterioro gradual de la materia orgánica y la actividad biológica (Salatino, 1996).

1.2.4 Acidificación

Es el proceso de remoción o pérdida de los elementos que forman el complejo catiónico del suelo y puede tener origen natural o antrópico. Los suelos ácidos, por su naturaleza, tienen una estrecha relación con la roca o material de origen, la composición de sus arcillas, su baja capacidad de retención de las bases y con el alto régimen de precipitaciones; todo esto provoca la remoción de sus cationes hacia estratos inferiores y, en consecuencia, la saturación del complejo absorbente del suelo con iones hidrógeno, aluminio, hierro o manganeso, que le confieren un carácter ácido. El mal manejo de los suelos por el hombre, mediante la aplicación de tecnologías inapropiadas como el uso de fertilizantes minerales con carácter residual ácido, genera o intensifican este proceso.

Los efectos negativos que provoca la acidez son:

- Insolubilización de nutrientes.
- Toxicidad por la presencia de aluminio.
- Disminución de la actividad biológica del suelo.
- Carencia de elementos bases como el calcio, magnesio, potasio, entre otros.
- Limitación del desarrollo y crecimiento normal de las plantas.
- Limita la agroproductividad de los suelos.

La acidez de los suelos y el agua se manifiestan también a partir de la emisión de los gases por algunas industrias, los cuales se mezclan con el vapor de agua de la atmósfera, formándose así sustancias ácidas. Estos ácidos caen sobre la tierra en forma de lluvia, produciendo la acidificación de los suelos y aguas, pérdida de zonas de cultivo, muerte de árboles, bosques, erosión, etc. Al igual que por el incremento del mal uso y manejo del agua de riego, el uso de los fertilizantes minerales de efecto residual ácido y la explotación excesiva de las tierras con cultivos fuertemente esquilmanes.

1.2.5 Contaminación química

Uso irracional de grandes cantidades de fertilizantes y sustancias químicas para el control de plagas y enfermedades, por encima de los niveles requeridos producen la contaminación química de los suelos (CCD/PNUMA, 1995).

1.2.6 Uso y pérdida de nutrientes

El empobrecimiento gradual o acelerado del suelo, por sobreexplotación o monocultivo, trae como consecuencia la baja fertilidad y productividad de los suelos. La manera de usar un determinado terreno o entorno puede iniciar el proceso de degradación. Ciertas prácticas de agricultura, sobrepastoreo por ganado y fauna silvestre, la selvicultura extractiva, las actividades de construcción y el uso del fuego son frecuentemente considerados como las causas más importantes del proceso. Las prácticas agrícolas en tierras secas pueden contribuir al proceso porque exponen los suelos al viento y a la erosión del agua durante períodos de sembrío temprano y después de la cosecha. El

pastoreo mal manejado de ganado doméstico, animales salvajes o exóticos y animales de caza, grandes o pequeños, contribuye a la pérdida de la cobertura vegetativa de los suelos. La agricultura con riego es responsable de anegados y salinización. Todos estos factores mencionados son responsables de la eliminación de la cobertura vegetativa y dejan a los suelos sin protección y expuestos a la erosión. Actividades como éstas, que cambian los patrones normales de drenaje, pueden ser responsables de la erosión de extensiones extremadamente grandes de suelos. Casi cualquier alteración en la superficie estable de los suelos, tal como el pavimento desértico, puede iniciar un nuevo ciclo de erosión eólica y de agua.

1.2.7 El bajo contenido de materia orgánica

Obedece, en lo fundamental, a dos causas: una de ellas de origen natural, el proceso natural de oxidación de la materia orgánica que, en nuestras condiciones climáticas, está influida por las altas temperaturas, pluviometría alternante y condiciones físicas de los suelos; y la otra, los procesos degradativos inducidos por el hombre. A esto se suma la deficiente aplicación de medidas de mejoramiento orgánico y otras prácticas, como son la incorporación al suelo de restos de cosecha, la cobertura viva o muerta, la aplicación de abonos verdes, abonos orgánicos y rotaciones de cultivos adecuados.

1.2.8 Procesos de degradación

Podemos decir que la degradación de suelos no es más que los procesos o su combinación que influyen en la reducción o la pérdida de la productividad biológica o económica y la complejidad de las tierras agrícolas de secano, las tierras de cultivo de regadío o las dehesas, los pastizales, los bosques y las tierras arboladas, ocasionada, en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Estas áreas de secano susceptibles cubren el 40% de la superficie terrestre, poniendo en riesgo a más de 1.000 millones de habitantes que dependen de esas tierras para sobrevivir (CCD/PNUMA, 1995).

1.3 Factores de la degradación

Existen diferentes factores que causan una degradación del suelo, los principales factores son la erosión del suelo, el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, la

disminución de la materia orgánica, contaminación, salinización y la pérdida de biodiversidad (tabla 1.1).

Tabla 1.1 Factores de la degradación de los suelos.

Factores de la degradación	Descripción		
Deterioro Físico	Climáticos	Aridez y altas temperaturas. Fuerte evapotranspiración.	
		Distribución de las precipitaciones irregular.	
		Alternancia de períodos de sequía y de lluvias torrenciales.	
	No climáticos	Erosión hídrica y eólica: 1. Espesor: -Retención de humedad. -Pérdida de componentes más finos. 2. Estructura Aireación: -Retención de humedad -Permeabilidad. -Infiltración.	Sellado y encostramiento del suelo.
			Compactación del suelo.
		Ocupación por la construcción e infraestructuras.	
Deterioro Químico		Salinización y alcalinización de los suelos y aguas	
	Reducción de fertilidad.		
	Contaminación del suelo.	Toxificación	
		Productos fitosanitarios.	
		Fertilizantes.	
		Metales pesados.	
		Acidificación (lluvia ácida, minería).	
Residuos orgánicos de origen urbano.			
Radiactividad.			
Deterioro Biológico	Disminución de la biodiversidad: pérdida duradera de la vegetación natural.		
	Reducción en el contenido de materia orgánica.	Fertilidad. Física (estructura); química (intercambio iónico) y biológico (sustento de organismos).	
	Disminución de los organismos del suelo.	Alteraciones en la evolución de la materia orgánica, edafización y fijación del nitrógeno.	

1.4 Causas de la degradación

La degradación del suelo es un problema mundial, en gran medida vinculado a las actividades agropecuarias, aunque también hay otras actividades humanas que pueden causarla. Las causas principales son:

Tabla 1.2 Indicadores de la degradación de suelos.

Causas de la degradación	Efectos
Disminución y degradación de la cobertura vegetal natural.	El bosque es sustituido por formaciones Secundarias de arbustos y matorral. El suelo menos rugoso o desnudo es más vulnerable a la erosión.
Reducción en el contenido en materia orgánica.	Pérdida de fertilidad: física (peor estructura); química (disminuye poder amortiguador e intercambio iónico) y biológico (sustento de Organismos).
Disminución de los organismos del suelo.	Alteraciones en la evolución de la materia orgánica, edafogénesis y fijación del nitrógeno.
Reducción excesiva de la biomasa y pérdida de biodiversidad natural.	Invasión de especies vegetales específicas de suelos degradados.
Aceleración de la erosión del suelo tanto causada por el agua como por el viento, por alteración del suelo y vegetación.	Erosión hídrica y eólica, como consecuencia de la menor cobertura vegetal.
Compactación del suelo, por el uso de maquinaria o labores inadecuadas, o sobrepastoreo.	Disminución de la porosidad, de la capacidad de infiltración y de la capacidad de retención de humedad.
Deterioro, incluso pérdida, de la estabilidad estructural del suelo y tendencia a la formación de costras.	Se incrementa los valores de las escorrentías superficiales y su potencial erosivo.
Transferencias de materiales edáficos y nutrientes de las partes altas de las laderas a las bajas.	Eliminación de los horizontes superficiales en las partes elevadas de las laderas.
Acumulación de sedimentos y nutrientes al pie de las laderas, vaguadas, lechos fluviales y embalses.	La acumulación puede convertir en improductivo el suelo cubierto, o puede colmatar embalses.
Aumento de la pedregosidad por transporte de los materiales más fino del suelo.	El suelo puede llegar incluso a quedar cubierto en superficie totalmente de piedras.
Disminución del espesor del perfil edáfico. Incluso puede aflorar en superficie el material parental.	Deja patente en el paisaje un vistoso mosaico de colores, por truncamiento de los horizontes superiores. Pérdida de suelo fértil en las zonas altas. Alteración de la infiltración en el perfil edáfico.
Pérdida de los materiales más finos superficiales. Pérdida de la base de sustentación de las raíces de las plantas.	Presencia de columnas, pedestales y montículos de erosión. En árboles pueden aparecer las raíces al aire.
Incisiones de diversa magnitud en el terreno.	Surcos, cárcavas, y barrancos.
Hundimientos y socavones por remoción y evacuación de material por conductos debajo del suelo.	Subfusión o piping.

Topografía abarrancada	Badlands.
Contaminación del suelo. Salinización y alcalinización del suelo. Acidificación.	Perdida de fertilidad. Contaminación de aguas superficiales y acuíferos.
Ocupación del suelo por obras e infraestructuras.	Pérdida horizontal de suelo fértil.
Incendios forestales provocados.	Pérdida de biodiversidad y de suelo fértil. Alteración del equilibrio en el ecosistema edáfico.
Perturbación en la regulación del ciclo hidrológico.	Reduce la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y agrava los efectos de la sequía. Puede haber mayores riesgos por inundación y avenidas.
Degradación de los recursos hídricos.	Reducción del agua disponible debido a la alteración del ciclo hidrológico y a la sobreexplotación de acuíferos. Desaparición de fuentes y manantiales y de los humedales y fauna a ellos asociados

1.5 Investigaciones precedentes

La búsqueda y revisión bibliográfica estuvo orientada en función de los trabajos realizados sobre la degradación de los suelos y los procesos relacionados con esta.

1.5.1 Investigaciones realizadas a nivel mundial

Se consultaron numerosos trabajos publicados a nivel mundial, principalmente relacionados con el estudio de la degradación con el objetivo de emplear métodos para su tratamiento y mejoramiento de estos suelos que han sido afectados por este proceso.

Bitar (1997) realiza un trabajo por parte del Instituto de Pesquisas Tecnológicas del Estado de São Paulo (IPT) sobre la recuperación de áreas degradadas por la minería en áreas urbanas. Siendo particularmente acentuadas en las regiones de São Paulo, Río de Janeiro, Belo Horizonte, Salvador, Recife, Belén, Curitiba, Porto Alegre, Manaus y otras. Se suman a este grupo los casos especiales de ciudades que crecen como resultado directo de la minería, como Criciúma (carbón) e Itabira (hierro), que hoy conviven con el desafío de recuperar sus áreas degradadas. En síntesis se puede finalmente mencionar algunas de las necesidades fundamentales de la actividad minera urbana, que constituyen desafíos actuales, sobre todo en la fase de la potencial contribución a la sustentabilidad ambiental de las ciudades. Estas son: planificación eficiente de la recuperación de las áreas degradadas, la mejoría significativa de las prácticas actuales en las minas activas, incluyendo el control pro-activo de los impactos ambientales negativos y promoción de la innovación tecnológica e implementación de sistemas de gestión ambiental, gestión de las instalaciones de usos post-minería, incluyendo la promoción de modalidades sustentables de uso del suelo, monitoreo de las áreas

desocupadas o con usos temporarios, contención de la ocupación desordenada en áreas degradadas, seguimiento de los usos instalados y responsabilidad por la recuperación de áreas degradadas. Así como la reducción de conflictos de los asentamientos humanos, viabilización del reciclaje y uso de residuos y la gestión integrada y participativa de los recursos minerales.

Martínez (2001), mediante una técnica de teledetección detecta cambios en la cubierta vegetal tanto esporádicos como continuos a partir del seguimiento multitemporal de imágenes a escala regional usando el NOAA- AVHRR. Esta metodología se utilizó fundamentalmente en zonas áridas y semiáridas, consideradas como zonas muy sensibles a unos de los procesos de degradación más destructivos del suelo y la vegetación, el proceso de desertificación.

Abraham (2002), analiza el proceso de desertificación, sus causas y efectos, su extensión e importancia económica. Describe las acciones y funciones de la Convención Internacional de Lucha contra la desertificación (UN CCD); el impacto de la desertificación en Argentina, en particular en la provincia de Mendoza, lo analiza en detalle y describe las políticas y acciones para impedir el avance de la desertificación.

Quezada et al. (2003), aplican sistemas operacionales de monitoreo de la desertificación en una zona árida del Cono Sur, (Limarí, Chile). Realizan el desarrollo de monitoreo mediante metodologías simples, permitiendo traducir en un lenguaje de números e imágenes las situaciones críticas desde el punto de vista ambiental y social.

Barbut et al. (2009), describen el enfoque estratégico del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) en la lucha contra la degradación de la tierra y reflejan muchos de los principios fundamentales que guían las inversiones en Gestión Sostenible para la Tierra (GST).

1.5.2 Investigaciones realizadas en Cuba

Martínez et al. (2001, 2003) realizan investigaciones sobre las causas y efectos de la degradación del suelo en un agrosistema dedicado al cultivo del tabaco en Cuba. Los análisis realizados consistieron en el estudio integral al suelo, donde se evaluó el estado de las propiedades químicas y físicas e identificaron los procesos de degradación del suelo y las causas de su origen. Para ello se empleó el Manual de levantamiento de suelos, Manual de evaluación para el mapa 1: 25 000 y la Metodología para la determinación de los factores limitantes campo a campo, la nueva versión de la

clasificación genética de suelos de Cuba (Hernández et al, 1999), y el método del perfil patrón, y para el análisis estadístico el método de las parejas. (Lerch, 1977). Además, se estudiaron del clima las variables precipitación y temperatura, comportamiento anual desde 1970 hasta 2003; la composición florística de la vegetación, porcentaje de cobertura al suelo y aporte de biomasa, así como el uso y manejo de suelo. Las principales causas de la degradación fueron: inadecuadas prácticas de preparación del suelo y largos periodos de exposición durante el laboreo a los agentes del intemperismo, laboreo del suelo en fecha de ocurrencia de altos volúmenes e intensidades de precipitación, en particular, septiembre, escasos aportes de enmendantes orgánicos al suelo para su mantenimiento y mejora, poca protección del suelo a los agentes del intemperismo, especialmente, en el periodo de máximos acumulados e intensidades de precipitaciones (mayo – septiembre), uso intensivo de la práctica del monocultivo del tabaco y no aplicación de medidas de conservación y mejoramiento del suelo. Como los principales factores se señalaron la pérdida de la profundidad efectiva del suelo, reducción de la fertilidad natural, incremento de la acidez, disminución de los contenidos de materia orgánica del suelo y la reducción de los rendimientos del cultivo.

Carreño et al. (2005), presenta una síntesis formalizada de los diferentes enfoques de los métodos empleados para evaluar la erosión, los datos que requieren y el tipo de resultado que brindan, con el objetivo de ponerlas a disposición de los especialistas dedicados a esta temática de investigación teniendo en cuenta que hasta el presente, en Cuba está muy limitado el empleo de algunas de las metodologías, que tienen amplio uso a nivel mundial. En Cuba el método geográfico - comparativo, ha sido el más empleado en los estudios de erosión utilizando en calidad de patrones, perfiles típicos de cada agrupamiento. Sólo en años recientes se han incorporado a las investigaciones los modelos de erosión, fundamentalmente la USLE y la cartografía temática de factores. La evaluación de la erosividad de la lluvia en general se realiza sin considerar la energía cinética o algunos de los índices de agresividad climática ampliamente reconocidos en la literatura mundial especializada.

Milan et al. (2012), diseñan un procedimiento para rehabilitar las áreas afectadas por la minería en yacimientos piríticos polimetálicos cubanos, explotados a cielo abierto, que constituyen pasivos ambientales mineros y fuentes potenciales de degradación del medio. En la metodología de esta investigación se realizó una caracterización minero – ambiental del área y un inventario de las principales fuentes contaminantes generadoras de la degradación. También se evaluó el impacto sufrido por las corrientes de aguas superficiales debido al drenaje ácido de las minas; para ellos se

tomaron muestras de agua de sedimentos de fondo y se analizaron químicamente en el Laboratorio Central de Minerales Isaac del Corral. A modo de conclusión se determinó que la investigación realizada permitió elaborar un procedimiento basado en el análisis de 28 indicadores de las variables ambientales, seleccionados por los expertos y que determinan la elección del tipo de rehabilitación aplicable en áreas degradadas por la actividad minera en yacimientos piríticos polimetálicos explotados a cielo abierto. Se creó una herramienta informática para ayudar a la toma de los responsables de la rehabilitación minero-ambiental de yacimientos piríticos polimetálicos explotados a cielo abierto.

1.5.3 Investigaciones realizadas en el territorio de Moa

Raposo et al. (2000) realizaron una investigación sobre la metodología para la cartografía digital de la erosión hídrica del suelo en un sector del municipio de Moa. La erosión hídrica es la principal y más importante causa de pérdida del suelo en la región minera de Moa, donde se deforestan grandes áreas de terreno, dejando el suelo desnudo. Se estableció una metodología para el cartografiado digital de la erosión hídrica, empleando unidades discretas, la cual facilita la utilización de los resultados y mejora considerablemente el grado de precisión de la estimación. Como resultado se obtiene una capa raster que caracteriza la pérdida anual de suelo por erosión hídrica, expresadas en toneladas erosionables en una hectárea de relieve para toda el área industrial de Moa y zonas aledañas, incluyendo casi la totalidad de los yacimientos lateríticos de níquel de la región.

Correa (2003) realizó una investigación sobre el estudio de la erosión en cárcavas en áreas degradadas del sector este del Parque Nacional Alejandro de Humboldt. Uno de los problemas que afectan en la actualidad las labores de conservación dentro del Parque Nacional Alejandro de Humboldt, es la erosión de los suelos, particularmente la producida por la acción concentrada de las aguas de escorrentía pluvial, que dan lugar a las cárcavas con la consiguiente degradación de las áreas; es por ello que el interés por combatir dichos procesos degradantes se incrementa, cobrando vigencia la necesidad de aplicar métodos adecuados y científicamente fundamentados, a fin de establecer un correcto manejo bajo el principio de la sostenibilidad, que permita la recuperación y conservación de los georecursos afectados. Se aplicaron tres métodos mecánicos para controlar la erosión; el ensayo de diferentes hidrotecnias, aterramiento y relleno de cárcavas con restos de podas y la revegetación. Al terminar la investigación llegaron a la conclusión que el Sector Este del

Parque Nacional Alejandro de Humboldt, presenta disponibilidad de recursos laborales para ejecutar las diferentes medidas de protección en las áreas degradadas por la erosión en cárcavas.

Gómez et al. (2004), presentaron una investigación sobre la cinética de oxidación térmica de sulfuros mixtos de níquel y cobalto. En este trabajo la degradación tuvo su papel, degradando los sulfuros superiores y de los sulfatos hasta convertirlos en óxidos la cual ocurre mediante el modelo de crecimiento bidimensional G1, siendo la etapa limitante la velocidad de difusión de los productos gaseosos a través de la capa de óxido en formación.

Fernández (2012), realiza un estudio sobre los factores que influyen en la desertificación en el sector Cerro Miraflores- Playa La Vaca, municipio Moa. La aplicación de métodos de cartografía geológica y descripción de afloramientos, orientada a la determinación de procesos geológicos y las prácticas de la actividad humana que se ejerce sobre el medio; el procesamiento de la información se realiza con métodos de cartografía digital. Como resultados se describen los factores que contribuyen al proceso de desertificación; el uso del suelo en algunas áreas ha eliminado la vegetación natural y transformado el medio, disminuyendo la fertilidad de los suelos y dañando cursos fluviales; en zonas de altas las pendientes los procesos erosivos son más intensos y la densidad de vegetación disminuye en los sectores de mayor altitud, pendientes y donde han sido afectados por incendios forestales.

Quintana (2013), realiza un estudio con los objetivos de caracterizar los procesos geodinámicas desarrollados en la cuenca mediante métodos de cartografía geológica, determinar la influencia de la acción antrópica en los procesos de degradación, evaluar escenarios prospectivos de degradación y realizar un análisis de radiación solar de la cuenca hidrográfica del río Cayo Guam y determina la influencia de factores naturales y antrópicos sobre los procesos de degradación.

Capítulo II: Características generales locales del territorio.

- Introducción.
- Características físico – geográficas. Ubicación geográfica.
- Características geológicas del territorio.

Introducción

La región de Moa es conocida en el mundo por la actividad minera la cual tiene una gran importancia para la economía de nuestro país. En el trabajo se exponen los principales rasgos físico-geográficos, económicos y geológicos de la región de estudio con el objetivo de obtener una base informacional referencial y actualizada acerca de los rasgos físicos y económicos de la región de estudio. El área de estudio forma parte del macizo Mayarí- Baracoa el cual constituye un importante elemento de la geografía cubana, sus rasgos geológicos están marcados por el predominio de rocas del complejo ofiolítico y rocas volcánicas que datan del Cretácico al Eoceno. La revisión y análisis de la bibliografía existente, ha permitido recoger los principales elementos físicos-geográficos y geológicos de la zona de estudio.

2.1 Características físico – geográficas. Ubicación geográfica.

El área de estudio se ubica al noreste de la provincia de Holguín, limitado al norte con el Océano Atlántico, al sur con el municipio de Yateras, por el este con el municipio de Baracoa y al oeste con los municipios de Sagua de Tánamo y Frank País (figura 2.1). Coordenadas limite el municipio X₁: 680.911 Y₁: 194.807 X₂: 720.936 Y₂: 229.601



Figura 2.1: Ubicación del área de estudio

2.1.1 Relieve.

El área de estudio forma parte del macizo Mayarí–Sagua–Baracoa, esta área se caracteriza por un relieve de tipo montañoso hacia el sur donde las cotas llegan hasta 800m, al oeste con el Cerro Miraflores con 450m. Mientras que al noreste existe una zona de llanura con cotas máximas no mayores de 120m que se extienden hasta la zona litoral del área.

2.1.2 Hidrografía.

La red fluvial es densa y dendrítica que desde oeste hasta el este del municipio su ubicación en el siguiente orden, río Cananova, Cabaña, Arroyo Aserrío, Moa, Yagrumaje, Punta Gorda, Cayo Guam y Jaguaní entre otros. La fuente de alimentación principal son las precipitaciones atmosféricas, desembocando las arterias principales en el Océano Atlántico, formando deltas cubiertos de sedimentos palustres y vegetación típica de manglar.

2.1.3 Clima.

La región presenta un clima tropical con abundantes precipitaciones, siendo una de las áreas de mayor pluviometría del país. La misma se encuentra estrechamente relacionada con el relieve montañoso que se desarrolla en la región y con la dirección de los vientos alisios provenientes del Océano Atlántico cargado de humedad.

Precipitaciones: Según los estudios en el municipio el comportamiento de las precipitaciones se mantiene todo el año por encima de 100mm. Alcanzando los valores más altos en los meses de octubre, noviembre y diciembre con 336.3mm.

Temperatura: Según observaciones realizadas, se evidencia que los meses más calurosos son desde Julio hasta Septiembre, lográndose temperaturas de 27,1; 29,0 y 30,5 °C, mientras que los más fríos son Enero-Febrero, con temperaturas promedio de 22,6 y 23,2 °C respectivamente.

2.1.4 Vegetación.

El municipio forma parte del sistema montañoso Mayarí–Sagua–Moa–Baracoa, el mismo representa la zona de mayor biodiversidad del país con un 68% de especies autóctonas (Reyes y del Risco, 1993). El área sur del municipio queda englobada dentro de una reserva de la biosfera declarada por la UNESCO en el año 1998. La vegetación presente en el área es variada, encontrando formaciones vegetales tales como: pinares, bosque en galería, arbustivo y vegetación secundaria.

En el municipio de Moa tenemos una situación particular, siendo la vegetación del mismo muy característica, por lo que ha evolucionado una flora muy típica que comprende el 33 % de todos los endemismos cubanos. La vegetación de estos suelos se mantiene por la elevada humedad y por los mecanismos de conservación de los nutrientes que los mismos han desarrollado, predominando el *Pinus cubensis* y plantas latifolias, endémicas de la región. Debe destacarse que los pinares presentan hojas en forma de agujas, estos tienen alturas que oscilan entre 20 y 30 m, con una cobertura que constituye entre el 80 y el 90 % de la superficie. Entre los principales exponentes presentes en la región, incluimos los siguientes:

- *Pinus Cubensis*
- Jacarandá Arbóreo (Abey, Framboyán azul).
- *Clusia Rosea* (Copey).
- *Cacaloba Shafan* (Uvilla).
- *Euphorbia Helenae* (Jazmín del Pinar).
- *Bactris Cubensis* (Pajua).
- *Arthrostylidium ssp* (Tibisí).

Esta es la vegetación más importante y explotada económicamente, es muy valiosa en la biodiversidad y en la ecología por constituir una flora generadora de suelo. De estas especies 17 son exclusivas de Moa, 5 en peligro de extinción y 20 vulnerables a la desaparición.

2.1.5 Suelos.

Definido como un agregado de minerales unidos por fuerzas débiles de contacto, separables por medios mecánicos de poca energía o por agitación en agua.

Existe variedad de suelos producto al clima, la vegetación y la morfología. Como por ejemplo; Suelos Ferríticos. El cual posee características físico-químicas como presencia de nódulos ferruginosos que representan menos del 20% del volumen de la masa del suelo, tiene más de 50% de sesquióxidos de hierro, la composición de minerales secundarios está representada por hematita, goethita, gibbsita y trazas de minerales arcillosos y es de 10 cm de espesor si descansa directamente sobre la roca madre. Estos suelos poseen muy baja fertilidad natural.

Suelos Esqueléticos (Lithosoles). Se trata de suelos poco profundos, con alto contenido de gravas y fragmentos de la roca madre en superficie, donde hay poca alteración de los minerales primarios. Aparecen en niveles fuertes de pendientes (15° a 35°), rodeando las superficies interfluviales de los ríos Moa y Cabaña.

Suelos aluviales (no carbonatado). Se relacionan espacialmente con las áreas de la llanura de inundación del río Cabaña. Se caracterizan por la ausencia de horizontes genéticos bien diferenciados. El pH, la saturación, la capacidad de cambio son variables en relación con los materiales de origen y las condiciones de sedimentación en el valle. Se diferencia el horizonte húmico que contiene no menos del 3% de materia orgánica, con una profundidad mayor o igual a 15 cm.

Suelos cenagosos. Se encuentran gran parte del año sumergidos o con el manto freático a pocos centímetros de la superficie. Ocupan las áreas del litoral del área, ubicadas al oeste y norte de la presa de cola de la empresa niquelífera Ernesto Guevara. Reciben la influencia de las aguas del mar, por lo que se encuentran salinizados. En el perfil del suelo aparecen materiales areno-arcillosos color pardo negro e intercalaciones de materiales carbonizados.

Exponen los principales tipos de suelos presentes en el territorio (Oropeza, 2005; Almaguer, 2005).

2.1.6 Sismicidad.

El oriente cubano históricamente es la parte de la Isla con mayor registro de sismo debido a que esta se limita con la zona de interacción interplacas Caribe - Norteamericana, a lo largo de la fosa profunda de Bartlett, siendo la causa de la frecuente afectación sísmica de esta región. Algunos de estos sismos, han afectado en varias ocasiones la ciudad de Santiago de Cuba, (al Suroeste del territorio de Moa).

Es por esto que la sismicidad de la región de Moa se ha activado. El 20 de marzo del 1992 ocurrió un sismo de 4.5 de magnitud al noreste de Moa. El 28 de diciembre de 1998 otro 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. De diciembre/98 a diciembre del 2000 se registraron un total de 1 877 sismos, de ellos 37 perceptibles en Moa. Los sismos registrados en la zona de monitoreo sismológico Moa-Purial tuvo un aumento significativo en el año 2007 con un registro de 539 sismos. (I.G.P., et al., 2008).

Esta actividad sísmica se comportó 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.

2.1.7 Características socioeconómicas.

La economía de la región permite situar a Moa dentro de los municipios más industrializados del país, no solo por sus riquezas minerales, sino además porque cuenta con dos plantas procesadoras de níquel en producción, la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara y la Empresa Pedro Soto Alba. Este renglón constituye el segundo producto exportable del país. Además de estas industrias metalúrgicas, existen otras instalaciones de apoyo a la metalurgia y minería, tales como la Empresa Mecánica del Níquel, Centro de Proyectos del Níquel (CEPRONI), la Empresa Constructora y Reparadora del Níquel (ECRIN). Además de los yacimientos lateríticos, existen los de cromo refractario, clasificado como el mejor de su tipo en el territorio cubano, los mismos se encuentran distribuidos en las cuencas de los ríos Cayo Guam y Yamanigüey. Los graboides y ultramafitas presentes en la región pueden ser empleados como áridos en la industria de materiales de la

construcción. Existen otros organismos de los cuales depende la economía de la región, tales como la Empresa Geólogo Minera, la Presa Nuevo Mundo, el Tejar, Combinado Lácteo y otros. Existen otros sectores económicos como la granja avícola la región y la explotación de recursos forestales, abundantes en la zona, siendo un eslabón importante en la economía. La agricultura se encuentra poco desarrollada, aunque se hacen esfuerzos para seguir fomentándola.

2.2. Características geológicas del territorio.

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

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

En 1997, Iturralde-Vinent, reconoce en la constitución geológica del archipiélago cubano dos elementos estructurales principales: el cinturón plegado y el neoaútóctono. El cinturón plegado según el autor, está constituido por terrenos oceánicos y continentales deformados y metamorfizado de edad pre-Eoceno Medio, que ocupan en la actualidad una posición muy diferente a la original. El autor divide al cinturón plegado en unidades continentales y unidades oceánicas. En Cuba Oriental las unidades continentales están representadas por el Terreno Asunción, compuesto por dos unidades litoestratigráficas bien diferenciadas, la Fm. Sierra Verde y la Fm. La Asunción. Las unidades oceánicas están constituidas por las ofiolitas septentrionales, las rocas del arco de islas volcánicas del Cretácico (Paleoarco), las secuencias de las cuencas de piggy back del Campaniense Tardío-Daniense, el arco de islas volcánico del Paleógeno y las rocas de las cuencas de piggy back del Eoceno Medio-Oligoceno. El neoaútóctono está constituido por materiales terrígenos carbonatados poco deformados del Eoceno Superior Tardío al Cuaternario que cubren discordantemente las rocas del cinturón plegado.

En 2001, Leduar Ramayo estudio las texturas de los minerales en El Rifle-Hato Viejo, región de Moa donde realizó una clasificación y una descripción genética del área de la siguiente forma:

I) Rocas de afinidad ofiolítica

- Dunitas y peridotitas serpentizadas
- Cúmulos Máficos
- Basaltos en almohadillas

II) Arco volcánico Cretácico

- Fm: Santo Domingo

III) Piggy Back del Campaniense Tardío-Daniense

- Fm: Mícará
- Fm: Gran Tierra

IV) Arco volcánico Terciario

- Fm: Sabaneta

V) Piggy Back del Eoceno Medio-Oligoceno

- Fm: Múcaral
- Fm: Yateras

VI) Neoa autóctono

- Formaciones cuaternarias

La faja Mayarí-Baracoa a su vez la divide en tres macizos: Mayarí-Cristal, Sierra del Convento y Moa-Baracoa, el área de estudio se encuentra en el Macizo Moa-Baracoa localizándose en el extremo oriental de la Faja Mayarí-Baracoa. Ocupando un área aproximada de 1 500 km² donde se presenta un gran desarrollo de los complejos ultramáfico, máfico y vulcano-sedimentario mientras que el complejo de diques de diabasas está muy mal representado, apareciendo las diabasas descritas en la región en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del complejo cumulativo. Se estima un espesor de aproximadamente 1000 metros para el complejo ultramáfico y 500 metros para el de gabros, mientras que para el complejo vulcano-sedimentario se ha estimado un espesor de 1200 metros.

Complejo de rocas ultrabásicas: Aflora en toda la porción central y meridional del área y está constituido predominantemente por harzburgitas y subordinadamente dunitas, lherzolitas y piroxenitas. Estas rocas se caracterizan por presentar un grado de serpentización variable, varios

investigadores tienen sus teorías pero muchos, han llegado incluso a considerar el proceso como una manifestación de autometamorfismo de las intrusiones. Sin embargo, ha predominado el criterio de procesos dinamo-metamórficos durante la elevación y emplazamiento de las grandes masas peridotíticas a la superficie en presencia de agua, ya que la serpentización, como se ha señalado en diversas investigaciones se desarrolla más intensamente hacia los bordes de los macizos sobre todo, en los límites tectónicos de sobrecorrimiento de estos sobre las rocas autóctonas. Las rocas de este complejo se caracterizan por presentar un color verde oscuro o gris verdoso y por un alto grado de agrietamiento.

Los complejos máficos están representados por gabros olivínicos, gabro-noritas, anortositas y gabros normales de diferentes granulometrías. Los cuerpos de gabro tienen una estructura de grandes bloques y la mayoría de éstos se disponen en las zonas periféricas del complejo ultramáfico. En el sector Moa-Baracoa están representados dos tipos de gabros, los llamados gabros bandeados y los gabros masivos en las partes más altas del corte. En la región de estudio los gabros afloran siempre asociados a las serpentinitas, apareciendo en forma de bloques en las zonas de Quesigua-Cayo Guam-Mercedita, Centeno-Miraflores y Farallones-Caimanes.

Los complejos de diques de diabasas están muy mal representados, apareciendo las diabasas descritas en la región en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del complejo cumulativo.

Complejo vulcano-sedimentario: Esta en contacto tectónico con los demás complejos del corte ofiolítico y está representado por formaciones. El conjunto aparece con una coloración negro o verde oscuro. Este es un complejo bien estudiado y que está descrito en las formaciones presentes en el territorio.

Formación Santo Domingo: única representante del arco volcánico cretácico en el área, está constituida por tobas, lavas y aglomerados, apareciendo pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas. Se incluyen además en esta formación las calizas pizarrosas finamente estratificadas y muy plegadas de color grisáceo. Se le asigna una edad Cretácico Aptiano-Turoniano. Aflora en la región de Farallones-Calentura y en una pequeña área en la localidad de Centeno.

Formación Mícará: está compuesta por tres facies terrígenas y terrígenas carbonatadas. En el inferior está constituida por aleurolitas masivas, mal estratificadas; brechas; areniscas; arcillas y

calizas. En la media presenta Secuencia olistostrómica compuesta por margas, areniscas, aleurolitas, gravelitas y conglomerados. En la parte superior Predominan las aleurolitas y subordinadamente brechas y areniscas tobáceas, la parte más alta, con intercalaciones de tobas ácidas bentonizadas y calizas. De edad Maestrichtiano-Daniano. Aflora en la zona de Los Indios de Cananova y borde suroeste del cerro de Miraflores.

Formación La Picota: esta constituida por intercalaciones de areniscas polimícticas y conglobrechas mal seleccionadas que se intercalan con argilitas. Cretácico Superior (Campaniano-Maestrichtiano). Aflora en la base de la Sierra del Maquey y en la meseta de Caimanes.

Formación Sabaneta: Está constituida por rocas vulcanógenas-sedimentarias de granos finos, frecuentemente zeolitizadas, con intercalaciones de calizas, silicitas, tobas cloritizadas y rara vez basaltos. De edad Paleoceno Inferior (Daniano parte alta)- Eoceno Medio. En la zona de Farallones el corte está compuesto por tobas vitroclásticas y cristalolitoclásticas zeolitizadas, tobas vítreas y tobas cineríticas. Las calizas tobáceas y tufitas aparecen regularmente hacia la parte alta de la formación. En Los Indios de Cananova, en la base de la formación se intercalan areniscas de granos gruesos y algunas brechas, donde fueron encontrados fósiles que indican una edad Paleoceno-Daniano. Aflora en un área extensa de la región de Cananova hasta Farallones y en un pequeño bloque en Yamanigüey. Perteneciente a las cuencas superpuestas o piggy-back de la segunda generación aflora en el área la Sierra de Capiro.

Formación Júcaro: Está constituida por calizas margosas poco consolidadas y a veces por margas de edad Oligoceno-Mioceno. Aflora por toda la costa en la región de Cananova y Yamanigüey.

Formación Yateras: Está constituida por calizas organodetríticas típicas de complejos arrecifales y bancos carbonatados con intercalaciones de margas. Presentan bruscos cambios faciales en cortas distancias, con una abundante fauna de foraminíferos bentónicos y planctónicos, lo que ha permitido asignarle una edad Oligoceno Superior hasta el Mioceno. Aflora en la región de Yamanigüey, formando una franja por toda la costa.

Formación Mucaral: Margas con intercalaciones de calizas arcillosas, areniscas polimícticas, conglomerados polimícticos, limolitas y tobas. Con una edad del Eoceno Medio (parte alta) - Eoceno Superior.

Existen otras formaciones en el territorio que están documentadas en el área por pozos que se han realizado estas no afloran.

Depósitos Cuaternarios: Estos depósitos están constituidos por calizas organodetríticas con gran contenido de fauna, predominando los moluscos contemporáneos. Aparecen también aleurolitas calcáreas, arenas margosas y arcillas. Los depósitos ubicados en los márgenes, cauces y desembocaduras fluviales están constituidos por bloques, cantos rodados, gravas, arenas, aleurolitas y arcillas derivadas de la erosión fluvial. Constituyen una cobertura prácticamente continua en forma de franja a lo largo de la costa y discontinua en las partes interiores.

Neoautóctono: Las rocas y estructuras del neoautóctono cubano se formaron después de la consolidación del substrato plegado, es decir, a partir del eoceno superior. Está constituido por secuencias sedimentarias donde predominan las rocas carbonatadas sobre rocas terrígenas, depositadas en régimen de plataforma continental, aparece representado en la región por las formaciones Júcaro y Yateras que yacen discordantemente sobre las unidades del cinturón plegado. Estructuralmente estas secuencias se caracterizan por su yacencia monoclinas suave u horizontal, con algunas perturbaciones en las zonas donde existen dislocaciones jóvenes.

2.2.1 Principales Sistemas de Fallas del Territorio.

En los estudios tectónicos precedentes del territorio se han reconocido y fueron cartografiados cuatro sistemas de estructuras disyuntivas que corresponden a cada uno de los periodos de la evolución geotectónica (Rodríguez, 1998). Las fallas más representativas por sistemas son.

El primer sistema y más antiguo de la región el cual se encuentra pasivo las fallas de este sistema son: Falla El Liria y Falla Caimanes Abajo.

El segundo sistema se encuentra activo y en él se encuentran las siguientes fallas:

Falla Los Indios; En varios puntos esta estructura aparece cortada y desplazada por fallas de dirección norte-noreste. Su trazado es en forma de una línea curva cóncava hacia el oeste-sudoeste con un rumbo que oscila entre los 10° y 30° oeste en los diferentes tramos que la conforman.

Falla Cayo Guam; Con una dirección N15°W, se extiende desde la parte alta del río de igual nombre esta estructura aparece cortada y desplazada en varios tramos por fallas de dirección noreste y sublatitudinales.

Falla Moa; Es la estructura de mayor extensión y su trazo corresponde con una línea cóncava hacia

el este con el arco mayor en la zona de Calentura, Haciéndose más recta hacia el norte con una dirección de N48°E, mientras que en su parte meridional tiene un rumbo N25°W.

Falla Miraflores; Se extiende en forma de arco cóncavo hacia el este-noreste con un trazo casi paralelo a la falla Moa, con un rumbo N25°W desde el límite sur del área hasta Cayo Chiquito y desde aquí hasta Punta Majá con una orientación N35°E.

Falla Cabaña; Orientación N70°E hasta la zona de Zambumbia donde es truncada por un sistema de fallas submeridionales En las cercanías de Centeno esta estructura es cortada y desplazada por la falla Cananova tomando una orientación N56°E.

Falla Quesigua; Se expresa a través de un arco con su parte cóncava hacia el este nordeste, manteniendo en su parte septentrional, donde su trazo es más recto un rumbo N10°E y en la meridional, N40°W.

Falla Maquey; Asume un rumbo N65°E por más de siete kilómetros hasta Calentura abajo donde se cruza con las fallas Moa y Caimanes. En su parte más occidental mantiene una orientación N78°E siendo cortada y desplazada por estructuras de orientación noroeste.

En el tercer sistema al igual que el segundo activo se encuentran las fallas:

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

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

Cuanto sistema el cual también está activo las fallas más reconocidas son; Falla Cupey, Falla Arroyón.

2.2.2. Características geomorfológicas.

Genéticamente el relieve de Moa y sus áreas adyacentes está clasificado dentro del tipo de Horst y bloques que corresponden a los cuerpos de rocas ultrabásicas elevadas en la etapa neotectónica a lo largo de dislocaciones antiguas y rupturas nuevas, poco o ligeramente diseccionados (Rodríguez, 1998), en su estudio morfotectónico de la región clasificó el territorio en dos zonas geomorfológicas fundamentales.

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

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

Capítulo III: Materiales y métodos utilizados.

- Introducción.
- Trabajos de cartografía geológica.
- Análisis de los factores de degradación
- Procesamiento de la información.
- Metodología para la evaluación de la degradación.

Introducción

En este capítulo se describe la metodología utilizada en la investigación la cual conduce el trabajo de forma lógica. Donde se explican los métodos para el análisis descriptivo de zonas afectadas y determinación de la pérdida de suelos por factores de degradación. También se explica la forma de interpretación de los datos de campo.

3.1 Trabajos de cartografía geológica

La metodología de la investigación utilizada en la realización de este estudio parte de la selección del área de estudio a partir de los mapas topográficos a escala 1:25 000 Bahía de Yaguaneque, Calentura del Medio, Cayo Moa Grande, Los Farallones, Los Indios, Moa, Potosí, Punta Gorda Abajo, el límite político-administrativo del municipio y con la vinculación de imágenes satelitales donde se pudo observar las modificaciones en las superficies del terreno relacionadas mayormente con el factor antrópico.

Los trabajos de campo se realizaron con el objetivo de analizar y comprobar en el terreno si existían tales cambios y el comportamiento en cuanto a la evolución en la pérdida de la vegetación y la pérdida del suelo por la vegetación.

- Se realizaron salidas al campo con el objetivo de reconocimiento y descripción de puntos de documentación para verificar los procesos degradativos o fenómenos geológicos que se desarrollan en la zona de estudio.
- Se describieron los procesos geológicos presentes, así como la existencia de vegetación (en mayor o menor grado), y su densidad en el área.
- Se observaron la acción antrópica que se ejerce sobre el medio geológico.

Equipamiento utilizado

- Mapas topográficos a escala 1:25000.
- GPS, brújula, cámara fotográfica
- Mapa geológico a escala 1:50000.
- Libreta, lápiz y marcador.
- Cinta métrica

3.2 Análisis de los factores de degradación

Para el análisis del estudio de los factores de degradación se parte del incremento de las áreas con baja fertilidad en los suelos como resultado de la relación de los procesos geológicos y de la intensa actividad antrópica.

3.2.1 Pérdida de la vegetación

Este factor es el más importante porque a partir de él se detectan las zonas propensas a degradarse y a partir de este se evalúan, los demás factores. La pérdida de la vegetación puede estar provocada por diferentes motivos, en algunos casos la deforestación está asociada a los incendios, en otros se debe a la tala por la búsqueda de suelos para implementar monocultivos intensivos altamente demandantes en energía, agua, abonos derivados del petróleo y tóxicos que pueden contaminar las aguas subterráneas y superficiales.

Los factores responsables de la pérdida de la vegetación natural son: la deforestación y los incendios forestales. Hasta el 25% de las emisiones de CO se deben a la tala indiscriminada de árboles. Ésta, a la vez que empobrece el suelo y lo deja desprotegido ante la erosión y la evaporación del agua, contribuye aún más al cambio climático. Al aumentar las sequías y la presión humana sobre el manto forestal, éste se ve en peligro.

La intensidad y recurrencia de los incendios forestales está teniendo efectos dramáticos sobre nuestro suelo, con efectos irreversibles en algunos casos. Las elevadas pendientes aumentan, además la erosión; generando suelos cada vez menos productivos.

Para el estudio de la pérdida de la vegetación se parte de la clasificación de las áreas cuyas densidades se manifiestan en menor o mayor grado como:

- Sin vegetación
- Baja densidad de la vegetación
- Media densidad de la vegetación
- Alta densidad de la vegetación

3.2.2 Geología de área

Este es un factor que representa un nivel de importancia razonable debido a que a geología de la región se caracteriza por una gran complejidad condicionada por la variedad litológica presente y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el decursar del tiempo geológico (Rodríguez. 1998).

3.2.3 Forma del terreno

La presencia de una topografía más o menos abrupta, determinará la intensidad de la erosión: siendo esta menos intensa en la zona llana que en la zona ondulada y en ésta menos que en la zona alomada, lo que determinará la presencia de erosión laminar, en surcos o en cárcavas.

Este factor es muy importante porque debido al grado de pendiente, será en mayor o menor grado la incidencia de las radiaciones solares sobre los suelos.

La desecación, o el acto de secar, son mayores si la pendiente da cara al sol durante un mayor período de tiempo y aumenta más si el ángulo de la pendiente es perpendicular a los rayos solares.

La profundidad del nivel freático se encuentra relacionada con los niveles a los cuales se encuentre el agua; si existen zonas donde la capa freática es muy profunda las plantas y organismos no podrán obtener la humedad que necesitan para desarrollarse y mueren; por otro lado si está muy cerca de la superficie la salinidad y alcalinidad de las aguas pueden matar los animales y plantas o impedir su proliferación.

Según lo referido anteriormente el terreno se clasifica en:

- Zonas de llanuras.
- Zonas de montañas.

3.2.4 Morfotectónica del área

La complejidad en la región de estudio se pone de manifiesto a través de estructuras fundamentalmente de tipo disyuntivas con dirección noreste y noroeste que se cortan y desplazan entre sí, formando un enrejado de bloques y micro bloques con movimientos verticales diferenciales, que se desplazan también en la componente horizontal y en ocasiones llegan a rotar por acción de las fuerzas tangenciales que los afecta como resultado de la compresión (Rodríguez. 1998).

3.2.5 Factor antrópico

Otro de los factores que inciden sobre la degradación es el mal uso del suelo a través de la agricultura intensiva, la introducción de monocultivos, el uso de variedades transgénicas, industrialización y la presión urbanística.

Tanto la agricultura como la industrialización son responsables de un grave despilfarro de los recursos hídricos, lo que provoca el avance de lo que algunos autores han denominado el desierto verde. La presión urbanística es otro aspecto que representa un valor considerable.

La utilización inadecuada de la maquinaria pesada, de fertilizantes inorgánicos, de tecnologías de riego a alta presión, así como de pesticidas agrícolas para el control de plagas y enfermedades de los cultivos, ha traído como consecuencia la concentración y extracción indiscriminada de nutrientes lo que consecuentemente no conduce a la degradación de los suelos.

De ahí que una parte importante de la tierra se dedique al desarrollo urbano, viales, minería y agricultura, lo que reduce cada vez más las grandes extensiones de los bosques naturales.

A partir de las prácticas del uso de los suelos del municipio Moa se pueden categorizar en:

- Cayos
- De uso no definido
- Zona Agrícola
- Zona Empresas del Niquel
- Zona Industrial
- Zona Minera
- Zona Presa de Cola
- Zona rural
- Zona Urbana
- Zona de Embalse de H₂O

3.3 Procesamiento de la información

Digitalización y calibración de la información.

En la investigación se utilizaron los software: Didger3, ArcGIS 9.3 y Excel 2010.

Con la ayuda del software Didger3 se pudo ubicar puntos de referencia en las imágenes aéreas y se georeferenciaron las mismas utilizando el ArcGIS 9.3. El trabajo realizado con el Didger3 se muestra en la Figura 3.1.

En el Excel se realizaron todas las operaciones estadísticas con los datos de los factores donde se calcularon los valores de la combinación de los mapas y posteriormente se les dio un peso determinado.

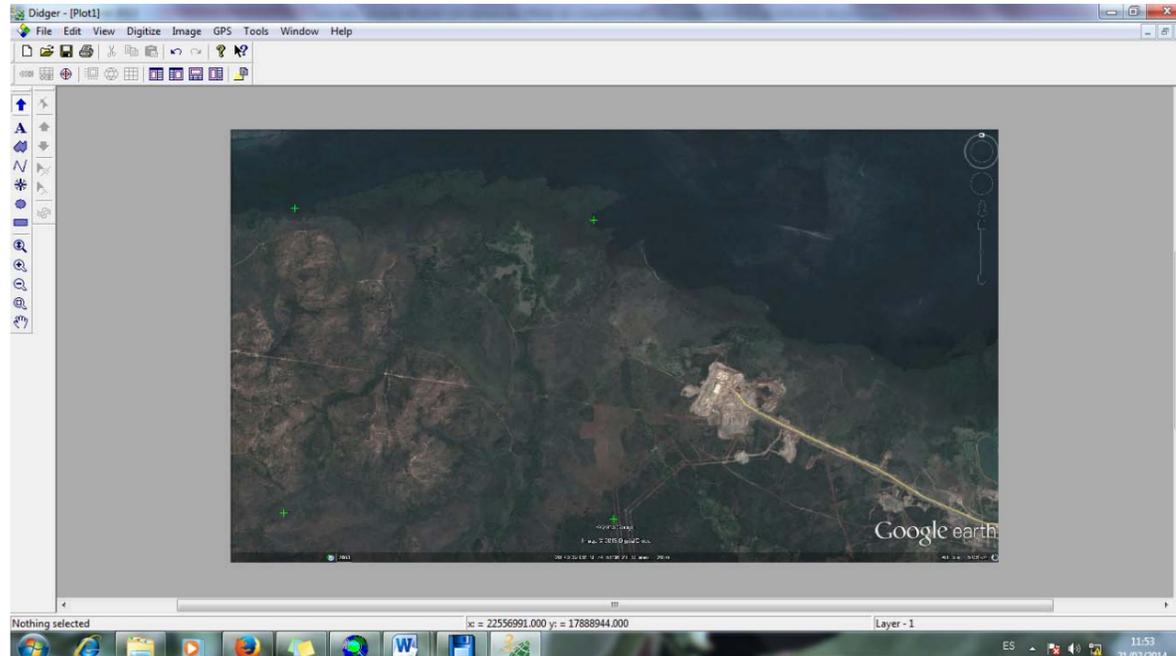


Figura 3.1. Ubicación de los puntos de referencias.

Con la ayuda del software ArcGIS se georeferenciaron todos los mapas topográficos y las imágenes aéreas para empezar el procesamiento de la información digital. El software que proporciona técnicas avanzadas de digitalización permite convertir mapas, gráficos, fotos aéreas o cualquier otro tipo de información en un formato digital versátil que puede ser utilizado con otro software de Sistemas de Información Geográfica. Toda la información se localiza en un proyecto, el cual está formado por diferentes documentos como vistas, tablas, diagramas o gráficos y presentaciones. La información integrada en el proyecto se almacena en un archivo con extensión *.mxd. El sistema estructura la información en las siguientes partes:

Vistas (VIEW): en él se integran los diferentes mapas, y en esencia es una superposición de todos mapas que conforman el proyecto. Estos mapas se analizan y se procesan siendo posible guardar todo esto en una base de atributos (attributes). Figura (3.2)

Esta tabla nos permite agregar la información que queramos en diferentes tipos. Por otra parte el ArcGIS es compatible con más de 35 formatos para importar archivos y más de 25 para exportarlos. Se puede confeccionar mosaicos con imágenes georreferenciadas o sobreponer archivos vectoriales sobre imágenes georreferenciadas.

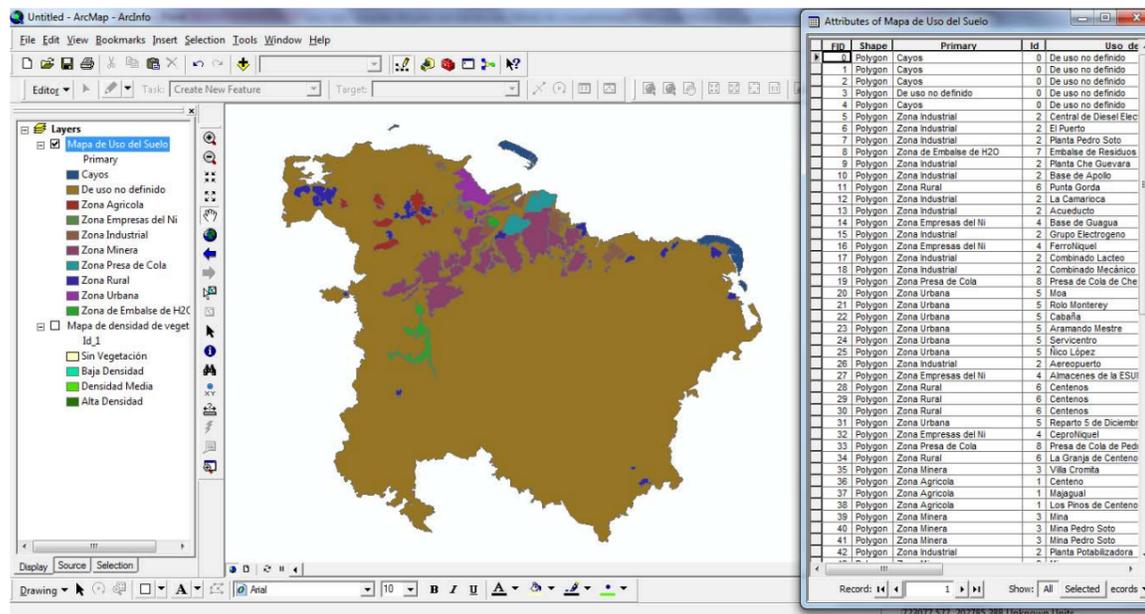


Figura 3.2. Mapas temáticos (Uso del Suelo).

Las tablas (Table) se encuentran asociadas a cada tema y contienen información descriptiva. Están formadas por registros que representan características individuales de cada rasgo y por campos que definen las características de todos los elementos (Figura 3.2), en este caso muestra información acerca de los polígonos digitalizados.

La estructura final del proyecto GIS para conocer la degradación ambiental está conformada por varios mapas temáticos los cuales permiten realizar una evaluación de los factures mediante la probabilidad condicional.

Características principales del ArcGIS 9.3

- Formatos espaciales: GeoTIFF, TFW y RSF.
- Importa formato de vectores: EMF, GSI, GSB, BNA, DLG, LGO, LGS, DXF, PLT, BLN, CLP, WMF, SHP, MIF, DDF, E00.

- Formato de imágenes a Importar: TIF, BMP, TGA, PCX, GIF, WPG, DCX, EPS, JPG, PNG, PCT.
- Formato de datos a Importar: XLS, SLK, DAT, CSV, TXT, BNA, WKx, WRx, BLN.
- Formatos de Exportación: LAS, EMF, GSI, GSB, DAT, DXF, SHP, BLN, BNA, GIF, BMP, WMF, CGM, MIF, CLP, TIF, TGA, PCX, WPG, PNG, JPG, PCT, DCX.

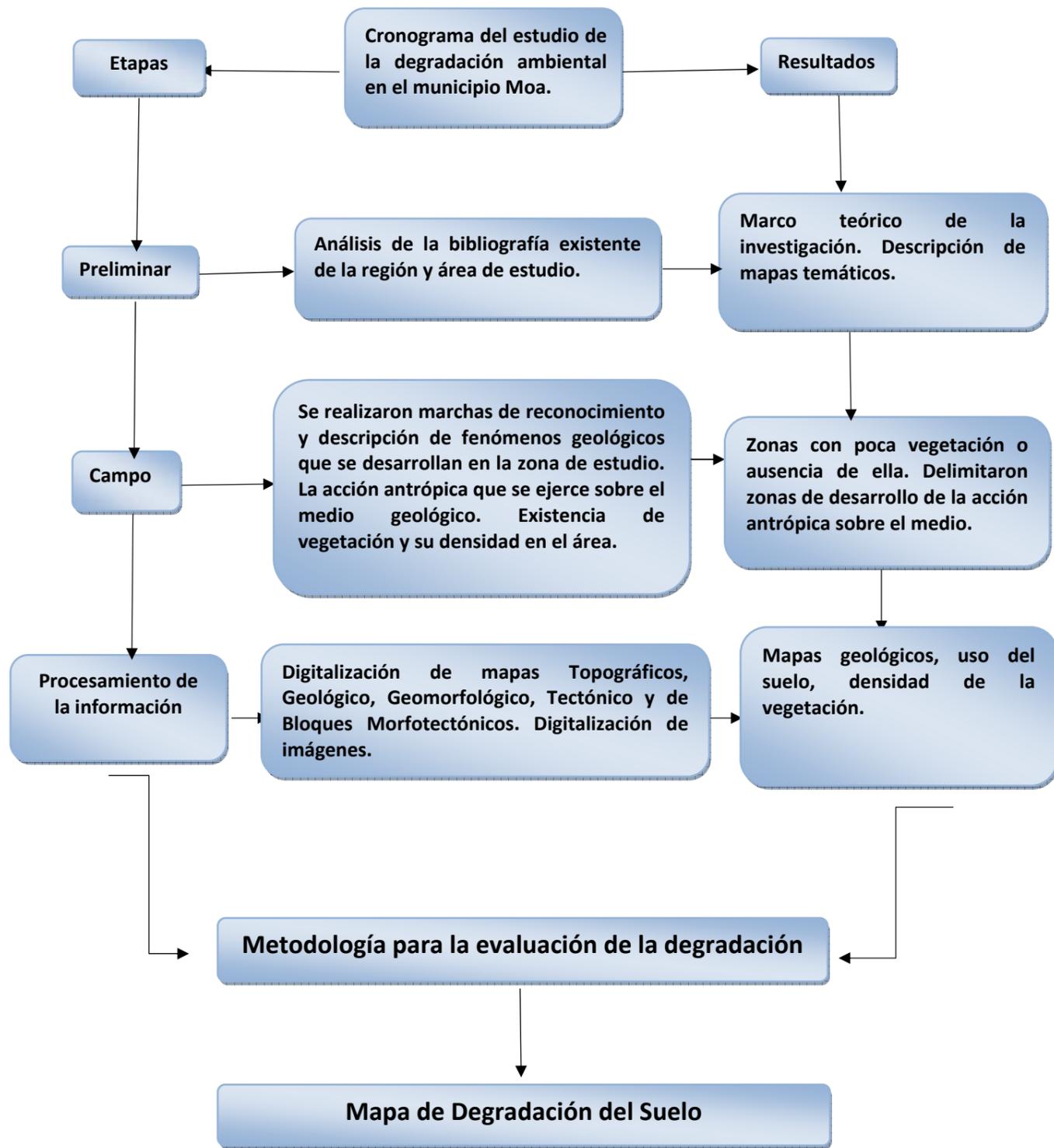


Figura 3.3. Cronograma de la investigación.

3.4 Metodología para la evaluación de la degradación

En la presente investigación se utilizan métodos estadísticos para evaluar la susceptibilidad de los suelos del municipio Moa a la degradación. El análisis estadístico está basado en la relación observada entre cada factor condicionante de la degradación analizado. La técnica aplicada en la investigación es el análisis probabilístico condicional, la fortaleza funcional del método aplicado es directamente dependiente de la calidad y cantidad de los datos disponibles para el análisis (Almaguer, 2005). El modelo estadístico empleado parte de la base teórica del teorema de Bayes, el cuál bajo varias aproximaciones probabilísticas, se seleccionó la siguiente ecuación para la valoración de las clases de los diferentes factores (Figura 3.4).

$$Pc = \left(\frac{X_1}{F_1} \times \frac{X}{F} \right) \times 100$$

Dónde:

Pc: Susceptibilidad a la degradación (probabilidad condicional).

X₁: área ocupada por densidad de vegetación.

Y₁: área de la clase del factor de degradación analizado.

X: área total sin vegetación.

Y: área total del área de estudio.

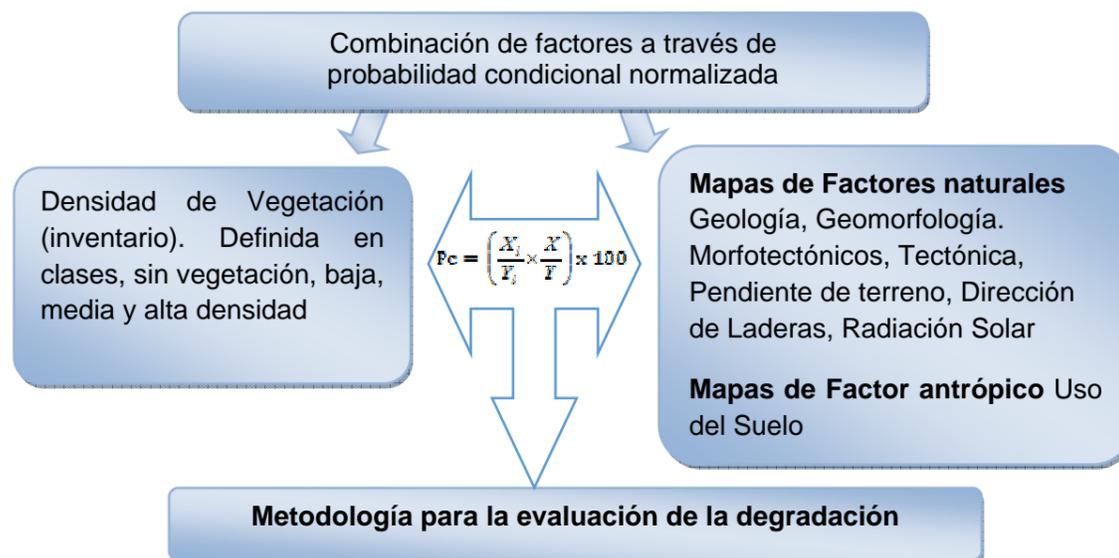


Figura 3.4. Metodología para la evaluación de la degradación

Capítulo IV: Evaluación de la susceptibilidad por degradación de los suelos en el municipio Moa.

IV

- Introducción.
- Inventario de zonas degradadas. Trabajos cartográficos de campo.
- Caracterización de los factores que inciden en la degradación de los suelos.
- Evaluación de la susceptibilidad frente a la degradación de suelos.
- Impactos ambientales que inciden en la degradación de los suelos en el municipio.
- Medidas para minimizar el proceso de degradación de los suelos.

Introducción

En el presente capítulo se realiza la evaluación de la susceptibilidad del municipio Moa a la degradación de los suelos, partiendo de la caracterización de los factores naturales y antrópicos que inciden en la degradación y pérdida de biodiversidad, además se exponen los principales impactos ambientales de la actividad humana y medidas generales para la minimización de la degradación en el área de estudio.

4.1 Inventario de zonas degradadas.

Trabajos cartográficos de campo.

Los trabajos cartográficos se basan esencialmente en la descripción de afloramientos, con el objetivo de caracterizar el comportamiento de los procesos geodinámicos y antrópicos sobre la degradación del suelo (Figura 4.11). A continuación se describen los puntos de documentación realizados en el área:

Punto: 1

Ubicación. La granja de Centeno (UBPC Antonio Maceo).

Coordenadas. X: 690229 Y: 220481.

Litologías. Presencia de corteza laterítica arcillosa de color rojo claro.

Vegetación. Baja densidad debido a la siembra de pasto para el ganado.

Suelo. Suelo de color rojizo-amarillento con predominio de fracción arcillosa.

Red fluvial. Existen cañadas intermitentes.

Fenómenos geodinámicos. Tanto la meteorización como la erosión se desarrollan poco en el área.

Acción antrópica. En la zona se desarrolla la agricultura y la ganadería donde existen áreas sembradas de pasto (Caña, Kingras) para el ganado (Figura 4.1)



Figura. 4.1. Pérdida de la vegetación por pastoreo (UBPC Antonio Maceo).

Punto: 2

Ubicación. Parada EL Jucaral.

Coordenadas. X: 689221 Y: 220009

Litologías. Presencia de rocas serpentinizadas con desarrollo de corteza de meteorización.

Vegetación. Baja densidad debido a la actividad antrópica.

Suelo. Presenta color pardo claro con humedad relativamente baja, de granulometría fina a media; la materia orgánica es baja debido al escurrimiento superficial en el área.

Red fluvial. Presencia de cañadas.

Fenómenos geodinámicos. La meteorización es poco desarrollada y la erosión presente es en surco.

Acción antrópica. La actividad agrícola, la ganadera y la porcina particular son acciones antrópicas se desarrollan en el área (Figura 4.2).



Figura. 4.2. Degradación de suelo en zona agrícola.

Punto: 3

Ubicación. Carretera de acceso a Yaguaneque.

Coordenadas. X: 689120 Y: 221268

Litología. Rocas serpentinizadas.

Estructura. Presencia de grietas y espejos de fricción en todo el afloramiento.

Vegetación. La vegetación es de densidad media típica de esta zona.

Suelo. No hay formación de suelo.

Red fluvial. Son intermitentes.

Fenómenos geodinámicos. La erosión es muy intensa. Los productos de la meteorización no se conservan (Figura 4.3).

Acción antrópica. El afloramiento es artificial ya que el material se utiliza como relleno. La construcción de trochas de acceso a torres ha eliminado la vegetación en el área.



Figura. 4.3. Pérdida del suelo por procesos erosivos intensos.

Punto: 4

Ubicación. Pueblo nuevo de Centeno.

Coordenadas. X: 692005 Y: 222100

Litología. Suelo arcilloso.

Estructura. Grietas de desecación.

Vegetación. Densidad baja a media.

Suelo. Pardo oscuro con una humedad media, granulometría fina, poca presencia de materia orgánica y poco drenaje.

Red fluvial. Escasa e intermitente

Fenómenos geodinámicos. Tanto la meteorización como la erosión no se observan

Acción antrópica. Sembrados particulares (Caña, Plátano), torre de alta tensión (Figura 4.4).



Figura. 4.4 Degradación del suelo zona agrícola.

Punto: 5

Ubicación. Detrás de combinado mecánico.

Coordenadas. X: 694180 Y: 221818

Litología. Corteza de intemperismo.

Estructura. Grietas de desecación.

Vegetación. Varía desde baja densidad a la ausencia total de vegetación.

Suelo. Rojo pardusco con baja humedad, granulometría media (perdigones), no hay materia orgánica, con buen drenaje.

Red fluvial. Cañadas que tributan al río Cabaña y algunos intermitentes.

Fenómenos geodinámicos. Alta meteorización y erosión en surco con socavación.

Acción antrópica. El crecimiento rural con el aumento de la agricultura, tendido eléctrico de alta tensión y red de exploración minera (Figura 4.5).



Figura. 4.5 Pérdida de la vegetación zona minera.

Punto: 6

Ubicación. Río Cabaña.

Coordenadas. X: 694737 Y: 221240

Litología. Sedimentos fluviales.

Estructura. Grandes bloques de sílices.

Vegetación. Varía de densidad baja a media.

Suelo. Suelos aluviales de color pardo y rojo oscuro.

Red fluvial. El río Cabaña con sus tributarios.

Fenómenos geodinámicos. Erosión intensa y socavación (Figura 4.6).

Acción antrópica. Actividad agrícola en margen izquierda aguas abajo.



Figura. 4.6 Erosión en el cauce del río Cabañas.

Punto: 7

Ubicación. Detrás del reparto Armando Mestres, bajando por el río Cabaña.

Coordenadas. X: 696125 Y: 221317

Litología. Corteza de Intemperismo.

Estructura. Pequeñas grietas en la corteza provocada por la erosión.

Vegetación. La vegetación presente es de baja densidad.

Suelo. Color rojo pardo oscuro, con una humedad media, los perdigones con granulometría media y el drenaje es bueno.

Red fluvial. Pequeñas cañadas intermitentes que escuren en dirección al río.

Fenómenos geodinámicos. Presencia de erosión en cárcavas que alcanzan hasta 90cm de profundidad (Figura 4.7).

Acción antrópica. Práctica de agricultura en las orillas del río, red de exploración minera y tendido eléctrico.



Figura. 4.7 Erosión y degradación por actividad minera.

Punto: 8

Ubicación. Río Cabaña cerca del Reparto Pedro Soto Alba.

Coordenadas. X: 697659 Y: 221428

Litologías. Sedimentos fluviales acumulados en la llanura de inundación del río.

Vegetación. Es de media densidad en el bosque de galería.

Suelo. Sedimentos de color pardo con tonalidad rojiza, una gran humedad, granulometría variada, poca materia orgánica y buen drenaje.

Red fluvial. El río Cabaña y varios tributarios.

Fenómenos geodinámicos. No se observan procesos erosivos intensos; es un punto de acumulación de sedimentos.

Acción antrópica. Son varios los factores antrópicos como construcción de viviendas alrededor del río, sembrados, tuberías de agua, y columnas de hormigón que ejerce función de puente (Figura 4.8).



Figura. 4.8 Pérdida de la vegetación por contaminación.

Punto: 9

Ubicación. Áreas de construcción de la planta Las Camariocas.

Coordenadas. X: 709305 Y: 218431

Litologías. Corteza de intemperismo y rocas ultrabásicas serpentinizadas.

Estructuras. Grietas de tracción formadas en los deslizamientos.

Vegetación. Esta varía de baja a media densidad (predomina la Casuarina).

Suelo. Rojo pardusco, poca humedad, variada su granulometría no se observa materia orgánica pero si buen drenaje.

Red fluvial. Pequeños arroyos con carácter permanente.

Fenómenos geodinámicos. Tanto la meteorización como la erosión son intensos (surcos y cárcavas).

Acción antrópica. Está presente la construcción de la fábrica que no se concluyó, varios tendidos eléctricos.

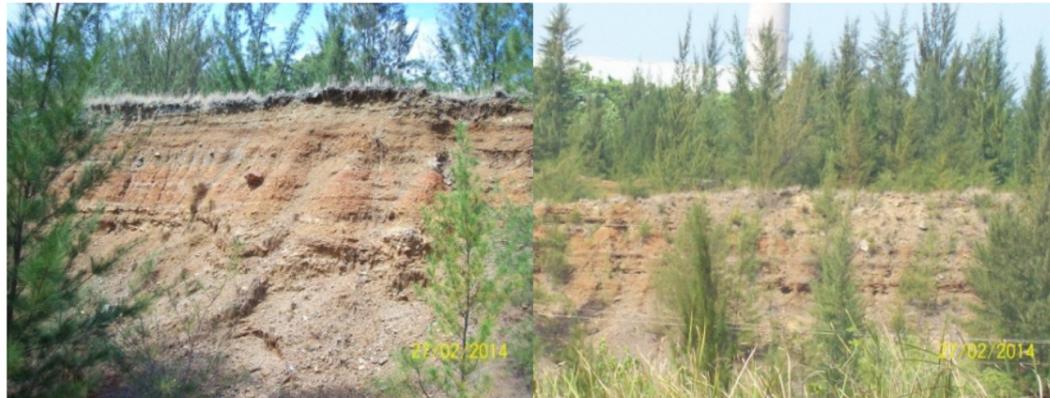


Figura. 4.9 Erosión intensa en taludes de la planta Las Camariocas.

Punto: 10

Ubicación. Las Camariocas.

Coordenadas. X: 709221 Y: 218246

Litologías. Intercalaciones de rocas serpentinizadas y rocas arcillosas.

Estructuras. Pequeñas grietas debido al desprendimiento de suelo.

Vegetación. Baja densidad (Figura 4.10).

Suelo. Color gris claro con poca humedad, la granulometría va de fina a media, poca materia orgánica y buen drenaje.

Red fluvial. Escurrimiento superficial.

Fenómenos geodinámicos. Erosión intensa.

Acción antrópica. Presencia de alcantarillas, tendido eléctrico y puente.



Figura. 4.10 Pérdida de la vegetación por deslizamientos.

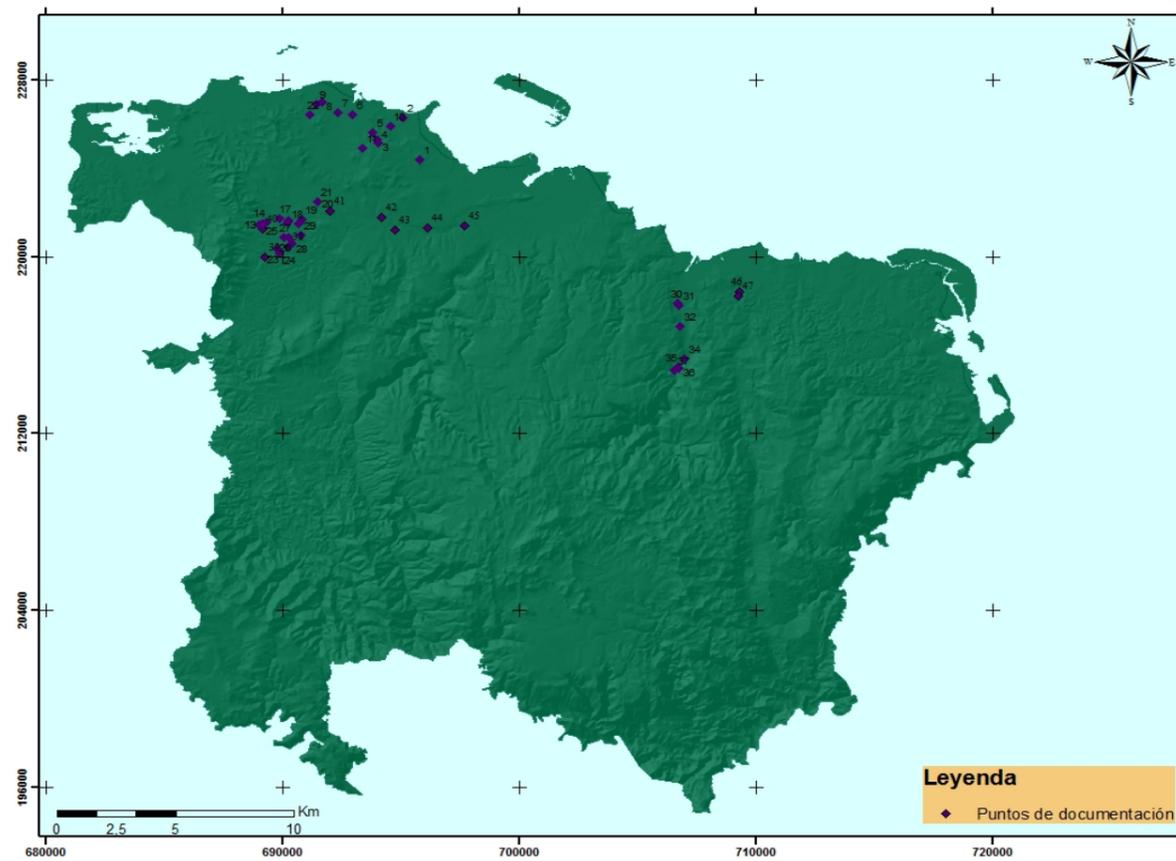


Figura. 4.11 Ubicación de los puntos de documentación

Métodos de cartografía digital.

La forma de cartografiar las áreas degradadas a través de la cartografía digital en la presente investigación ha sido por medio de la densidad de vegetación, tomando como fuentes de información los mapas topográficos y fotos satelitales del área de estudio clasificándola en cuatro clases: sin vegetación, baja, media y alta densidad de vegetación.

Las clases de más baja densidad de vegetación se distribuyen hacia el norte del área y en la parte central, relacionadas espacialmente con las actividades minero-metalúrgicas y agropecuaria ocupando más del 18% del área total del municipio Moa. Las actividades mineras son las que provocan la mayor pérdida de vegetación y alteración de las condiciones naturales de los suelos (Figura 4.12 y tabla 4.1).

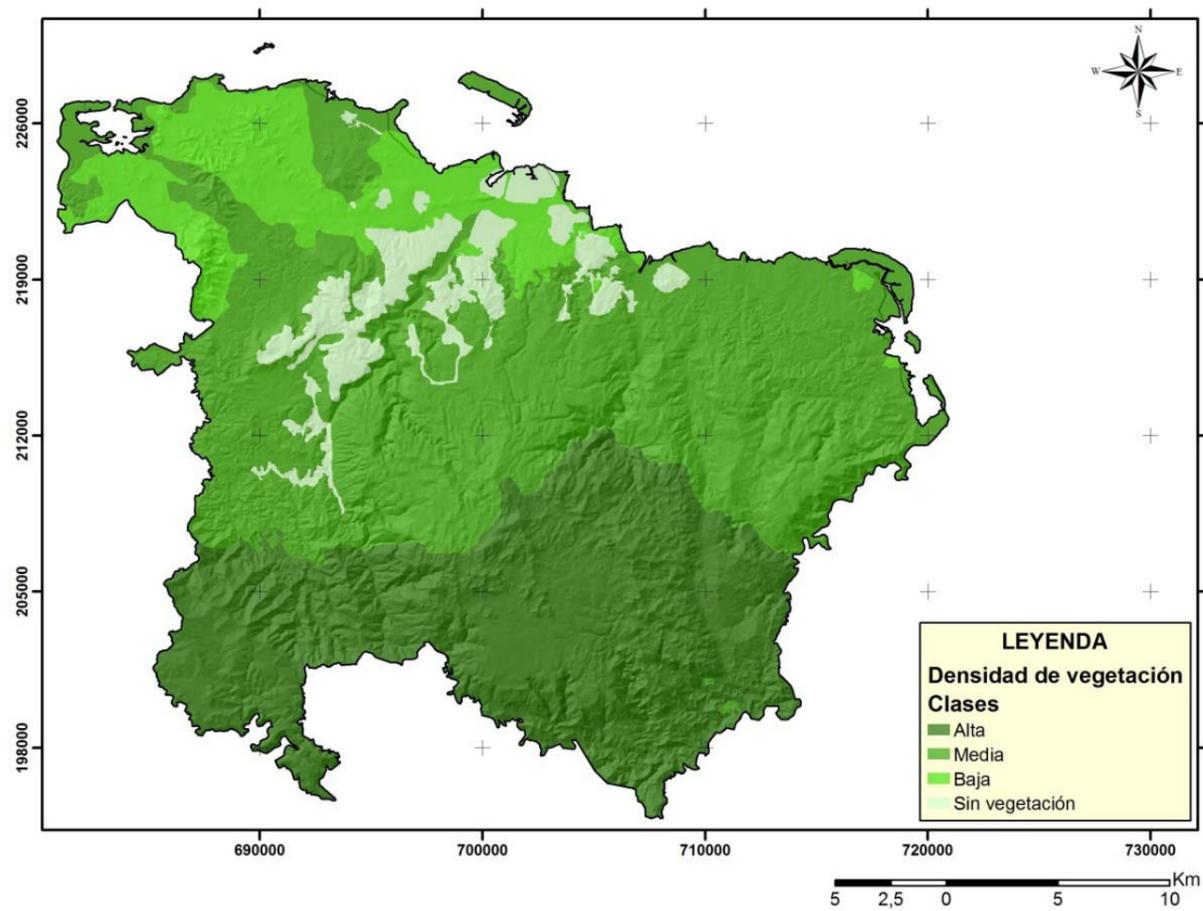


Figura. 4.12. Mapa de densidad de vegetación (Escala original 1:25 000)

Las zonas en las cuales se conserva mejor la vegetación se asocian espacialmente con las áreas protegidas del parque Alejandro de Humboldt.

Tabla 4.1 Descripción de las clases de densidad de vegetación.

Clases de vegetación	Área (Km ²)	% del área total
Sin vegetación	51,50	6,71
Baja densidad	87,96	11,47
Media densidad	369,72	48,20
Alta densidad	258,10	33,65

4.2 Caracterización de los factores que inciden en la degradación de los suelos.

A continuación se describen algunos factores que inciden en la degradación de los suelos, clasificados en naturales y antrópicos.

4.2.1 Factores naturales

Características geológicas.

Para el estudio del factor geológico se partió del mapa 1:50 000 en el cuál están presentes las serpentinitas con un 75,09% del área total de municipio y los gabros con el 10,36%, también está presente el arco volcánico Cretácico con la formación Santo Domingo con 1,72% del área total y el arco volcánico Terciario con la formación Sabaneta con 0,34%. Los resultados del análisis realizado de cada una de las litologías en combinación con el mapa densidad de vegetación se obtuvo que los valores más altos en el área sin vegetación se encuentran en las cortezas desarrolladas sobre serpentinitas y en los gabros (Figura 4.13 y tabla 4.2).

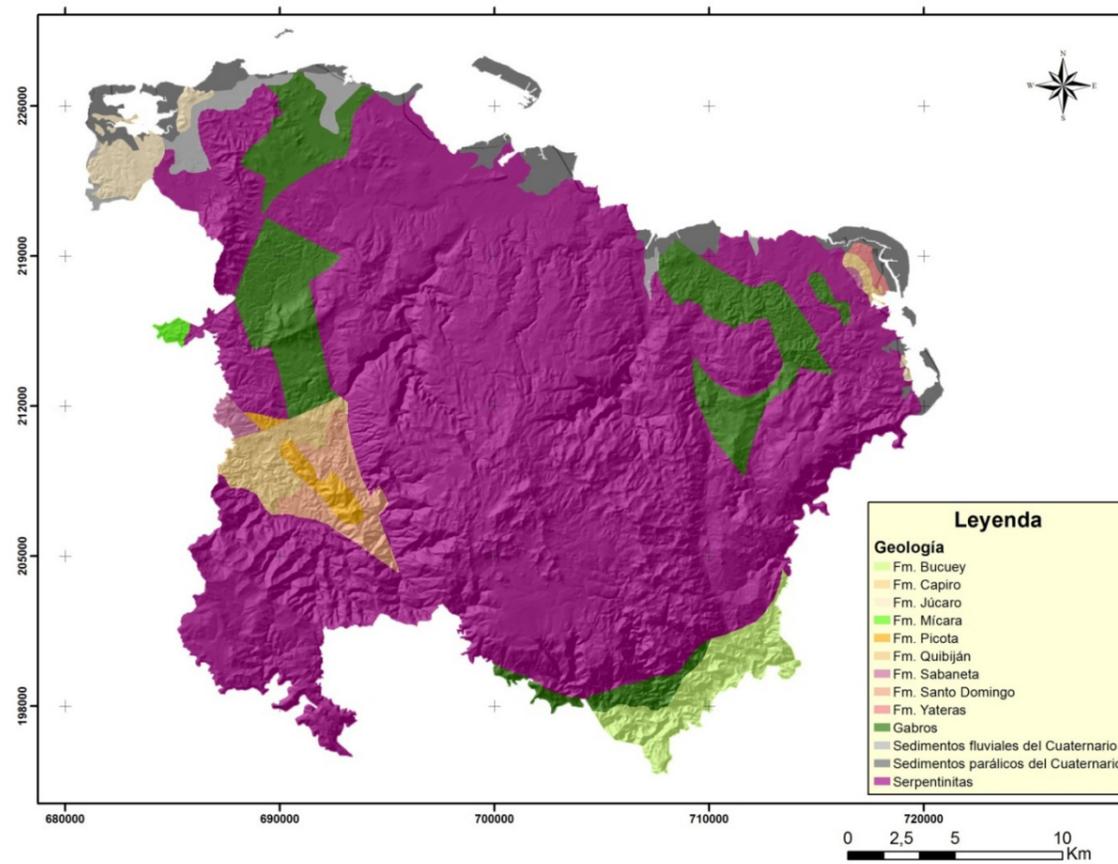


Figura. 4.13 Mapa geológico del área. (Escala original 1:50 000) (Tomado de Rodríguez, 1998 y Ramayo, 2002).

Este comportamiento se debe que la susceptibilidad que tienes estas cortezas frente a los procesos erosivos y de deslizamientos, además desde el punto de vista antrópico, se desarrollan las principales actividades socioeconómicas del territorio asociado a la minería del níquel.

Tabla 4.2. Descripción del factor geológico.

Geología	Área de la clase	%	Área sin vegetación	%	Valor de susceptibilidad
Fm. Bucuey	21,77	2,84	–	–	0
Fm. Capiro	1,46	0,19	0,25	0,18	0,0319
Fm. Júcaro	10,42	1,36	0,64	0,49	0,1158
Fm. Mícaro	1,41	0,18	–	–	0
Fm. Picota	5,642	0,73	0,04	0,03	0,0001
Fm. Quibiján	12,71	1,66	0,89	0,66	0,0127
Fm. Sabaneta	2,66	0,34	–	–	0

Fm. Santo Domingo	13,23	1,72	1,53	1,15	0,0208
Fm. Yateras	1,42	0,18	0,40	0,30	0,0513
Gabros	79,33	10,36	18,26	13,7	0,0414
Sedimentos fluviales del Cuaternario	11,77	1,53	7,04	5,29	0,1076
Sedimentos parálidos del Cuaternario	30,23	3,94	8,52	6,40	0,0507
Serpentinitas	574,87	75,09	95,47	71,76	0,0298

Características geomorfológicas.

La geomorfología también es un factor analizado en la investigación y comparando las zonas geomorfológicas con la densidad de vegetación, se puede determinar su influencia sobre la degradación de los suelos.

Las zonas geomorfológicas en las cuales la degradación es más intensa, son los asentamientos socioeconómicos, acumulaciones palustres, fluviales acumulativas y las montañas baja aplanadas. Esta última manifiesta su mayor valor condicionado a la actividad minera y los procesos erosivos intensos desarrollados en las zonas minadas. El inadecuado manejo y gestión ambiental de las áreas minadas condiciona la aceleración de procesos degradativos del suelo como es la erosión en cárcava y laminar sobre los suelos desprovistos de cobertura herbácea, zonas modificadas desde el punto de vista morfológico donde quedan cortes remanentes con pendientes elevadas, superiores a 45° que propician el arranque de las partículas del suelo por la acción de la escorrentía superficial.

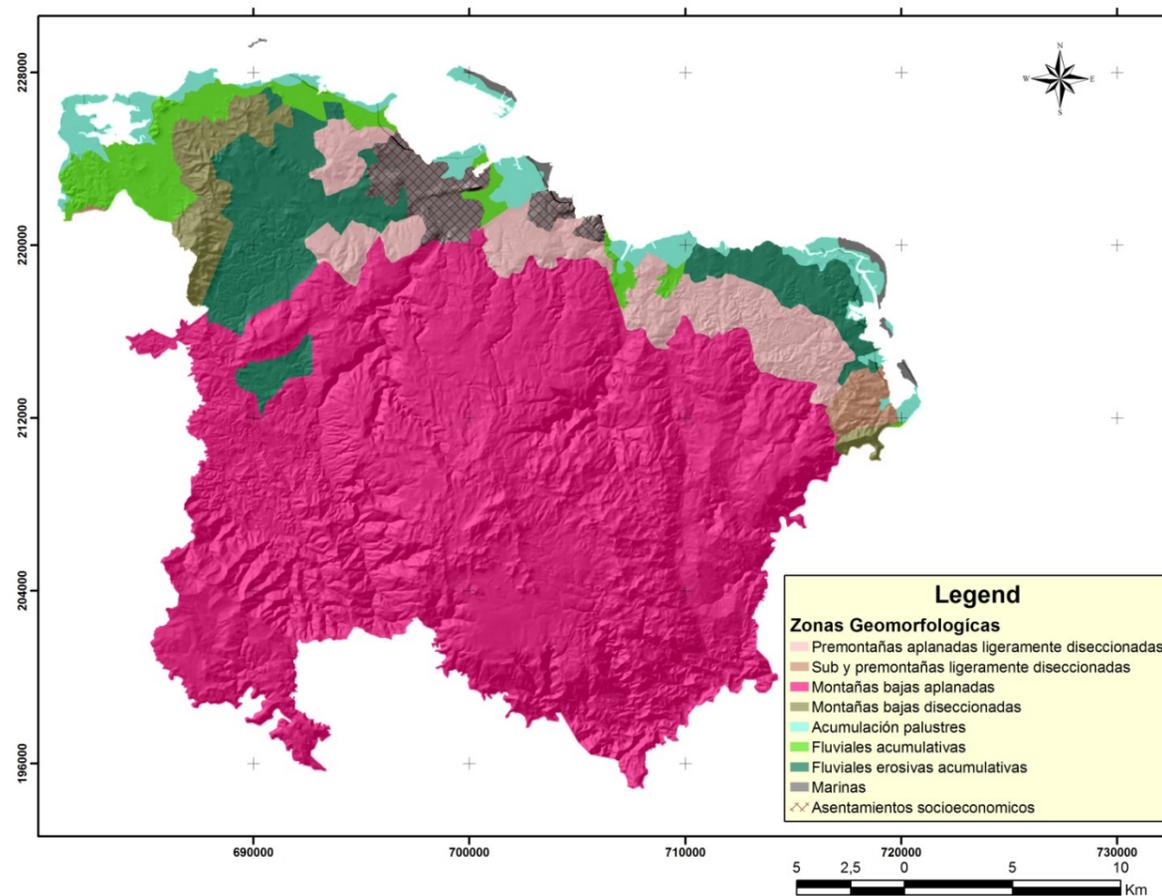


Figura. 4.14 Mapa geomorfológico. (Escala original 1:50 000) (Tomado de Rodríguez, 1998).

Tabla 4.3. Descripción del factor geomorfológico.

Clases de zonas Geomorfológicas	Área de la clase (Km ²)	%	Áreas sin vegetación (Km ²)	%	Valor de susceptibilidad
Acumulación palustre	29,39	3,83	8,19	5,75	0,05
Asentamiento socioeconómico	20,01	2,60	18,79	13,19	0,169
Fluviales acumulativas	32,68	4,26	22,05	15,48	0,121
Fluviales erosivas acumulativas	68,22	8,89	25,60	17,98	0,067
Marinas	3,44	0,44	3,50	2,45	0,014
Montañas bajas aplanadas	525,11	68,46	31,55	22,16	0,021
Montañas bajas diseccionadas	2,64	2,95	16,07	11,28	0,127
Premontañas aplanadas	58,33	7,60	16,37	11,48	0,05
Submontañas y premontañas ligeramente diseccionadas	7,13	0,93	0,27	0,18	0,007

Condiciones morfotectónicas.

Para determinar la influencia de la morfotectónica del área con relación a la vegetación se combinaron los factores donde los resultados se exponen en la tabla 4.4. El Toldo es uno de los bloques de mayores dimensiones (330,08 km²) representando el 27,06% del área total; en la tabla se muestra la comparación de las áreas de los bloques y del mapa de densidad de vegetación. Es relevante el comportamiento del bloque El Toldo con el mayor porcentaje de áreas sin vegetación, esto se debe a la dinámica del bloque, porque manifiesta los mayores valores de levantamientos en el área provocando que los procesos erosivos sean más intensos, un mayor desarrollo de la red de drenaje y mayor manifestación de movimientos de masas en sectores de pendientes inestables (Almaguer, 2005) (Figura 4.15 y tabla 4.4).

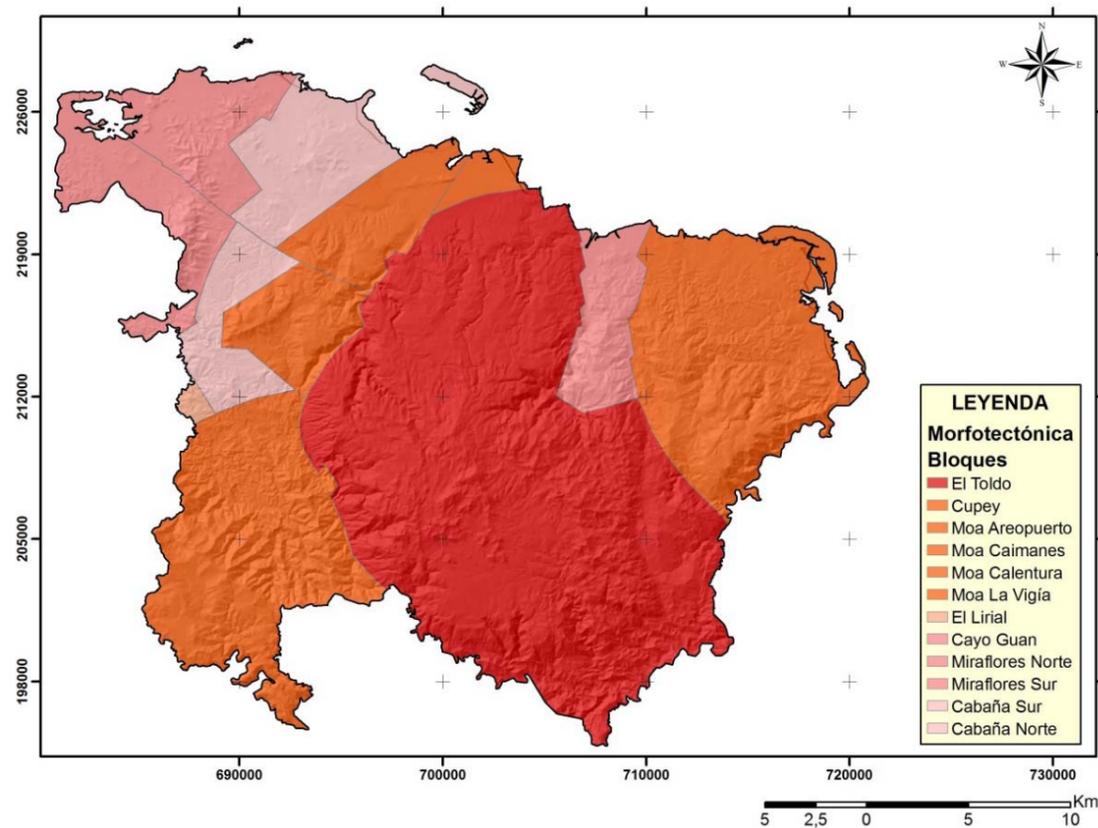


Figura. 4.15 Mapa de bloques morfotectónicos. (Escala original 1:50 000) (Tomado de Rodríguez, 1998).

Tabla 4.4. Descripción del factor morfotectónico.

Clases de morfotectónica	Área Km²	%	Área no vegetación	%	Valor de susceptibilidad
Cabaña Norte	40,755	5,32	21,82	15,68	0,0963
Cabaña Sur	24,982	3,26	0,77	0,55	0,0056
Cayo Guam	26,392	3,45	1,85	1,32	0,0126
Cupey	109,32	14,3	1,02	0,73	0,0016
El Lirial	2,317	0,3	–	–	0
El Toldo	330,08	43,16	27,06	19,45	0,0147
Miraflores Norte	32,943	4,3	22,86	16,43	0,1249
Miraflores Sur	33,837	4,42	20,47	14,71	0,1089
Moa Aeropuerto	308,36	4,03	22,21	15,96	0,1296
Moa Caimanes	27,087	3,54	12,59	9,04	0,0837
Moa Calentura	101,45	13,26	1,91	1,37	0,0033
Moa La Vigía	6,937	0,90	6,56	4,71	0,1703

Pendientes del terreno.

El comportamiento de las pendientes del terreno es interesante y rompe con prejuicios de este factor en el análisis de la degradación ya que los resultados obtenidos demuestran que hay manifestación de alta degradación de los suelos en área de bajas pendientes. Esto se debe a que los suelos lateríticos presentan características como sus propiedades granulométricas, humedad, plasticidad que los hacen susceptibles a procesos degradativos como la erosión y deslizamientos en pendientes muy bajas. Además de esta conclusión también se puede decir que las zonas de altas pendientes no ejercen un peso relevante en el desarrollo de la degradación de los suelos (Figura 4.16 y tabla 4.5).

Tabla 4.5. Descripción del factor pendiente.

Clases de pendientes	Cantidad de pixeles	%	Áreas degradadas		Valor de susceptibilidad
			Cantidad de pixeles	%	
0 ⁰ -5 ⁰	308 804	25,16	115 627	51,98	6,60
6 ⁰ -10 ⁰	269 414	21,95	55 675	25,03	3,23
11 ⁰ -15 ⁰	213 883	17,42	27 671	12,44	1,55
16 ⁰ -89 ⁰	435 102	35,45	23 448	10,54	1,29

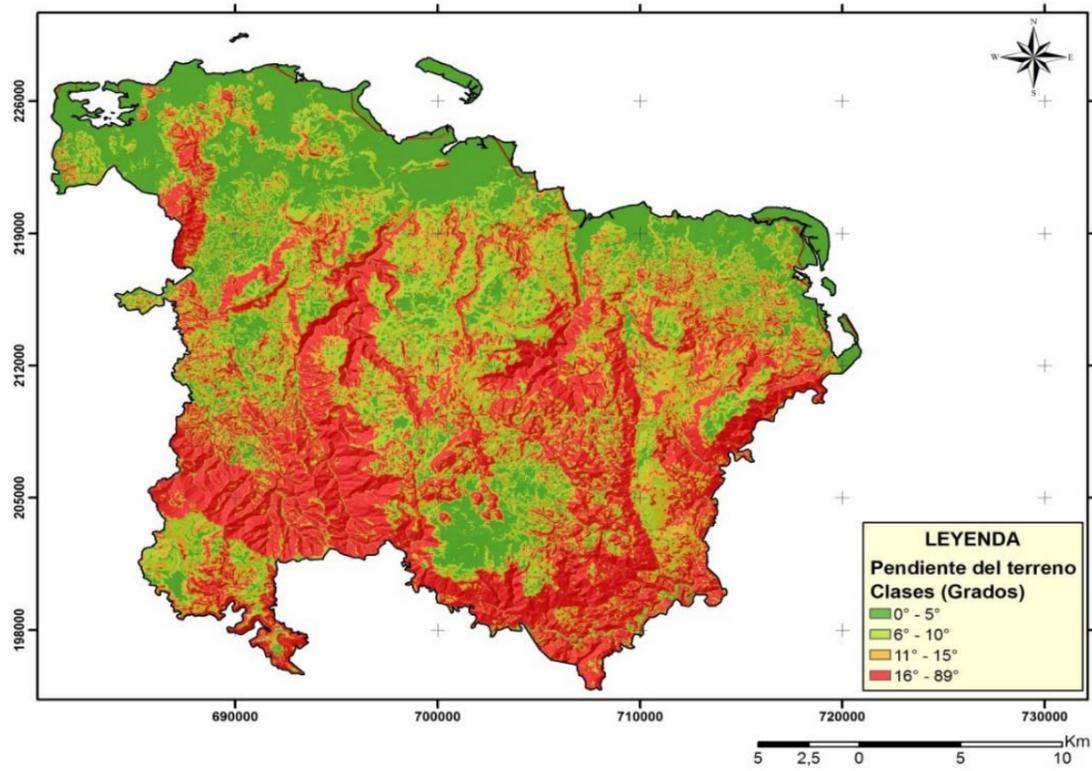


Figura. 4.16 Mapa de pendientes del terreno. (Escala original 1:25 000).

Características tectónicas

El análisis del factor tectónico se realiza mediante un estudio de la distancia de cada estructura con las clases del factor vegetación. El procedimiento se lleva a cabo mediante un Sistema de Información Geográfica y se determinan los estadígrafos básicos como la distancia estándar. La distancia cero (0) significa que las clases de factor vegetación se ubica sobre una estructura y la distancia 190 m es el valor mayor entre la estructura y el factor de vegetación. Con este análisis podemos decir que el 25,02% de área degradada están a menos de 200 m y evidencia la acción de la tectónica como condicionante de los procesos erosivos que inciden negativamente sobre la degradación de los suelos.

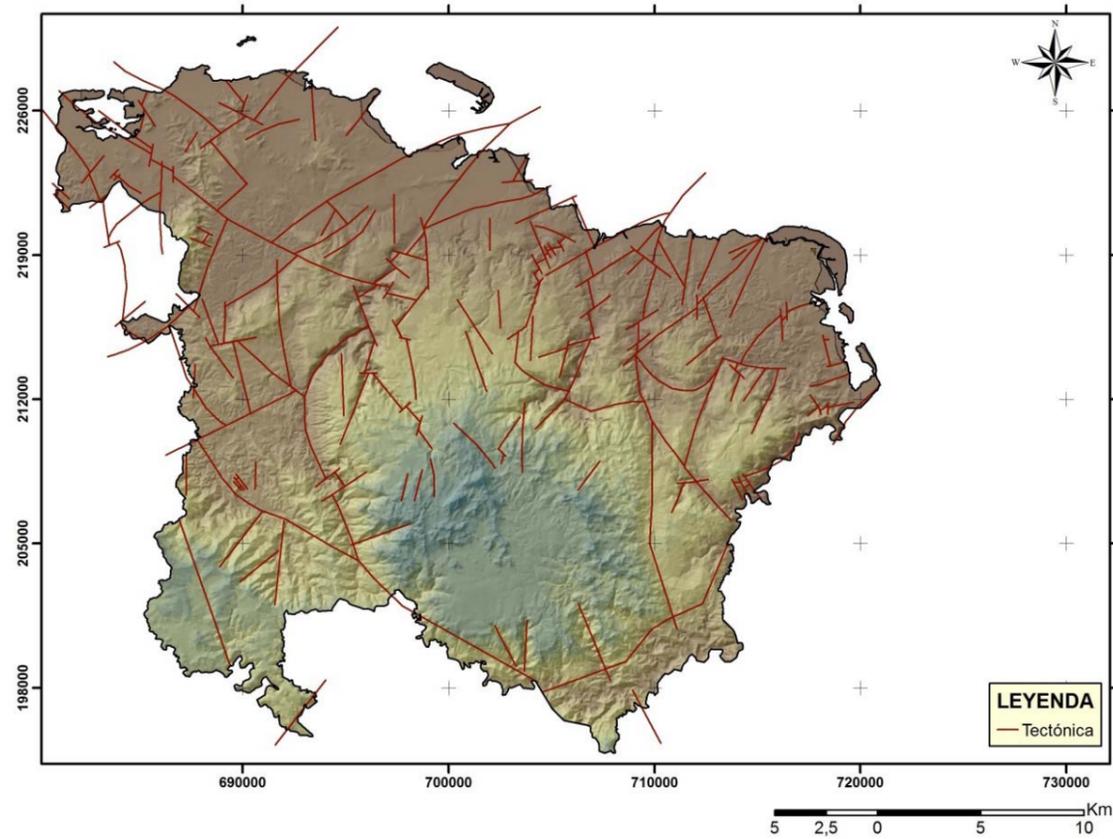


Figura. 4.17 Mapa tectónico de Moa. (Escala original 1:50 000, tomado de Rodríguez. 1998).

Tabla 4.6. Descripción del factor tectónico.

Clases de tectónica	Área (Km ²)	%
Baja densidad	22,40	16,1
Sin vegetación	12,41	8,92

4.2.2 Factor antrópico.

Para el análisis del uso del suelo en el área no se pudo contar con los datos oficiales de la Oficina de Planificación Física debido a que no se tenían materiales cartográficos, por lo que se tuvo que confeccionar un mapa de uso de suelos a partir de la interpretación de la cartografía con mapas topográficos, fotos aéreas e imágenes satelitales, que permiten clasificar el área en Cayos con 6,26 Km², De uso no definido 682,44 Km², Zona Agrícola 5,56 Km², Zona Empresa del Níquel 0,51 Km², Zona Industrial 6,59 Km², Zona Minera 38,85 Km², Zona Presa de Cola 5,77 Km², Zona Rural 9,68 Km², Zona Urbana 6,59 Km² y Zona de Embalse de H₂O 4,69 Km². Muchos de estos usos se ubican

Capítulo IV Evaluación de la susceptibilidad por degradación de los suelos en el municipio Moa

en las áreas cercanas al litoral, donde se ha eliminado la vegetación autóctona, provocando la disminución de la capacidad productiva de los suelos y han alterado los sistemas de drenaje naturales, desviando cauces fluviales y pequeños cursos. Todo esto altera el ciclo natural de regeneración de suelos condicionando la disminución de la capacidad productiva de los mismos.

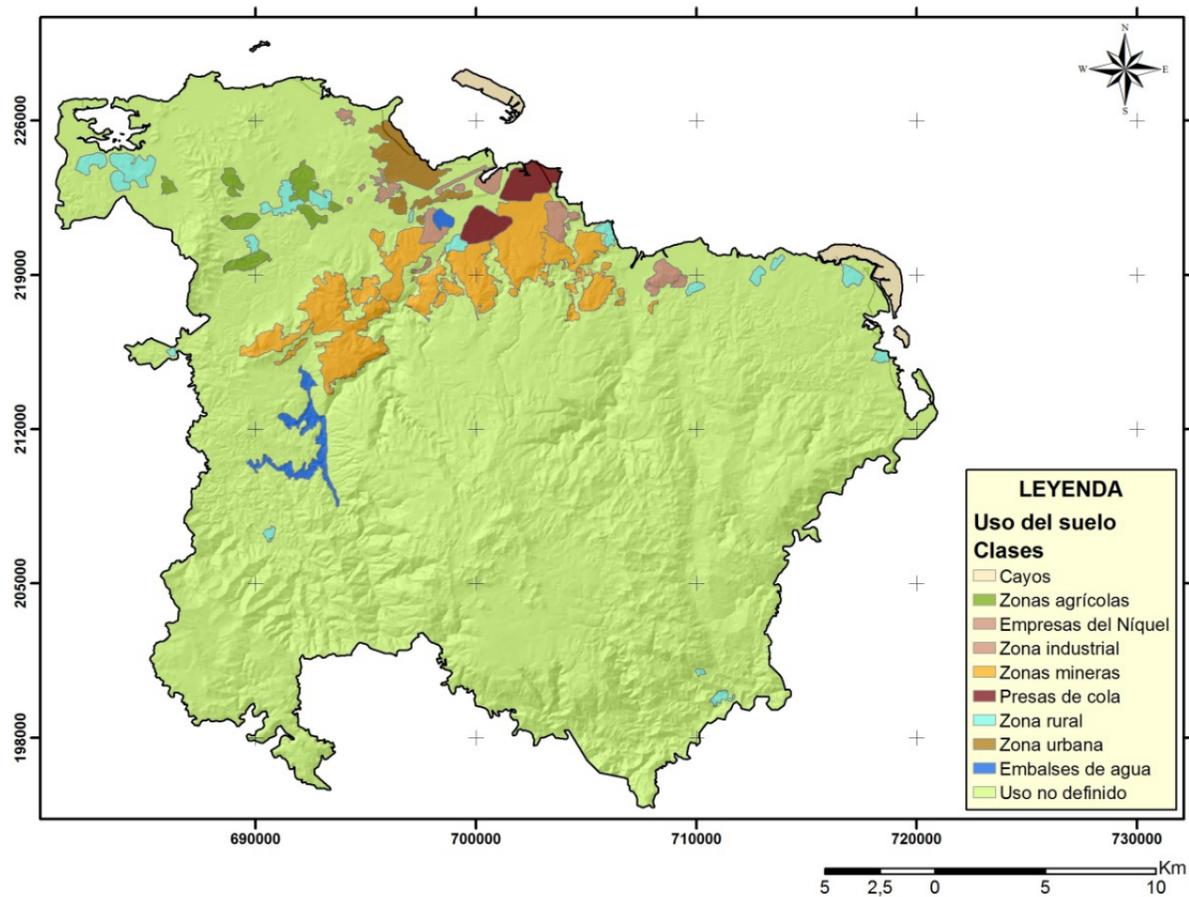


Figura. 4.18 Mapa de uso del suelo del municipio Moa. (Escala original 1:25 000).

Tabla 4.6. Descripción del factor antrópico

Clases de uso del suelo	Área Km ²	%	Área sin vegetación	%	Valor de susceptibilidad
Cayos	6,26	0,81	—	—	0
Uso no definido	682,44	88,97	424,33	84,79	0,0192
Zona agrícola	5,56	0,72	3,40	0,67	0,1101
Embalse de agua	4,69	0,61	4,69	0,93	0,18
Empresas del níquel	0,517	0,06	0,51	0,10	0,18
Zona industrial	6,591	0,85	6,59	1,31	0,1591
Zona minera	38,85	5,06	38,85	7,76	0,1511
Presa de cola	5,77	0,75	5,77	1,15	0,1704
Zona rural	9,681	1,26	9,68	1,93	0,138
Zona urbana	6,592	0,85	6,59	1,31	0,1733

4.3 Evaluación de la susceptibilidad frente a la degradación de suelos.

El análisis prospectivo de la degradación se obtuvo mediante el proceso de integración de toda la información básica y procesamiento e interpretación mediante las técnicas de sistemas de información geográfica, dando como resultado un mapa de degradación que indica la susceptibilidad a la pérdida de biodiversidad y de productividad biológica de los suelos. Indica además la influencia de la acción antrópica sobre el medio y la ineficiencia de las políticas de conservación del medio ambiente.

Como fuentes de información se utilizaron los mapas bases de geología, geomorfología, morfotectónica, relieve, tectónica, usos del suelo, procesos geodinámicos y fotos satelitales que permitió delimitar sectores asociados a determinados niveles de densidad de vegetación.

Los niveles de muy baja degradación representan el 64,33% del área y se relacionan con el área protegida que forma parte del parque Alejandro Humboldt y toda el área que no tiene un uso definido.

La clase de baja degradación se asocia espacialmente a zonas de pendientes elevadas, donde los procesos erosivos son intensos y la acción antrópica afecta parcialmente la pérdida de biodiversidad y representan el 13,51% del área.

La degradación media representa el 11,31% se manifiesta cerca de donde se desarrollan los procesos extractivos de la minería del níquel, toda la parte de exploración minera y zonas rurales.

La alta degradación representa el 8,34% la cual está relacionada con el desarrollo de la minería y todos los procesos que esta requiere.

La degradación muy alta con 2,51% responde a la zona urbana, todo el desarrollo que esta crea, también los procesos metalúrgicos de extracción de mineral y las zonas de desarrollo agrícola.

Unas de las aplicaciones prácticas del mapa de degradación es que permite orientar los planes futuros de rehabilitación de áreas degradadas y mejoramiento de las condiciones de productividad biológica de los suelos, así como perfeccionamiento de los planes de manejo integral del terreno con vista a un mejor aprovechamiento de los recursos del municipio.

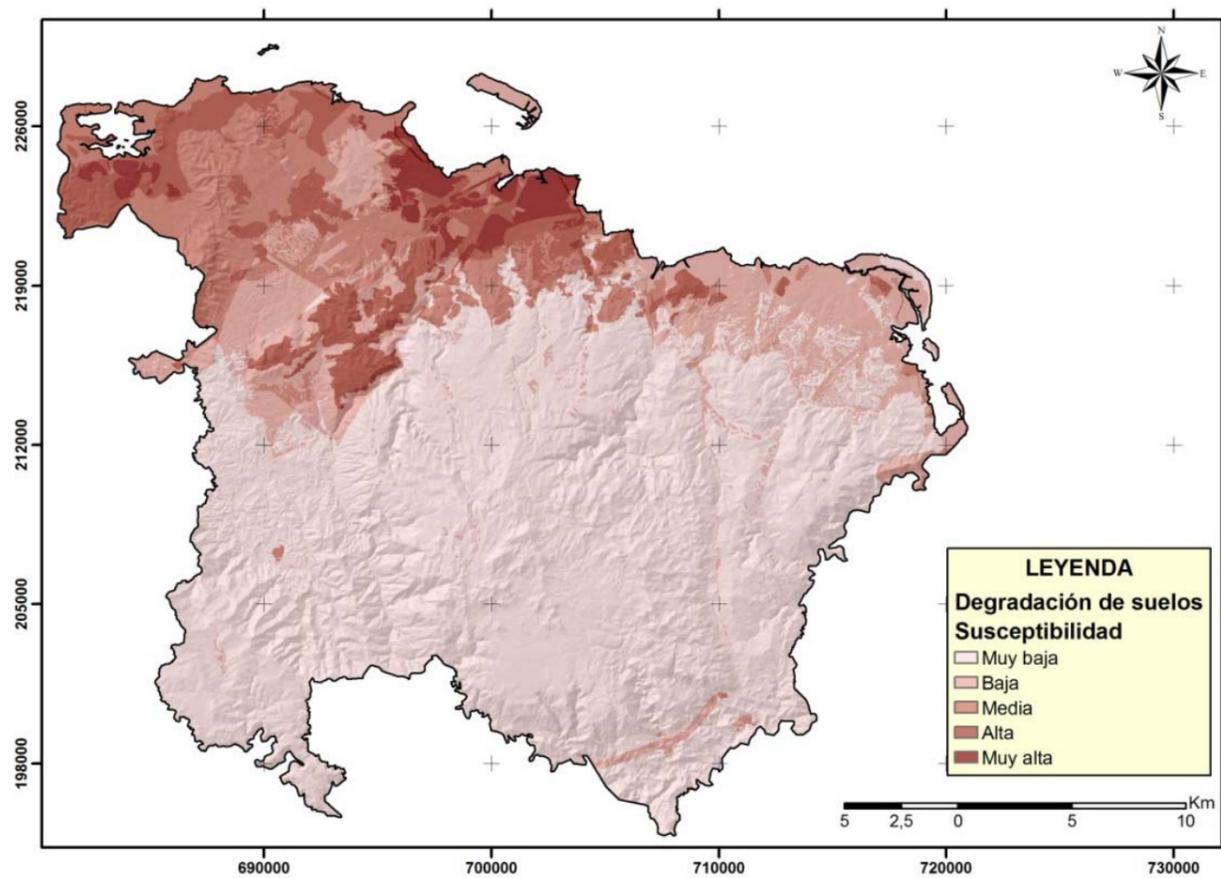


Figura. 4.19 Mapa de susceptibilidad por degradación de suelos. (Escala original 1:50 000).

Tabla 4.7. Descripción de los niveles de degradación.

Clases de susceptibilidad por degradación	Cantidad de pixeles	%
Muy baja	789471	64,33
Baja	165754	13,51
Media	138743	11,31
Alta	102318	8,34
Muy alta	30861	2,51

4.4 Impactos ambientales que inciden en la degradación de los suelos en el municipio.

I)- Impacto ambiental de las actividades minero-metalúrgicas.

Las actividades minero-metalúrgicas pueden causar diferentes impactos:

- a) Impacto sobre los recursos hídricos (ecosistemas acuáticos, aguas superficiales, subterráneas y marinas).
- b) Variación de la morfología del terreno.
- c) Impacto sobre el aire (atmósfera).
- d) Impacto sobre los suelos y la flora y la fauna asociada a ellos.
- e) Impactos paisajísticos.

Las características y magnitud de cada uno de ellos dependen en gran medida de la vulnerabilidad y fragilidad del territorio, de la naturaleza del recurso extraído (tipo de yacimiento mineral y la mineralización secundaria), de las rocas que lo acompañan (rocas encajantes), de la magnitud de las explotaciones (área afectada por la explotación), de los métodos de extracción, tratamiento y beneficios utilizados, condiciones hidrogeológicas e hidrológicas, de la geomorfología local y de las condiciones climáticas (condiciones geográficas locales). Aunque los impactos más aparentes se concentran en la zona minera propiamente dicha, suelen afectar a los lugares adyacentes y pueden alcanzar regiones muy lejanas.

Impacto sobre las masas de aguas continentales y marinas: La forma de contaminación más importante es la introducción de sustancias solubles en el medio hídrico lo que tiene lugar por diferentes vías:

1. El uso de reactivos en el proceso de concentración de los metales, entre los cuales se encuentran ácidos y bases modificadoras del pH del agua, derivados del petróleo, ácidos orgánicos, etc. (ej. Las empresas productoras de níquel y cobalto de Moa (Llamas, 1998).
2. Descarga de aguas ácidas ricas en metales pesados y compuestos tóxicos (ej. plomo, mercurio, cobre, zinc, cromo, cadmio y molibdeno) (ej. El licor ácido de la empresa Pedro Sotto Alba).
3. Sales ferrosas, que al pasar a férricas dan lugar a turbidez en el agua y a que en lechos y márgenes de muchos ríos se puedan observar precipitados pardos de óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso (ej. el río Moa, la bahía de Moa), provocando una degradación casi total del medio acuático y otros problemas ambientales relacionados con la transformación de los ecosistemas naturales circundantes (Smith et al., 1998).
4. Incorporación de materia orgánica, que produce una disminución en la cantidad de oxígeno disuelto y con ello afecta el desarrollo de la vida acuática. Su origen está asociado a la

deforestación de áreas durante la apertura de los yacimientos lateríticos ferroniquelíferos en explotación y la tala indiscriminadas de los bosques del territorio.

5. Incorporación de diferentes nutrientes que pueden llegar a ocasionar una eutrofización (exceso de alimento para las plantas en el agua) del agua, generalmente están asociados a los arrastres por erosión de las escombreras de suelo del destape del yacimiento y a los procesos de deforestación. También pueden incorporarse elementos metálicos que constituyen alimentos para el desarrollo de diferentes microorganismos (Brake, et al., 2001). La existencia de estos nutrientes provoca también la eutrofización de las aguas debido al desarrollo de la vegetación en el agua almacenada en los embalses dentro de las áreas minadas del municipio.
6. Incorporación de partículas de suelos o sedimento en suspensión (particularmente cuando se desarrolla el dragado marino en la dársena del puerto, la deforestación por destape de los cuerpos minerales y almacenamiento en escombreras de suelos poco cohesivos en el territorio que se caracteriza por una elevada pluviometría (Carménate y Riverón, 1999).
 - a) Las cargas sólidas que se incorporan a las corrientes de aguas superficiales producen el incremento de la turbidez del medio y la disminución de la entrada de la luz solar, provocando una disminución de la actividad biológica de plantas, animales y microorganismos acuáticos, así como la afectación de la fotosíntesis de la vegetación acuática y algas.
 - b) La carga sólida obstruyen los cauces y canales, y están aumentando las áreas inundadas de los ríos Cabañas y Moa, además, al desembocar las aguas de estos ríos en la zona costera incrementa la turbidez del agua del mar, afectar el crecimiento de los corales y ocasiona su muerte por enterramiento.
7. La oxigenación de las aguas en las plantas de lavado de áridos para la construcción (por ejemplo, a causa de agitación mecánica durante la extracción de áridos del lecho del río Cayo Guam), puede causar la destrucción de cantidades excesivas de materia orgánica, que puede resultar necesaria para el desarrollo de los diferentes ecosistemas acuáticos y de gran valor en el mantenimiento de las condiciones geoquímicas del medio.
8. Reducción de las zonas húmedas o humedales, variación del caudal de los manantiales y del flujo en las aguas superficiales, por variación de los niveles piezométricos debido al bombeo de agua superficial y subterránea y la construcción de las presas de colas de las empresas

productoras de níquel y cobalto Ernesto Che Guevara y Pedro Soto Alba sobre la llanura de inundación del río Moa.

Variación de la morfología del terreno.

La morfología local sufre importantes cambios debido a la construcción de viales y la extracción de mineral, se mueven grandes volúmenes de mineral, tierra o rocas en los desmontes, escombreras, balsas de sedimentación y terraplenes, sujetos a movimientos de masa y a erosión por los agentes exógenos (Vera, 1979).

Los cambios de la morfología son muy importantes en el municipio, porque en algunos casos afectan el nivel freático provocando la intercepción del mismo y por consiguiente su drenaje artificial, o provocan cambios en las condiciones de flujo y recarga o niveles de los acuíferos del territorio (Figura 4.20).

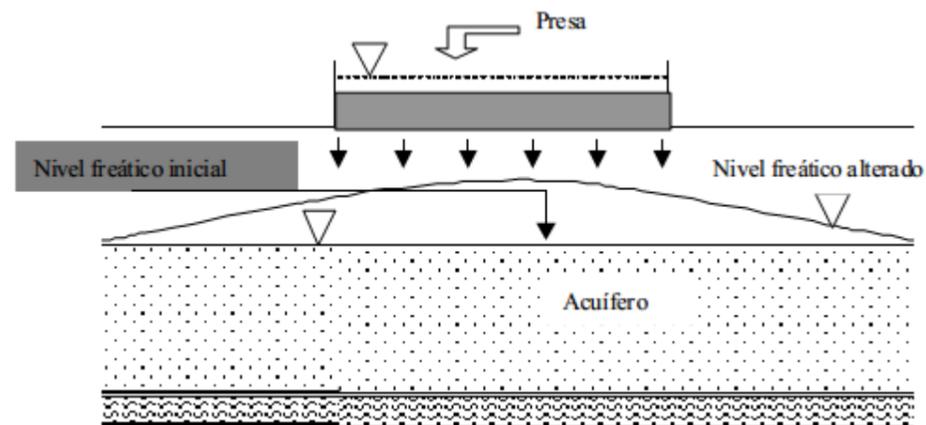


Figura 4.20. Ejemplo de alteración del nivel freático por construcción de una presa de colas.

Impactos sobre la atmósfera y el suelo

Contaminación atmosférica: las causas son la emanación de gases a la atmósfera, la incorporación de partículas por la erosión del viento y el vertido de las chimeneas. El caso particular de la empresa Ernesto Che Guevara, el polvo emanado por unas de sus plantas es capaz de viajar y depositarse sobre las aguas de la bahía pudiendo llegar hasta mar abierto, formando una capa rojiza sobre las aguas disminuyendo la energía solar que se trasmite al fondo marino, aumenta la turbidez de las aguas y la contamina por el contenido mineral del polvo (Figura 4.21).



Figura 4.21. Emisión de gases y polvo por plantas metalúrgicas del territorio.

La contaminación del aire se origina fundamentalmente en las escombreras, balsas de sedimentación, zonas de minería, en suelos con vegetación empobrecida o sin ella por el destape minero o tala, vertidos o escapes de las plantas de tratamiento, talleres, ventilación, vehículos, etc.

Los agentes más importantes son:

1. Aerosoles y polvo: su composición es variada y depende principalmente del material geológico que se explota, pero el tamaño, el volumen y otras características dependen de las técnicas mineras y metalúrgicas utilizadas y en menor medida de otros factores, fundamentalmente del clima local (Álvarez et al., 1982, Gregurek, et al, 1999). En el caso del polvo presentan mayor riesgo ambiental las partículas con tamaño menor de 10 micras (Sierra et al., 1998) pues no son retenidas por las defensas del tracto respiratorio y las menores de 2 micras son inhaladas por los seres humanos y animales y pueden provocar enfermedades respiratorias y cáncer de pulmón (Merian, 1991).
2. Los gases y compuestos gaseosos, principalmente dióxidos de carbono, nitrógeno y azufre y en ocasiones sulfhídrico, fluorhídrico, etc. Las consecuencias son variadas y recaen principalmente sobre los organismos vivos de la zona minera y de sus inmediaciones, que quedan sujetas a riesgos sanitarios importantes con variados tipos de enfermedades. Los metales pesados que acompañan estas emisiones pueden ocasionar diversas formas de toxicidad, entre las principales se encuentran la emisión de partículas ricas en cromo hexavalente. La vegetación y las aguas locales pueden sufrir los efectos de la contaminación atmosférica, produciéndose daños diversos (Elberling and Nicholson, 1996). Las modificaciones de la morfología y la contaminación de aguas y aire influyen negativamente sobre los suelos, que pueden ser destruidos, degradados o alcanzados por diversos

contaminantes (metales pesados, compuestos tóxicos, isótopos radiactivos), por aguas ácidas, por sedimentos que los alteren, por gases nocivos, etc., con consecuencias que van desde caídas en la productividad primaria (y por lo tanto en las cosechas agrícolas) hasta la práctica desaparición de los microorganismos del suelo y de la vegetación. El principal problema ambiental generado por los residuos gaseosos es el origen de las lluvias ácidas y el efecto que provocan estas lluvias es la acidificación del suelo y la disminución de la productividad biológica del mismo.

Impactos paisajísticos

Las modificaciones morfológicas se traducen en impactos paisajísticos considerables, frecuentemente agravados por la destrucción o degradación de la vegetación, por la construcción de escombreras, la existencia de plantas metalúrgicas, presas de aguas y de residuos y construcciones diversas para la actividad minera.

II)- Impactos de la actividad forestal.

Morfología del terreno.

- Modificación de la morfología del terreno por la construcción de viales de acceso a las áreas en explotación.
- Alteración de la morfología por la aceleración de los procesos erosivos en áreas explotadas.

Impactos sobre las aguas superficiales y subterráneas.

- Contaminación de las aguas por aumento de sólidos en suspensión debido a la erosión en área de tala que exponen los suelos a los agentes erosivos, fundamentalmente la lluvia.
- Contaminación por residuales líquidos, aceites, combustibles del equipamiento utilizado para la explotación de los recursos.

Impactos sobre el aire.

- Contaminación por el polvo proveniente de las áreas deforestadas en las cuales no se realiza un manejo adecuado de los recursos forestales.
- Contaminación en los aserríos por el proceso de beneficio de la madera, gases emitidos por los equipos, etc.

Impactos en los suelos.

- Se produce una perturbación y fragmentación del hábitat existente en los suelos debido al acarreo de los árboles talados, construcción de viales, etc.

- Pérdida de materia orgánica en los niveles superiores del suelo y disminución de la productividad biológica.
- Alteración de las propiedades físicas de los suelos debido a la compactación por el uso de equipos pesados y transporte de carga pesada.

III)- Impactos en la zona urbana.

Impactos sobre las aguas superficiales y subterráneas.

- Contaminación de las aguas superficiales, específicamente de la cuenca hidrográfica del Arroyo María (Aserrío) por deposición de residuales sólidos y líquidos urbanos provocando aumento de la turbidez, presencia de bacilos coli, contaminación por nitritos y nitratos.

Impactos en los suelos.

- Exposición de los suelos a los agentes erosivos por mal manejo de las áreas verdes debido a una excesiva eliminación de la cobertura herbácea para sembrado de plantas ornamentales. Eliminación de la cobertura vegetal para construcción de talleres, puestos de ventas, sembrados, etc.
- Contaminación de los suelos por deposición de residuales sólidos y líquidos urbanos.

4.5 Medidas para minimizar el proceso de degradación de los suelos.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la cartografía de las áreas degradadas, la caracterización de los factores de degradación y los impactos ambientales asociados a las actividades antrópicas a continuación se proponen varias medidas de mitigación para el cuidado del hábitat natural y biodiversidad.

Los niveles de muy baja y baja degradación:

- Cuidado del hábitat natural por los habitantes preservando la vegetación, así como el problema de contaminación de las red fluvial tanto de primer como las de segundo orden.
- Racionalizar la actividad minera en la zona.

Áreas de degradación media:

- Reforestación de las áreas afectadas por la actividad minera teniendo en cuenta las pendientes y la radiación solar así como las barreras para la contención del suelo.

Áreas de degradación alta y muy alta:

- Reforestación de las áreas explotadas es una medida que no logra minimizar los daños es por esto que se debe tener un control de los residuos que desechan los procesos metalúrgicos presentes en el municipio.
- En los procesos de rehabilitación de las áreas degradadas unas de las variables de importancia a tener en cuenta y que determina densidad de supervivencia de las especies utilizadas en la reforestación es la radiación solar, definida como el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. La radiación solar que llega a la tierra se debe a la modificación de la radiación solar entrante (insolación) proveniente del sol, en su viaje a través de la atmósfera, es modificada por las características de la topografía y de la superficie e interceptada o recibida en la superficie de la tierra como componentes directos, difusos y reflejados (Figura 4.22).

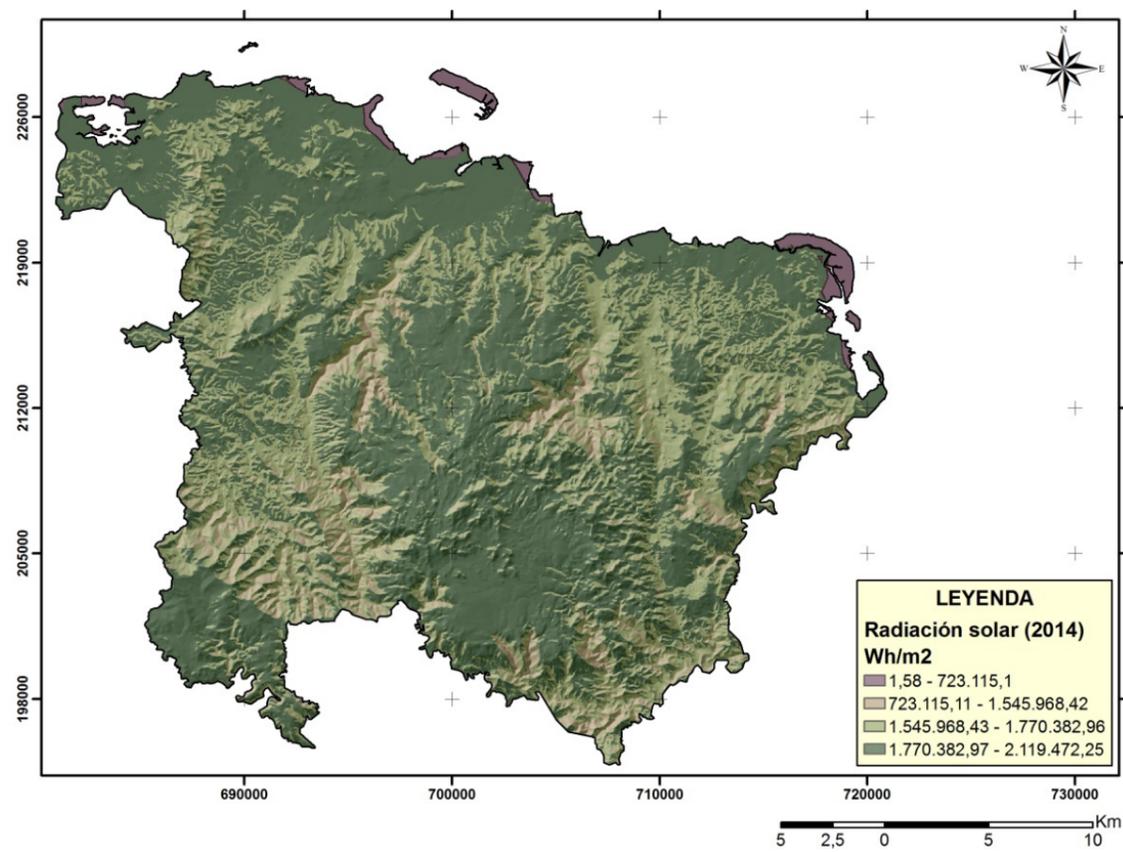


Figura. 4.22. Mapa de radiación solar de Moa para el año 2014. (Escala original 1:50 000).

Tabla 4.8. Valores de la radiación solar

Radiación solar	Wh/m ²
Mínimo	44,67
Medio	1765206,64
Máximo	1962590,175

La dirección de laderas es un factor a tener en cuenta en la rehabilitación de las zonas degradadas debido a que la combinación de este factor con la radiación solar, la dirección de los vientos y lluvias en el municipio, la interacción de estas variables pueden representar escenarios positivos o negativos para la rehabilitación y sobrevivencia de las plantaciones usadas en la reforestación de áreas degradadas. Hay predominio de laderas con dirección noreste y este, coincidiendo con la dirección de los vientos e incidencia de las lluvias, por lo tanto en estas laderas se manifiestan mejores condiciones para la revegetación de las laderas.

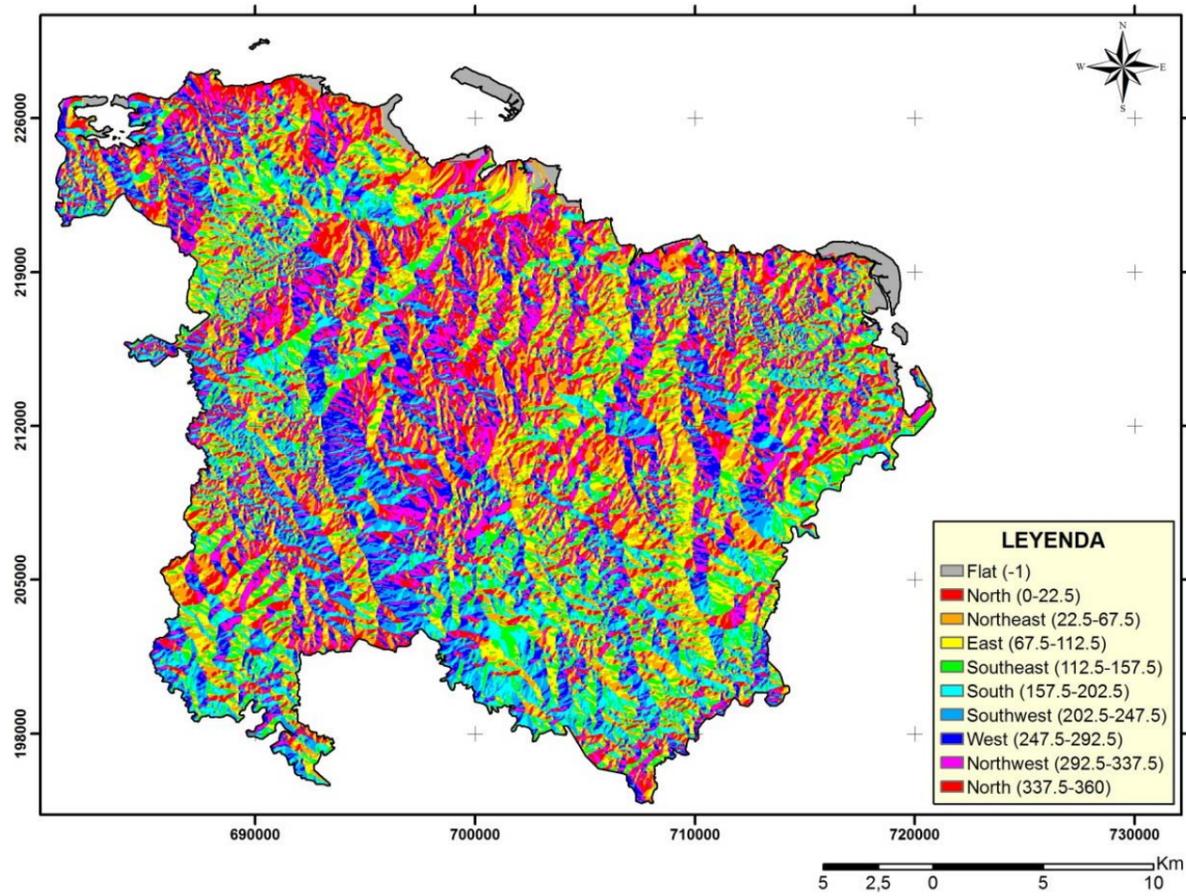


Figura. 4.23 Mapa dirección de laderas. (Escala original 1:50 000).

Tabla 4.9. Valores de dirección de laderas.

Dirección de laderas	Cantidad de píxeles	%
-1 (horizontal)	3325	1,49
0 - 22,5	21741	9,77
22,5 - 67,5	39681	17,84
67,5 - 112,5	31894	14,34
112,5 - 157,5	20947	9,42
157,5 - 202,5	15779	7,09
202,5 - 247,5	15940	7,17
247,5 - 292,5	21256	9,56
292,5 - 337,5	31279	14,06
337,5 - 360	20579	9,25

Conclusiones Generales

El municipio de Moa es un escenario para las investigaciones medioambientales debido al desarrollo socioeconómico que presenta. Con los resultados de la investigación ya analizados se logra entender el comportamiento y la influencia de varios factores en la degradación ambiental del municipio.

Se determinó que la geológica del área representa uno de los factores naturales que más incide en los procesos degradativos, donde las cortezas formadas sobre rocas serpentizadas y rocas básicas presentan las mayores susceptibilidades en función de la densidad de vegetación. De igual manera el estudio de la geomorfología demuestra que los relieves montañosos y de montañas bajas son las más susceptibles frente a la degradación de suelos debido a la intensificación de procesos erosivos y de deslizamientos. Las áreas afectadas por sistemas de fallas activos que limitan los bloques morfotectónicos que manifiestan los mayores levantamientos en el territorio como el Toldo son responsables de áreas susceptibles a la degradación por la manifestación de procesos erosivos intensos.

La acción antrópica influye de forma negativa provocando la intensificación de los procesos degradativos a través de los diferentes usos de suelos, donde el de más relevancia es la actividad minera, que resulta la actividad económica predominante en el municipio, correspondiéndole el 8% de área total de las zonas degradadas.

El mapa de degradación de suelos obtenido muestra que el 20 % del municipio Moa presenta susceptibilidades medias a alta, lo que constituye un problema ambiental serio, teniendo en cuenta que la mayoría de las áreas afectadas están asociadas a las actividades minero-metalúrgicas, y en menor medida a labores agrícolas. Se demuestra que no hay un manejo ambiental adecuado de las áreas minadas, quedando rezagado el proceso de rehabilitación con respecto a las labores extractivas. De igual forma, la agricultura no presenta planes de manejo integrado de tierras que potencien el mejor uso de los suelos en función de su capacidad de acogida para las labores de siembras o uso pecuario.

Recomendaciones

- A las autoridades forestales del municipio se les recomienda la reforestación de las áreas degradadas para contrarrestar la pérdida del suelo en la región.
- Realizar un estudio de toda la zona no documentada donde existe un uso de suelo no definido.
- Tomar como base para la rehabilitación de las áreas degradadas los mapas de degradación y de radiación solar obtenidos en la investigación.
- Creación de un plan de medidas por parte de las autoridades pertinentes para minimizar la pérdida de suelos por erosión.

Bibliografía

- Abraham; Elena M. "Lucha contra la desertificación en las tierras secas de Argentina; el caso de Mendoza. CYTED XVII, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo. Aprovechamiento y gestión de recursos hídricos. 2002.
- Almaguer Y., "Metodología de cartografía de susceptibilidad a la rotura en cortezas lateríticas en el territorio de Moa, Cuba". Memorias del Taller Internacional de Riesgos Geodinámicos y Cierre de Minas (CYTED). Santa Cruz de la Sierra. 2005.
- Almaguer Y., Valoración de la susceptibilidad del terreno en yacimientos lateríticos de Moa, Cuba. Memorias del Taller Internacional de Peligrosidad y Riesgos por Movimientos de Masas (Red A4D, CYTED). Guayaquil, Ecuador. 2005.
- Bitar Yazbek, O; Recuperación de áreas degradadas por la minería en regiones urbanas .Geología Aplicada al Medio Ambiente, Instituto de Pesquisas Tecnológicas del estado de São Paulo (IPT) División de Geología – DIGEO. II curso internacional de aspectos geológicos de protección Ambiental (capítulo 23). 1997.
- Carreño-Vega. B; González-Febles M.J (2005) Universidad Agraria de La Habana. La investigación de suelos erosionados: Métodos e Índices de diagnóstico. ISSN 0258 5979 Minería y Geología v. 21 n. 2, 2005.
- CCD/PNUMA; Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África. Texto con anexos. Suiza, 71p. 1995.
- Fadel–Morabish; Tesis de diploma. Evaluación preliminar y caracterización de la manifestación de caolinitas en la zona de Cayo Guam, Moa. 2005.
- Fernández- Rodríguez. Y; Tesis de diploma. Factores que influyen en la desertificación en el sector Cerro Miraflores- Playa La Vaca, municipio Moa. 76 p. 2012.
- Galán, D; Tesis de diploma. Análisis de la vulnerabilidad frente a deslizamientos en un tramo del camino a la Melba. 65 p. 2011.

- García Quintana, Dannier; Análisis del proceso de degradación de los suelos en la cuenca del Río Cayo Guam. 2013.
- Gómez –Muñoz. N. J; Ramírez – Romero. M, Rodríguez – Garrido Miguel. La cinética de oxidación térmica de sulfuros mixtos de níquel y cobalto. Minería y Geología, Nos. 1-2, 2004. ISSN 0258 5979. 2004.
- Iturralde M. Iturralde M. Sinopsis de la constitución y evolución geológica de Cuba. Inédito, 1997.
- López –Correa, Porfilio; tesis Ms erosión en cárcavas en áreas degradadas del sector este del Parque Nacional Alejandro de Humboldt. 2003.
- Martínez. Alberto; Sánchez Ruíz; Reina Márquez, Miranda Morejón; Departamento de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Causas y efectos de la degradación del suelo en un agrosistema dedicado al cultivo del tabaco. CIGET Pinar del Río vol.8 No.4 octubre-diciembre 2006 (trimestral) RNSP No 1893. ISSN 1562-3297. (2001, 2003)
- Martínez. B; et al. "Desarrollo de una metodología de detección de cambios en zonas susceptibles de procesos de degradación". Dept. de Termodinámica Fac. De Física, Universidad de Valencia. Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global (2001) 110-113. 2001.
- Milan-Milan. E; Carcases-Ulloa; Krebs-Jornada S.A, Ferrer-Rosario.Procedimiento para la rehabilitación minero-ambiental de yacimientos piríticos polimetálicos cubanos Minería y Geología / v.28 n.4 / octubre-diciembre / 2012 / p. 20-40 ISSN 1993 8012. (2012).
- PNUMA; Estado de la desertificación y aplicación del Plan de Acción de las Naciones Unidas para combatir la desertificación. Informe del Director Ejecutivo. Nairobi, UNEP, GCSS, III-3, 94p. 1991
- Quintas F. Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. Tesis doctoral, Departamento de Geología, I.S.M.M., 1989.
- RAMAYO CORTÉS, LEDUAR "Texturas de los minerales del grupo de la sílice de la manifestación epidermal el rifle-hato viejo, región de Moa: clasificación, descripción e implicaciones genéticas." 2001

- Raposo-Vallejo. O; Vargas Martínez .A; metodología para la cartografía digital de la erosión hídrica del suelo en un sector del municipio de Moa. Revista Minería y Geología Vol. XVII No. 3-4,2000. ISSN 0258 5979. (2000).
- Regalado. Z; Medidas contra la desertificación y la sequía en Pinar del Río. 2011.
- Reyes, Y. Tesis de diploma. Evaluación de susceptibilidad por deslizamientos en un sector del municipio Moa. 85 p. 2009.
- Rodríguez A., "Estudio Morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica". Tesis doctoral. Departamento de geología, ISMM, Cuba. 1998.
- Rodríguez W. y Valcarce R. M. "Aplicación SIG para evaluar el peligro de inundaciones". VI Congreso Cubano de Geología y Minería. Geomática. 2005.
- Rubio. J en el Convenio de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación.
- SALATINO, E. Desertificación en oasis. (En: Plan de Acción de lucha contra la desertificación en la Región Centro-Oeste de Argentina. Mendoza, IADIZA, Ed. CD). 1996.
- Santibáñez Quezada; Fernando, Paula Santibáñez Varnero, Monitoreo de la desertificación mediante indicadores ambientales y sociales y métodos participativos: el sistema MONITOR. Capítulo VIII IX Reunión Regional de América Latina y el Caribe, Bogotá, D. C., 18 al 20 de junio de 2003. 2003.
- UNEP; The Assessment of Global Desertification: Status and Methodology. Nairobi, 61p. 1990.