



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y
MINERÍA DEPARTAMENTO DE
GEOLOGÍA**

Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Geólogo



Título: Estimación de la pérdida de suelos por erosión en el sector Norte del Municipio Moa.

Diplomante: Deon Owen Adolph

Tutor: Dr. C. Yuri Almaguer Carmenates

**Junio del
2014**

**"Año 56 de
la
Revolución"**

AGRADECIMIENTOS

Mis sinceros agradecimientos a todos aquellos que han contribuido en la culminación de esta investigación, a todo el colectivo del Departamento de Geología, en especial al Dr. C. Yuri Almaguer Carmenates, quién ha sido tutor y de investigaciones en el departamento, contribuyendo con su experiencia, ideas y consejos sabios al cumplimiento de los objetivos propuestos; a Ing. Yurisley Valdés Mariño, oponente de la tesis en el acto de defensa. Por su dedicación en la revisión de la tesis y sus oportunas recomendaciones y señalamientos; a Ing. Yunier Céspedes Hernández por su apoyo incondicional; la Msc. Beatriz Riverón por la ayuda en la revisión de la tesis; a los demás compañeros del departamento que de alguna forma dieron un poco de sí en este trabajo o a mi formación como profesional.

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

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis familias, a mi Madre Donna y mis hermanos principalmente a Donise, así como a todos mis compañeros.

PENSAMIENTOS



Martin Luther King, Jr.

La ciencia investiga; la religión interpreta. La ciencia da al hombre el conocimiento que es el poder; la religión da al hombre la sabiduría que es el control. La ciencia se ocupa principalmente de los hechos; la religión se ocupa principalmente de los valores. Las dos no son rivales. Son complementarias.

Deon Owen Adolph.

Practica lo que tú enseñas.

RESUMEN

El presente trabajo titulado “Estimación de la pérdida de suelos por erosión en el sector Norte del municipio Moa”, tiene como objetivo general evaluar la susceptibilidad frente a procesos erosivos en el sector Norte del municipio Moa y sirva de base para futuras evaluaciones de riesgos para prevenir o mitigar los daños derivados de estos fenómenos.

La metodología empleada parte de la confección del mapa inventario de erosión a través la metodología cubana de evaluación de la pérdida de suelos por erosión empleando los Sistemas de Información Geográfica (G.I.S). La influencia de los factores condicionantes como lito-estructura, tectónica, pendiente del terreno, se determina mediante el método estadístico de análisis condicional.

Como resultados se presenta una caracterización de los factores y tipologías de erosión desarrollados en el área. Se realiza una valoración de los factores que influyen en las tasas de erosión, haciendo énfasis en las características geomorfológicas de la corteza laterítica y se obtiene el mapa de susceptibilidad del terreno para el sector Norte de Moa.

ABSTRACT

This present titled investigation "An estimation of the soil loss by the cause of erosion at the Northern area of the municipality of Moa", contains a general objective of which is: to evaluate the susceptibility by the cause of erosive processes in the Northern area of the municipality of Moa and serves as a foundation for future evaluations of risks to prevent or to mitigate the derivative damages of these phenomena.

The used methodology leaves of the making from the map erosion inventory to inclination the Cuban methodology of evaluation of the loss of floors for erosion using the Geographic Information System (G.I.S). The influence of the conditioning factors such as soil type, climate, and topography is determined by means of the statistical method of conditional analysis. The results obtained presented a classification of the factors and the various types of erosion that are manifested in the area. An evaluation was made in order to determine the conditioning factors that influence in the erosion rates, making emphasis on the geomorphological characteristic of the lateritic soils and as a result, the map of susceptibility of the area is obtained for the Northern sector of Moa.

Índice de contenido

INTRODUCCION	9
CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.1 Marco teórico conceptual de la investigación.	11
1.2 Factores condicionantes de los procesos erosivos.....	13
1.2.1 Lluvia.....	13
1.2.2 Cobertura Vegetal.....	14
1.2.3 Topografía.....	14
1.2.4 Suelos.....	15
1.3 Tipos de erosión.....	16
1.3.1 Erosión eólica:	16
1.3.2 Erosión hídrica o Erosión fluvial.....	17
1.4 Métodos de estudio de los procesos erosivos a nivel nacional.....	23
1.4.1 Método USLE.....	24
1.4.2 Método RUSLE.....	24
1.4.3 Método AOF.....	25
1.5 Método de estudio de los procesos erosivos en Moa.....	26
1.6 Métodos de estudios de los procesos erosivos a nivel internacional.....	27
1.6.1 Métodos cualitativos	28
1.6.2 Métodos cuantitativos.....	28
CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO	33
2.1 Características físico-geográficas. Ubicación geográfica	33
2.2 Características geológicas.....	36
2.2.1 Marco geológico regional.....	36
2.2.2 Características estratigráficas.....	37
2.2.3 Características morfotectónicas.....	42
2.2.4 Características geomorfológicas.....	45
2.3 Procesos geodinámicos.....	46
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS APLICADOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN	49
3.1 Materiales y métodos.....	49
3.2 Valoración cuantitativa de la influencia erosiva de los factores naturales.....	50
3.3 Cronograma de la Investigación	55
CAPÍTULO IV. EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN POTENCIAL DE LOS SUELOS.....	59
4.1. Trabajos cartográficos de campo.....	61
4.2. Análisis de los factores por los coeficientes de la erosión potencial.....	63
4.2.1 Índice pluviométrico.....	64
4.2.2 Índice del suelo.....	66



4.2.3 Índice del relieve.	67
4.3. Erosión potencial de los suelos.	71
CONCLUSIONES	73
RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	75
ANEXOS	80

INTRODUCCION

El desarrollo de la Estrategia Ambiental Nacional tiene como objetivo general el estudio de la erosión como causa principal de la pérdida del suelo, con la aplicación de varios métodos cualitativos y/o cuantitativos o su combinación podemos obtener los valores de los efectos destructivos de la erosión.

La erosión es un fenómeno extremadamente complejo desde el punto de vista físico y consecuentemente su análisis requiere del planteamiento de numerosas ecuaciones difíciles de aplicar en la práctica. La ecuación universal de pérdida de suelo (Wischmeier y Smith, 1958)

En estos procesos erosivos influyen varios factores. La lluvia que provoca la erosión del suelo a través del impacto de las gotas sobre la superficie; la cobertura vegetal que constituye la defensa del suelo contra la erosión; la topografía a través de la cual se verifica la intensidad erosiva principalmente por la inclinación y el largo de las laderas y las propiedades de los suelos, principalmente la textura, estructura, permeabilidad y densidad, al otorgar mayor o menor resistencia a la acción de las aguas.

Este fenómeno geológico exógeno se desarrolla de varias formas como la erosión eólica e hídrica (laminar, surcos, cárcavas y de los suelos)

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. La erosión hídrica se clasifica en: laminar, regueros o surcos y barrancos o cárcavas y de los suelos.

La región de Moa sufre algunas afectaciones debida a los factores condicionantes a la pérdida de los suelos por erosión, por lo que se presenta el siguiente problema.

Planteamiento del problema:

La necesidad de cuantificar los factores que inciden en el surgimiento y desarrollo de la pérdida de los suelos por erosión en el sector Norte del municipio Moa.

Objeto de estudio:

El proceso de erosión de los suelos desarrollados en el territorio del sector Norte de Moa.

Campo de acción:

Los factores geológicos que condicionan los procesos erosivos en los suelos del territorio.

Objetivo General:

Evaluar la susceptibilidad de los suelos frente a procesos erosivos en el sector Norte del municipio de Moa.

Objetivos específicos:

- Caracterizar la influencia del factor lito-estructural sobre la erosión.
- Determinar la acción antrópica sobre la pérdida de suelos.
- Evaluar las tasa de pérdidas de suelos por erosión en el área mediante el uso de un sistema de información geográfica.

Hipótesis:

Si se caracterizan las condiciones lito-estructurales, los factores geomorfológicos y se calculan las tasas de pérdidas de suelos mediante el uso de un sistema de información geográfica es posible evaluar la susceptibilidad frente a procesos erosivos en el sector Norte del municipio de Moa.

CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

- Introducción
- Marco teórico conceptual de la investigación
- Tipos de erosión
- Métodos de estudio de los procesos de erosión

Introducción.

En el presente capítulo abordaremos los principales conceptos utilizados del término erosión conjuntos con la metodología utilizado de la evaluación sobre la misma. La misma se basó en unos estudios de procesos con la vista a nivel mundial, nacional, y tanto como los estudios que se han hecho en Moa, pero específicamente haciéndose énfasis a la metodología de evaluación de erosión.

1.1 Marco teórico conceptual de la investigación.

Conceptos y definiciones de erosión.

Según Griem & Griem-Klee (1999, 2003), la **erosión** es el proceso del inicio del transporte o el inicio de un movimiento. El impulso de la erosión pueden ser fuerzas del agua, del hielo, del viento o la fuerza de gravedad. Lo más importante es la erosión por agua - especialmente en los ambientes aluviales, fluviales y litorales. La energía del inicio del movimiento es siempre mayor que la energía del transporte. Es decir las fuerzas para erosionar una roca son mayores que las de mantener las mismas partículas en movimiento. A parte de las fuerzas de erosión tradicionales existen otros fenómenos de menor importancia: erosión por fuerzas tectónicas, por impacto de meteoritos o por acciones antropogénicas.

La erosión es un fenómeno natural que en muchas ocasiones afecta las actividades socioeconómicas del hombre:

- Inestabilidades de las riberas de ríos provocan grandes daños en zonas pobladas o en la agricultura.
- La erosión costera es un riesgo geológico que afecta a casi toda la población que vive en las cercanías de los mares.



- La erosión eólica (por el viento) destruye inmensos áreas de producción agrícola.
- Actualmente la erosión es parte de las preocupaciones en la planificación de nueva infraestructura o en planificación del desarrollo urbano.

Según (Instituto de Investigaciones Tecnológicas de São Paulo) IPT (1986) se entiende por erosión el proceso de “desagregación y remoción de partículas del suelo o de fragmentos y partículas de rocas, por la acción combinada de la gravedad con el agua, viento, hielo y/u organismos (plantas y animales)”. En general, se distinguen dos formas de enfoque para los procesos erosivos: erosión “natural” o “geológica”, que se desarrolla en condiciones de equilibrio con la formación del suelo, y erosión “acelerada” o “antrópica”, cuya intensidad, siendo superior a la de la formación del suelo, y no permite su recuperación natural. La comprensión de esos procesos erosivos permite destacar dos importantes eventos iniciales, incluyendo, por un lado, el impacto de las gotas de lluvia en la superficie del suelo, promoviendo la desagregación y liberación de sus partículas y, por otro, el escurrimiento superficial de las aguas permitiendo el transporte de las partículas.

Dependiendo de la forma en que se da el escurrimiento superficial a lo largo de la vertiente, se pueden desarrollar dos tipos de erosión:

- erosión laminar o en napa, cuando es provocada por escurrimiento superficial difusa de las aguas de lluvia, teniendo como resultado la remoción progresiva y relativamente uniforme de los horizontes superficiales del suelo;
- erosión lineal o en canales, cuando es causada por concentración de las líneas de flujo de las aguas de escurrimiento superficial, resultando en pequeñas incisiones en la superficie del terreno, en forma de surcos, que pueden evolucionar por profundización transformándose en barrancos o cárcavas.

En caso que la erosión se desarrolle por influencia, no solamente de las aguas superficiales, sino también de los flujos de agua sub-superficiales, en que se incluye la napa freática, se configura el proceso más conocido por tubificación (erosión interna o tubular). El fenómeno de tubificación (piping) provoca la remoción de partículas del interior del suelo, formando canales que evolucionan en sentido contrario al del flujo de agua, pudiendo dar origen a colapsos del terreno, con desmoronamientos que ensanchan los canales erosivos o crean nuevas ramas. De este modo la tubificación es escenario de diversos fenómenos: erosión superficial, erosión, socavamientos,



desmoronamientos, y deslizamientos, que se conjugan en el sentido de dotar a esta forma de erosión un elevado poder destructivo.

Según Gorshkov y Yakushova (1977) la erosión es el desprendimiento y el transporte de los detritos rocosos por los agentes (gravedad, viento, glaciares) en movimiento que operan sobre la superficie terrestre. Fragmentos de rocas creados por abrasión mecánica por la propia acción del viento, aguas superficiales, glaciares y expansión-contracción térmica por variaciones estacionales, diurnas o climáticas, suelos, los cuales son creados por la descomposición química de las rocas mediante la acción combinada de ácidos débiles disueltos en agua superficial y meteórica, hidrólisis, ácidos orgánicos, bacterias, acción de plantas, etc.

La erosión es uno de los principales factores del ciclo geográfico que es causado por el agua. Con la deflagración de los procesos erosivos, en función de la ocupación del suelo, estos son comandados por diversos factores relacionados con las condiciones naturales de los terrenos, destacándose: la lluvia, la cobertura vegetal, la topografía y los tipos de suelos.

1.2 Factores condicionantes de los procesos erosivos.

1.2.1 Lluvia. El agua de lluvia provoca la erosión del suelo por el impacto de las gotas sobre su superficie, cayendo con velocidad y energía variables, y a través del escurrimiento del torrente. Su acción erosiva depende de la distribución pluviométrica, más o menos regular, en el tiempo y en el espacio, y de su intensidad. Lluvias torrenciales o chaparrones intensos, como una tromba de agua, constituyen la forma más agresiva de impacto del agua en el suelo. Durante esos eventos la aceleración de la erosión es máxima. El índice que expresa la capacidad de la lluvia de provocar erosión es conocido como erosividad. Cuando los otros factores que provocan la pérdida de suelos por erosión son mantenidos constantes, la erosividad es proporcional al producto de la energía cinética total de las gotas de lluvia y su intensidad máxima en treinta minutos. Ese producto obtenido experimentalmente es considerado la mejor relación encontrada para medir la potencialidad erosiva de la lluvia o erosividad (Wischmeier y Smith, 1978).



1.2.2 Cobertura Vegetal. La cobertura vegetal es la defensa natural de un terreno contra la erosión. Entre los principales efectos de la cobertura vegetal, Bertoni y Lombardi Neto (1985), destacan lo siguiente:

- a) protección contra el impacto directo de las gotas de lluvia;
- b) dispersión y quiebre de la energía de las aguas de escurrimiento superficial;
- c) aumento de la infiltración por la producción de poros en el suelo por acción de las raíces;
- d) aumento de la capacidad de retención de agua por la estructuración del suelo por efecto de la producción e incorporación de materia orgánica.

La influencia de la cobertura vegetal en la determinación de las pérdidas de suelo por erosión laminar en áreas cultivadas es definida por los factores “uso y manejo del suelo” y “práctica conservacionista (P)”. El factor uso y manejo del suelo es la relación esperada entre determinadas condiciones y las pérdidas correspondientes de un terreno mantenido continuamente descubierto. Por otro lado, el factor práctica conservacionista (P) es la relación entre la intensidad esperada de pérdidas de suelo por erosión con determinada práctica y aquellas cuando el cultivo está plantado en el sentido de inclinación (cerro abajo). Bertoni y Lombardi Neto (1985) determinaron, a partir de datos experimentales, valores de pérdidas de suelo por erosión en función de los diferentes factores uso y manejo del suelo y práctica conservacionista (P).

1.2.3 Topografía. La influencia de la topografía del terreno en la intensidad erosiva se verifica principalmente por la inclinación y largo de la pendiente (largo de la ladera). Estos factores interfieren directamente en la velocidad de los torrentes. Las pérdidas de suelo por erosión laminar por influencia de la inclinación y largo de la pendiente fueron determinadas por Bertoni (1959), a partir de experimentos realizados en los principales suelos del Estado de São Paulo. Este autor determinó una ecuación que permite calcular las pérdidas medias de suelo para los varios grados de inclinación y largo de rampa:

$$LS = 0,0098 * L^{0,63} * S^{1,18}$$

Donde: LS = factor topográfico; L = largo de pendiente en metros; S = grado de declinación, en porcentaje.



1.2.4 Suelos. Las propiedades físicas del suelo, principalmente textura, estructura, permeabilidad y densidad, y las características químicas, biológicas y mineralógicas, ejercen diferentes influencias en la erosión, al otorgar mayor o menor resistencia a la acción de las aguas. La textura, o sea, el tamaño de las partículas, influye en la capacidad de infiltración y de absorción del agua de lluvia, interfiriendo en el potencial de torrentes del suelo, y con relación a la mayor o menor cohesión entre las partículas. De este modo, suelos de textura arenosa son normalmente porosos, permitiendo una rápida infiltración de las aguas de lluvia, dificultando el escurrimiento superficial; no obstante, como poseen baja proporción de partículas arcillosas, que actúan como unión entre las partículas mayores, presentan mayor facilidad para la remoción de las partículas, que se realiza inclusive en pequeños torrentes. La estructura, o sea el modo como se componen las partículas del suelo, igualmente la textura, influye en la capacidad de infiltración y absorción del agua de lluvia, y en la capacidad de arrastre de partículas del suelo. De este modo, suelos con estructura micro-agregada presentan alto porcentaje de poros y, en consecuencia, alta permeabilidad, favoreciendo la infiltración de las aguas de lluvia, estando directamente relacionada con la porosidad del suelo. En general, los suelos arenosos son más permeables que los suelos arcillosos. Sin embargo, en algunos casos, dependiendo de la estructuración, los suelos arcillosos se pueden presentar más permeables que determinados suelos arenosos. La densidad del suelo, relación entre su masa total y volumen, es inversamente proporcional a la porosidad. Por efecto de compactación del suelo, se observa un aumento de la densidad, como resultado de la disminución de los macroporos; en función de esto, el suelo se vuelve más erosionable. Las propiedades químicas, biológicas y mineralógicas del suelo influyen en el estado de agregación entre las partículas, aumentando o disminuyendo la resistencia del suelo a la erosión. La materia orgánica incorporada en el suelo permite mayor agregación y cohesión entre partículas, haciendo al suelo más estable en presencia de agua, más poroso, y con mayor poder de retención de agua. La materia orgánica retiene de dos a tres veces su peso en agua, aumentando así la capacidad de infiltración. Dependiendo de la arcilla presente en el suelo, se observa diferente comportamiento erosivo. Las arcillas del tipo montmorillonita son poco estables en agua, al contrario que las caolinitas; las illitas presentan un comportamiento intermedio. Otra característica importante del suelo, con relación al comportamiento erosivo, es su



espesor. Los suelos llanos permiten la rápida saturación de los horizontes superiores, favoreciendo el desarrollo de torrentes. La textura granular entre los horizontes superiores del suelo es una de las características edafológicas más importantes con relación a su comportamiento erosivo. Se trata de la relación entre los tenores de arena y arcilla observada en los horizontes superiores del suelo. Los suelos con alta textura granular presentan, por consiguiente, horizonte A mucho más arenoso que el horizonte B, subyacente. De este modo, por ejemplo, suelos del tipo podzólico son, en general, más susceptibles a la erosión que los del tipo latosólico, por presentar, abajo del horizonte A (superior), un horizonte con mayor concentración de arcillas y con pocos macroporos que representa determinada barrera a la infiltración de las aguas. Como consecuencia, el flujo de agua inmediato debajo de la superficie, paralelo a la ladera, y la saturación del horizonte superior favorecen el desarrollo de torrentes, tendiendo a propiciar una mayor erosión en los podzólicos. Las características del suelo, conjuntamente analizadas, determinan su mayor o menor capacidad de propiciar la erosión, es decir, su erosibilidad. El factor de erosibilidad del suelo (K) tiene su valor cuantitativo determinado experimentalmente en parcelas unitarias, siendo expresado, como la pérdida de suelo (A), por unidad de índice de erosión de la lluvia (EI). Lombardi Neto y Bertoni (1975) estudiaron experimentalmente los principales suelos del Estado de São Paulo, definiendo la relación de erosión media (erosibilidad) a través de la razón entre la relación de dispersión (tenor de arcilla dispersa en agua/tenor de arcilla dispersa químicamente) y la relación arcilla dispersa químicamente/humedad equivalente. "El equivalente de humedad es el porcentaje de agua retenido por el material del suelo al someterlo, en condiciones específicas, a una fuerza centrífuga 1.000 veces mayor que la gravedad".

1.3 Tipos de erosión.

1.3.1 Erosión eólica: según W.Griem & S.Griem-Klee (1999, 2003) se limita a regiones sin o con escasa vegetación. Especialmente en los desiertos de frío y calor el viento puede levantar cantidades considerables en partículas. Un fenómeno "moderno" es la acción del ser humano que en varios lugares favorece la erosión eólica. Especialmente la generación de grandes áreas para la agricultura provoca que las fuerzas eólicas ataquen después de la cosecha y llevan las partes más fértiles.

Las fuerzas del viento o eólicas: transporte–estructuras. El viento es un eficaz agente de erosión capaz de arrancar, levantar y transportar partículas, sin embargo, su capacidad para erosionar rocas compactas y duras es limitada. Si la superficie está constituida por roca dura, el viento es incapaz de provocar cambios apreciables debido a que la fuerza cohesiva del material excede a la fuerza ejercida por el viento. Únicamente en aquellos lugares en donde la superficie expuesta contiene partículas minerales sueltas o poco cohesivas, el viento puede manifestar todo su potencial de erosión y transporte. La velocidad determina la capacidad del viento para erosionar y arrastrar partículas, pero también influye el carácter de los materiales, la topografía del terreno, la eficacia protectora de la vegetación, etc. Los paisajes generados en zonas áridas y desérticas son muestras evidentes de la acción de este agente. (figura 1.3.1)



Figura1.3.1 Erosión eólica desarrollada por el Puente del río Jiguaní

1.3.2 Erosión hídrica o Erosión fluvial. Según W.Griem & S.Griem-Klee (1999, 2003) es el proceso de sustracción de masa sólida al suelo o a la roca de la superficie llevado a cabo por un flujo de agua que circula por la misma.

El impacto de las gotas de lluvia y el escurrimiento representan los agentes externos que trabajan para vencer la cohesión de las partículas de la masa de suelo y provocar su transporte. Una vez que la capacidad de infiltración y de almacenamiento superficial está satisfecha, comienza el escurrimiento, arrastrando las partículas sueltas y las que su fuerza misma desagrega. Cuando el suelo está expuesto, la desagregación por la lluvia es una acción generalizada. Pero la desagregación por el escurrimiento es una acción

dirigida que actúa sobre una pequeña parte de terreno en el cual éste se concentra con velocidades erosivas.

La erosión hídrica se clasifica en: laminar, regueros o surcos y barrancos o cárcavas y de los suelos:

- **Erosión laminar.** Consiste en la remoción de delgadas capas de suelo extendidas en forma más o menos uniforme en toda la superficie del suelo; es poco apreciable ya que la cantidad total de suelo removido en un aguacero es generalmente pequeña, y ya cuando se detecta sólo queda una delgada capa de suelo. La erosión laminar es el efecto combinado de la acción del golpeteo que desprende las partículas de suelo y la escorrentía; Su acción selectiva sobre las partículas genera “pavimentos de erosión” (Suárez, 1980), los cuales se producen por la remoción y arrastre de las partículas más livianas -arcilla y materia orgánica- quedando sobre la superficie suelos gravillosos o pedregosos. De aquí se desprende su efecto también sobre la fertilidad de los suelos y su productividad; este tipo de erosión arrastra únicamente la capa superior del suelo, y se propicia en suelos localizados en condiciones de fuerte pendiente, sin vegetación adecuada y con bajo contenido de materia orgánica. (figura 1.3.2).



Figura 1.3.2 Erosión laminar por el arroyo del río Jiguaní.

- **Regueros o surcos:** se produce al arrastre el agua los elementos terrosos, cuando está circulando por la superficie, formando pequeños canales con una orientación sensiblemente normal a las curvas de nivel. Esos surcos se forman cuando el agua no discurre uniformemente a la superficie, sino que lo hace

concentrada en corrientes de una potencia erosiva capaz de abrir pequeñas incisiones en el suelo con que el tiempo pueden llegar a ser importantes. Si los surcos son pequeños pueden eliminarse mediante escarificados superficiales (figura 1.3.3).



Figura 1.3.3 Erosión en surcos, en Avenida 1ro de Mayo frente ETECSA, Moa

- **Cárcavas o barrancos:** se manifiesta por las profundas incisiones en el terreno que el agua de escorrentía genera cuando existe una alta concentración de esta. En las paredes laterales se pueden producir, además, desprendimientos de los agregados de los suelos, debido a la falta de cohesión de los mismos por el acceso de humedad (figura 1.3.4).



Figura 1.3.4 Zona Rolo Monterrey, Elevación la Vigía. Formación de Cárcavas.

Si bien hasta ahora se ha dibujado la existencia de diferentes tipos de erosión según el agente activo -hídrica, eólica, glacial- o el carácter de la intervención -humana o natural-, es la combinación de la erosión hídrica acentuada con la



participación del hombre.

En términos generales, la erosión hídrica es aquella producida por el agua lluvia a través del golpeteo de sus gotas sobre la superficie del terreno y cambios en regímenes de humedad, generando desprendimiento y arrastre de partículas y masas de suelo; se refiere básicamente a dos aspectos:

- **Erosión por movimientos en masa:** suelos y rocas más o menos saturados de agua, hasta diversas profundidades y con velocidades muy variables.
- **Erosión superficial del suelo:** causada por el impacto de gotas de lluvia y por la corriente que se forma sobre la superficie, conocida como escorrentía. Esta última toma las formas de erosión laminar, en surcos o en cárcavas.

La erosión hídrica a partir de este enfoque del impacto en superficie no incluye una de las más importantes manifestaciones de la erosión. A continuación se exponen algunos conceptos básicos de la erosión superficial del suelo entre otros.

Erosión superficial del suelo. Agrupa las formas de erosión que tienen lugar sobre las superficies de terrenos, cuya manifestación responde a una gradualidad en su manifestación: erosión por salpicadura, erosión laminar, erosión en surcos y en cárcavas.

Erosión por salpicadura. Es originada por la caída de las gotas de lluvia sobre el suelo; su impacto está en función de la forma y tamaño de las gotas (erosividad), y de la resistencia del suelo a su poder erosivo (erodabilidad). La energía cinética de las gotas ($1/2m v^2$) depende de las propiedades para ellas citadas; el efecto de la salpicadura especialmente dramático en condiciones climáticas tropicales donde se combinan fuertes precipitaciones y desfavorable protección del suelo; así, Soyer (1987) encontró mínimas pérdidas de suelo por salpicadura en parcelas localizadas en Zaire, África, cuando la cubierta forestal estaba presente, alcanzándose valores de 3,1 a 7,2 ton ha⁻¹ año⁻¹, en tanto que bajo cubierta vegetal de maíz los valores medios de pérdidas eran de 188 ton ha⁻¹ año⁻¹. Las velocidades terminales para diferentes diámetros y alturas de caída de las gotas de lluvia pueden ser apreciadas en la Tabla 6, de donde se intuye el efecto que puede tener la caída de una gota de lluvia desde el dosel de un bosque (8 m) en caso de encontrar un suelo con el horizonte de hojarasca pobremente desarrollado como ya se había anotado. Asimismo, el diámetro y por tanto la velocidad de las gotas se encuentran estrechamente



correlacionados con la intensidad de la precipitación, correspondiendo mayores diámetros y velocidades a mayores intensidades (Tabla 1.3.1)

Tabla 1.3.1 Valores de diámetro y velocidad de las gotas para diferentes intensidades de lluvia. (Laws, 1958, en Gutiérrez, 1983)

Forma de lluvia	Intensidad (mm h ⁻¹)	Diámetro (mm)	Velocidad (m seg ⁻¹)
Niebla	0,13	0,055	0,1
Llovizna	0,25	0,5	4,0
Lluvia ligera	0,75	1,0	5,5
Lluvia	18,0	2,0	6,5
Chubasco	100	4,0	9,0

El fenómeno de la erosión por salpicadura puede describirse de la siguiente forma (Correa, 1980): la lluvia al caer sobre el terreno sin vegetación, mueve el suelo no protegido; durante eventos fuertes, capas de agua enturbada por material terroso suspendido, corren a través de esas superficies desnudas. El suelo al no presentar una adecuada cobertura protectora, es dividido y soltado por el impacto de las gotas de lluvia, para luego ser arrastrado hacia partes más bajas, dejando pequeños pilares, comúnmente llamados castillos de bruja o estoraques, por lo general de varios centímetros de altura, retenidos o cubiertos en su parte superior por pequeños guijarros, hojas o raíces; Morgan (1978) reporta la formación de estructuras de este tipo a una tasa de 20 mm año⁻¹ en Bedfordshire, Inglaterra.

Debe anotarse que no sólo es importante el efecto del golpeteo directo, sino además la existencia de una película de agua que al ser golpeada produzca la desintegración de las gotas que caen, con el consiguiente arrastre de las partículas disgregadas, las cuales se proyectan a distancias hasta de 1,5 m en la horizontal y 1 m en la vertical; este fenómeno produce la destrucción del agregado y la formación de una costra que reduce la infiltración y aumenta la escorrentía (Moreno y Porras, 1979, citados por Gutiérrez, 1983).



Ambos fenómenos así descritos indican la importancia de las gotas de lluvia como agentes de dispersión y consolidación; el efecto de consolidación corresponde entonces a la formación de la costra superficial mencionada, la cual alcanza usualmente unos pocos milímetros de espesor y que es el resultado de la obstrucción de los poros por compactación del suelo. Young (1972), citado por Morgan (1986) ha sugerido que esto se encuentra asociado a la dispersión de finas partículas de los agregados del suelo, las cuales son translocadas para rellenar los poros. No cabe duda que el principal efecto que tiene la formación de esta costra superficial es la reducción de la capacidad de infiltración mencionada, y por tanto, la generación de escorrentía superficial a ella asociada. Así, Morin *et al* (1981) mostraron cómo la capacidad de infiltración se reducía de 100 mm h^{-1} hasta 8 mm h^{-1} en suelos arenosos conforme se desarrollaba la costra superficial. Asimismo, Hoogmoed y Stroosnijder (1984) citados por Morgan (1986), reportaban de estudios en Mali, África Occidental, una reducción de la capacidad de infiltración de los suelos desde sus valores naturales de $100\text{-}200 \text{ mm h}^{-1}$, hasta 10 mm h^{-1} , una vez se desarrollaba la costra superficial; esta situación se hace aún más dramática si se toma en consideración que sólo unas pocas tormentas eran necesarias para provocar tal cambio, pudiendo ocurrir un 50% de tal reducción en un único evento. Se destaca entonces nuevamente la importancia que pueden tener eventos aislados en la generación de pérdidas de suelo, conforme era señalado en páginas precedentes. El fenómeno que se ha descrito ocurre siempre y cuando el suelo no cuente con una apropiada protección en la superficie (vegetación rastrera o mantillo), ya que los árboles interceptan cierta cantidad de la lluvia hasta un límite a partir del cual no pueden almacenar más agua, produciéndose un reagrupamiento de las gotas y generándose unas nuevas de mayor tamaño que las originales, con mayor poder erosivo al caer al suelo; se estima que el 70% del total de suelo removido se debe a la acción del golpeteo o salpicadura.



1.4 Métodos de estudio de los procesos erosivos a nivel nacional.

Para resolver un gran número de problemas de cultivos, suelos y manejo de cuencas se requiere hacer estimaciones de la erosión (rendimiento de sedimento) en campos de cultivo o cuencas. Para responder a esta necesidad, se han desarrollado numerosos modelos para predecir la erosión. Algunos de estos modelos son simples ecuaciones que calculan el promedio anual de erosión en la desembocadura de una cuenca. Otros son modelos complejos que simulan la erosión diaria en lugar de la anual, y pueden aplicarse continuamente para calcular la erosión promedio en el largo plazo y las probabilidades de sus distribuciones. Las metodologías más elaboradas permiten subdivisiones de cuencas y encauzamiento de aguas, sedimento, y contaminantes tales como nitrógeno, fósforo y plaguicidas. Finalmente, el suelo puede ser removido por el viento tanto como por el agua, y se han desarrollado modelos para cuantificar los efectos del clima, suelo y manejo sobre la erosión eólica. Nuestro objetivo es describir varios de los métodos más importantes disponibles para estimar la erosión hídrica y eólica del suelo para predios desde menos de una hectárea hasta cuencas de varios cientos de kilómetros cuadrados.

Pueden usarse varios métodos empíricos para calcular la erosión total laminar y en surcos en un segmento de pendiente. Aquí se describen tres de ellos:

- La Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (Universal Soil Loss Equation) (USLE, Wischmeier y Smith, 1978);
- El Método Onstad Foster (AOF), (Onstad y Foster, 1975), y
- La Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelos (Revised Universal Soil Loss Equation - RUSLE), (Renard et.al.C.A. Jones R.H. Griggs, J.R. Williams y R. Srinivasan (1991).

Todos son modelos de parámetros "agrupados" que utilizan información promedio sobre suelos, cultivos, pendiente y manejo para un segmento de pendiente. El Método AOF también permite varios segmentos con diferentes características que se combinan en una pendiente compleja con el fin de calcular no sólo la erosión total sino también el rendimiento de sedimento.



1.4.1 Método USLE. El primer método USLE es un método que utiliza seis factores: erosividad de la lluvia (R), susceptibilidad de erosión del suelo (K), largo de la pendiente (L), magnitud de la pendiente (S), cubierta y manejo de cultivos y residuos (C), y prácticas de conservación (P), para estimar la pérdida de suelos promedio (A) por el período de tiempo representado por R, generalmente un año.

$$A=R \times K \times L \times S \times C \times P$$

Wischmeier y Smith (1978) describen cada uno de estos factores y proporcionan métodos para evaluarlos. El USLE fue desarrollado para:

- Predecir el movimiento promedio anual de suelos desde una pendiente específica, bajo condiciones de uso y manejo específicos.
- Orientar la selección de prácticas de conservación para localidades específicas.
- Estimar la reducción de pérdida de suelos que se puede lograr con cambios de manejo efectuados por el agricultor.
- Determinar el largo máximo de pendiente tolerable para un sistema de cultivo determinado.

Las ventajas del USLE incluyen facilidad de uso, simplicidad, y una base de datos amplia sobre la cual fue desarrollado. Sin embargo, tiene varias limitaciones. Los métodos para estimar los seis factores no se encuentran disponibles en muchos lugares fuera de los Estados Unidos de Norteamérica. Su aplicación en praderas es limitada. Está basado sobre el supuesto de pendiente de terreno, suelos, cultivo y manejo uniformes. Es un procedimiento estadístico (empírico o "agrupado") que no contempla los procesos físicos de separación, transporte y sedimentación en forma mecánica. Finalmente, no fue diseñado para estimar rendimientos de sedimentación en cuencas complejas.

1.4.2 Método RUSLE.

La metodología RUSLE fue desarrollada para superar algunas de las limitaciones de USLE. Sus avances incluyen:

- Computarización de algoritmos para facilitar los cálculos.
- Nuevos valores de erosividad de lluvias-escurrimientos (R) en el oeste de los Estados Unidos (condiciones áridas), basado en más de 1 200 localidades.



- Desarrollo de un término de susceptibilidad del suelo a la erosión estacionalmente variable (K) y métodos alternativos de estimación de K cuando el nomograma no es aplicable.
- Un nuevo método para calcular el factor cubierta-manejo (C), utilizando subfactores que incluyen uso previo de la tierra, cubierta de cultivos, cubierta vegetal del suelo (incluyendo fragmentos de roca en la superficie), y rugosidad del terreno.
- Nuevas formas de estimar los factores de largo y magnitud de la pendiente (LS) que consideran porcentajes de erosión en surcos e íter-surcos.
- La capacidad de ajustar el LS para pendientes de forma variable; y
- Nuevos valores de prácticas de conservación (P) para cultivo en fajas alternadas, uso de drenaje subterráneo, y praderas.

RUSLE aún está siendo desarrollado, y tal vez se introduzcan otras modificaciones. Al igual que el USLE, el RUSLE no fue diseñado para estimar rendimientos de sedimento en pendientes complejas donde puede ocurrir sedimentación, ni en grandes cuencas.

1.4.3 Método AOF.

La metodología AOF es un procedimiento matemático para estimar los potenciales de desprendimiento y transporte del suelo, incluyendo las proporciones relativas de erosión en surcos e íter-surcos, para laderas compuestas por uno o más segmentos con distintas características. Utiliza una versión modificada de USLE para estimar el desprendimiento de suelo.

$$Y=W \times K \times L \times S \times C \times P$$

Donde:

Y: es el rendimiento de sedimento en $t \text{ ha}^{-1}$

W: es un término de energía que es la suma de los componentes de energía pluvial y de escurrimiento. El componente de energía pluvial se deriva del índice de erosión pluvial (EI) de USLE, y el componente de energía de escurrimiento es una función de la tasa de escurrimiento de tempestad (q_p , milímetros (mm) hora (hr^{-1}) y volumen (Q, mm). Los otros factores son iguales que en el USLE.



El método AOF también proporciona un medio para estimar la proporción de erosión en surcos con la erosión ínter-surcos, basado en el largo y magnitud de pendiente del segmento, intensidad de la lluvia, volumen de escurrimiento, tasa máxima de escurrimiento, y la proporción de susceptibilidad de erosión en surcos en relación a ínter-surcos, que varía de 0,5 en suelos resistentes al ensurcamiento a 2 en suelos altamente susceptibles al ensurcamiento.

Un aspecto único del método AOF es que limita el transporte del suelo pendiente abajo al máximo del sedimento desprendido y la capacidad de transporte (f_c), expresada en kilogramos (Kg) de sedimento por metro de ancho de pendiente en cualquier punto x a lo largo de la pendiente.

$$T_c = 0,0054 \times W \times K' \times S \times C \times P \times x^{1.5}$$

Donde K' es el promedio del factor USLE, de susceptibilidad de erosión del suelo, ponderada en base a la contribución de cada suelo de la pendiente a la carga de sedimento. El valor de K' refleja la capacidad de transporte del suelo que viene de los segmentos más altos de la pendiente. Si T_c excede la carga desprendida del segmento más cualquier otra contribución desde aguas arriba, no ocurre sedimentación. Sin embargo, si T_c es menor que el total de suelo desprendido disponible para transporte, la sedimentación neta se supone ocurrirá en el segmento, y el rendimiento de sedimento es igual a T_c .

El método AOF tiene la ventaja de utilizar un componente de energía compuesto tanto por energía pluvial como de escurrimiento, estimando tanto la erosión en surcos como en ínter-surcos, considerando tanto el desprendimiento de suelos y el transporte como factores que limitan el rendimiento de sedimento, y siendo apto para estimar el rendimiento de sedimento de pendientes complejas. Además, Onstad y Foster (1975) describieron un método mediante el cual el método podía ser utilizado para estimar rendimientos de sedimento de cuencas complejas.

1.5 Método de estudio de los procesos erosivos en Moa.

Vallejo-Raposo y Martínez-Vargas (2000) exponen la metodología empleada para el cálculo de la erosión hídrica actual en un sector del municipio de Moa. El cálculo se realiza de forma automatizada empleando como soporte un Sistema de Información



Geográfica (SIG) y como técnica de cálculo por unidades discretas (píxeles) de 25 x 25 metros. Como resultado se obtiene un mapa de pérdida de suelo por erosión hídrica para toda el área industrial de Moa y zonas aledañas, que incluye casi la totalidad de los yacimientos lateríticos de níquel de la región

La aplicación de la ecuación universal al inventario y cartografía de la erosión actual y al riesgo de erosión futura exige dividir al terreno en unidades de estudio: unidades homogéneas, cuencas y unidades geométricas. La aplicación de la ecuación universal en unidades tipo cuenca presenta una serie de dificultades como la falta de homogeneidad de la cuenca, valores exagerados de R, etc. Estas dificultades se eliminaban si se emplean unidades geométricas de pequeño tamaño. El presente trabajo tiene como objetivo realizar el cálculo, de forma automatizada, de la erosión hídrica en la región de Moa (que tiene yacimiento de níquel) empleando para ello unidades geométricas de 25 x 25 metros.

La ecuación universal de pérdida de suelo (Wischmeier y Smith, 1958) es la más comprensiva y útil para el cálculo de la erosión hídrica del suelo:

$$A = 2,24 * R * K * L * S * C * P$$

Siendo:

A= pérdida media anual de suelo (t/ha).

R= factor de erosión pluvial (lluvia).

K= factor de erosionabilidad del suelo.

L= factor de longitud de pendiente.

S= factor de pendiente de talud.

C= factor de Cubierta vegetal y uso del suelo.

P= factor de control de la erosión.

1.6 Métodos de estudios de los procesos erosivos a nivel internacional.

Algunos de estos métodos están basados en observaciones directas de campo, otras en la evaluación de factores que influyen en la erosión, o combinación de ellos; y otras fundamentalmente en la modelación (Gobin et al., 2003). Para su descripción han sido agrupados en cualitativos y cuantitativos de acuerdo con el tipo de resultado que ellos brindan.



1.6.1 Métodos cualitativos

Estos métodos evalúan el riesgo de erosión mediante la utilización de una cartografía temática de los factores que la controlan, o mediante el estudio de las formas erosivas.

Cartografía temática de los factores

Consiste en la elaboración de mapas, cada uno de los cuales representa el comportamiento espacial, de un factor determinado. La síntesis de los mismos nos ofrece las características de los procesos erosivos presentes (Del val, 1987; Aguilo, 1992, Porta et al., 1999). Han sido propuestas diferentes metodologías para la elaboración de mapas de riesgo de erosión (ITC, 1979; ICONA, 1982; Albaladejo et al., 1988; CORINE, 1992; RIVM, 1992; PAP/RAC, 1997; Rafaelli, 2003) entre otras, cada una de las cuales se basa en una combinación propia de los factores.

Estudio de las formas erosivas

El objetivo es evaluar la presencia y grado de intensidad de las distintas formas de erosión. Se basa en la cartografía directa de las formas, que una vez identificadas se analizan y representan en un mapa, con apoyo de la teledetección, teniendo en cuenta la escala de trabajo y del objetivo del mismo (CEOTMA, 1984; Del val; 1987; Aguilo, 1992; De Pedraza, 1996).

1.6.2 Métodos cuantitativos

Los métodos cuantitativos pueden estimar las pérdidas de suelo por erosión mediante evaluaciones directas o indirectas. Las tasas de erosión pueden ser medidas con precisión en experimentos a pequeña escala; para escalas grandes solo pueden hacerse estimaciones (Lima et al., 2002).

Evaluaciones directas

Este tipo de evaluación se realiza por cualquiera de los siguientes métodos: analizando el rebajado de la superficie topográfica, ubicando clavos o varillas verticales en el suelo; realizando sucesivos levantamientos microtopográficos en laderas; evaluando el volumen de surcos y cárcavas; por análisis de la carga sólida y en disolución arrastrada por el agua, ya sea a nivel de ladera o de cuencas fluviales; ensayos de parcelas experimentales; mediante simuladores de lluvia; o efectuando mediciones de parámetros asociados a los sedimentos o al suelo como es el caso de los isótopos radioactivos (Del Val, 1987; De Pedraza, 1996; Porta et al., 1999; Jordán, 2000).



El empleo de costosas parcelas de erosión se ha generalizado. Sin embargo, la utilidad de la información obtenida, y de las investigaciones realizadas en ellas está limitado por la falta de continuidad en el tiempo, para la obtención de dicha información. El uso de simuladores de lluvia, cuando se emplean en parcelas extensas encarece el trabajo y los resultados no siempre son extrapolables a las condiciones de campo (Jordán, 2000).

La distribución de los isótopos radiactivos ofrece información valiosa acerca de los procesos de erosión de los suelos y la sedimentación (Zapata y García-Agudo, 2000). El ^{137}Cs , isótopo del Cesio es el más usado; el mismo procede de su deposición en la superficie de la tierra, como consecuencia de los ensayos atómicos desarrollados en las décadas de los años 50 y 60 (Bernard y Laverdière, 2000). La base de este método fue desarrollado en E.U por Ritchie et al. (1974) y posteriormente Ritchie y Mc Henry (1995), Walling y Quine (1995) han contribuido a su documentación. La estimación de la pérdida o ganancia de ^{137}Cs niveles de concentración en el momento del muestreo. La tasa de erosión se calcula asumiendo que la pérdida de suelo es directamente proporcional a cantidad de ^{137}Cs perdido, habiéndose desarrollado diferentes relaciones empíricas y modelos teóricos, para convertir las mediciones de ^{137}Cs , a estimados cuantitativos de erosión y sedimentación (Walling y Quine, 1990; Walling y He, 1997).

Evaluaciones indirectas

Este tipo de evaluación se basa en el uso de modelos matemáticos desarrollados sobre bases estadísticas, empíricas o de leyes físicas. La utilización de gran número de variables importantes, relacionadas con los procesos de degradación y sus interacciones, para determinar probabilidades y riesgos de erosión de suelos y su influencia en la producción de cultivos y daños ambientales, puede facilitarse con su integración de modelos (Pla, 1994). Aunque los modelos no den una simulación simplificaciones asumidas. Ellos ayudan a entender situaciones complejas, mediante una descripción cuantitativa de los procesos más significados y por ello pueden usarse como herramientas para la toma de decisiones, que contribuyan a reducir o eliminar riesgos de degradación de suelos y aguas.



Cuando los modelos se integran con Sistemas de Información Geográfica (SIGs), la modelación y el monitoreo pueden proveer la base para la planificación del uso y manejo sostenible de las tierras.

El enfoque inicial de la modelación cuantitativa fue la investigación experimental y teórica tradicional; posteriormente este tipo de técnica comenzó a desarrollarse utilizando las computadoras. Aparecieron así otros modelos más complejos por su fundamento, la cantidad de datos de entrada, y el tipo de área natural a estudiar.

Atendiendo a la forma Almorox et al.(1994), y Morgan (1997), clasifican los modelos de erosión en tres categorías: modelos físicos, contruidos en laboratorio a escala reducida con los que se intenta reproducir la situación dinámica del mundo real; modelos analógicos, que simulan el proceso erosivo mediante sistemas mecánicos o eléctricos análogos a los investigados; y modelos digitales, entre los que se encuentran una amplia variedad; pero todos requieren de computadoras para procesar la información vinculada al proceso erosivo. No obstante, la forma más común de categorizar los 1989; Jones et al., 1992; Almorox et al., 1994; Favis-Mortlock et al., 1996; Mitsova, y Mitso, 1998). Según este criterio se consideran dos tipos de modelos: empíricos y basados en procesos.

Los modelos empíricos están basados en análisis estadísticos del comportamiento de factores importantes en el proceso de erosión de los suelos, a partir de lo cual se obtienen las relaciones empíricas, que lo caracterizan, produciendo solamente salidas probables y aproximadas. En los modelos basados en procesos, la física del proceso erosivo real está altamente simplificada y conceptualizada (Bogaart, 2003) por lo cual se utilizan relaciones físico-matemáticas para describirlo, las cuales deben, en principio, dar resultados más exactos (Hammond, y Mc Cullagh, 1980); se caracterizan por necesitar muchos datos de entrada.

También se frecuente que se tome en cuenta la distribución espacial de los datos. De acuerdo con eso, los modelos se clasifican en masivos (lumped) o distribuidos (De Roo et al., 1989; Aguilo, 1992; Mitsova y Mitso, 1998; Garen et al., 1999). Los modelos masivos describen una respuesta promedio del área (Beasley, 1986) por lo que debido a variabilidad espacial de los factores que intervienen en el proceso de erosión, estos modelos apenas hacen una descripción de la situación física, sin embargo, poseen



simplicidad computacional. Por lo contrario, un modelo de parámetros destruidos, trata de aumentar la precisión de la simulación, utilizando información concerniente a todos los procesos espacialmente variables y no uniformes incorporados dentro del modelo.

Estos modelos tienen la habilidad de simular las condiciones en todos los puntos del interior del área simultáneamente y de predecir el patrón espacial en las condiciones hidrológicas (Beven, 1985). La ventaja de este enfoque es su potencialidad para caracterizar con precisión la influencia de los cambios espaciales, aunque tienen la desventaja de la gran demanda computacional y de datos (Purdue University, 2005).

El área en la cual se puede aplicar el modelo permite categorizarlos en modelos a escala de parcela, o a escala de cuenca (Jones et al., 1992; Favis-Mortlock, 1996; Jetten et al., 1999). El tiempo de duración del evento de lluvia, que se va a considerar en la modelación es otro elemento a tener en cuenta, al clasificar los modelos. Se habla de modelos basados en eventos o de simulación continua (Jones et al., 1992; Jetten et al., 1999).

En la práctica, un modelo puede ser clasificado atendiendo a varios de los anteriores enfoques. No obstante algunos criterios de clasificación tienen más aplicación que otros, dependiendo de la cantidad de información disponible y el nivel de detalle deseado.

La tendencia desde las últimas décadas del pasado siglo ha sido la creación y empleo de modelos con bases físicas.

Wischmeier y Smith, (1978) propusieron la USLE (Universal Soil Loss Equation), que ha sido el modelo de erosión empírico, más ampliamente aceptado y utilizado para evaluar las pérdidas de suelo, a lo largo de más de 30 años. A pesar de su uso difundido y la amplitud de experiencias que ha incorporado, la ecuación sufre del defecto conceptual de que los factores del suelo y de la precipitación pluvial (entre otros), no pueden simplemente multiplicarse juntos debido al efecto sustractivo de la capacidad de infiltración del suelo para generar escurrimiento erosivo a partir de una precipitación pluvial determinada (Kirby y Morgan, 1984).

Este modelo, originalmente muy sencillo ha sido objeto de varias revisiones dando lugar a otros modelos derivados. Williams (1975) desarrolló la Ecuación Universal Modificada de Pérdida de Suelos (MUSLE) y Renard et al. (1991), propusieron la



Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Varios modelos hidrológicos han incorporado las citadas ecuaciones empíricas como método para estimar la erosión. Por otro lado, el criterio de que los modelos diseñados sobre bases físicas estiman mejor la erosión hizo que muchos investigadores e instituciones dedicaran grandes esfuerzos a desarrollarlos. Estos modelos utilizan ecuaciones matemáticas para modelar el movimiento del agua y las partículas de suelo sobre la superficie, así como la infiltración hacia el subsuelo. En la mayoría de los casos aprovechan las posibilidades de los SIGs como herramienta de análisis espacial para desarrollar la modelación del proceso erosivo.

CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

- Introducción
- Características físico-geográficas. Ubicación geográfica
- Características geológicas.

Introducción.

En el presente capítulo se ofrece una caracterización de las condiciones físico-geográficas del municipio Moa y área de trabajo. Además se muestran las características geológicas del área.

2.1 Características físico-geográficas. Ubicación geográfica

El municipio de Moa se encuentra ubicado en el extremo oriental de la provincia de Holguín; limitado al norte por el Océano Atlántico, al sur con el municipio Yateras, al este con el municipio Baracoa y al oeste con los municipios Sagua de Tánamo y Frank País; tiene una extensión territorial de 732.6 kilómetros cuadrados. El área de estudio se ubica en una franja costera de 40 Km desde la Bahía de yaguaneque hasta la desembocadura del río Jiguaní al Este. El sector de estudio tiene un área de 547,35 (Km²), forma parte del grupo montañoso Sagua-Moa-Baracoa. Próximos a sus costas se encuentran los cayos Burro y Moa Grande situados frente a la Ciudad de Moa y Cayo del Medio en la Bahía de Yamanigüey (Figura 2.1). Según el sistema de Lambert el área de estudio se localiza entre las coordenadas siguientes: X₁:680 911-Y₁: 206 895 y X₂:720 936 -Y₂:229 601

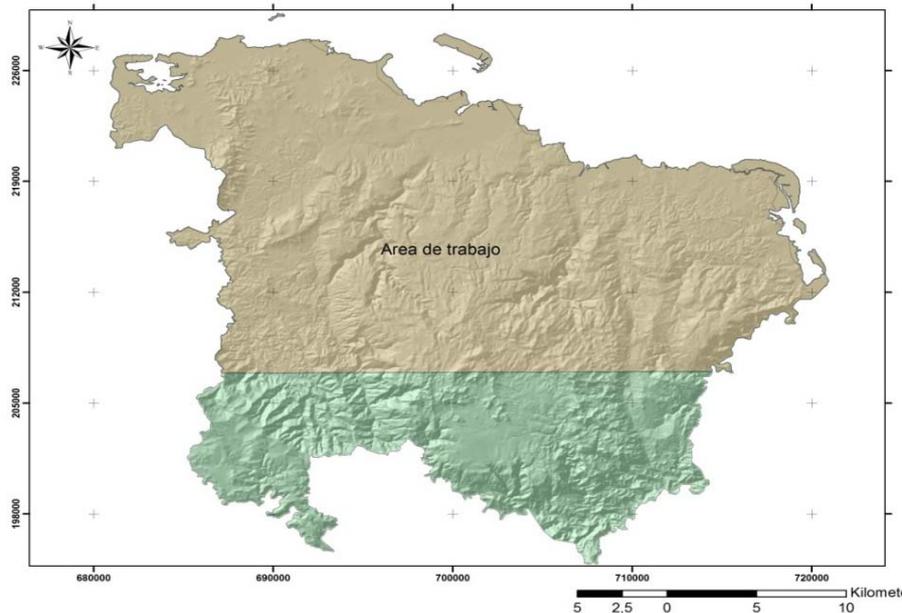


Figura 2.1. Ubicación geográfica del área de trabajo

La región se encuentra enclavada en el grupo orográfico Sagua-Baracoa, lo cual hace que el relieve sea predominantemente montañoso, principalmente hacia el sur, donde es más accidentado en la Sierra de Moa con dirección submeridional. Hacia el norte el relieve se hace más suave con cotas que oscilan entre 40 y 50 m como máximo, disminuyendo gradualmente hacia la costa.

La red es densa y dendrítica, representada por numerosos ríos y arroyos permanentes, entre los que se encuentran los ríos Moa, con sus afluentes río Los Lirios, el cabañas, Cayo Guam, Quesigua, Yagrumaje, Arroyo Aserío entre otros. La fuente de alimentación principal de estos ríos y arroyos, son las precipitaciones atmosféricas, desembocando las arterias principales en el Océano Atlántico, formando deltas cubiertos de sedimentos palustres y vegetación típica de manglar.

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

Según los datos aportados por la estación Hidrometeorológica El Sitio y los datos tomados del pluviómetro Vista Alegre, desde 1995 hasta 1991, la temperatura media anual osciló entre 22.6°C – 30.5°C, siendo los meses más calurosos los de julio a



septiembre y los más fríos enero y febrero; el promedio de precipitaciones anuales entre 1231.3 – 5212 mm, siendo los meses más lluviosos noviembre y diciembre y los más secos marzo, julio y agosto; la evaporación media anual entre 1880 – 7134 mm.

En los períodos de lluvia, se forman corrientes turbulentas de mucha fuerza, provocando una marcada erosión de las partes superiores de las laderas de los ríos y en aquellas zonas donde es escasa la vegetación o donde esta ha sido desmontada para la explotación minera, para la construcción o explotación.

La vegetación se caracteriza por la existencia de bosques de *Pinus cubensis* en las cortezas lateríticas y donde hay menores potencias de las mismas, matorrales espinosos típicos de las rocas ultramáficas serpentinizadas (charrasco). Sobre los garbos y depósitos aluviales, pueden aparecer algunas palmeras, cocoteros y árboles frutales. Las zonas bajas litorales, están cubiertas por una vegetación costera típica entre la que se destaca los mangles, afectados en la actualidad por las construcción de presas de colas de las fábricas Cmdte Ernesto Che Guevara y Las Camariocas en construcción.

Económicamente la región está dentro de las más industrializadas del país, no solo por sus riquezas minerales, sino además, porque cuenta con dos plantas procesadoras de níquel en producción, la Cmdte Ernesto Che Guevara y la Pedro Sotto Alba. Este renglón constituye el segundo rubro 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 (CEPRONIQUEL), la Empresa Constructora y Reparadora del Níquel (ECRIN), entre otras. Además de los yacimientos lateríticos, existen los de cromo refractario, clasificado como el mejor de su tipo en el territorio cubano, los cuales se encuentran distribuidos en las cuencas de los ríos Cayo Guam y Yamanigüey, donde una parte del mineral extraído se procesa en la planta de beneficio de Cayo Guam. Los gabroides y ultramafitas presentes en la región, pueden ser empleados como áridos en la industria de materiales de la construcción.

También existen otros organismos de los cuales depende la economía de la región tales como el establecimiento de la Empresa Geólogo Minera, la Presa Nuevo Mundo, el Tejar, el Combinado Lácteo y otros. La agricultura está poco desarrollada, aunque se hacen esfuerzos para seguir fomentándola. Existen otros sectores económicos como la



ganadería que se desarrolla al sur de la región y la explotación de recursos forestales, que son abundantes en la zona, siendo un eslabón importante de la economía. La actividad pesquera está poco desarrollada.

2.2 Características geológicas.

2.2.1 Marco geológico regional.

La evolución geológica de Cuba en el mesozoico estuvo asociado al desarrollo de sistemas de arco insulares y cuenca marginal, típicos de zonas de convergencia entre placas.

A fines del Campaniano Superior-Maestrichtiano se extinguió el arco volcánico cretácico cubano, iniciándose la compresión de sur a norte, originándose por procesos de acreción tectónica, el emplazamiento del complejo ofiolítico según un sistema de escamas de sobrecorrimiento altamente dislocadas (Rodríguez A., 1999).

Los movimientos de compresión hacia el norte culminaron con la probable colisión y obducción de las paleounidades tectónicas del Bloque Oriental Cubano sobre el borde pasivo de la Plataforma de Bahamas. Según Iturralde (1996) y Proenza (1998) consideran los movimientos hasta el Paleoceno Inferior. Este proceso de colisión no ocurre en el Bloque Oriental con iguales características que en el resto de Cuba debido al surgimiento a inicios del Paleógeno de la depresión tectónica Cauto-Nipe que demoró e hizo menos violenta la colisión.

A partir del Eoceno Medio y hasta el Mioceno Medio las fuerzas de compresión tangencial se reducen quedando sólo expresadas a través de fallas de deslizamiento por el rumbo, plegamientos y empujes locales, tomando importancia para la región los movimientos verticales que caracterizan y condicionan la morfotectónica regional, iniciándose a partir del Mioceno Medio el proceso de ascenso del actual territorio de la isla de Cuba.

Los movimientos tectónicos recientes se van a caracterizar por movimientos verticales responsables de la formación del sistema de Horts y Grabens, pero hay que tener en cuenta la influencia que tienen sobre Cuba Oriental los desplazamientos horizontales que ocurren a través de la falla Oriente (Bartlett-Caimán) desde el Eoceno Medio-



Superior, que limita la Placa Norteamericana con la Placa del Caribe, generándose un campo de esfuerzos de empuje con componentes fundamentales en las direcciones norte y noreste, que a su vez provocan desplazamientos horizontales de reajuste en todo el Bloque Oriental Cubano.

2.2.2 Características estratigráficas.

La geología de la región se caracteriza por una gran complejidad condicionada por la variedad litológica (estratigráfica) presente y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el transcurso del tiempo geológico, lo que justifica los diferentes estudios y clasificaciones realizadas, basadas en criterios o parámetros específicos según el objeto de la investigación (Rodríguez, 1998a).

El complejo de las rocas ultrabásicas aflora en toda la porción central y meridional del área y está constituido predominantemente por harzburgitas subordinadamente dunitas, lherzolitas y piroxenitas. Estas rocas se caracterizan por presentar un grado de serpentinización variable a sistemática.

El Dr. F. Quintas Caballero (1989) en su tesis doctoral desarrolla estas clasificaciones geológicas de carácter regional la cual incluye, en esencia, ocho asociaciones estructuro–formacionales debido a que éstas son las que forman parte de nuestro sector de estudio.

Para la realización de la propuesta de su clasificación, se basó en la teoría que explica el origen y evolución de los arcos insulares, así como la formación de las plataformas, las etapas evolutivas y los conjuntos litológicos faciales, típicos de cada estadio. En 1998, 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 correspondiente al pre - Eoceno Medio, que ocupan en la actualidad una posición muy diferente a la original, representando las unidades geológicas que lo integran grandes entidades paleogeográficas que marcaron la evolución del Caribe Noroccidental. 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, las formaciones Sierra Verde y Asunción, constituidas por materiales metaterrígenos y metacarbonatados respectivamente, del Jurásico Superior al Cretácico Inferior, las cuales no aparecen representadas en el área de esta investigación.

Las unidades oceánicas están constituidas por las ofiolitas septentrionales, las rocas del arco de islas volcánico del Cretácico, denominado como paleoarco, las secuencias de la cuenca de *piggy back* del Campaniano tardío al Daniano, el arco de islas volcánico del Paleógeno y las rocas de la cuenca de *piggy back* del Eoceno Medio al 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.

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 (Figura 2.2). Ocupando un área aproximada de 1 500 km² donde se presenta un gran desarrollo de los complejos ultramáfico, complejo 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 esta 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 aleuolitas masivas, mal estratificadas; brechas; areniscas; arcillas y calizas. En la media presenta Secuencia olistostrómica compuesta por margas, areniscas, aleuolitas, gravelitas y conglomerados. En la parte superior Predominan las aleuolitas 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 es 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.

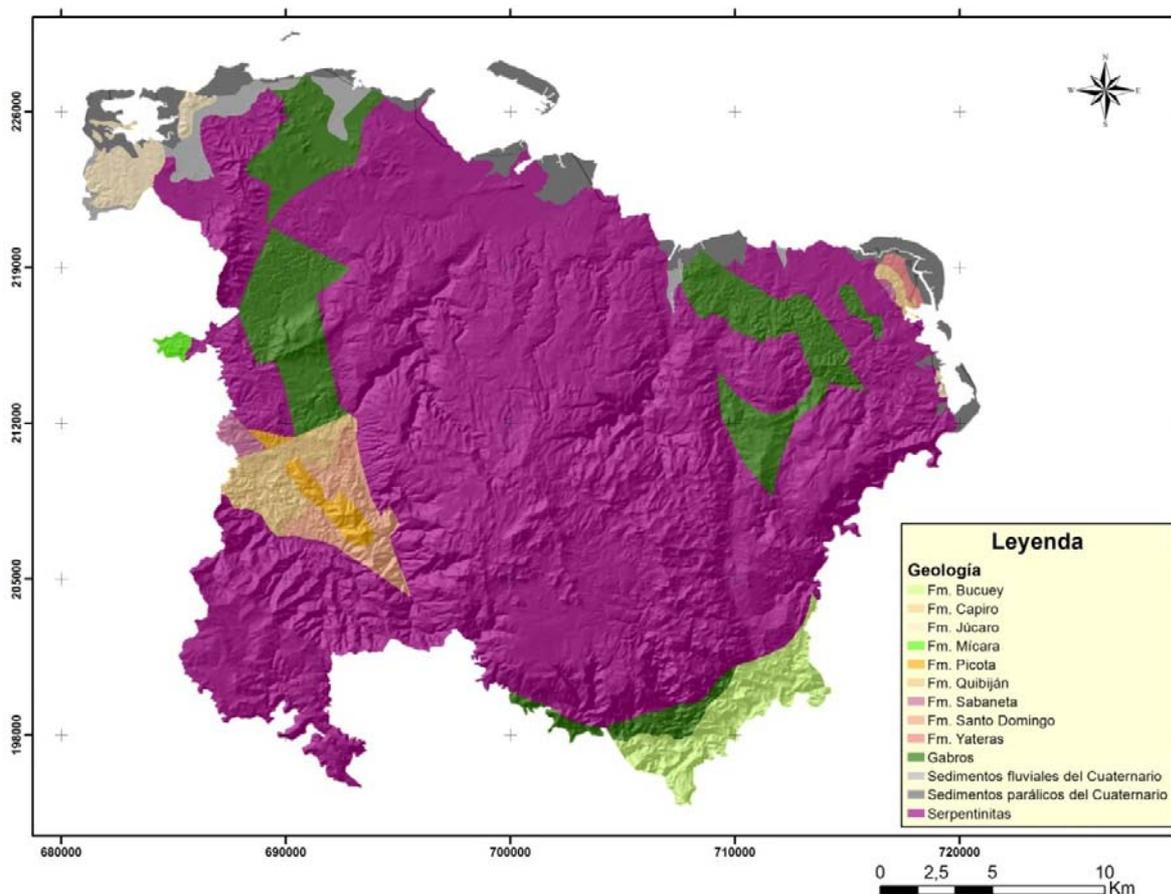
Formación Júcaro: Está constituida por calizas margosas poco consolidadas y a veces por margas de edad Oligoceno-Mioceno. Aflora por toda la costa en la región de Cananova y Yamanigüey.

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. (Figura. 2.2.2).



Fi

Figura. 2.2.2 Mapa geológico del área. (Escala original 1:50 000) (tomado de Rodríguez, 1998 y Ramayo, 2002).

Neoaútóctono: Las rocas y estructuras del neoaútóctono 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.

2.2.3 Características morfotectónicas.

El Bloque Oriental Cubano comprendido desde la falla Cauto-Nipe hasta el extremo oriental de la Isla, presenta una tectónica caracterizada por una alta complejidad, dado por la ocurrencia de eventos de diferentes índoles que se han superpuesto en el tiempo y que han generado estructuras que se manifiestan con variada intensidad e indicios en la superficie (Rodríguez, 1998a, 1998b). Este bloque se caracteriza por el amplio desarrollo de la tectónica de cabalgamiento que afecta las secuencias más antiguas (Campos, 1983).

Esta 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 microbloques 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 (Campos, 1983, 1990; Rodríguez, 1998a, 1998b). También se observan dislocaciones de plegamientos complejos, sobre todo en la cercanía de los contactos tectónicos (Campos, 1983).

Los principales bloques morfotectónicos que aparecen en el área de estudio son los siguientes (Rodríguez, 1999):

Bloque El Toldo: Ocupa la posición central del área de estudio y es el de máxima extensión, correspondiéndole también los máximos valores del levantamiento relativo de la región.

Litológicamente está conformado en superficie por las rocas del complejo máfico y ultramáfico de la secuencia ofiolítica, sobre las cuales se ha desarrollado un relieve de montañas bajas de cimas aplanadas ligeramente diseccionadas. Hacia la parte norte se desarrollan en un pequeño sector premontañas aplanadas.

El límite nororiental de este bloque está dado por la falla Cayo Guam, mientras que al sur limita con el bloque Cupey a través de la falla Quesigua.



Bloque Cayo Guam. Es el bloque de más pequeña extensión en el área y se dispone como una cuña entre los bloques El Toldo y Cupey a través de las fallas Cayo Guam y Quesigua respectivamente y al igual que el bloque Moa, se comporta como un escalón intermedio en descenso respecto al bloque El Toldo.

Geológicamente la mayor extensión de la superficie lo ocupan las rocas del complejo ofiolítico, predominando hacia el sur las serpentinitas y hacia el norte los gabros.

Geomorfológicamente se desarrollan las llanuras acumulativas bajas y planas de origen fluvial o palustre en la mayor área del bloque y una pequeña franja de acumulaciones costeras. Hacia la parte sur aparecen las premontañas y montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas con elevaciones máximas de 460 m.

Los movimientos horizontales en este bloque son muy evidentes y se ponen de manifiesto en los desplazamientos de la línea de costa y formas del relieve de hasta dos kilómetros con una dirección sur predominante.

Bloque Cupey. Se ubica en el extremo oriental del área.

Geológicamente a este bloque le corresponde la mayor complejidad al aflorar en su superficie las rocas del complejo ofiolítico que ocupan la mayor extensión del bloque, las rocas de las formaciones Sabaneta, Capiro y Majimiana y los sedimentos cuaternarios de origen parálico y fluvial. Estas últimas litologías se disponen en forma de franjas paralelas al litoral.

Geomorfológicamente para el área predomina el relieve de montañas bajas y aplanadas hacia la parte occidental y bajas diseccionadas con divisorias alargadas hacia el sudeste.

Sistemas de Fallas.

En los estudios tectónicos precedentes del territorio se han reconocido dos sistemas de fallas que cortan a las rocas del complejo ofiolítico sin embargo, como resultado del desarrollo de las presentes investigaciones fueron cartografiados cuatro sistemas de estructuras disyuntivas que corresponden a cada uno de los periodos de la evolución geotectónica (Batista, J, 1998; Rodríguez, 1999).

En el área de estudio existen tres estructuras disyuntivas fundamentales que se presentan a continuación con sus características respectivas (Figura 2.2.3):

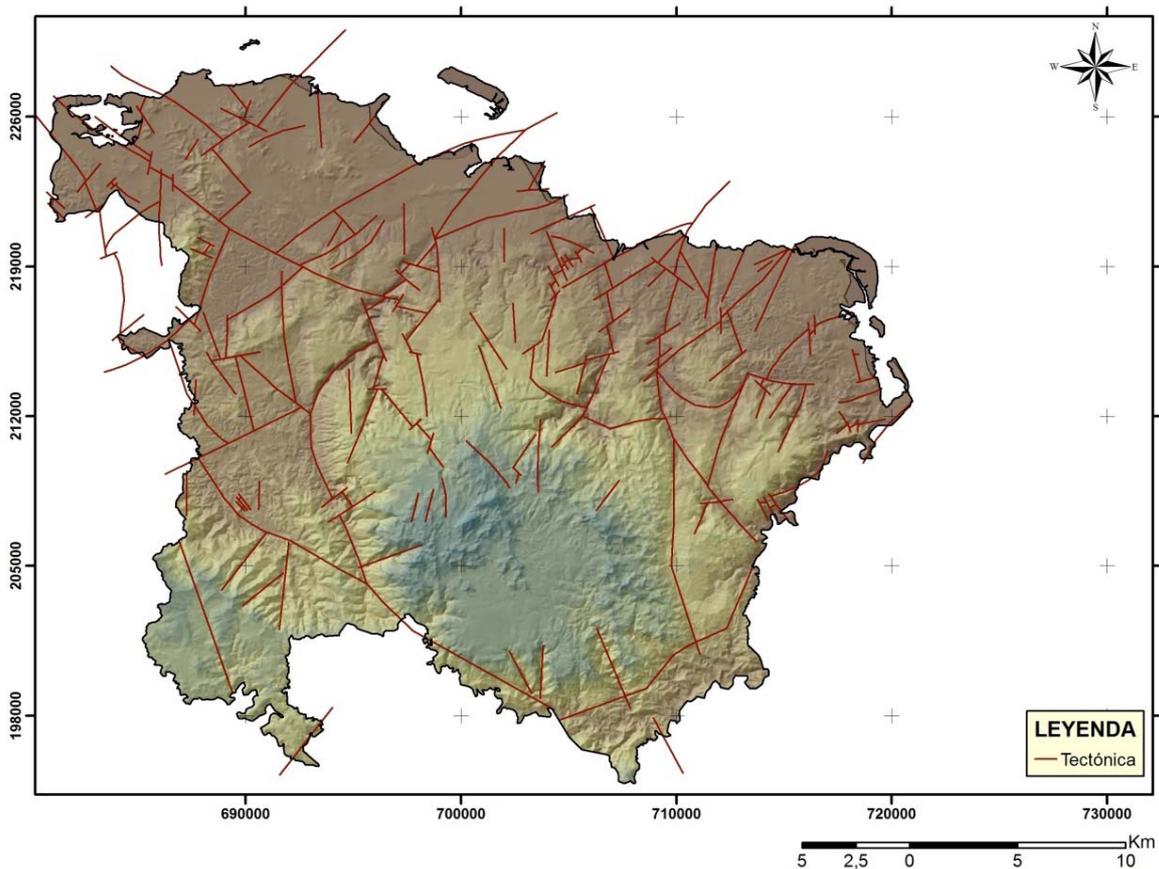


Figura. 2.2.3 Mapa tectónico de Moa. (Escala original 1:50 000, tomado de Rodríguez. 1998).

Falla Cayo Guam: Presenta una dirección N15°W, se extiende desde la parte alta del río de igual nombre, siguiéndose con nitidez hasta Punta Yagrumaje. Esta estructura aparece cortada y desplazada en varios tramos por fallas de dirección noreste y sublatitudinales.

La componente horizontal de los movimientos de falla en el periodo neotectónico es indicado por los criterios geomorfológicos en sentido norte-noroeste para el bloque occidental y sur-sudeste para el oriental.

Falla Quesigua: Se expresa a través de un arco con su parte cóncava hacia el este nordeste, manteniendo en su parte septentrional, donde su trazo es más recto un rumbo N10°E y en la meridional, N40°W. Se extiende desde la barrera arrecifal hasta interceptar el río Jiguaní al sudeste del área de trabajo.



En el análisis geodésico no se observan desplazamientos verticales pronunciados entre los puntos situados a ambos lados de la falla y sólo se marcan con desniveles de 2 mm en el ciclo de mediciones 1990-1993. Sin embargo, los desplazamientos horizontales evidenciados por los parámetros geomorfológicos están en el rango de 0,75 - 1,0 km.

Falla El Medio: Fue mapeada desde Punta Mangle hasta su intersección con el río Quesigua con un rumbo aproximado de N40°E.

2.2.4 Características geomorfológicas.

En el área de estudio aparecen todas las formas del relieve descritas por (Rodríguez 1998a), teniendo mayor relevancia la zona de llanuras, que se desarrolla en toda la parte norte del área de estudio, ocupando la zona comprendida desde la barrera arrecifal hasta los 100-110m de altura hacia el sur. La formación de estas llanuras está relacionada con la acción conjunta de diferentes procesos morfogénicos que en ella han actuado, predominado los procesos fluviales y marinos.

Al sur del sector de estudio predomina el relieve montañoso, ocupando la mayor extensión las montañas bajas aplanadas y las premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas.

Esta región se encuentra enclavada en el grupo montañoso Sagua – Baracoa, lo cual hace que en ella exista un relieve predominantemente montañoso, fundamentalmente hacia la parte sur de la región donde es más accidentado, debido a la presencia de la cercanía de la Sierra de Moa que se extiende en dirección submeridional; hacia el norte de la región el relieve se hace más moderado con cotas que oscilan entre los 40 y 50 metros como máximo, disminuyendo gradualmente hacia la costa, influenciado además por la acción del hombre que ha causado la transformación del mismo en esta zona por la necesidad de construir diferentes obras económicas y sociales, lo que implica la realización de grandes movimientos de tierra. Este relieve con grandes pendientes ha propiciado el arrastre de gran cantidad de cantos rodados, bloques, gravas y material areno arcilloso los cuales han ido depositándose en las zonas de menos pendiente. Se observan zonas del relieve aplanadas y suaves. Este relieve es de origen tectónico



formado por grandes bloques que han sido desplazados, el cual se ha visto sometido a los agentes de intemperismo, los cuales han ido denudando y transformando la geomorfología del área.

Según Rodríguez Infante Alina en su trabajo *Relieve y neotectónica de la región de Moa* refiere que genéticamente el relieve de Moa y sus áreas adyacentes está clasificado dentro del tipo de Horst y los bloques anteriormente mencionados corresponden a los cuerpos de rocas ultrabásicas en la etapa neotectónica a lo largo de las dislocaciones antiguas y rupturas nuevas, poco o ligeramente diseccionadas como resultado de esta investigación se clasifica el relieve del territorio en dos tipos: Relieve de llanura y relieve de montaña.

- El **relieve de llanura** se desarrolla en toda la parte norte del área la formación de estas llanuras está relacionada con la acción de diferentes procesos morfogénico que en ella han actuado, predominando los procesos fluviales. Por otra parte los sedimentos que se acumulan proceden de las cortezas lateríticas, transportados por los ríos que desembocan en la zona principalmente el río Moa, cuya cuenca es la de mayor extensión y atraviesa extensas zonas descubiertas de vegetación.
- El **relieve de montaña** es el más extendido dentro del área, los valores morfométricos así como la configuración de las elevaciones son extremadamente variables en dependencia de las características geológicas y el agrietamiento de las rocas sobre las cuales se desarrollan así como el nivel isométrico que ocupa.

2.3 Procesos geodinámicos.

a) Meteorización.

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

b) Movimientos de masas.

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

c) Erosión.

Es un fenómeno muy difundido en el yacimiento Punta Gorda. Es un proceso, que aunque se produce de forma natural en la potente corteza laterítica, se ha visto incrementado por la actividad antrópica, vinculada a la minería a cielo abierto y a la deforestación. La erosión laminar, que se desarrolla sobre la superficie de la corteza laterítica, arrastra las partículas fundamentalmente hacia la zona norte del yacimiento, donde el relieve es menos elevado, además de dirigirse hacia los cauces de los drenes naturales representados por el río Yagrumaje, Los Lirios y el arroyo la Vaca. Se observa además, un amplio desarrollo del acaravamiento, que aumentan sus dimensiones rápidamente en el tiempo (figura 2.3.1). La dirección de las cárcavas está condicionada fundamentalmente por las condiciones estructurales de los suelos residuales.

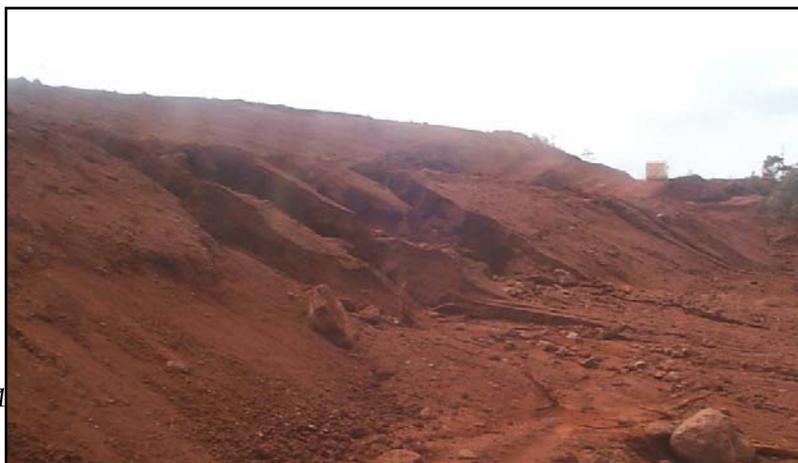


Figura 2.3.1 Procesos erosivos en taludes del yacimiento Punta Gorda (cortesía de subdirección de minas de UBM Ernesto Che Guevara).

d) Sismicidad.

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

- Zona sismogeneradora Oriente: Está asociada a la falla transcurrente Bartlett-Caimán de dirección este-oeste. Constituye el límite entre la placa Norteamericana y Caribeña. A esta zona corresponde la más alta sismicidad de toda Cuba y con ella se encuentran asociados los terremotos de mayor intensidad con epicentros en el archipiélago cubano. La intensidad máxima pronóstico promedio para la zona es de VIII grados en la escala MSK, llegando hasta IX en el sector Santiago-Guantánamo. La magnitud máxima es de 8 grados en la escala Richter.
- Zona sismogeneradora Cauto-Nipe: Está asociada a la zona de fractura de igual nombre, con dirección suroeste-noreste desde las inmediaciones de Niquero hasta la bahía de Nipe. Constituye un límite íter placa, que separa al Bloque Oriental Cubano del resto de la isla. La potencialidad sísmica de esta zona alcanza los 7 grados en la escala Richter, mientras que la intensidad sísmica, según el mapa complejo de la Región Oriental de Cuba señala valores entre VI y VII grados MSK.
- Zona sismogeneradora Sabana: Se encuentra asociada a la falla Sabana (falla Norte Cubana) o zona de sutura entre el Bloque Oriental Cubano y la Placa Norteamericana. La potencialidad sísmica es variable en el rango de VI a VII grados MSK, alcanzando sus máximos valores hacia su extremo oriental. Los principales focos sísmicos de la zona se localizan en los puntos de intersección de ésta con las fallas de dirección noreste y noroeste que la cortan.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS APLICADOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN

- Introducción
- Materiales y métodos
- Metodología aplicada en la investigación
- Cronograma de la investigación

Introducción

En el presente capítulo abordaremos los principales métodos utilizados en la evaluación de la erosión. La misma se basó en una evaluación generalizada, característica y estadística del sector Moa que se llevará a cabo, por último se aplicaron materiales para la estimación de la pérdida de erosión potencial de los suelos de los mismos.

3.1 Materiales y métodos

Para ejecutar la investigación se llevó a cabo una exhaustiva revisión bibliográfica sobre los métodos e índices de diagnóstico para evaluar la erosión. En este sentido las principales fuentes de información lo constituyeron las revistas dedicadas a las investigaciones en Ciencias del Suelo, Hidrología, Geomorfología, Procesos Exógenos y Evolución de Paisajes, entre las que pueden citarse Journal of Hydrology, Hydrological Science Bulletin, Earth Surface Processes and Landforms, Journal of Soil and Water Conservation, Hydrological Processes, Catena, Geomorphology, Edafología. Otros materiales fueron obtenidos de los sitios en Internet de Universidades y Centros de Investigación que investigan los procesos de degradación de los suelos, en particular, la erosión.

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. Los trabajos de campo se realizaron con el objetivo de analizar y comprobar en el

terreno si existían algunos cambios y el comportamiento en cuanto a la evolución y desarrollo en la pérdida de los suelos.

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

Equipamientos utilizados:

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

Esta Norma Cubana NC 36: 1999 establece el método para la determinación de la erosión potencial, a través de los coeficientes de cada uno de los factores naturales que determinan la peligrosidad de erosión de los suelos.

3.2 Valoración cuantitativa de la influencia erosiva de los factores naturales.

La erosión potencial de los suelos depende principalmente del clima, del relieve y del tipo de suelo; los cuales se valoran por la siguiente metodología:

1. **Clima.** Una peculiaridad determinada del clima de Cuba es la relativa constancia del régimen de temperatura y la marcada variación de las precipitaciones, las cuales ejercen una fuerte influencia en los demás factores naturales.

En dependencia de la cantidad y la intensidad de las precipitaciones (con el resto de las condiciones constantes), en la pendiente se forman las escorrentías con diferentes grados de intensidad, la cual destruye en una u otra medida los horizontes de los suelos. Por consiguiente, las precipitaciones constituyen una de las principales causas que provocan la erosión de los suelos de Cuba.



Para valorar la influencia de las precipitaciones en la erosión potencial de los suelos se escogió el índice Lai, el cual es elaborado para condiciones tropicales. Este índice se calcula por la siguiente fórmula:

$$\text{Lai máx.} = 12(n.a.\text{imáx})$$

Donde:

a: Cantidad de precipitaciones en forma de lluvia.

imáx: Intensidad máxima de la lluvia.

n: Número de días con precipitaciones en cada mes.

Teniendo en cuenta esta fórmula y los datos sobre precipitaciones se calcularon los índices erosivos de la influencia de las precipitaciones para todas las regiones del país, (coeficiente I_p), el cual se expresa con una serie de valores desde 24 en la región de Guantánamo, hasta 106 en las regiones montañosas de Occidente como se observa en la (tabla 3.2.1)

Tabla 3. 2.1 Valoración de las precipitaciones en diferentes regiones naturales de Cuba.

Regiones naturales de Cuba	Coeficientes I_p de la influencia erosiva de las precipitaciones(mm)							
	800	800 1000	1000 1200	1200 1400	1400 1600	1600 1800	1800 2000	2000 2200
Montañosa Occidental	-	-	53	62	70	79	88	106
Llana Occidental	-	42	50	59	67	76	84	-
Montañosa Central	-	-	49	57	66	74	82	98
Llana Central	-	40	48	56	64	72	80	-
Camagüey-Tunas	-	39	47	55	62	70	-	-
Montañosa Oriental	-	-	44	52	59	67	74	89



Llana Oriental	24	30	36	42	48	54	60	-

2. **Suelo.** En el proceso de cartografía de los suelos con erosión potencial, éstos se valoran conjuntamente con la roca madre y se calcula el coeficiente SR a través de la siguiente fórmula:

$$SR = P_{sp} / P$$

Donde:

SR: Índice de la influencia del suelo y roca.

P_{sp}: Pérdidas de los suelos en condiciones de patrón.

P: Índice de la influencia de las precipitaciones.

Estos coeficientes se utilizan para determinar el grado de erosión potencial, de acuerdo a la (tabla 3.2.2)

Tabla 3.2.2 Coeficientes de la influencia erosiva de los suelos y la roca madre.

Tipos de suelos	Coeficientes (SR)
Ferralítico rojo sobre caliza	0,17
Húmico carbónico sobre marga, arenisca y otros	0,20
Pardo con carbonatos	0,21
Pardo sin carbonato sobre roca básica y ultrabásica	0,29
Pardo grisáceo sobre granodiorita	0,32
Ferralítico púrpura	0,35
Ferralítico cuarcítico amarillos rojizo lixiviado sobre materiales transportados y corteza de meteorización y esquistos	0,50
Ferralítico cuarcítico amarillo lixiviado sobre materiales transportados y esquistos	0,23



3. **Relieve.** La influencia del relieve sobre la erosión potencial de los suelos se determinó con una característica morfométrica.

La inclinación de la pendiente se caracteriza por el coeficiente R y expresa la relación entre las pérdidas de los suelos en condiciones de patrón de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$R = Ps / Pt$$

Donde:

R: Factor de relieve.

Ps: Pérdidas de los suelos según el relieve.

Pt: Patrón.

El significado del coeficiente R se expone en la (tabla 3.2.3)

Tabla 3.2.3 Coeficiente de la influencia de la pendiente de la erosión potencial de los suelos.

Pendiente		Pendiente		Pendiente		Pendiente	
%	R	%	R	%	R	%	R
1	0,16	7	1,12	13	2,08	19	3,04
2	0,32	8	1,28	14	2,24	20	3,20
3	0,48	9	1,44	15	2,40	21	3,36
4	0,64	10	1,60	16	2,56	22	3,52
5	0,80	11	1,76	17	2,72	23	3,68
6	0,96	12	1,92	18	2,88	24	3,84

La valoración conjunta de la influencia de los factores naturales sobre la erosión potencial de los suelos se establece por medio de la multiplicación de los coeficientes particulares que caracterizan a cada uno de los factores naturales:

$$Ep = SR * R * Ip$$

El resultado de la multiplicación de estos coeficientes expresa las pérdidas de una parte del perfil en cm, la cual se produciría si no se realizan las medidas antierosivas.

Para valorar la erosión potencial en cualquier terreno es necesario calcular las pérdidas de los suelos por la fórmula $E_p = SR \cdot R \cdot I_p$ y comparar estos resultados con los límites de pérdidas de los suelos con diferentes grados de erosión potencial, según la (tabla 3.2.4)

Tabla 3.2.4 Límite de las pérdidas de los suelos con diferentes grados de erosión potencial

Tipos de suelos	Pérdidas de los suelos con diferentes grados de erosión potencial (cm)			
	Suave	Media	Fuerte	Muy fuerte
Ferralítico rojo sobre caliza	10	11-22	23-37	37
Húmico carbonático sobre marga y arenisca calcárea	8	9-18	18-30	31
Pardo con carbonatos	8	9-17	18-30	30
Pardo sin carbonato sobre roca básica y Ultrabásica	7	8-15	16-25	25
Pardos sin carbonatos sobre roca ígnea Intermedia	8	9-18	19-32	32
Pardo grisáceo sobre granodiorita	7	8-17	18-29	29
Ferralítico cuarcítico amarillo rojizo lixiviado sobre materiales transportados y corteza de meteorización	6	7-13	14-24	24
Ferralítico cuarcítico amarillos rojizo lixiviado sobre materiales transportados y corteza de meteorización y esquistos	7	8-17	18-31	31
Ferralítico púrpura	7	8-15	16-29	29

3.3 Cronograma de la Investigación

Los primeros trabajos realizados, con vista al análisis de la susceptibilidad de los suelos de Moa, fueron de reconocimiento del área del yacimiento para ubicar y caracterizar los procesos erosivos existentes y crear el plano de inventario de los mismos [figura 3.3.1]. A continuación se presenta una síntesis de las características de las metodologías empleadas:

Etapas preliminar: Recopilación y revisión de la información precedente.

En esta etapa se realiza el análisis de las bibliografías existentes de la región y el área de estudio, de la cual se extrae y recopila la información útil para la investigación. Se realizan búsquedas en el Centro de Información del ISMM, donde se tuvo acceso a libros, revistas, trabajos de diplomas, tesis de maestría y doctorales, además de búsquedas de Internet.

Como resultado se obtuvo información referente a la descripción regional desde el punto de vista geológico, geomorfológico, topográfico, tectónico y morfotectónico.

En esta etapa se confecciona el marco teórico conceptual de la investigación.

De igual manera se utilizaron los mapas topográficos del área de estudio a escala 1: 25 000 y 1: 50 000.

Segunda y tercera Etapas: Procesamiento de la investigación.

En esta etapa inicialmente se realizaron marchas de reconocimiento de área de zona de estudio con el objetivo de caracterizar los procesos geológicos. Durante la segunda etapa se georeferencian todas las informaciones (mapas temáticos), se utilizaron los software Didger Versión 3.02, 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. En el Excel se realizaron todas las operaciones estadísticas con los datos, permitiendo observar los cambios del desarrollo de la erosión del sector de estudio.

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 3.3.1) Esta tabla nos permite agregar la información que queremos 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.

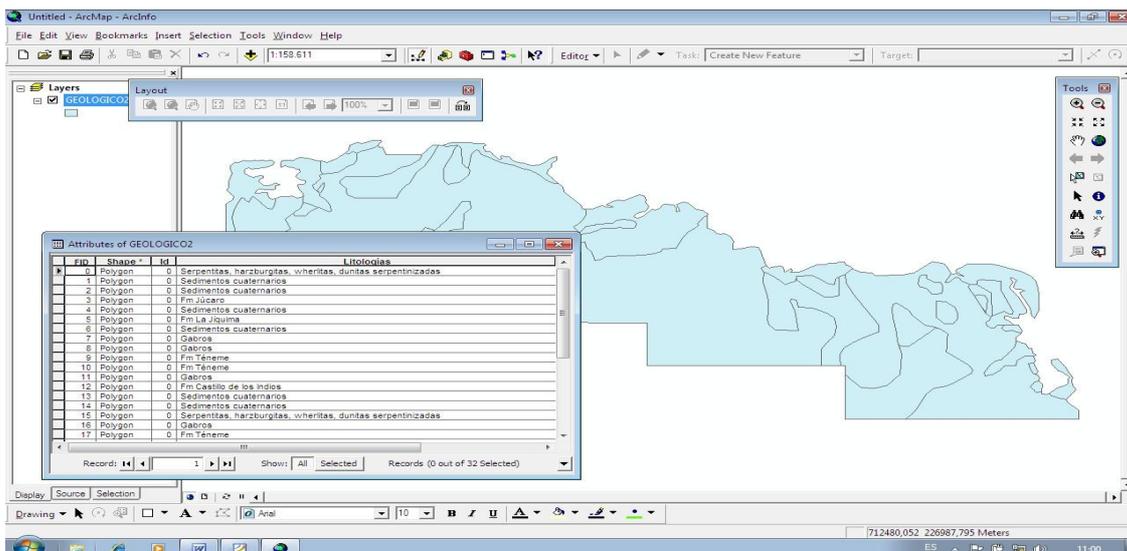


Figura 3.3.1 Visualización del proceso digitalización utilizado del ArcGIS 9.3

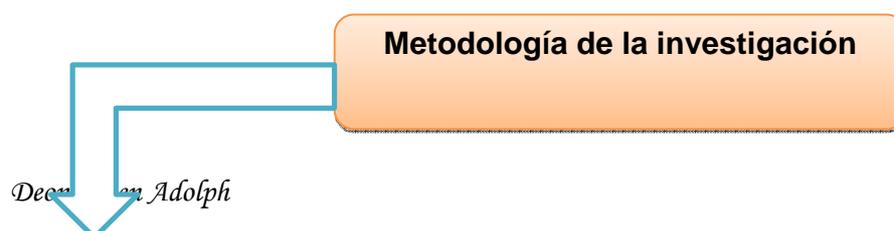


Las tablas (Table) se encuentran asociadas a cada tema y contienen información descriptiva. Están formadas por registros que representan características individuales de cada rasgo y por campos que definen las características de todos los elementos (Figura 3.3.1), en este caso muestra información acerca de los polígonos digitalizados.

La estructura final del proyecto GIS para conocer las zonas susceptibles está conformada por varios mapas temáticos los cuales permiten realizar una evaluación de los factores 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.



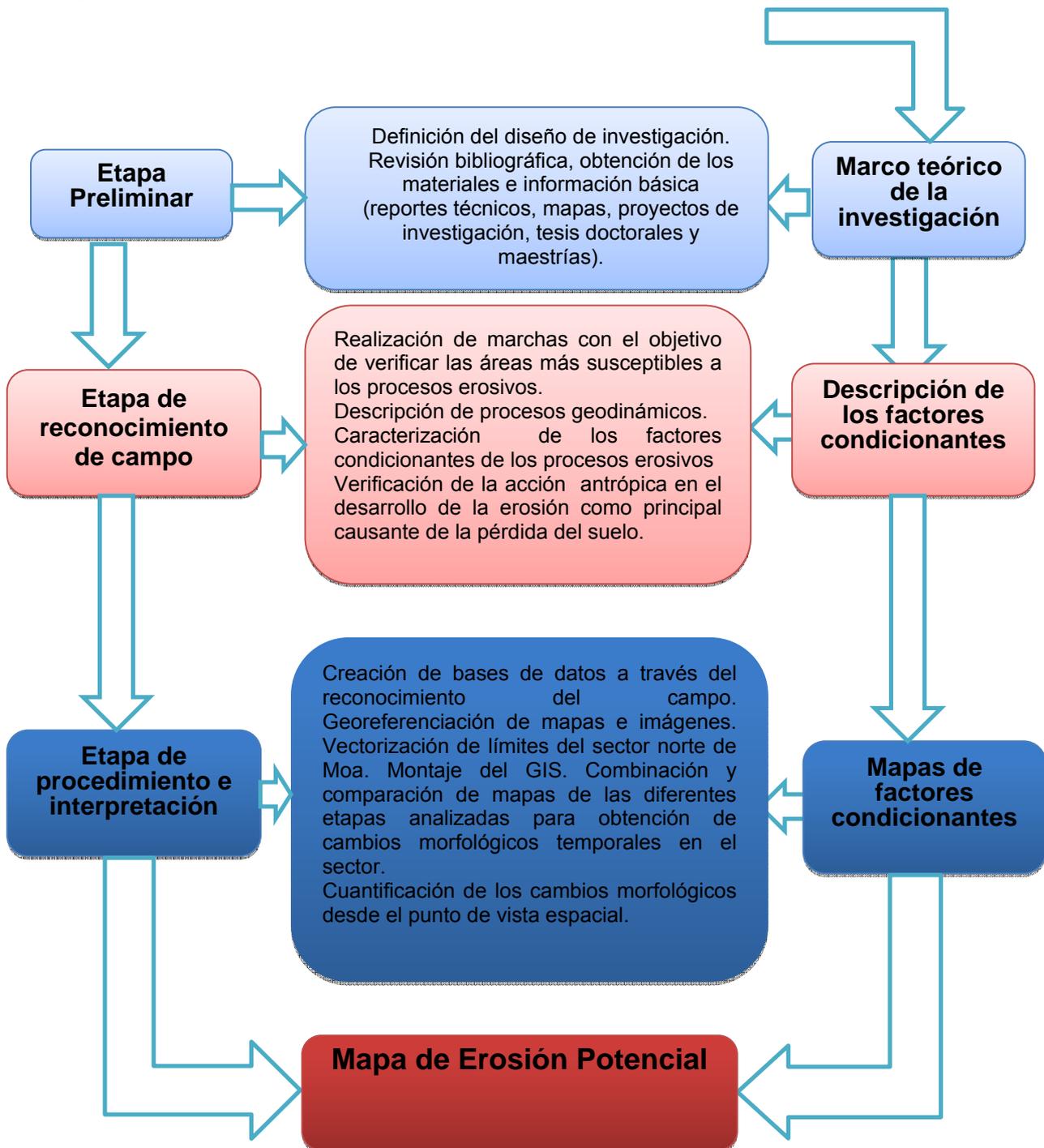


Figura 3.3.2 Metodología aplicada en la investigación



Resultados

Paso 1. El área de estudio ocupa un área de 547.35 Km², la dirección del mapa es hacia el norte. Mediante un análisis de los coeficientes de la erosión potencial: clima (Ip), tipo de suelo (SR) y el relieve (R) ($E_p=I_p*SR*R$); se clasificaron en clases (cm) siendo: **Suave (0-10cm); Media (11-22cm); Fuerte (23-32cm) y Muy fuerte (33-93)**

Paso 2. A partir del dicho área en km², se reclasificaron los mapas de factores de erosión potencial según los coeficientes expresados en la ecuación $E_p=I_p*SR*R$ propuestos en la Norma Cubana (NC) 36: 1999 y entonces se obtienen los mapas de factores Ip; SR; y R.

Paso 3. A partir del dicho área en km², se rasterizan los mapas vectoriales para entonces revelarlos a un mismo formato como lo de los mapas previamente puestos.

Paso 4. A partir del dicho área en km², se hace la operación entre de las capas al multiplicar los mapas de cada uno de los factores Ip; SR; y R ya sean reclasificados y rasterizados según la ecuación $E_p=I_p*SR*R$ de la NC 36: 1999.

Como resultado, se logró a obtener entonces el mapa de la erosión potencial de la pérdida de los suelos en el sector Norte del municipio Moa.

CAPITULO IV. EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN POTENCIAL DE LOS SUELOS.

➤ Introducción



- Trabajos cartográficos de campo.
- Análisis de los factores de la erosión potencial.
- Propuestas de medidas de mitigación de la erosión

Introducción.

En los años recientes comenzó a utilizarse la cartografía temática de factores para valorar la erosión de los suelos aprovechando las bondades de los SIGs. Los factores seleccionados por los diversos autores (Díaz et al., 2001; Cabrera, 2002; Díaz et al. 2005) son diferentes. La evaluación de la erosividad de la lluvia en general se realiza sin tener en cuenta la energía cinética o algunos de los índices de agresividad climática basados en datos pluviométricos que están reportados en la literatura mundial especializada (Fournier, 1960; Arnoldus, 1978; Oliver, 1980).

Para predecir la degradación de los suelos por erosión hídrica se han utilizado ampliamente diferentes métodos que permiten identificar pérdidas actuales y potenciales no tolerables, sobre la base de las cuales se seleccionan las mejores prácticas de control de la erosión (Del Val, 1987). Las investigaciones en esta dirección se iniciaron a principios del siglo pasado y desde entonces se han desarrollado una amplia variedad de metodologías.

En este trabajo se 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 el presente capítulo nos referiremos a los resultados del análisis de los factores condicionantes y su influencia sobre los suelos del municipio Moa, y la aplicación de los métodos en la cartografía de la pérdida o degradación del terreno al desarrollo de erosión potencial en el sector Norte del mismo.

4.1. 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 pérdida del suelo. A continuación se describen los puntos de documentación realizados en el sector:

Punto: 1

Ubicación. Camino detrás del ISMM.

Coordenadas. X: 694208 Y: 224120.

Litologías. Presencia de corteza laterítica de color rojo claro.

Vegetación. Variada con tendencia aumentar en la parte superior.

Suelo. Ferralítico de color rojizo-pardo.

Red fluvial. Existen cañadas intermitentes.

Fenómenos geodinámicos. Se desarrolla los procesos de erosión y meteorización: química y física

Acción antrópica. Se realizan caminos de exploración minera, presencia de tendedero eléctrico.

Punto: 2

Ubicación. Zona de exploración minera detrás del ISMM.

Coordenadas. X: 694987 Y: 224435.

Litologías. Presencia de corteza de intemperismo con granulometría fina de color rojo pardo y rocas serpentinizadas.

Vegetación. Variada con tendencia aumentar en la parte superior.

Suelo. Suelo ferralítico purpura y ferralítico rojizo-pardo.

Red fluvial. Existen cañadas intermitentes.

Fenómenos geodinámicos. Tanto la meteorización física como la erosión se desarrollan en el área con gran intensidad.

Acción antrópica. Se realizan la exploración minera.

Punto: 3

Ubicación. A 500m de la entrada de Punta Gorda.

Coordenadas. X: 704511 Y: 221224.

Litologías. Presencia de corteza laterítica, rocas serpentinizadas.

Vegetación. Baja densidad.

Suelo. Suelo ferralítico amarillo.

Red fluvial. Existen cañadas intermitentes, y otras que provienen de alimentación subterránea.

Fenómenos geodinámicos. Presencia de meteorización y una erosión que se desarrollan con gran intensidad.

Acción antrópica. Presencia de una carretera, torre de alta tensión, tubería de agua industrial, obra de fábrica puente.

Punto: 4



Ubicación. A 400m de la entrada de Punta Gorda.

Coordenadas. X: 705031 Y: 221093.

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

Vegetación. Baja densidad.

Suelo. Suelo ferralítico amarillo.

Red fluvial. Existen cañadas intermitentes, y otras que provienen de alimentación subterránea.

Fenómenos geodinámicos. Tanto la meteorización como la erosión en cárcavas tienen un gran desarrollo.

Acción antrópica. Presencia de una carretera, torre de alta tensión, tubería de agua industrial, obra de fábrica puente.

Punto: 5

Ubicación. Pueblo nuevo de Centeno.

Coordenadas. X: 693438 Y: 222341.

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

Vegetación. La vegetación es variada la cual aumenta en la parte superior.

Suelo. Suelo de color rojizo-amarillento.

Red fluvial. No se observa el desarrollo de la red fluvial.

Fenómenos geodinámicos. Tanto la meteorización como la erosión en cárcavas y laminar tienen un gran desarrollo.

Acción antrópica. Se realiza la agricultura, torre de alta tensión.

Punto: 6

Ubicación. Avenida 1ro de Mayo frente ETECSA.

Coordenadas. X: 696652 Y: 223331.

Litologías. Presencia de corteza laterítica arcillosa y esqueleto de sílice de color rojo pardo.

Vegetación. La vegetación es escasa.

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

Red fluvial. Existen cañadas intermitentes.

Fenómenos geodinámicos. Tanto la meteorización como la erosión en cárcavas y surcos tienen un gran desarrollo.

Acción antrópica. Presencia de monumento, tendido eléctrico, señalizaciones del tránsito.

Punto: 7

Ubicación. Puente Pedro Sota Alba.

Coordenadas. X: 697788 Y: 221935.

Litologías. Presencia de suelo arcilloso de color rojo claro.

Vegetación. Baja densidad debido a la contaminación del medio.

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

Red fluvial. Es densa debido a la presencia del río Cabaña.

Fenómenos geodinámicos. La meteorización y la erosión laminar no tienen un gran desarrollo.

Acción antrópica. Se observa el puente, tubería conductora de ácido, tendido eléctrico, conducto que derraman desechos de la planta al río.

Punto: 8

Ubicación. Entrada del Puerto de Moa.

Coordenadas. X: 700505 Y: 222838.

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

Vegetación. Baja densidad debido a la erosión.

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

Red fluvial. Existen cañadas intermitentes.

Fenómenos geodinámicos. La meteorización y la erosión en cárcavas tienen un gran desarrollo.

Acción antrópica. Presencia de tendido eléctrico, tuberías conductoras de ácidos sulfúricos.

Punto: 9

Ubicación. Puente por río Jiguaní

Coordenadas. X: 720070 Y: 211578.

Litologías. Presencia de corteza laterítica de color rojo pardo y amarillo.

Vegetación. Variada con tendencia aumentar en la parte superior.

Suelo. Ferralítico de color rojizo-pardo.

Red fluvial. Existen cañadas intermitentes.

Fenómenos geodinámicos. Se desarrolla la formación de la erosión eólica y la meteorización.

Acción antrópica. Se realizan caminos de exploración minera, presencia de tendido eléctrico.

Punto: 10

Ubicación. El arroyo del río Jiguaní

Coordenadas. X: 720598 Y: 212300.

Litologías. Presencia de corteza laterítica de color rojo pardo y amarillo.

Vegetación. Variada con tendencia aumentar en la parte superior.

Suelo. Ferralítico de color rojizo-pardo.

Red fluvial. Existen cañadas intermitentes.

Fenómenos geodinámicos. Se desarrolla la formación de la erosión laminar.

Acción antrópica. Se realizan caminos de exploración minera, presencia de tendido eléctrico, entretenimiento.

4.2. Análisis de los factores por los coeficientes de la erosión potencial.

4.2.1 Índice pluviométrico.

El índice pluviométrico (I_p) en el mapa de la (Figura 4.2.1) se caracteriza por un área total de 547,35 Km², demuestra la influencia de la intensidad y cantidad de los valores medios de las precipitaciones anuales en (mm) que varían de 1200 hasta 3400mm siendo el valor máximo. Según el atlas nacional de Cuba, las tasas de precipitaciones se encuentran con el valor mínimo 1200mm hacia la dirección noroeste mientras que a menudo que se intensifican las tasas de precipitaciones van encontrándose hacia la dirección sur-central.

Es válido mencionar que en el mapa de la (Figura 4.2.2) se ocupa también la misma área mencionado previamente, pero demuestra la influencia del índice pluviométrico (I_p) de este sector Norte del municipio Moa que varían de 36 hasta 89 siendo el valor máximo. Al igual del mapa anterior, se encuentra en la misma dirección.

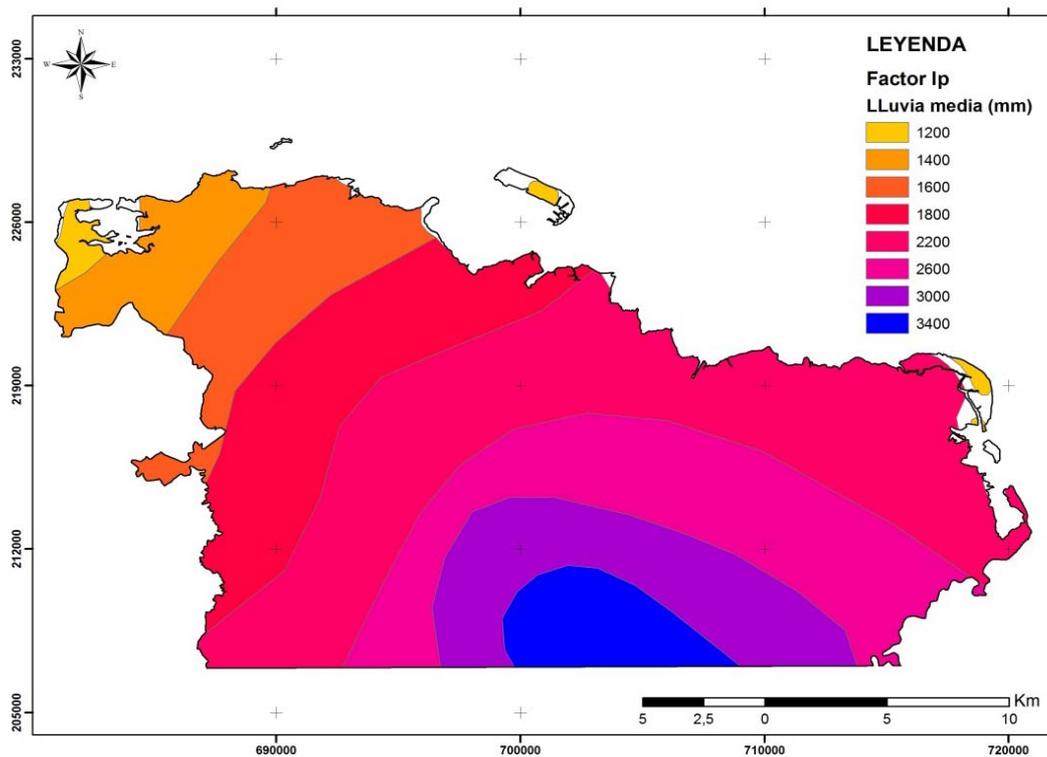


Figura 4.2.1 Mapa del índice pluviométrico I_p (escala original 1:25 000).

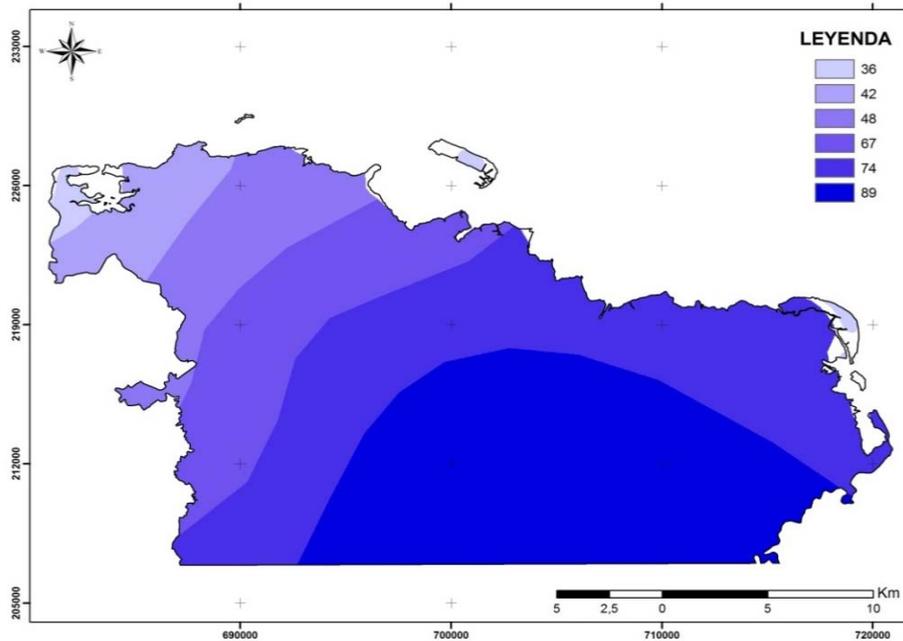


Figura 4.2.2 Mapa del índice pluviométrico I_p reclasificado (escala original 1:25 000).

Tabla 4.2.1 Caracterización de los factores I_p del mapa

Clases Lluvia medias anual (mm)	Coficiente I_p	Área (km ²)
1000-1200	36	6,16
1200-1400	42	28,14
1400-1600	48	50,70
1600-1800	67	81,57
1800-2200	74	177,07
2200-2600	89	104,57
2600-3000	89	64,57
3000-3400	89	28,39

4.2.2 Índice del suelo.

El índice del suelo (SR) en el mapa de la (Figura 4.2.2) se caracteriza por un área total de 547,35 Km², demuestra la influencia el grado de erosión hídrica o potencial en (%) de los coeficientes: suelo y roca (SR) que varían de 0,17 hasta 0,35% siendo el valor máximo. Según el atlas nacional de Cuba, el grado de erosión potencial se encuentra con el valor mínimo 0,17% que corresponde al Ferralítico lixiviado hacia la dirección noroeste mientras que a menudo que se intensifican el grado de erosión potencial se va encontrándose hacia la dirección sur-central.

El mapa entonces de la (Figura 4.2.4) abarca un área total de 547,35 Km², demuestra la influencia del grado de erosión potencial pero delimitando los valores 0,17 hasta 0,35% siendo los valores que corresponden a los coeficientes de las rocas y suelos que se encuentran en el área de estudio.

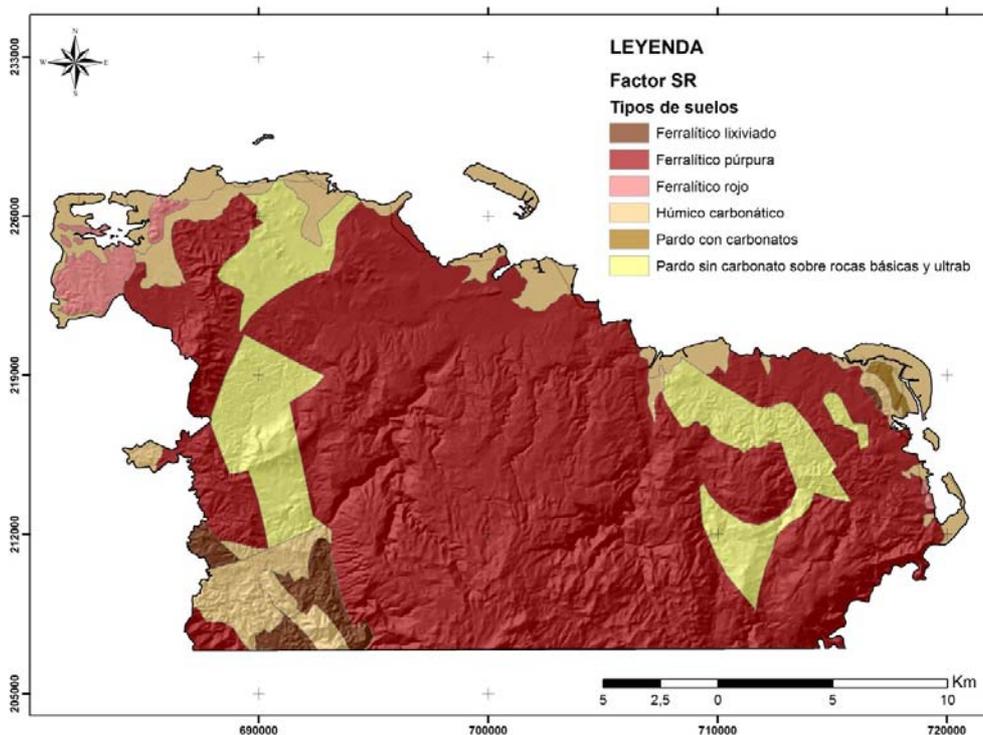


Figura 4.2.2 Mapa del índice de suelos SR (escala original 1:25 000).

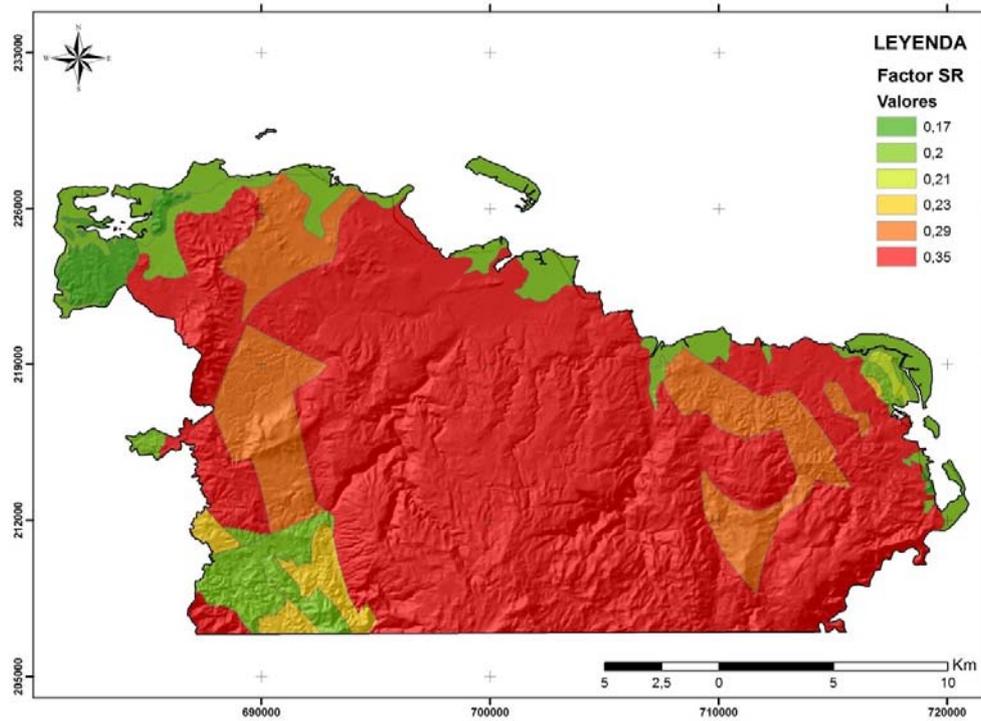


Figura 4.2.3 Mapa del índice de suelos SR reclasificado (escala original 1:25 000).

Tabla 4.2.3 Caracterización de los factores SR del mapa

Clases (cm)	Coefficientes SR	Área (Km ²)
Ferralítico lixiviado	0,23	12,04
Ferralítico púrpura	0,35	388,97
Ferralítico rojo	0,17	10,42
Húmico carbonatico	0,2	62,82
Pardo con carbonatos	0,21	1,43
Pardo sin carbonatos sobre rocas básicas y ultrabásicas	0,29	71,65

4.2.3 Índice del relieve.

Análisis morfométrico. El estudio morfométrico se enfoca al estudio de indicadores de levantamientos del terreno dado por el comportamiento de las isobasitas de 2do y 3er orden en el área de estudio. Los mapas mostrados en la figuras (4.2.3) y (4.2.4). muestran un proceso de levantamiento en el sector sur central, delimitado por la

isobasa 500m de 2do orden; los límites de esta área son sinuosos e irregulares demostrando fundamentalmente variaciones estructurales asociadas a sistemas de fallas que cortan el relieve. El las isobasas del 3er orden, específicamente las de 160m forman cierre hacia el límite oeste asociado morfológicamente al bloque sur y norte del cerro Miraflores, interceptado por una zona de mínimos de dirección noroeste-sureste asociado a la falla que corta dicho macizo; el descenso de los valores de isobasitas hacia el norte es gradual hasta llegar a valores mínimos indicando un relieve escalonado con descenso de sus cota hacia el norte. Los procesos de erosión son más intensos por la zona limítrofe de este sector levantado, asociado a los cauces de los ríos Cabañas, Moa, Cayo Guam y Jiguaní y su sistema de afluentes.

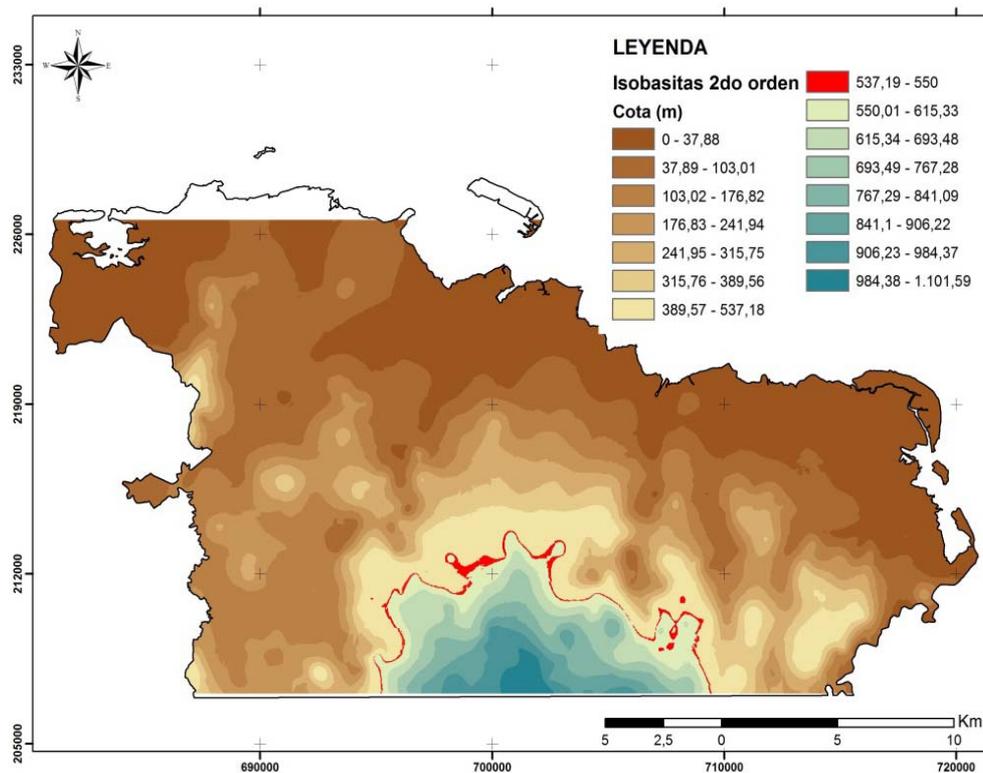


Figura 4.2.3 Mapa de isobasitas de 2do orden (Escala original 1:25 000).

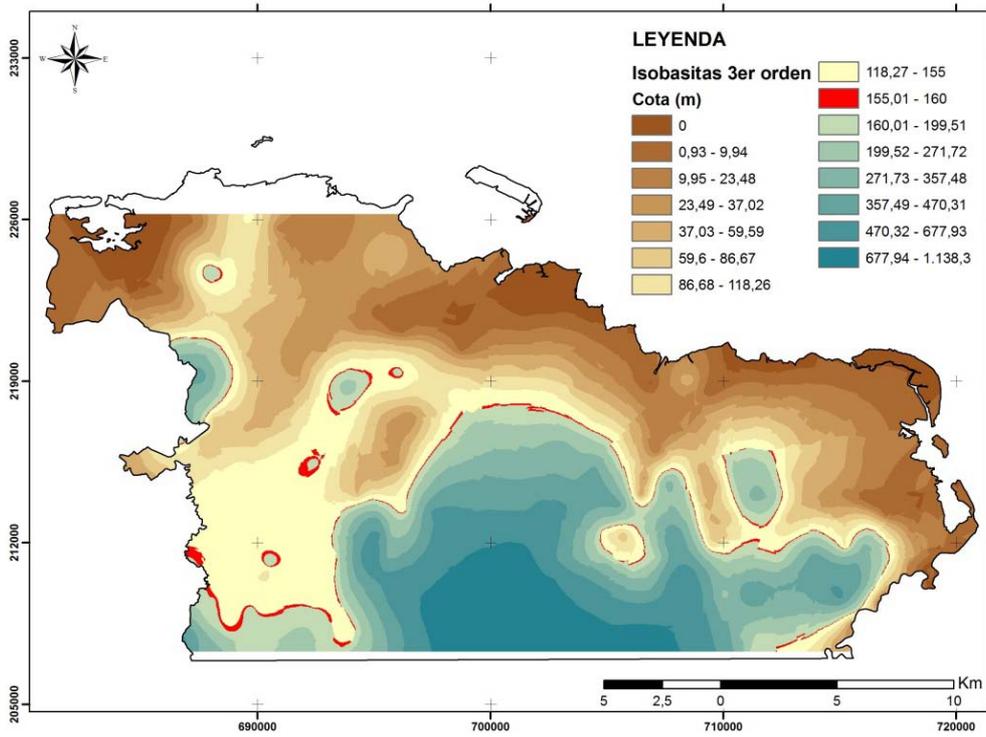


Figura 4.2.4 Mapa de isobasitas de 3er orden (Escala original 1:25 000).

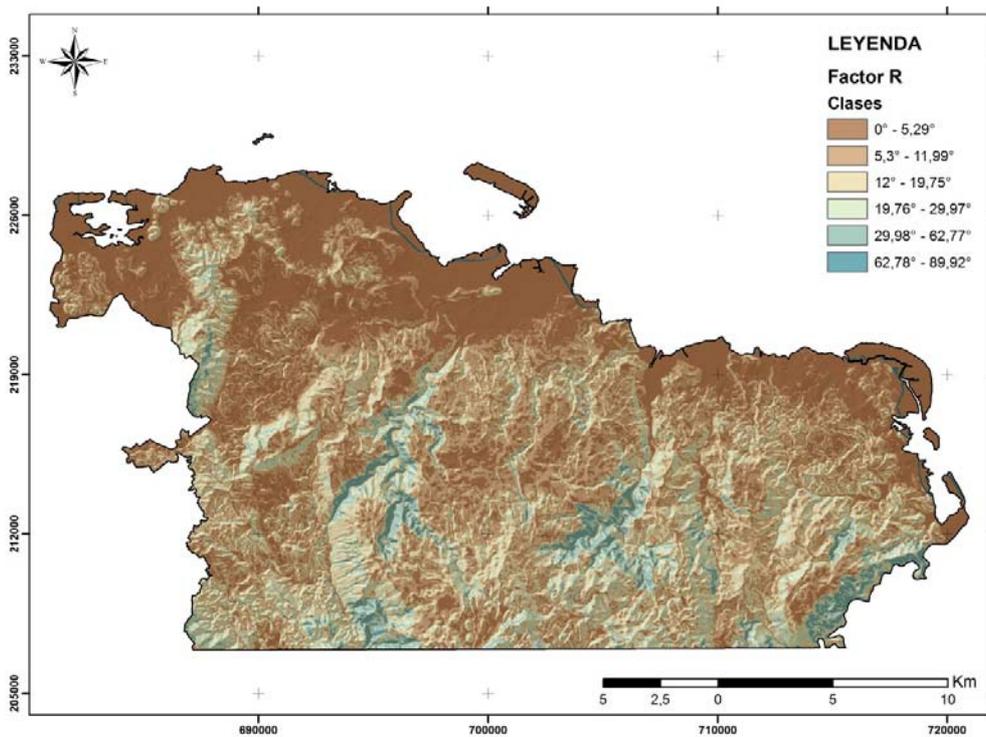


Figura 4.2.5 Mapa del índice del relieve R (escala original 1:25 000).

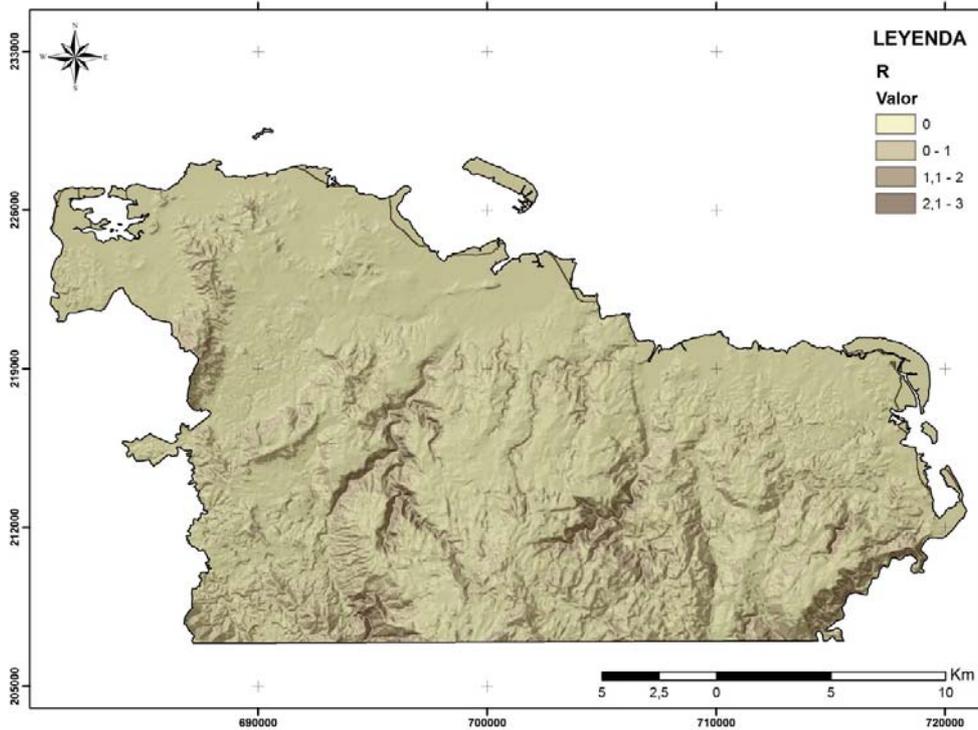


Figura 4.2.6 Mapa del índice del relieve R reclasificado (escala original 1:25 000).

Tabla 4.2.3 Caracterización del factor R del mapa

Clases de pendientes (grados)	Número de pixel	Porcentaje del área total
0-5,29	280011	32,03
5,30-11,99	269446	30,82
12-19,75	183081	20,94
19,76-29,97	99279	11,36
29,98-62,77	39543	4,52
62,78-89,92	2811	0,32

4.3. Erosión potencial de los suelos.

Tabla 4.3.1 Caracterización de los grados de la erosión potencial

Erosión potencial (Ep)			
Clases (cm)	Descripción	Cantidad de píxeles	% del área total
0 – 10	Suave	641147	74,20
11 – 22	Media	41644	4,82
23 – 32	Fuerte	149901	17,35
33 – 93	Muy fuerte	31418	3,63

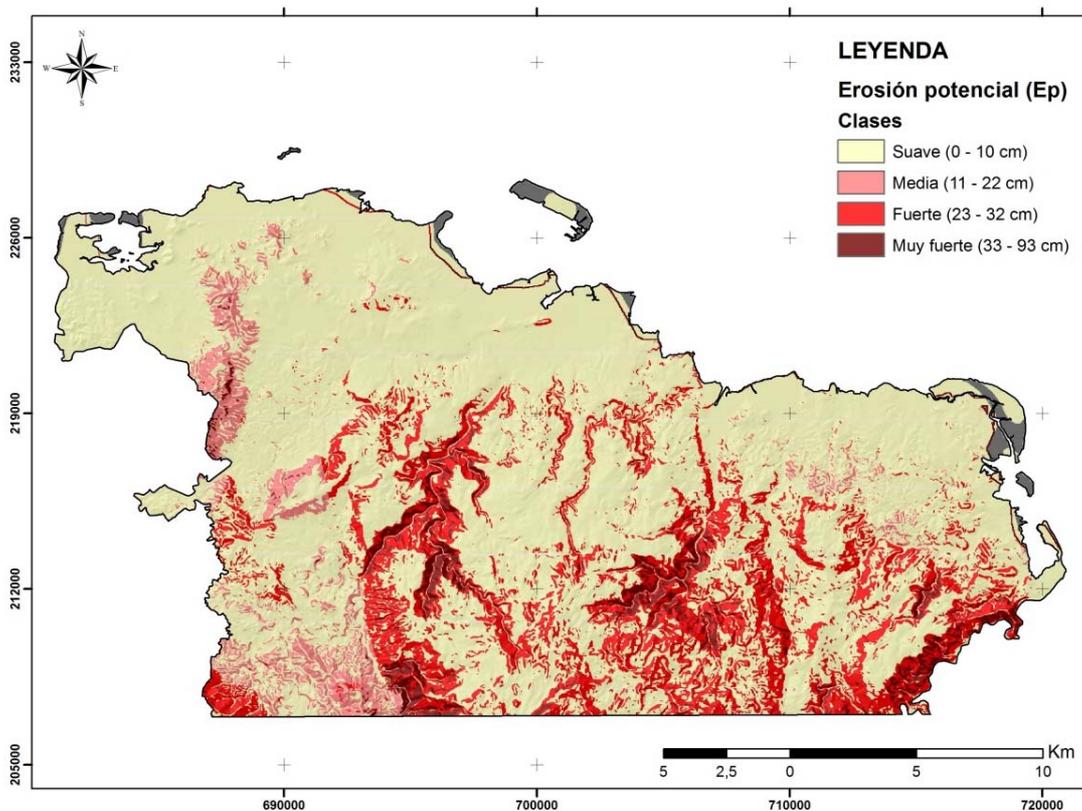


Figura 4.3.1 Mapa de la erosión potencial (Ep) de los suelos (escala original 1:25 000).

La erosión potencial de los suelos (**EP**) demuestra la influencia del grado de erosión potencial. El grado de la erosión potencial se clasifica mediante una operación en ArcGis 9.3, donde se clasifica en clases (cm) siendo: Suave (0-10cm); Media (11-22cm); Fuerte (23-32cm) y Muy fuerte (33-93). Dentro la categoría con el grado de erosión potencial suave, donde se observa en la (Figura 4.3.2), las áreas que son a bajos niveles de procesos erosivos o no presentan el desarrollo de procesos erosivos.



Algunos de los tipos de suelos que se encuentran dentro esa clase son: Ferralítico rojo sobre caliza, Húmico carbonatico sobre marga, Pardo sin carbonato sobre rocas básicas y ultrabásicas y Pardo con carbonatos. Además, esa clase está asociada a los niveles bajos del relieve. Dentro la clase Media se puede revelar las áreas que tienen un nivel medio del relieve y entonces se puede denotar los tipos de suelos: Pardo sin carbonato sobre rocas básicas y ultrabásicas, Ferralítico lixiviado y Pardo con carbonatos. La clase Fuerte es donde el relieve aumenta y se revela el tipo de suelo Ferralítico púrpura. Así que en la clase Muy fuerte es donde el relieve es alto y también se revela entonces los Ferralítico púrpura.

CONCLUSIONES

1. Como resultado de la estimación de la pérdida de suelo por erosión en el sector norte del municipio Moa se determinó que los suelos formados sobre rocas ultrabásicas y rocas básicas son lo que presentan las mayores susceptibilidades a los procesos erosivos como los Ferralítico Púrpura.
2. La manifestación de los procesos erosivos intensos en el área está condicionada por los sistemas de fallas activos, así como por la zona de Centeno, los bloques morfotectónicos de mayor levantamiento en el territorio como el Cerro Miraflores.
3. La acción antrópica influye de forma negativa provocando la intensificación de los procesos erosivos a través de los diferentes tipos de suelos, la construcción de caminos, la explotación de cantos rodados en los cauce de los ríos que aumenta la erosión laminar, sin embargo, la de más relevancia es la actividad minera, que resulta la actividad económica predominante en el municipio.
4. Al evaluar las tasas de pérdidas de suelos por erosión mediante el uso del sistema de información geográfica se permite evidenciar las áreas del municipio que son más susceptibles a los procesos erosivos, como las cuencas hidrográficas de los afluentes de los ríos Cabaña, Moa, Cayo Guam y Jiquaní.



RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio sobre la pérdida del suelo en todo el municipio para determinar el comportamiento de los procesos geodinámicos y tomar medidas para disminuir los efectos de estos fenómenos.
2. Realizar un plan de medidas con las autoridades pertinentes que tenga como objetivo principal trabajar en la rehabilitación de las áreas afectadas por la pérdida de suelo.

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.**

1. Ackers, P. and White, W., "Sediment transport: New approach and Analysis", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 99 N HY11, Proc. Paper 10167, November 1973, pp 2041-1060
2. Almaguer, Y. 2005. -Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento Punta Gorda. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Dpto. Geología. (Tesis doctoral) 108p.
3. Almaguer, Y. Tesis de maestría en Geomecánica. ISMM. Moa. 2001.
4. Almaguer, Y. y R. Guardado. 2006. -Tipología de movimientos de masas en cortezas lateríticas residuales del territorio de Moa. Cuba. Minería y Geología. Vol. 1 No. 1. ISSN 0258 5979.
5. Almorox, J. De Antonio, R, Saa, A. Díaz, M. C y Gascó, J. M. (1994) Métodos de estimación de la erosión hídrica. Editorial Agrícola Española, S. A. Madrid
6. Andre J.E. (1981), "Variation of soil erodibility with geology". Journal of geophysical Research. Vol. 66 N° 10. pp. 721 – 788
7. Ayres Q.C. (1960), "La erosión del suelo y su control". Ediciones Omega S.A. Barcelona
8. Beatriz, M. V y Manuel J. F "La investigación de suelos erosionados: métodos e índices de diagnóstico" Dpto. Minería y Geología v. 21 n. 2, 2005. 1-6p.
9. Blaikie, P. y Brookfield, H. 1987. Land Degradation and Society. Methuen, London and New York.
10. Bogaart, P., 2003: Process-based modelling of fluvial response to rapid climate change with reference to the River Maas during the Last Glacial-Interglacial Transition. Vrije Universiteit, Amsterdam, Netherlands. (PhD thesis), 208 pp. URL: <http://www.dow.wau.nl/whh/hydro/patrick.bogaart/thesis/pwbthesis.pdf>(2004)
11. Cartaya, M 2001 "Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental de país" Resumen de Tesis Doctoral. Dpto. Geología. ISMM. Moa.pdf.



12. Cervantes, Y., Almaguer, Y., Orozco, G., Pierra, A., y Gursky, H. J 2007 "Evidencia documental de los cambios geomorfológicos en Cayo Moa Grande" Dpto. Geología y Paleontología. ISMM. Moa.
13. Cervantes, Y., Almaguer, Y., Orozco, G., Pierra, A., y Gursky, H. J 2009 "Variación de la dinámica erosiva y acumulativa en Cayo Moa Grande, Bahía de Moa, Cuba. Período 1972-2007" Dpto. Minería y geología. V.25. n.4
14. César, M., y Degorge, G. 2010 "Desert pavements as indicators of soil erosion on aridic soils in north-east Patagonia (Argentina)" (1) Unidad de Investigación Ecología Terrestre, CENPAT — CONICET, Boulevard Brown 2825, (CP 9120) Puerto Madryn, Chubut, Argentina (2) Instituto de Cooperación Económica Internacional (ICEI), Viamonte 2795, Segundo Piso, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
15. Comesañas, J. L. D y un conjunto de autores. resultados vinculados con la erosión hídrica en los estudios geólogos ambientales de los territorios y las cuencas hidrográficas. iv taller internacional de ciencias de la tierra y medio ambiente. memorias geomín 2001, la Habana, 19-23 de marzo. isbn 959-7117-10-x
16. CORINE-CEC, (1992). Soil erosion risk and important land resources. An assessment to evaluate and map the distribution of land quality and soil erosion risk. Office for official publications of the European communities. EUR. 13233. Luxemburgo.
17. Correa, P., 2003 "Estudio de la erosión en cárcavas en áreas degradadas del sector Este del parque nacional Alejandro de Humboldt" Tesis de Maestría en Geología. Dpto. Geología. ISMM. Moa. 59p
18. Del Val, J., 1987: "Factores que controlan los procesos de erosión sedimentación". Riesgos Geológicos. Serie Geológica Ambiental. ITGE, Madrid, pp. 20-33.
19. Emerson W.W. (1964), "Crumb test". Australian Journal of soil research, Vol 2 p. 211-217.
20. Gorshkvi, G; Yakushova, A. Geología General. Greko (trad). URSS : Moscú, 1977, p 132 - 133
21. Hernández, A 2012 "Estudio sobre la vulnerabilidad y el riesgo sísmico del sector Atlántico, Miraflores y Vivienda Checa" Dpto. Geología. ISMM. 37p.
22. <http://www.slideshare.net/amicollnn/cap01-erosionconceptosbasicos#btnNext>



23. Jordán, A., 2000: El medio físico del Campo de Gibraltar. unidades geomorfoedáficas y riesgos de erosión. Universidad de Sevilla, (Tesis doctoral), 472 pp.
24. Kappelle, M. 2009. "Erosión de Suelos." En: Fundación Global Democracia y Desarrollo (FUNGLODE)/Global Foundation for Democracy and Development (GFDD). Diccionario Enciclopédico Dominicano de Medio Ambiente. Disponible en línea en: <http://www.dominicanaonline.org/DiccionarioMedioAmbiente/es/cpo_erosion_bis.asp>
25. Laflen, J.M., Lane, L.J. y Foster, G.R. 1991. WEPP, a new generation of erosion prediction technology. J. of Soil and Water Conservation 46: 34-38.
26. Marina, B., Febles, J. M., Tolón, A., y Lastra, X. 2011 "Evaluación de la erosión potencial de los suelos mediante la metodología CORINE en distritos pecuarios de la provincia Mayabeque, Cuba" (1) Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", CUJAE, Ave. 114, No. 11901, Marianao, La Habana, Cuba (2) Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez", Autopista Nacional y Carretera de Tapaste, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 45.
27. Mattioli, M. y Fonatanetto, A.: Estimación cuantitativa de las pérdidas de suelo por erosión hídrica en el Area Agrícola Sur. Dirección General de Extensión e Investigaciones Agropecuarias. Areas de Conservación y Manejo de Suelos. Santa Fe. Argentina, 1986
28. Michelena, Irurtia, Vavruska, Mon, Pitaluga. 1989. Degradación de Suelos en el Norte de la Región Pampeana. Intitulo Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Proyecto de Agricultura Conservacionista. Publicación Técnica N° 6. Pergamino Bs. As.
29. Mitsova H., y L. Mitsova, 1998: Process Modeling and Simulations, NCGIA Core Curriculum in GIScience. URL: <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u130/u130.html> (2002)
30. Mitsova, H., L. Mitsova, W. M. Brown, y D. Johnston, 1996: Multidimensional soil erosion/deposition modeling. Part III. Process based erosion simulation. University of Illinois, at Urbana – Champaign, URL: <http://web.aces.uiuc.edu/watershed/model.htm>, (2002).



31. Mojena, M., 2009. "Estudio geoambiental del parque nacional Alejandro de Humboldt, Sector la Melba" Trabajo de Diploma. Dpto. Geología. ISMM. Moa. 28-29p.
32. Muñoz, N., 2004. -Geología y mineralogía de yacimientos residuales de menas lateríticas de Fe- Ni-Co. Geología de Yacimientos Minerales. ISMM. Moa
33. Oficina Nacional de Normalización (NC 36).1999 Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La Habana.
34. Ogura, A y Soares, E. M "114 II Curso internacional de aspectos geológicos de protección ambiental procesos y riesgos geológicos procesos y riesgos geológicos" Investigadores División de Geología Instituto de Investigaciones Tecnológicas de São Paulo- IPT. 1986
35. Onstad, C.A. y Foster, G.R. 1975. Erosion modelling on a watershed. Trans. Amer. Soc. Agric. Eng. 18: 288-292
36. Polanco, P. A. 2012 "Influencia de los procesos geológicos en la morfología costera del municipio Moa" Dpto. Geología. Tesis de diploma. ISMM. Moa. 24-39p.
37. Pouey, N. E.: Algunos aspectos sobre la erosión hídrica. Estudio del caso para escurrimientos difusos en suelos cohesivos; Facultad de Ciencias Exactas , Ingeniería y Agrimensura, UNR, Rep.Nro.1,Argentina, 1992.
38. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A. y Porter, J.P. 1991. Revised Universal Soil Loss Equation. J. of Soil and Water Conservation 46: 30-33
39. Rodríguez A. (1999), Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación del riesgo de génesis tectónica. Tesis doctoral.
40. Rodríguez A. (2001), Geomorfología de la región de Moa. IV congreso de geología y minería. Geología del cuaternario, geomorfología y carso. ISMM. Moa. pdf.
41. Rodríguez A., 1998.-Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. Tesis doctoral. Departamento de geología, ISMM, Cuba
42. Rodríguez, A 2000 "Folleto Geomorfología. Departamento de geología. ISMM. Moa. pdf.
43. Suárez, J. 2010 "Adaptación Domus Consultoría Ambiental" S.A.C., Vol. IV Cap.12-6,



44. Vallejo, O y Martínez, A 2000 "Metodología para la cartografía digital de la erosión hídrica del suelo en un sector del municipio de Moa" cartografía digital (1). Dpto. Geología. ISMM. Moa.pdf
45. Wischmeier (1982), "New developments in estimating water erosion". Soil Conservation Society of America. Iowa.
46. Wischmeier, W.H. 1976. Use and misarse of the Universal Soil Loss Equation. J. of Soil and Water Cons. 31(1): 5-9
47. Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. Agriculture Handbook 537. United States Department of Agriculture. Science and Education Administration. 58 pp
48. Young, K.: (1977) Erosion potential of Soils, Proceed, 3rd Ted. Inter. Agency Sediment Conf., Denver, Etats Unis.
49. Young, R.A., Onstad, C.A., Bosch, D.D. y Anderson, W.P. 1987. AGNPS, Agricultural NonPointSource Pollution Model. A Watershed Analysis Tool. United States Department of Agriculture, Conservation Research Report 35.
50. Young, R.A., Onstad, C.A., Bosch, D.D. y Anderson, W.P. 1989. AGNPS: a nan-point-source pollution modal for evaluating agricultural watersheds. 1. Soil and Water Conservation 44: 168-173

ANEXOS**Anexo 1. Camino detrás del ISMM****Anexo 2. Zona de exploración minera detrás del ISMM.****Anexo 3. A 500m de la entrada de Punta Gorda.**



Anexo 4. . A 400m de la entrada de Punta Gorda.



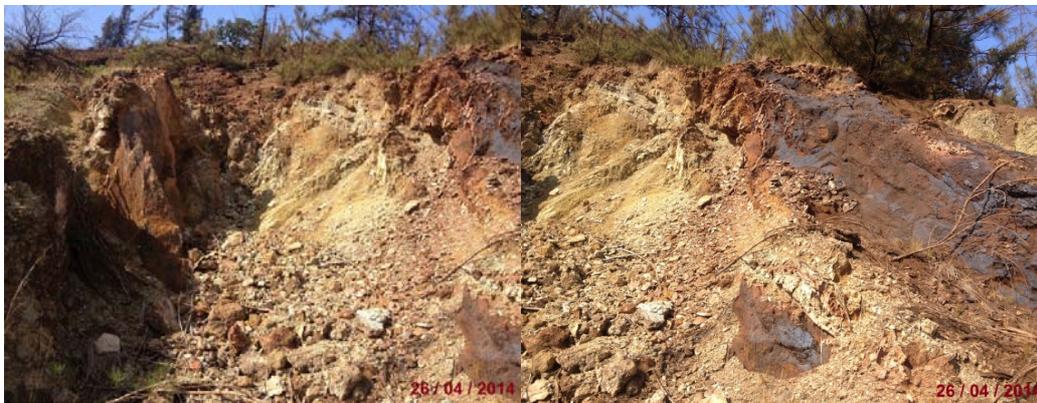
Anexo 5. Pueblo nuevo de Centeno.



Anexo 6. Avenida 1ro de Mayo frente ETECSA.



Anexo 7. Puente Pedro Sota Alba.



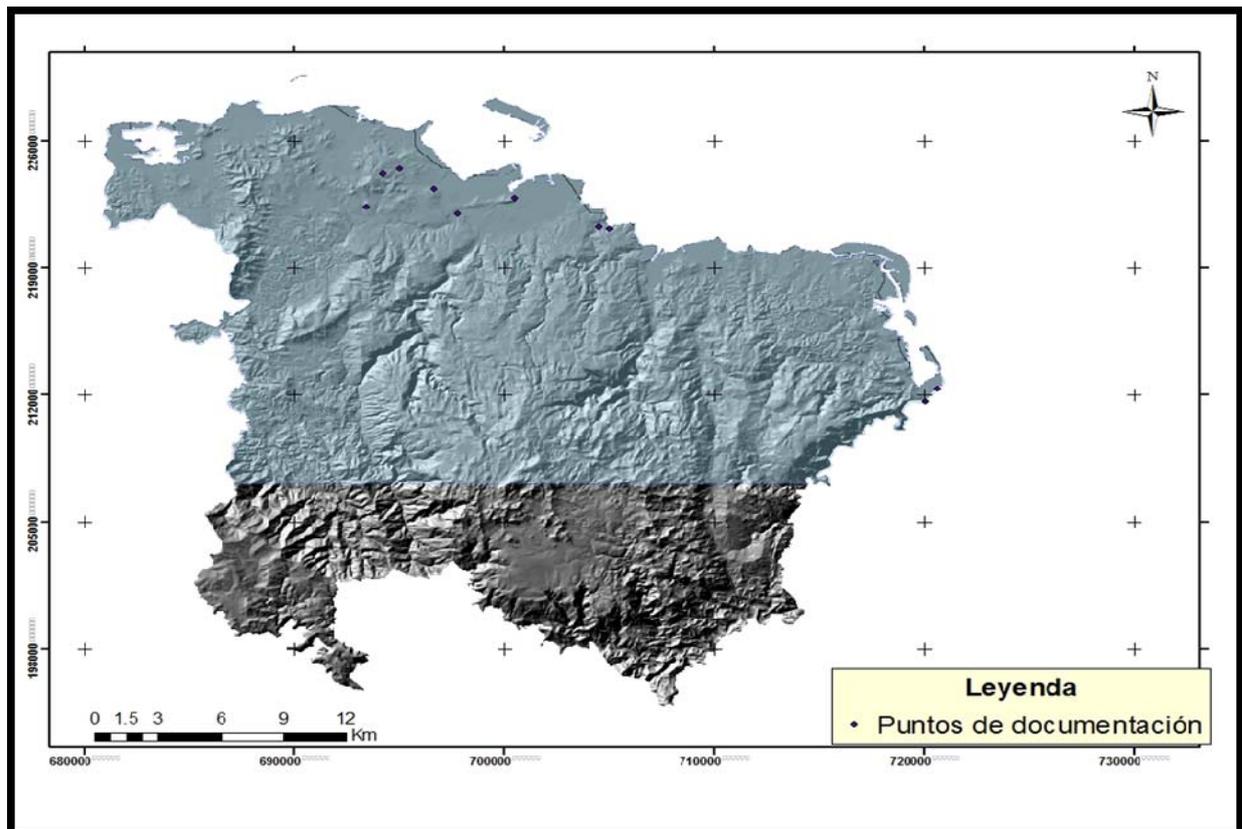
Anexo 8. Entrada del Puerto de Moa.



Anexo 9. A lado del Puente por el río Jiguaní



Anexo 10. El arroyo del río Jiguaní



Anexo 11. Mapa de ubicación de los puntos de documentación