



Instituto Superior Minero Metalúrgico
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad de Geología y Minería
Departamento de Geología

Título: Evaluación de la susceptibilidad a la degradación de los suelos en la parte baja y media de la cuenca del río Sagua.

Tesis en opción al título académico de Máster en Geología

Maestría en Geología, Mención Geología Ambiental

Autor: Ing. Yunier Céspedes Hernández

Tutor: Dr. C. Yosbanis Cervantes Guerra

Moa, 2019

Declaración de Autoría

Declaro ser el único autor de este trabajo y autorizo al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez” y al Departamento de Geología y a las Autoridades del municipio Sagua de Tánamo y provincia Holguín, para que hagan el uso que estimen pertinente con este trabajo

Para que así conste firmamos la presente a los ____días del mes de _____ del 2019.

Ing. Yunier Céspedes Hernández

Firma Autor

Dr.C. Yosbanis Cervantes Guerra

Firma Tutor

Pensamiento

"La tierra provee lo suficiente para saciar las necesidades de cada hombre, pero no la avaricia de cada hombre"

Mahatma Gandhi

"Produce una inmensa tristeza pensar que la naturaleza habla mientras los hombres no escuchan"

Víctor Hugo

Dedicatoria

- *Mis padres Hilda Hernández Góngora, Juan B Céspedes Cuenca*
- *Mi abuela Carmelina Cuenca Guerrero*
- *Mi hermana Mayte Céspedes Hernández*
- *Mi esposa Yamelin Laurencio Cuba*
- *A todos lo que me apoyaron en esta etapa de la vida.*

En mi familia dedico esta tesis a Yoslainy Céspedes Cuenca, Eddy Guilarte Cuesta.

Agradecimientos

Le agradezco a mi familia por el apoyo incondicional que me ha dado.

También quisiera agradecerle a mi tutor el doctor en ciencias geológicas Yosbanis Cervantes Guerra por la ayuda incondicional en esta investigación enseñándome y preparándome para un futuro lo cual se lo agradezco y se lo voy a agradecer siempre.

Por ultimo agradecer a todos los profesores del departamento de geología por su apoyo incondicional en la realización de esta investigación.

Resumen

En las últimas décadas los daños causados por el hombre a los recursos naturales son evidentes y no puede negarse que los procesos de degradación de los suelos se producen a una velocidad 10 veces mayor en las áreas destinadas a la producción de alimentos. La evaluación de la susceptibilidad a la degradación de los suelos en la parte baja y media de la cuenca del río Sagua, tiene como objetivo principal evaluar la susceptibilidad a la degradación de los suelos por erosión con el fin de contribuir a su manejo y conservación mediante métodos de cartografía digital.

La metodología aplicada integra métodos de cartografía geológica de campo, procesamiento digital de la información e integración y análisis en un sistema de información geográfico, se caracteriza geológicamente el área de estudio y se analizan los factores naturales y su relación con el índice de erosión estimado.

Como resultados se describen los factores que contribuyen al proceso de degradación y su influencia en los índices de erosión. Las zonas donde el índice de erosión es fuerte (e2) y están presentes los suelos pardos sin carbonatos son las más susceptibles. En las zonas de altas pendientes (16-89) donde ocurren los procesos erosivos más intensos provocando un aumento en la degradación de los suelos de la cuenca del río Sagua.

Abstract

In the last decades the damages caused by man to the natural resources are evident and it cannot be denied that the processes of degradation of the soils take place at a speed 10 times greater in the areas destined to the production of food. The main objective of the evaluation of the susceptibility to soil degradation in the lower and middle part of the Sagua river basin is to evaluate the susceptibility to soil degradation by erosion in order to contribute to its management and conservation through digital cartography methods.

The applied methodology integrates geological field mapping methods, digital information processing and integration, analysis in a geographic information system, the study area is geologically characterized, and the natural factors and their relationship with the estimated erosion index are analyzed.

The results describe the factors that contribute to the degradation process and its influence on erosion rates. The zones where the index of erosion is strong (e2) and these brown soils without carbonates are the most susceptible. In areas of steep slopes (16-89) where the most intense erosive processes occur, causing an increase in the degradation of the soils of the Sagua river basin.

Contenido

ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
Introducción	3
CAPITULO 1. MARCO TEORICO REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISIOGRAFICA DEL ÁREA..... 7	
Introducción	7
1.1 Conceptos y definiciones relacionadas con la degradación de los suelos.....	7
1.2.1 Procesos de degradación del suelo por salinización.....	9
1.2.2 Procesos de degradación del suelo por compactación.....	9
1.2.3 Procesos de degradación del suelo por acidificación	9
1.2.4 Procesos de degradación del suelo por contaminación química	10
1.3 Causas de la degradación	11
1.4 Cuencas.....	12
1.5 Los Sistemas de Información geográfica en el estudio de la degradación	13
1.6 Investigaciones precedentes	14
1.8 Características fisiográficas del municipio Sagua de Tánamo.....	18
1.8.3 Particularidades climáticas de la región	20
1.9.2 Características Geomorfológicas	26
CAPÍTULO 2. PROCEDIMIENTO PARA EVALUAR LA SUSCEPTIBILIDAD A LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS POR EROSIÓN EN LA PARTE BAJA Y MEDIA DE LA CUENCA DEL RIO SAGUA..... 28	
2.5 Descripción de las variables utilizadas en el estudio.....	32
2.5.1 Índices de Erosión Estimado	32
2.5.2 Geología del área	34
2.5.3 Relieve del terreno	34
CAPÍTULO 3. Evaluación de la susceptibilidad a la degradación por erosión en la parte baja y media de la cuenca del rio Sagua. 37	
3.1 Trabajos cartográficos de campo	37
Conclusiones Generales.....	48
Recomendaciones	49
Bibliografía	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de degradación de los suelos

Figura 2. Ubicación del área de estudio

Figura 3. Esquema tectónico

Figura 4. Mapa geológico escala 1:100000

Figura 5. Ubicación de puntos de documentación

Figura 6. Metodología para la evaluación

Figura 7. Mapa de índice de erosión

Figura 8. Mapa del relieve del terreno

Figura 9. Mapa del tipo de suelo de la cuenca

Figura 10. Mapa de tectónica de la cuenca

Figura 11. Comportamiento del índice de erosión en los puntos de documentación

Figura 12. Relación de la geológica y el índice de erosión

Figura 13. Relación del relieve y el índice de erosión

Figura 14. Relación de la tectónica y el índice de erosión

Figura 15. Relación del tipo de suelo y el índice de erosión

Figura 16. Mapa de la pendiente y el índice de erosión

Figura 17. Mapa de susceptibilidad a la degradación

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del índice de erosión utilizado

Tabla 2. Descripción del factor geológico

Tabla 3. Descripción del factor relieve del área

Tabla 4. Descripción del factor tectónico

Tabla 5. Descripción del factor tipo de suelo

Tabla 6. Descripción del factor pendiente

Tabla 7. Descripción de los niveles de degradación

Introducción

La gestión sustentable de los recursos naturales es un reto a nivel mundial, y la producción agrícola es una necesidad básica para garantizar la seguridad y soberanía alimentaria de los habitantes a escala global, por lo cual es de gran importancia el uso racional del suelo. El deterioro de los recursos naturales y la contaminación ambiental son los problemas con mayor incidencia en los trópicos.

En la actualidad existen extensas áreas afectadas por procesos de degradación tales como: la erosión acelerada, la desertificación, compactación, endurecimiento, acidificación, reducción en el contenido de materia orgánica, disminución de la biodiversidad genética y agotamiento de la fertilidad natural del suelo (Velásquez et al. 2007).

Según la Organización Mundial para la Alimentación (FAO), el 33% de los suelos del planeta están moderada o altamente degradados debido a la erosión (FAO, 2015).

En el Caribe, este fenómeno afecta varias naciones entre las que sobresale Cuba. Según Vantour et al. (2016), durante los últimos 15 años se han producido significativos y visibles cambios ecológicos en el país, en algunas áreas es notable el deterioro de la capacidad productiva de las tierras. Estos fenómenos son el resultado de los cambios globales contemporáneos, así como de la actividad antrópica en el manejo inadecuado del suelo y el agua y otros factores productivos, generando procesos de compactación, erosión, salinidad, mal drenaje y pérdida de la fertilidad en los recursos edáficos.

En el mismo estudio, los autores exponen que el 59,95% de la superficie del territorio nacional presentan un nivel elevado de degradación de los suelos y sólo el 40,05% está poco o no degradado. Las mayores incidencias en esta degradación se deben a los procesos de erosión, salinidad, mal drenaje, compactación, acidez, bajo contenido de materia orgánica y baja fertilidad natural de los suelos (Vantour et al., 2016).

En el “Congreso Internacional de Suelos 2018” celebrado en La Habana, se expuso que actualmente, el 71,23 % de la superficie agrícola del país está afectada por la erosión, y de esa cifra un 43 % se califica de fuerte a media (Antón, 2018). En respuesta a esto y a los compromisos contraídos por el País en la Cumbre de Medio Ambiente y Desarrollo celebrada en 1992 en Río de Janeiro y en la Convención de las Naciones Unidas sobre Desertificación y Sequía (1997); en el 2003 se elaboró el Programa Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía (PAN).

En la presente investigación evalúa como influyen los factores analizados, en la degradación de los suelos de la cuenca del río Sagua. Obteniendo un mapa de susceptibilidad a la degradación de los suelos, con el uso técnicas computacionales y software, que permiten analizar grandes de cantidad de áreas afectadas, determinar la susceptibilidad y la vulnerabilidad del terreno al desarrollo de los procesos geodinámicos de manera más precisa y confiable.

Antecedentes del problema

En la región que ocupa la parte media y baja de la cuenca del río Sagua, existen evidencias de pérdida de suelo lo cual es motivado por factores climáticos o procesos geodinámicos. Según RAUDAL (2017), en esta cuenca se estima una pérdida mínima del suelo de 12 t/ha. Debido a esto, el Ministerio de la Agricultura (MINAGRI) incorporó estos suelos en un programa de rehabilitación a través de barreras vivas y muertas, para la disminución de la erosión.

Problema. Insuficiente conocimiento de la influencia de los procesos geodinámicos que inciden en la susceptibilidad a la degradación de los suelos de la parte baja y media de la cuenca del río Sagua, que afecta los elementos del medio físico y compromete la sustentabilidad de las actividades socioeconómicas del municipio.

Objeto de estudio. Los suelos de la parte baja y media de la cuenca del río Sagua.

Campo de acción. La degradación de los suelos en la parte media y baja de la cuenca del río Sagua.

Objetivo General. Evaluar la susceptibilidad a la degradación de los suelos por erosión en la parte baja y media de la cuenca del río Sagua con el fin de contribuir a su manejo y conservación.

Objetivos Específicos.

1. Determinar la influencia de los factores naturales en los procesos erosivos que degradan los suelos en la parte media y baja de la cuenca del río Sagua.
2. Identificar los suelos susceptibles a riesgos de erosión en la parte media y baja de la cuenca del río Sagua.
3. Establecer un mapa de susceptibilidad por degradación de suelos en la parte media y baja de la cuenca del río Sagua.

Hipótesis.

Si se logra caracterizar la morfometría de la cuenca, asociar los valores de erosividad, la influencia de las características geológicas y la dinámica fluvial, así como la acción de los procesos geodinámicos que transforman el relieve es posible evaluar la degradación en la parte baja y media de los suelos en la cuenca del río Sagua.

Aportes de los resultados de la investigación.

La presente investigación, por su objetividad y alcance, propicia el surgimiento de aportes que pueden ser clasificados de la manera siguiente:

Sociales:

1. Gestión de conocimientos para el análisis y evaluación de la cuenca del río Sagua.
2. Los resultados constituyen una importante herramienta para el manejo y conservación de la cuenca del río Sagua.

Ambientales:

3. La investigación integra conocimientos que revelan el estado geoambiental de esta cuenca.

4. Los resultados constituyen una herramienta útil para el ordenamiento ambiental del área y para la realización de acciones de remediación.

Económicos:

5. Los resultados de la investigación facilitan la prevención de pérdidas económicas considerables asociadas a la degradación de los suelos.

Concede conocimiento para la planeación territorial y gestión del suelo.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISIAGRÁFICA DEL ÁREA.

Introducción

En el marco teórico conceptual se detalla y se dan a conocer los conceptos básicos para la realización del estudio de la degradación en una cuenca hidrográfica como proceso geológico y otros que están estrechamente ligados. Se profundiza en las causas que la provocan, en qué lugares ocurren, así como su vinculación con otros procesos geológicos. También se hace una descripción analítica y crítica de los trabajos realizados sobre esta temática en el mundo, Cuba y el área de estudio y se describen las características físico-geográficas, económicas y geológicas del área de estudio ubicada en el macizo Mayarí-Baracoa.

1.1 Conceptos y definiciones relacionadas con la degradación de los suelos

Según Rubio (1994), en la Convención de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, se propuso como degradación de las tierras a la reducción o pérdida de la productividad biológica o económica de los suelos producto de un proceso o una combinación de procesos. Se incluyen los resultantes de actividades humanas y fenómenos naturales, tales como: la erosión del suelo (causada por el viento o el agua), el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas o de las propiedades económicas del suelo y la pérdida duradera de vegetación natural (CNULD, 1994).

En el archipiélago cubano, existe una elevada complejidad de los factores biofísicos y socioeconómicos que se relacionan con la degradación de los suelos, en sentido general, pueden enumerarse los siguientes: aquellos que se relacionan con las características naturales o el medio biofísico, tales como la geología, relieve, clima, hidrografía, vegetación y agrupamientos de suelos, así como los relacionados con las actividades socioeconómicas del país, donde se destacan la densidad de población, las producciones agrícolas, producciones industriales, construcciones de infraestructuras y viales (Vantour et al. 2016).

La degradación de los suelos en Cuba es considerada uno de los problemas más apremiantes para la producción de alimentos, y el equilibrio ambiental del país.

1.2. Procesos de degradación del suelo por erosión hídrica

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

Por su parte, la erosión hídrica comprende el transporte y sedimentación de las partículas del suelo por las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial. Este proceso se ve condicionado por varios factores, como son, el clima, el suelo, la vegetación y la topografía; a través de la cual se regula la intensidad erosiva principalmente por la inclinación y el largo de las laderas.

Este tipo de erosión se clasifica en: laminar, regueros, surcos y barrancos o cárcavas las cuales arrastran el suelo de la superficie, provocando importantes pérdidas en extendidas superficies estudios realizados demuestran que 1 mm de suelo perdido equivale a 10 t/ha y producir 30 cm de espesor de la capa superior del suelo (de forma natural) demora entre 3000 y 12000 años (LADA-L, 2017).

Tipos de erosión hídrica

Erosión laminar: es la más extendida y la menos perceptible. El daño causado, por pérdida del suelo es mayor, ya que durante este proceso se pierde el limo, la arcilla y la materia orgánica del suelo (CCD/PNUMA, 1995).

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

- Regueros o canales de menor tamaño: el efecto es parecido al de la erosión laminar.
- Cárcavas y barrancas: se forman donde se concentra el agua que fluye descendiendo por una pendiente.

- Erosión de depósitos fluviales: tiene lugar cuando el canal principal de una corriente establecida incide contra sus propios sedimentos.

1.2.1 Procesos de degradación del suelo por salinización

La salinización es un proceso que se manifiesta en las tierras secas, donde las aguas cargadas de sales se acumulan en depresiones, tanto subterráneas como superficiales, formando niveles freáticos salinos o charcas y lagunas (Salatino, 1996).

En las zonas áridas y semiáridas, donde la evapotranspiración es mayor que la precipitación, las aguas freáticas tienden a mineralizarse progresivamente. Cuando la capa freática está cerca de la superficie del suelo (menos de 3 metros), ésta puede salinizarse como consecuencia del aporte capilar del agua subterránea. Estas sales permanecen en la solución del suelo, salinizándolo a su vez y dificultando el desarrollo de los cultivos (Constantino, 2012).

La salinidad y/o sodicidad, así como la desertificación en zonas Subhúmedas y semiáridas ocupan en su conjunto 2,52 millones de ha, el 37,6% del total de la superficie de Cuba. Estos procesos de degradación de los suelos se asocian a los factores climáticos y las actividades agropecuarias desarrolladas con tecnologías inapropiadas en tierras sumamente vulnerables (Vantour *et al.* 2016).

1.2.2 Procesos de degradación del suelo por compactación

Este fenómeno se manifiesta con el aumento de la densidad aparente del suelo en las capas superficiales o profundas. Es el resultando del deterioro gradual de la materia orgánica y la actividad biológica (Salatino, 1996). En Cuba, 1,6 millones de hectáreas son afectadas por este fenómeno lo que significa el 23,6% de la superficie del país (Vantour *et al.* 2016).

1.2.3 Procesos de degradación del suelo por acidificación

Los suelos ácidos por su naturaleza, tienen una estrecha relación con la roca de origen; la composición de sus arcillas, su baja capacidad de retención de las bases y

con un alto régimen de precipitaciones; provoca la remoción de sus cationes hacia estratos inferiores y en consecuencia, la saturación del complejo absorbente del suelo con iones hidrógeno, aluminio, hierro o manganeso, que le confieren un carácter ácido.

Los efectos negativos que provoca la acidez son:

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

La acidez de los suelos y el agua, también son producidas por el mal manejo de las emisiones de los gases industriales. De igual forma, el mal uso y manejo del agua de riego, los fertilizantes minerales de efecto residual ácido y la explotación excesiva de las tierras con cultivos fuertemente esquilmanes pueden ocasionar acidez de los suelos (FAO, 2016).

En Cuba 2,7 millones de hectáreas de suelo se encuentran afectadas por este fenómeno, esto equivale a un 40,3% de la cobertura pedológica de Cuba (Vantour et al. 2016).

1.2.4 Procesos de degradación del suelo por contaminación química

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

1.2.5 Procesos de degradación del suelo por uso y pérdida de nutrientes

El empobrecimiento gradual o acelerado del suelo, por sobreexplotación o monocultivo, trae como consecuencia la baja fertilidad y productividad de los mismos. En ocasiones la agricultura con riego es responsable de aniegos y

salinización. Según Vantour et al. (2016), tres millones de hectáreas de cobertura pedológica de Cuba están afectadas por la poca fertilidad de sus suelos.

1.2.6 Procesos de degradación del suelo por el bajo contenido de materia orgánica

El proceso de degradación del suelo por el bajo contenido de materia orgánica obedece, en lo fundamental, a dos causas: el proceso natural de oxidación de la materia orgánica que está influido por las altas temperaturas, pluviometría alternante y condiciones físicas de los suelos; y la otra, los procesos degradativos inducidos por el hombre (FAO, 2016).

A esto se suma la deficiente aplicación de medidas de mejoramiento orgánico y otras prácticas, como son la incorporación al suelo de restos de cosecha, la cobertura viva o muerta, la aplicación de abonos verdes, abonos orgánicos y rotaciones de cultivos adecuados.

Según Vantour *et al.* (2016), 4,66 millones de hectáreas de la superficie pedológica de Cuba poseen un contenido muy bajo de materia orgánica.

1.3 Causas de la degradación

La degradación del suelo es un problema mundial, en gran medida vinculado a las actividades agropecuarias, aunque también hay otras actividades humanas que pueden causarla. Por ejemplo: la minería, la construcción de caminos, etc.,(anexo 1).

En la figura 1 se expone un mapa de degradación de los suelos de Cuba, el cual sintetiza en cuatro categorías la distribución de la intensidad de esta problemática a escala nacional. Según los datos de este mapa, el 19,56% de los suelos del país están degradados, estando afectado fundamentalmente por la erosión, la salinidad y el mal drenaje, mientras que el 40,39% esta medianamente degradado, es decir que el 59,95% de la superficie del territorio nacional presentan las mayores degradaciones de los suelos y sólo el 40,05% está poco o no degradado.

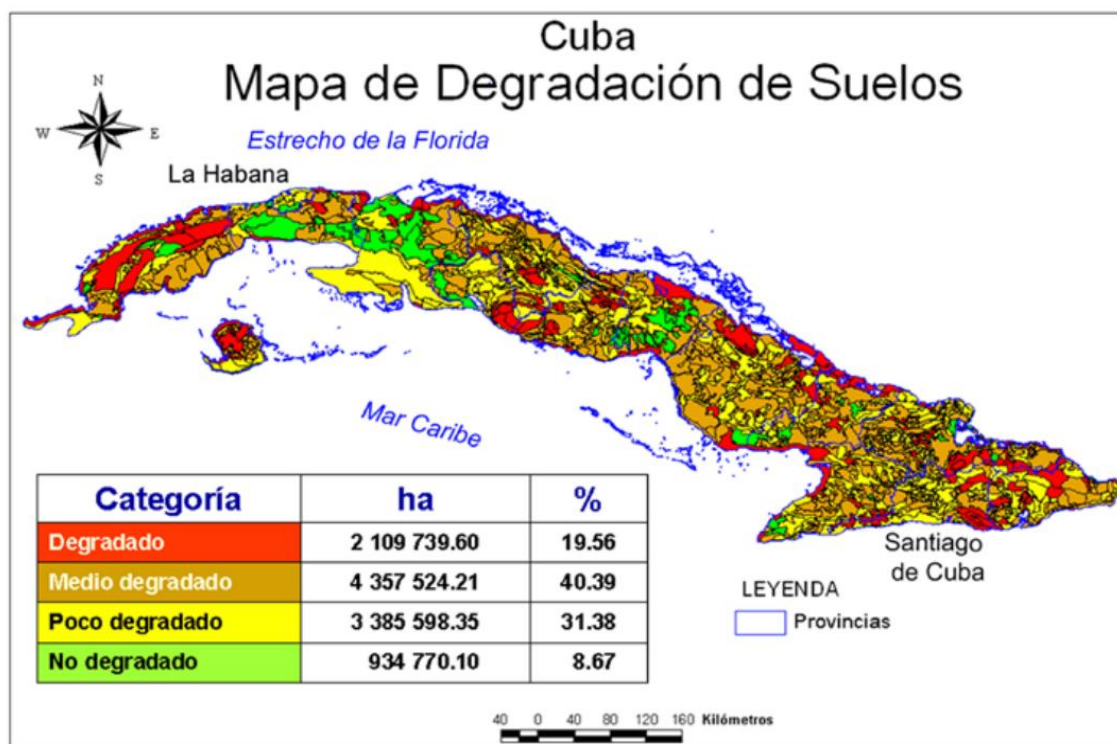


Figura 1. Mapa de degradación de los suelos a escala 1:250 000 (tomado de Vantour *et al.* (2016)).

Las mayores incidencias en esta degradación se deben a los procesos de erosión, salinidad, mal drenaje, compactación, acidez, bajo contenido de materia orgánica y baja fertilidad natural de los suelos.

1.4 Cuencas

Desde la perspectiva hidrográfica, como rama de la geografía física, se denomina indistintamente como hoya hidrográfica, cuenca fluvial, cuenca de exudación, cuenca de drenaje, etc., cuyo énfasis se sitúa en resaltar la capacidad natural de una geoforma cóncava para capturar, retener, depurar, conducir y drenar el agua a lo largo de conductos hídricos interconectados en su interior (CEPAL, 2013).

El denominador común en dichas acepciones se sitúa en la definición del área territorial de drenaje natural donde todas las aguas pluviales y de deshielo confluyen hacia un colector común de descarga y se verifican determinados ciclos,

gradaciones, procesos naturales dentro de la superficie delimitada por la línea divisoria de aguas.

Por su parte Rosales *et al.* (2015) y García (2015), consideran las cuencas hidrográficas como áreas con límites topográficos definidos que conforman un espacio de drenaje mediante un sistema pluvial, fluyen través de un curso de agua (o una red) que confluye con otros cursos de agua de mayor carácter, y que desemboca en un río de jerarquía superior, lago o en el mar.

La degradación y deterioro de las cuencas es uno de los problemas ambientales de mayor significación que enfrentan los países en el mundo. Se refiere al deterioro, de origen natural o antrópico, de sus recursos naturales, que afecta y disminuye las funciones básicas de las mismas.

El deterioro se manifiesta entre otros efectos como:

- Alteración de los mecanismos naturales que regulan el flujo de agua.
- Desmejora significativa de la calidad del agua aprovechable.
- Pérdida del valor ecológico de sus espacios naturales y humanizados.
- Afectación de las funciones socioeconómicas.

1.5 Los Sistemas de Información geográfica en el estudio de la degradación

Según Burrough (1994), un Sistema de Información Geográfica (SIG) puede verse como un modelo informatizado de la realidad geográfica para satisfacer unas necesidades de información concretas, esto es, crear, compartir y aplicar información útil basada en datos y en mapas.

Por su parte, López (2015) lo considera un conjunto de herramientas compuestos por hardware, software, datos y usuarios, que permite capturar, almacenar, administrar y analizar información digital, así como realizar gráficos y mapas, y representar datos alfanuméricos.

Durante décadas los SIG se han aplicado a problemas de gestión territorial y de recursos naturales, a cuestiones relacionadas con el medioambiente, la logística militar o en contextos directamente vinculados con las ciencias de la Tierra, como la

geografía, la geología, etc. Además, recientemente se ha empezado a considerar el uso potencial de los SIG para otros campos y disciplinas relativamente inéditos y en particular en la investigación en Ciencias Humanas y Sociales (Del Bosque *et al.* 2012).

Los SIG constituyen una herramienta que tiene la capacidad de elaborar mapas con un rango completo de información interactiva tanto en el ordenamiento territorial como en la evaluación de impactos ambientales. La erosión y otras variables se pueden abordar haciendo uso de los SIG, modelando los diferentes cambios.

1.6 Investigaciones precedentes

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

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

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

Por su parte, Lucero *et al.* (2011) estudiaron el estado actual y potencial de degradación física de la tierra por procesos de erosión hídrica en el parque nacional

El Leoncito, San Juan, Argentina. Determinando que la erosión hídrica es una de las causas principales de degradación del suelo en todo el mundo y se ha convertido en un tema de preocupación social y ambiental significativo (Wei *et al.* 2007).

En el parque nacional El Leoncito, las tierras semiáridas con un uso histórico agrícola o pecuario intensivo pueden ser vulnerables a la erosión. La recuperación de estos ambientes suele ser un proceso lento o irreversible (Zhao *et al.* 2005) y en muchos casos son necesarias medidas de conservación de suelos.

La metodología aplicada por estos autores involucró la recopilación bibliográfica, la adquisición e interpretación de imágenes satelitales y de modelos digitales de elevación, la adquisición de bases de datos geográficas de suelo, el muestreo a campo, la observación de elementos del paisaje (cobertura vegetal y pedregosidad superficial), y la presencia y magnitud de signos de erosión. Con la información obtenida, se crearon mapas temáticos y se evaluó el riesgo de erosión aplicando el método CORINE-CEC (1992).

Estos elementos arrojaron que la vegetación tiene el papel más importante en la recuperación de sitios degradados, es por esto que las pautas de manejo deben estar relacionadas a corto y mediano plazo con la conservación de la vegetación existente y la estabilización física de surcos, cárcavas de erosión y de laderas; y a largo plazo con la modificación de condiciones de suelo y paisajes que favorezcan el establecimiento de especies vegetales nativas. En la zona estudiada el efecto del abandono de las tierras en la restauración de los ambientes depende, además de la cobertura vegetal, de los tipos de suelo y de las condiciones climáticas de la zona.

1.7 Investigaciones realizadas en Cuba

Martínez *et al.* (2003) realizaron investigaciones sobre las causas y efectos de la degradación del suelo en un agrosistema dedicado al cultivo del tabaco en Cuba. Los análisis realizados consistieron en el estudio integral al suelo, donde se evaluó el estado de las propiedades químicas y físicas e identificaron los procesos de degradación del suelo y las causas de su origen.

Para ello se empleó el manual de levantamiento de suelos, manual de evaluación para el mapa 1: 25 000 y la metodología para la determinación de los factores limitantes campo a campo, la nueva versión de la clasificación genética de suelos de Cuba (Hernández *et al.* 1999), y el método del perfil patrón, y para el análisis estadístico el método de las parejas. (Lerch, 1977).

Además, se estudiaron del clima las variables precipitación y temperatura, comportamiento anual desde 1970 hasta el 2003; la composición florística de la vegetación, porcentaje de cobertura al suelo y aporte de biomasa, así como el uso y manejo de suelo. Las principales causas de la degradación fueron:

- Inadecuadas prácticas de preparación del suelo y largos periodos de exposición durante el laboreo a los agentes del intemperismo.
- Laboreo del suelo en fecha de ocurrencia de altos volúmenes e intensidades de precipitación, en particular, septiembre.
- Escasos aportes de enmendarte orgánicos al suelo para su mantenimiento y mejora.
- Poca protección del suelo a los agentes del intemperismo, especialmente, en el periodo de máximos acumulados e intensidades de precipitaciones (mayo – septiembre)
- Uso intensivo de la práctica del monocultivo del tabaco y no aplicación de medidas de conservación y mejoramiento del suelo.

Como los principales factores se señalaron la pérdida de la profundidad efectiva del suelo, reducción de la fertilidad natural, incremento de la acidez, disminución de los contenidos de materia orgánica del suelo y la reducción de los rendimientos del cultivo.

Carreño *et al.* (2005), presentan una síntesis formalizada de los diferentes métodos empleados para evaluar la erosión, con el objetivo de ponerlas a disposición de los especialistas dedicados a esta temática de investigación teniendo en cuenta que hasta el presente, en Cuba está muy limitado el empleo de algunas de las metodologías, que tienen amplio uso a nivel mundial.

En Cuba el método geográfico - comparativo, ha sido el más empleado en los estudios de erosión utilizando en calidad de patrones, perfiles típicos de cada agrupamiento. Sólo en años recientes se han incorporado a las investigaciones los modelos de erosión, fundamentalmente la USLE y la cartografía temática de factores. La evaluación de la erosividad de la lluvia en general se realiza sin considerar la energía cinética o algunos de los índices de agresividad climática ampliamente reconocidos en la literatura mundial especializada.

Díaz *et al.* (2008), determinaron el índice de erosión de suelos aplicando un (SIG) para la localidad de San Andrés en la provincia de Pinar del Río. Las diferencias en los índices de erosión determinados para el periodo de 1989 hasta el 2005 indican que existe una tendencia a la erosión de los suelos en la localidad.

El índice se obtiene del análisis de los parámetros como profundidad promedio y textura del suelo. Estas modificaciones se reflejan en los índices de erodabilidad y riesgos potenciales y actuales de erosión, que permiten verificar esta tendencia. Los aspectos del relieve y cubierta vegetal se han considerado invariables en los periodos evaluados y no tienen incidencia en los resultados obtenidos.

1.7.1 Investigaciones realizadas en el municipio Sagua de Tánamo.

En el año 2015, Milán evaluó la peligrosidad por deslizamientos en el municipio Sagua de Tánamo. Al caracterizar los factores condicionantes y desencadenantes en la ocurrencia de los deslizamientos en el municipio, se identificó al factor geológico, diferenciado por su composición litológica y características físico-mecánicas, de acuerdo con sus comportamientos frente a estos fenómenos.

A partir de un SIG, tomando en consideración los mapas temáticos para cada factor condicionante y desencadenante que permitió obtener el mapa del peligro total por deslizamientos en el municipio Sagua de Tánamo. La evaluación y la cartografía de peligro por deslizamiento se fundamentaron en los principales escenarios de peligro o zonas susceptibles como los consejos populares, El Jobo, Castro, El Progreso, El Sitio y La Plazuela.

Por su parte, RAUDAL (2016) realizó el estudio de la vulnerabilidad de acuíferos en el municipio Sagua de Tánamo. La Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos de Holguín se solicitó a esta entidad efectuar el estudio de vulnerabilidad de los acuíferos de la cuenca del río Sagua determinados como fuente de abasto para la provincia de Holguín.

Estos estudios constituyen elementos de referencia para el análisis de la cuenca, aunque ambos estuvieron orientados a estudios de Peligro Vulnerabilidad y Riesgos.

1.8 Características fisiográficas del municipio Sagua de Tánamo

El municipio Sagua de Tánamo con una superficie de 699,9 km², limita al norte con el municipio Frank País, al sur con los municipios de El Salvador y Manuel Tames de la provincia de Guantánamo, al este con el municipio de Moa y al oeste con el municipio Segundo Frente de la provincia Santiago de Cuba (figura 2).

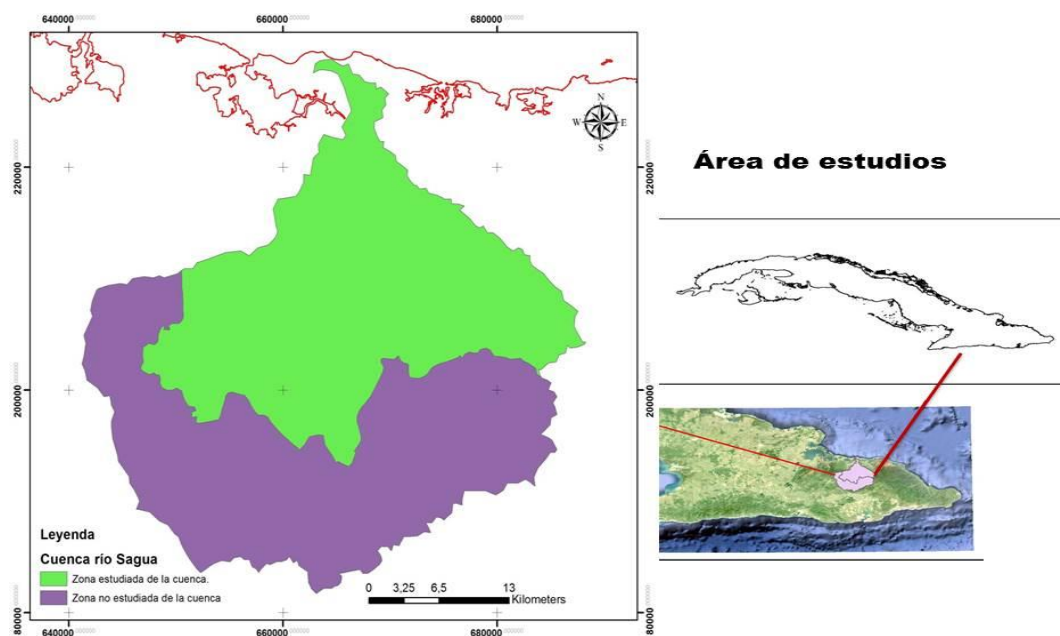


Figura 2. Ubicación geográfica del municipio Sagua de Tánamo.

1.8.1 Relieve

El relieve del territorio se caracteriza por estar ubicado en el flanco central del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa en la provincia de Holguín. En general la

morfología en el área corresponde a un relieve montañoso con una marcada influencia estructural, está representado por grandes unidades que se corresponden con algunos grupos orográficos del complejo ofiolítico. En este sistema montañoso se manifiestan procesos neotectónicos, donde las divisorias laterales se observan en sentido sur-norte principalmente alineadas.

Dado el carácter diferenciado e interrumpido de los levantamientos neotectónicos, se destacan escalones morfoestructurales que desde el punto de vista geomorfológico se distingue como forma de relieve de premontaña con alturas que no sobrepasan los 300 m, constituidas por serpentinitas y rocas no carbonatadas (Viltres, 2015).

El relieve de la región es el resultado de un incesante desarrollo y de la compleja intervención de factores internos y externos. Al analizar el mapa tectónico se observa que este tipo de relieve se encuentra asociado a las trazas de las fallas principales que cruzan el área (figura 3). Las colinas presentan cimas anchas y pendientes suaves y vertientes cortas de pendientes altas a muy altas (Viltres, 2015).

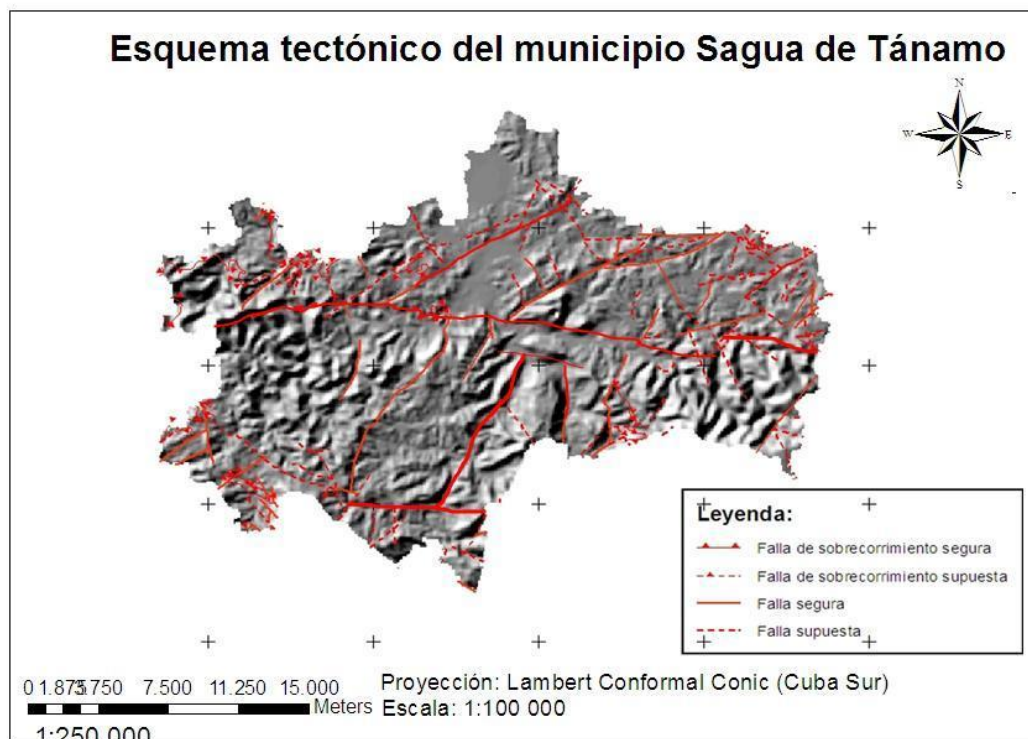


Figura 3. Esquema tectónico del municipio Sagua de Tánamo (tomado de Viltres, 2015)

En el área de la cuenca, los procesos geodinámicos son más intensos en regiones montañosas, en tramos con relieve bruscamente accidentado, en las laderas escarpadas de los valles fluviales y en los taludes de desmontes (Viltres, 2015).

Los procesos de erosión se manifiestan de dos formas fundamentalmente, la erosión laminar y la erosión por surcos o cárcavas. Estos se manifiestan debido a la acción combinada de varios factores, como el clima, el agua, el viento, la gravedad y la vida vegetal y animal. Por lo que se disuelven determinados minerales y cantos provocando una trasportación mecánicas de los sedimentos.

1.8.2 Hidrogeología.

El municipio Sagua de Tánamo cuenta con una red hidrográfica bien desarrollada que corre de sur a norte, la misma es de tipo detrítica, aunque en algunos casos se observan redes paralelas. La red está representada por numerosos ríos y arroyos que se ubican de este a oeste como son: Castro, Santa Catalina y Miguel los cuales son de carácter permanente, drenando en el mismo sentido que representa la red.

El área de la cuenca del río Sagua, pertenece a la cuenca artesiana Nipe y región hidrogeológica Sagua, con yacimientos relacionados con terrazas de ríos, donde predominan sedimentos de fracciones gruesas (arenas, gravas y cantos rodados).

En la cuenca, las rocas están definidas en dos estratos fundamentalmente, uno representado por margas, donde los manantiales son utilizados en abastos menores, y los estratos de calcarenitas, que descargan las aguas hacia las formaciones costeras que se encuentran morfológicamente más bajas. El coeficiente de filtración en calcarenitas es de 10 m/día y 4 m/día para en margas, con gastos de 2 a 4 l/seg. (RAUDAL, 2017).

1.8.3 Particularidades climáticas de la región

Desde el punto de vista climático, la localidad de Sagua de Tánamo se sitúa en una

zona subtropical, lo que constituye un factor importante en la evaluación del medio físico – geológico y en la planificación territorial. El área de la cuenca se caracteriza por ser una zona de montañas con humedecimiento alto y estable, baja evaporación y temperaturas frescas, con precipitación media anual de 1 600 a 2 000 mm y temperatura media anual de 16 °C a 23 °C; que en enero alcanza 13 °C a 21 °C y en julio 18 °C a 25 °C (RAUDAL, 2017).

1.9 Características geológicas del territorio

La geología en la región de Sagua de Tánamo es compleja, está representada por rocas de diferentes formaciones geológicas, edades y composición litológica (figura 4).

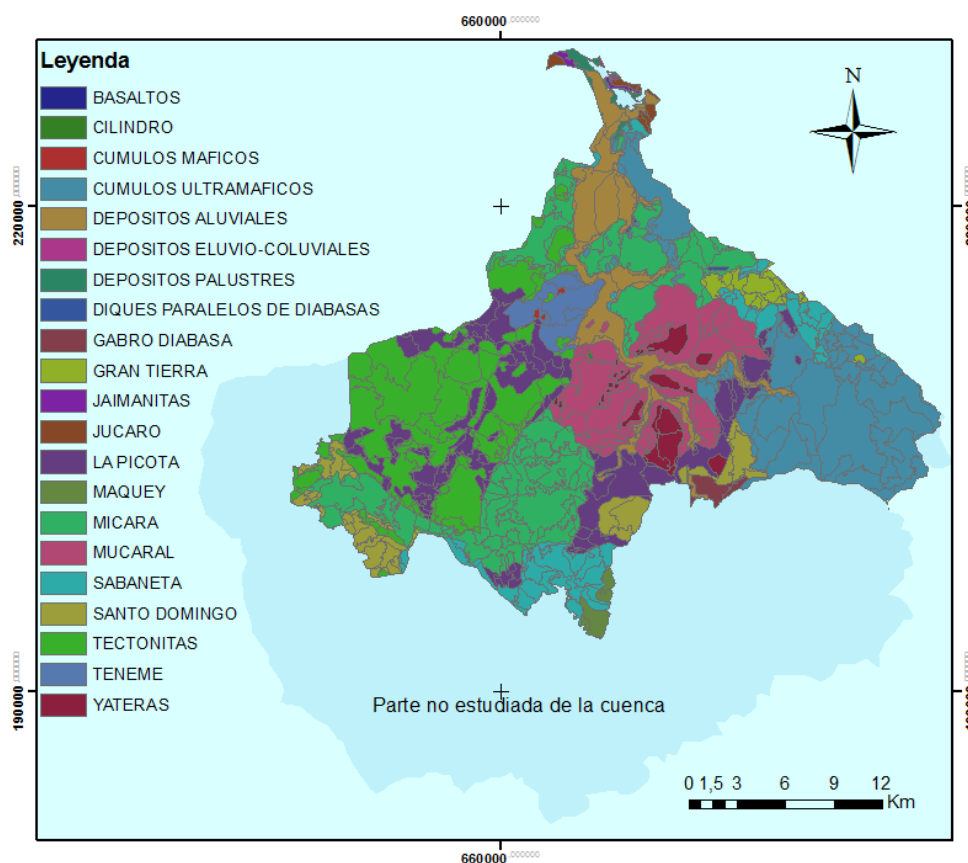


Figura 4. Mapa geológico de la parte baja y media de la cuenca río Sagua. Escala: 1: 100 000, (IGP, 2001)

A continuación se describen las formaciones presentes en el área de estudio, donde se tienen en cuenta las rocas que se encuentran dentro de estas y sus principales características geológicas - estratigráficas:

Cúmulos máficos y ultramáficos, (Jurásico Cretácico Temprano), constituidas por harzburgitas y peridotitas. Se considera que estas rocas serpentinizadas poseen un espesor superior a los 1000 metros, se presentan en forma de escamas tectónicas muy fracturadas (Fonseca *et al.* 1985).

La Picota, (Cretácico Superior), constituida por conglomerados polimícticos con intercalaciones de areniscas polimícticas y conglomerados con brechas mal seleccionadas, que se intercalan con argilitas. La formación está constituida por sedimentos clásticos, generalmente de granos gruesos mal seleccionados mal estratificados y débilmente sementados (Cobiella, 1975).

Esta formación yace en discordancia indistintamente angular y erosiona sobre la formación Santo Domingo y las rocas ultrabásicas. Se encuentra plegada y fracturada formando un anticlinal entre los ríos Sagua y Guaso. Las capas tienen buzamiento entre 20-30 grados hacia el norte o norte-noroeste (Viltres, 2015).

Mícara, (Cretácico Superior-Paleoceno Inferior), su nombre proviene del río Mícara, afluente del río Sagua en las cercanías del pueblo de Mayarí Arriba. Por su composición, esta unidad se puede dividir en tres partes: inferior, media y superior (Cobiella, 1973).

Inferior: constituida por limonitas masivas, mal estratificadas; brechas; areniscas; arcillas y calizas.

Media: secuencia olistostrómica compuesta por margas, areniscas, limolitas, gravelitas y conglomerados.

Superior: predominan las limonitas y subordinadamente brechas y areniscas tobáceas, en su parte más alta, con intercalaciones de tobas ácidas bentonitizadas y calizas. Con una estratificación bien definida.

Según Quintas (1989), la formación Mícara está compuesta esencialmente por limonitas, areniscas y conglomerados vulcanomícticas cuyos clastos se derivan de la

erosión de las rocas volcánicas y vulcanógenas sedimentarias de la formación Santo Domingo, así como, por clastos de gabros, dioritas y serpentinas.

Santo Domingo, (Cretácico Inferior, Aptiano)–(Cretácico Superior, Turoniano), en la parte baja predominan tobas estratificadas, de composición básica intermedia con intercalaciones de cuerpos subvolcánicos de gabros, diabasas, dioritas y dioritas cuarcíferas en forma de sílice. En la parte superior está compuesta por rocas volcánicas y vulcanógenas sedimentarias las más frecuentes son las tobas con una variación en el rango de rocas básicas a intermedias. Son tobas, lavas y aglomerados, apareciendo pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas, calizas estratificadas color grisáceo. Se encuentra en Santo Domingo, al sur de la localidad, Calabazas. (Iturralde-Vinent, 1976).

Téneme, (Cretácico), son tobas y lava brechas andesíticas, dacíticas, tufitas, argilitas, limonitas vulcanomícticas, lavas basálticas, liparitodacíticas, conglomerados y calizas. También aparecen pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas (Viltres 2015).

Cilindro, (Oligoceno Superior -Mioceno Inferior), se conforma de conglomerados polimícticos con estratificación lenticular y a veces cruzadas, débilmente cementada con lentes de areniscas que contienen lignito. La matriz es arenítica-polimíctica, conteniendo carbonato, coloración abigarrada (Quintas, 1989; Crespo, 1996).

Gran Tierra, (Paleoceno Inferior, Daniano), se compone principalmente de conglomerados monomícticos con cemento calcáreo, que presenta calizas fragmentarias producto de la disminución del volumen de material clástico. Se intercalan areniscas calcáreas vulcanomícticas y tobaceas, limonitas, tufitas, margas y tobas. Sustrato plegado.(Cobiella, 1978);(Quintas, 1989).

Júcaro, (Mioceno Superior-Plioceno), está compuesta por calizas generalmente arcillosas, calcarenitas, margas, limolitas, en ocasiones con gravas polimícticas, arcillas y esíferas. Presencia de dolomitas que contiene horizontes fosilíferos con colores amarillo y crema que, por alteración, pasan a rojo y violáceo (Conor, 1990).

Maquey, (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior), compuesta por alternancia de areniscas, limonitas y arcillas calcáreas de color gris y margas de color blanco a crema, las intercalaciones de espesor variable de calizas biodetríticas, arenáceas y gravelíticas de colores blanco amarillo y crema, ocasionalmente amarillo grisáceo. La estratificación es fina a media, menos frecuentemente gruesa o masiva. Algunos horizontes, particularmente de limonitas y calizas biodetríticas, son fosilíferos, en los que abundan grandes lepidocyclinas. Otros horizontes contienen yeso, lignito y restos vegetales lignitizados (Quintas, 1989; Crespo, 1996).

Mucaral, (Eoceno Medio-Eoceno Superior), es una secuencia terrígena compuesta principalmente por margas, margas arcillosas y margas calcáreas bien estratificadas, con intercalaciones frecuentes de calizas margosas, arcillosas y biodetríticas, más raramente de areniscas calcáreas. La secuencia, en su parte inferior, presenta intercalaciones frecuentes de margas y calizas tobáceas, de tobas y tufitas redepositadas que en varios lugares es subyacente. Aflora entre loma Mucaral y el valle inferior del río Castro, al SW del pueblo de Sagua de Tánamo (Cobiella, 1983).

Sabaneta, (Paleoceno Inferior-Eoceno Medio), constituida por tobas ácidas y medias, de colores claros, vitroclásticas, litovitroclásticas, cristalovitroclásticas con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados tobáceos, limonitas, margas, gravelitas, conglomerados vulcanomícticos y ocasionalmente pequeños cuerpos de basaltos, andesitas, andesito- basaltos y andesito-dacitas. Esta yace sobre una secuencia de transición que contiene finas intercalaciones de tufitas (Fm. Gran Tierra) y descansa discordantemente sobre las formaciones Mícara y La Picota, y sobre las ofiolitas y vulcanitas cretácicas (Zeolitas) (Iturralde-Vinent; Quintas,1995)

Yateras, (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior), se caracteriza por la presencia de areniscas de grano fino, conglomerados de cemento terrígeno, con clastos de calizas biodetríticas, calizas arrecifales, alternancia de calizas detríticas, biodetríticas y biógenas, estratificación fina a gruesa o masivas, muy duras y de porosidad variable. Es frecuente la presencia de grandes foraminíferos (lepidocyclinas) la unidad se compone de alternancia de calizas biodetríticas y detríticas y calizas

biogénicas de granos finos agruesos, duras, de porosidad variable. Se observan parches aislados en el curso superior de los ríos Mayarí y Sagua de Tánamo (Manso, 1995; Crespo, 1996)

Sagua de Tánamo, está constituida por alternancia de margas, calizas margosas y raramente calizas que contienen intercalaciones de conglomerados y areniscas. Las margas son de color blanco cremoso o grisáceo generalmente compactas aunque la variedad arcillosa es más friable. La serie carbonatada se encuentra bien estratificada al igual que las areniscas. Se encuentra al SE de la ciudad de Sagua de Tánamo entre los ríos Sagua y el arroyo Lindero. La serie terrígena- carbonatada ocupa un área en los alrededores de las confluencias de los ríos Santa Catalina, Castro y Sagua (Quintas, 1989).

Sedimentos Cuaternarios: Están representados fundamentalmente por aluviones depositados por los ríos de la zona, los cuales alcanzan un área notable en las partes más llanas y se componen de una variedad litológica de clastos de rocas calcáreas, serpentinitas, calizas estratificadas que en algunos casos alcanzan hasta 200m de potencia en la llanura de inundación. Constituyen una cobertura generalmente delgada casi continua y de tipo continental, que cubren el área. Aparecen suelos grises y oscuros de una potencia de hasta 50cm, producidos por la meteorización de rocas y areniscas en pequeñas zonas de afloramiento de la formación Mícara (Iturralde- Vinent, 1996)

Los contactos observados por las estructuras circundantes son tectónicos. La estructura es compleja debido al emplazamiento tectónico, estando afectadas tanto por dislocaciones disyuntivas de diferentes tipos y ordenes de importancia. Las secuencias ofiolíticas representadas por serpentinitas, peridotitas con textura de tectónicas, cúmulos ultramáficos, diques de diabasas, niveles efusivos sedimentarios. Estas secuencias constituyen la denominada faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Iturralde- Vinent, 1996).

Los procesos geodinámicos desarrollados en la región están relacionados con la litología y una estructura geológica determinada. En la mayoría de los casos, en

laderas compuestas por suelos arcillosos donde en el grueso de las rocas que los constituyen, se encuentran capas, intercalaciones, zonas de suelos arcillosos, aditivos arcillosos u otras rocas que forman las superficies de discontinuidad y zonas de debilitamiento. La pérdida de suelos por erosión condicionada por la estructura geológica o su pendiente está dirigida en el sentido de las pendientes de las laderas.

1.9.1 Tectónica

La falla Miraflores es el principal elemento de subducción regional del territorio, tiene dirección NW-SE con un ligero arqueamiento hacia el SE. Se compone de varias fallas subparalelas. Los tramos de fallas han sido, cartografiados en el campo, su parte noroccidental está parcialmente cubierta por sedimentos paleogénicos enmascarados por fallas más jóvenes; las zonas de falla son verticales, las rocas dentro de la zona están muy trituradas, también están orientadas subparalelamente conformando un sistema de fallas (Castañeda, 2003).

Esta cuenca está afectada por fallas compresivas de rumbo NW-SE, al sur del poblado Cebolla una falla de igual dirección a la anterior delimita la extensión territorial de la formación Mícara y Gran Tierra aparecen formas suavemente plegadas con eje de dirección NE-SW, E-W, NW-SE y N-S que no son correlacionales con el sistema de falla protocubana conocidas (Viltres, 2015).

La sismicidad está estrechamente relacionada, con los procesos geodinámicos reflejándose en la disminución de la resistencia por aumento de la presión de poros y deformación, asociados con la onda sísmica; pudiéndose llegar a la falla al cortante y hasta la licuación en el caso de los suelos granulares saturados. El municipio de Sagua de Tánamo es atravesado por las zonas sismo generadoras, Santiago-Moa y Purial, capaces de generar terremotos entre 7 y 8 grados de magnitud de Richter (Viltres, 2015).

1.9.2 Características Geomorfológicas

El territorio de Sagua de Tánamo geomorfológicamente, se divide en las categorías siguientes

- Llanuras denudativo-acumulativas sobre cantos rodados, gravas, arcillas, suavemente inclinadas.
- Llanuras denudativo-erosivo-acumulativo sobre serpentinitas, tobas, gravas, areniscas, conglomerados, calizas y margas, onduladas y colinosas.
- Llanuras erosivo-acumulativas sobre serpentinitas, tobas, gravas, arenas, conglomerados con pendiente entre 6 y 8°.
- Premontañosas con alturas inferiores a 300 m sobre areniscas, aleurolitas, conglomerados, tobas, lavas, serpentinitas, tufitas, calizas y margas con pendientes entre 6 y 29° (Raudal 2017).

La cuenca se caracteriza geomorfológicamente por tener un área de 1267 Km², esta cuenca representa el 88% del municipio de Sagua de Tánamo con una longitud del río principal de 112 Km

CAPÍTULO 2. PROCEDIMIENTO PARA EVALUAR LA SUSCEPTIBILIDAD A LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS POR EROSIÓN EN LA PARTE BAJA Y MEDIA DE LA CUENCA DEL RIO SAGUA

2.1 Introducción

Este capítulo describe el procedimiento utilizado en la investigación el cual conduce el trabajo de forma lógica. Se explican los métodos para el análisis descriptivo de zonas afectadas y determinación de la pérdida de suelos por procesos geodinámicos y factores de degradación. También se expone algunos conceptos y la metodología para evaluar la susceptibilidad a la degradación en la parte baja y media cuenca del río Sagua de Tánamo el cual se desarrolla sobre un SIG para interpretar los resultados.

2.2 Metodología y trabajos de cartografía geológica

La metodología para evaluar la susceptibilidad a la degradación en la parte baja y media de la cuenca del río Sagua, comprende la realización del trabajo en tres etapas. Tiene como resultado final la elaboración de un mapa susceptibilidad a la degradación, el cual representa un elemento clave para la planificación del uso del territorio.

En una etapa (preliminar): se seleccionó y digitalizo el límite de la cuenca del río Sagua, el límite político-administrativo del municipio, con este fin se utiliza el modelo digital del terreno a escala 1:25, hojas topográficos 1:25000 que pertenecen al área de estudio, 5177-III-d, 5177-IV-a, 5177-III-b, 5177-IV-b, 5177-I-a, 5178-II-c, 5177-I-d, 5177-I-b, 5177-IV-d, 5177-II-c, 5177-I-c, 5177-II-a, 5177-IV-c, 5177-III-a y 5177-II-b.

En la segunda etapa (de campo): se tomó la base de datos de los índices de erosión estimado del Departamento de Suelos, de la delegación de la agricultura en el municipio Sagua de Tánamo. La base de datos utilizada posee el valor del índice de erosión en 606 puntos, los cuales se utilizan para interpretar la incidencia de los factores: geología, relieve, tectónica, tipo de suelo y pendiente del terreno en la susceptibilidad de los suelos ante la erosión (figura 5).

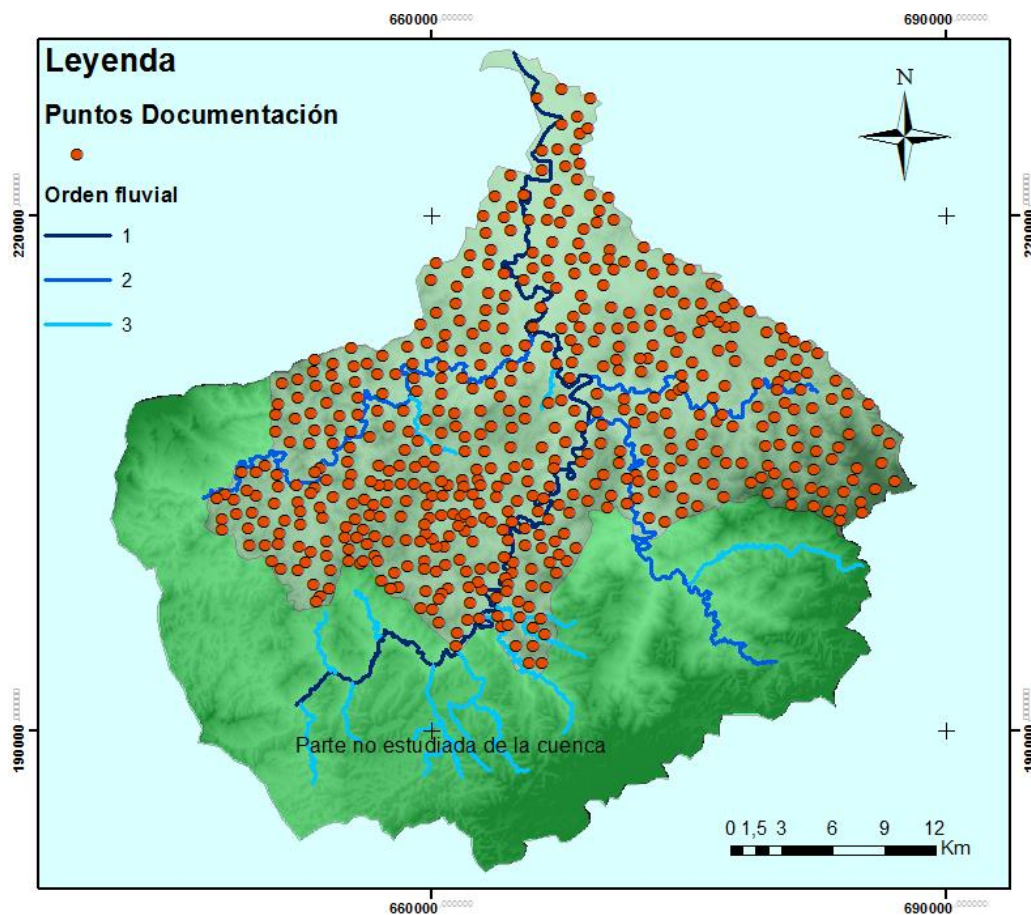


Figura 5. Puntos de documentación del índice de erosión (confeccionado por el autor).

Por último en la tercera etapa (gabinete): se procedió a la interpretación y procesamiento de la información obtenida, así como, a la comparación de estudios precedentes realizados en el sector objeto de estudio.

Después del procesamiento de la información cartográfica se procedió a la evaluación de los principales factores establecidos y su relación con el índice de erosión. Se determinó susceptibilidad por degradación de suelos y se confeccionó el mapa con toda la información obtenida. Por último, se confeccionó el informe final de la investigación.

2.3 Procesamiento de la información

Para el procesamiento de la información se utilizaron el software ArcGIS y QGIS. Creándose un sistema de información geográfica (SIG) donde toda la información se

localiza en un proyecto, presentándose en diferentes formatos como documentos, capas, tablas, diagramas o gráficos, y presentaciones. La información integrada en el proyecto se almacena en un archivo con extensión*.mxd. Con las herramientas editor se digitalizaron todas las capas y se le define el sistema de coordenada. Toda esto se observa en vistas (VIEW) donde se integran los diferentes mapas o capas. En esencia es una superposición de todas las capas que conforman el proyecto.

Base de Datos (TABLE): Las tablas se encuentran asociadas a cada tema y contienen información descriptiva o atributos del mismo. Están formadas por columnas y filas o registros que representan características individuales de cada rasgo y por columnas o campos que definen las características de todos los elementos. Esta base de datos nos permite realizar cálculo entre capas o columnas de las intersecciones entre capas.

Diagramas y gráficos: Se han utilizado los diagramas para las representaciones graficas de los datos tabulares y constituyen una forma de visualizar información de atributos, mediante la construcción de diagramas de barras para la caracterización de los mapas temáticos.

En el Excel 2010 se realizaron todas las operaciones de cálculo estadísticos con los datos, se calcularon los valores de cada una de las combinaciones de los mapas. Posterior a esto se determinó la susceptibilidad a cada factor lo que nos permitió otorgar un peso estadístico determinado. Este procedimiento nos permite obtener la susceptibilidad por capa la cual se multiplica por el peso estadístico y el resultado en la susceptibilidad a la degradación.

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

2.4 Procedimiento para identificar la susceptibilidad a la degradación por erosión en la cuenca

La evaluación de susceptibilidad a la degradación de los suelos en la parte baja y media de la cuenca del río Sagua, se realizó mediante un análisis estadístico. Este se basó en la relación entre el índice de erosión y los factores como: geología, relieve, tectónica, tipo de suelo y pendiente del terreno.

El análisis probabilístico condicional, es la técnica aplicada en la investigación cuya fortaleza funcional es su dependencia directa de la calidad y cantidad de los datos disponibles para el análisis (Almaguer, 2005).

Este modelo empleado, parte de la base teórica del teorema de Bayes, donde la valoración de las clases de los diferentes factores es posible a través de la siguiente ecuación.

$$P_c = \left(\frac{X_i}{Y_i} \times \frac{X}{Y} \right) \times 100$$

Dónde:

P_c: Susceptibilidad a la degradación (probabilidad condicional).

X_i: área ocupada por el índice de erosión e₂ y e₃.

Y_i: área de la clase del factor analizado.

X: área total por el índice de erosión e₂+e₃.

Y: área total del área de estudio.

El flujograma del procedimiento para la obtención del mapa de susceptibilidad a la degradación del suelo por erosión en la parte media y baja de la cuenca del río Sagua, se resume en la figura 6.

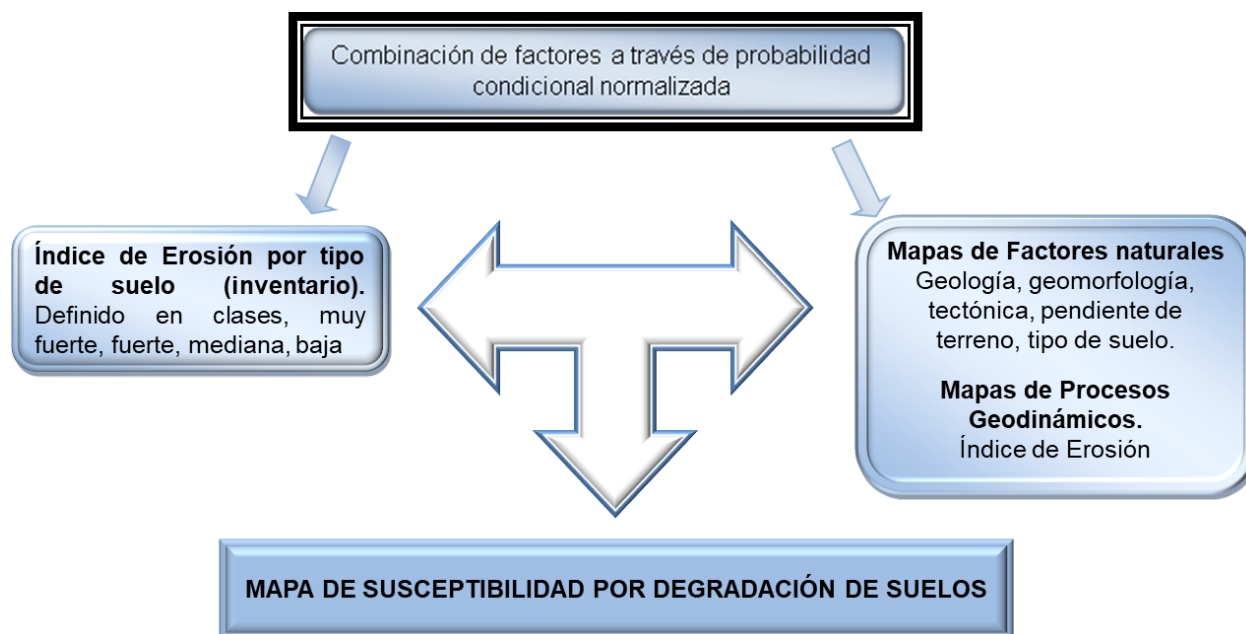


Figura 6. Metodología para la evaluación de la susceptibilidad.

2.5 Descripción de las variables utilizadas en el estudio.

2.5.1 Índices de Erosión Estimado

Los procesos geodinámicos son determinantes para la evaluación de la susceptibilidad a la degradación, como procesos geodinámicos se tomaron los datos de los índices de erosión estimados en la parte baja y media de la cuenca del río Sagua; esta información fue tomada del departamento de suelo en la delegación de la agricultura municipal.

Este es un factor determinante en la evaluación de la susceptibilidad y su integración con el resto de los elementos seleccionados servirá para identificar y modelar las áreas más susceptibles a la degradación por erosión (figura 7).

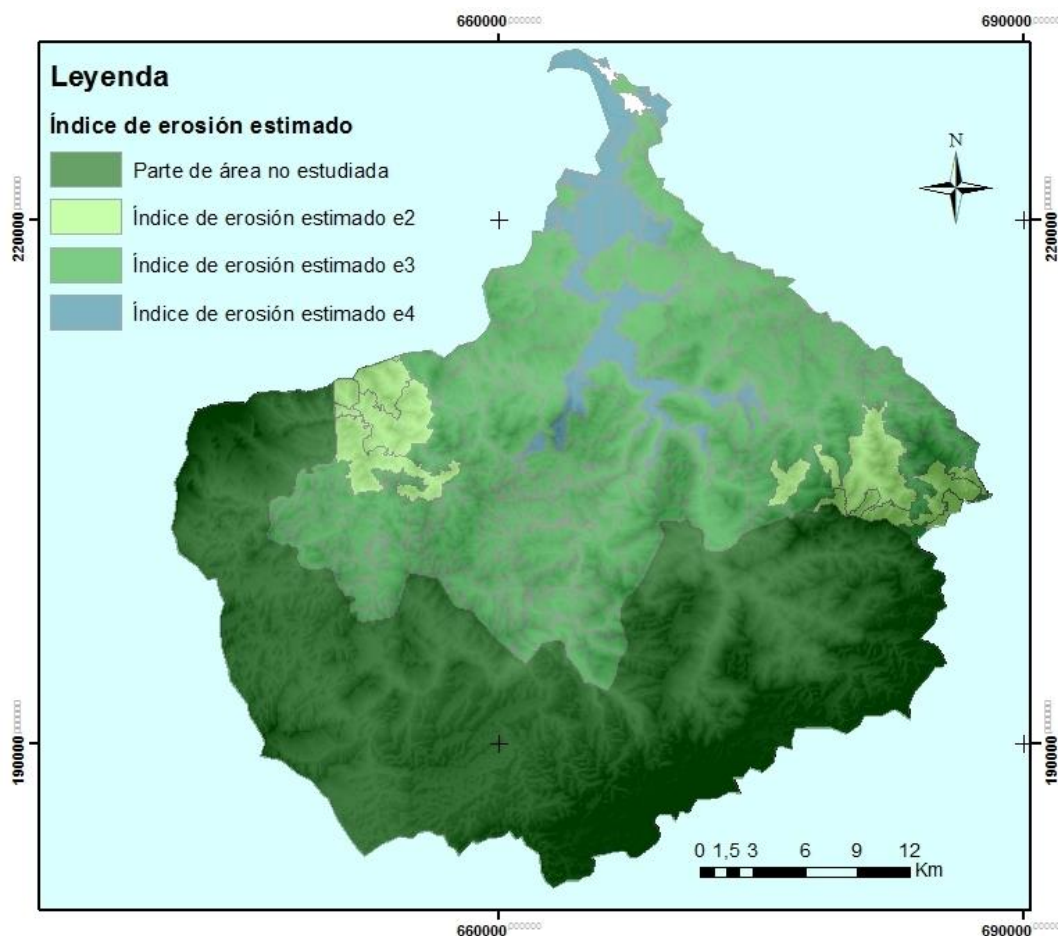


Figura 7. Mapa que muestra el índice de erosión en la parte media y baja de la cuenca del río Sagua (confeccionado por el autor).

La clasificación de las áreas atendiendo el grado de erosión estimada se expresa de la siguiente forma (tabla 1).

Tabla 1. Clasificación del índice de erosión utilizado.

Clase	Clasificación según la pérdida de suelo por horizontes	Horizontes	Pérdida de suelo	Área (Km ²)	% del área total
e1	Muy Fuerte	B > 100 cm	(25-75%)	0	0
e2	Fuerte	A 0-100 cm	(> 75%)	69,63	11,15
e3	Moderada	A 0-100 cm	(25-75%)	492,36	78,91
e4	Baja	A 0-100 cm	(< 25%)	61,96	9,93

2.5.2 Geología del área

La geología del área es una variable fundamental porque a través de su análisis podemos identificar la litología que están presente y el comportamiento de la erosión en cada una de ellas. Sus características físico-mecánicas condicionan el comportamiento estructural de cada una de las unidades litológica y su influencia en menos o mayor grado a la susceptibilidad a la degradación.

2.5.3 Relieve del terreno

El área de estudio se caracteriza por una topografía medianamente abrupta, lo que influye en la presencia de erosión laminar, en surcos o en cárcavas. Atendiendo a esto, el relieve es considerado una variable significativa en la ecuación utilizada para el procesamiento y evaluación de la susceptibilidad. Esta se obtiene a través del modelo digital del terreno (figura 8).

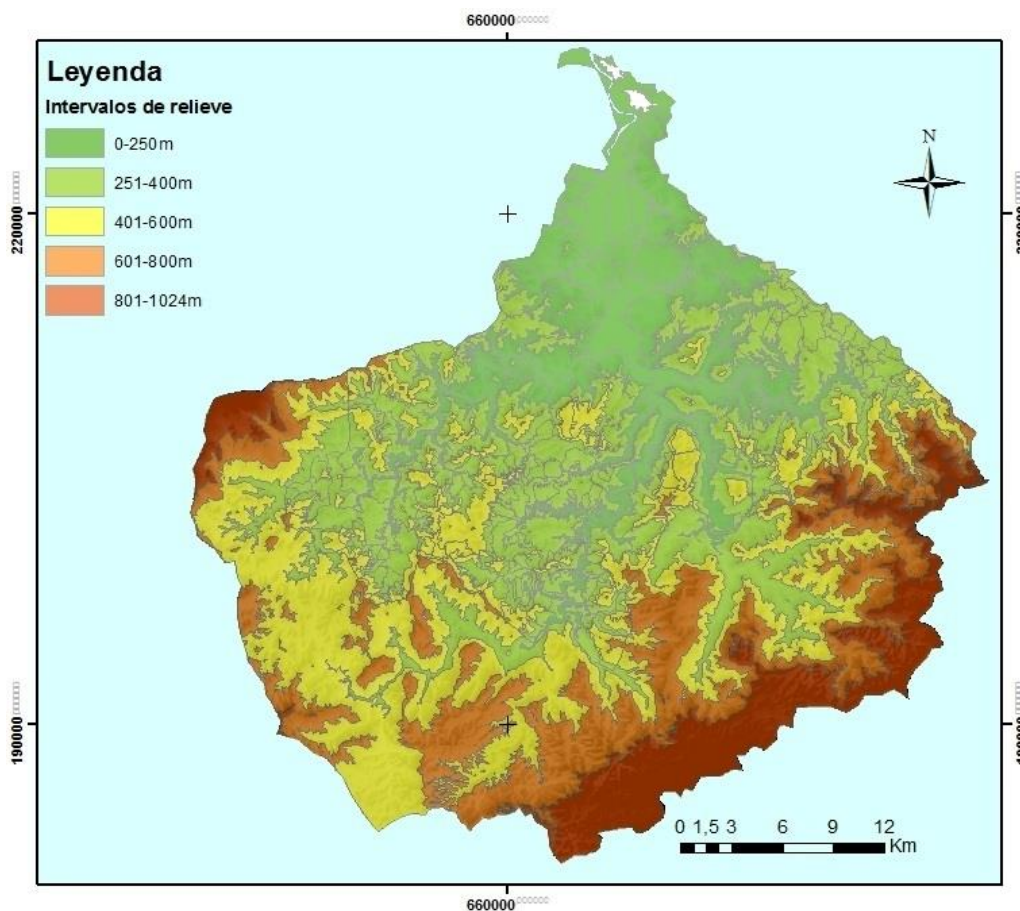


Figura 8. Mapa de relieve de la cuenca del río Sagua (confeccionado por el autor).

Por otra parte, la profundidad del nivel freático condicionada por la forma del terreno determina los niveles donde se encuentre el agua; si existen zonas donde la capa freática es muy profunda las plantas y organismos no podrán obtener la humedad que necesitan para desarrollarse y mueren; por otro lado si está muy cerca de la superficie la salinidad y alcalinidad de las aguas pueden matar los animales y plantas o impedir su proliferación.

2.5.4 Tipos de suelos

El estudio del tipo de suelo se obtiene a partir de la digitalización de los mapas topográficos 1:25000 del departamento de suelo del municipio. Para la evaluación del grado de susceptibilidad a la degradación en el área, es fundamental conocer los tipos de suelos presentes (figura 9). En la información digitalizada se creó una base de datos que registra las condiciones de profundidad y espesor de los horizontes por cada tipo de suelo.

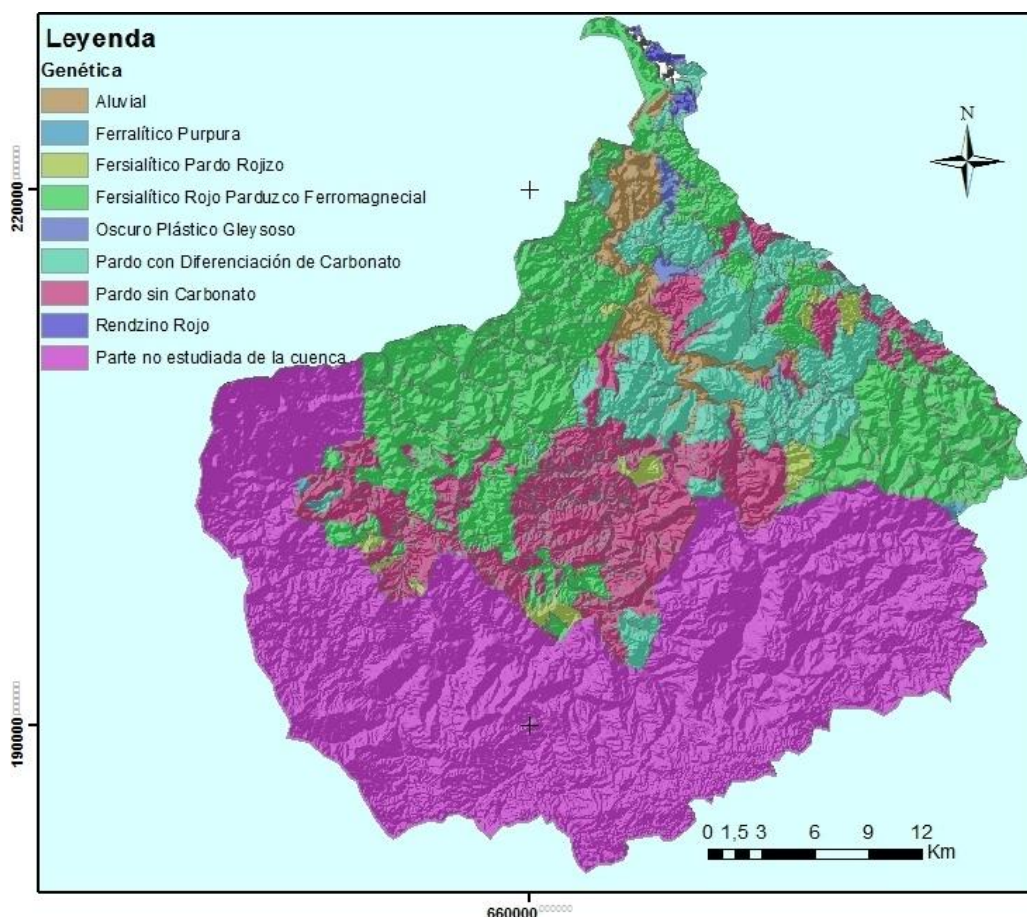


Figura 9. Mapa de suelos de la cuenca del río Sagua (confeccionado por el autor).

2.5.5 Tectónica

Las características tectónicas, fundamentalmente la incidencia que tiene las zonas de fallas es un elemento base para analizar el comportamiento de los procesos geodinámicos en la cuenca. El análisis del factor tectónico se realiza mediante un estudio de la distancia de cada estructura con las clases de índice de erosión e2 y e3.

El procedimiento de esta variable en el sistema, es a través de la herramienta buffer que no es más que establecer una distancia estándar (figura 10). Dicha distancia entre la estructura y la clase de índice de erosión se determina según lo observado en el terreno.

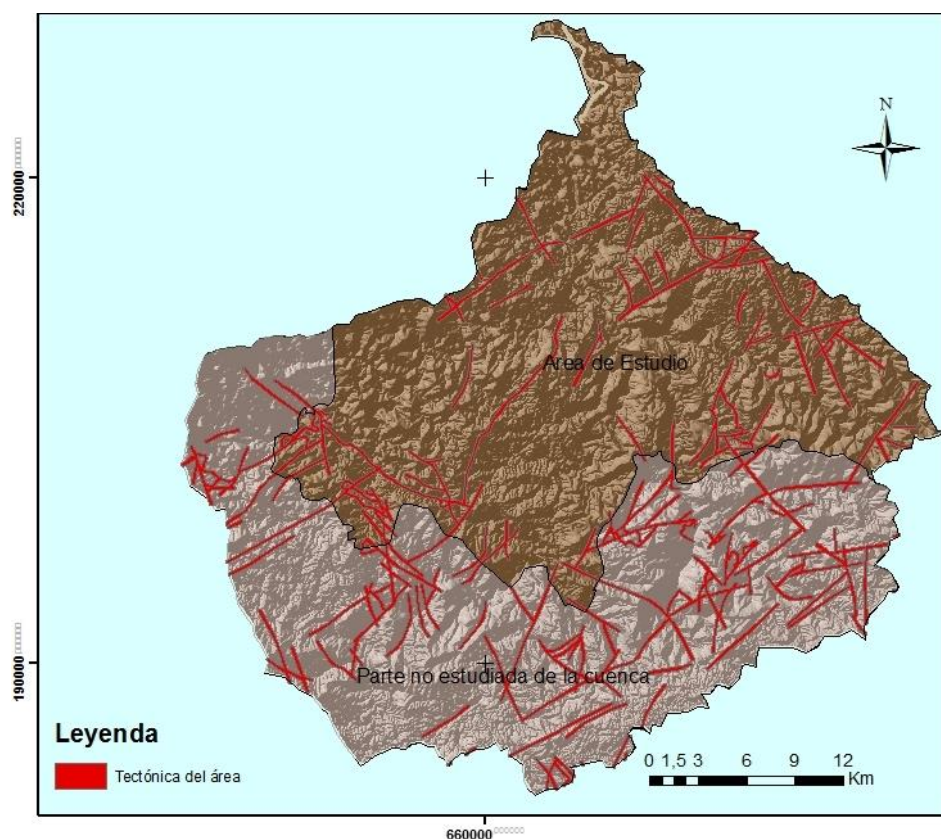


Figura 10. Mapa tectónico de la cuenca del río Sagua (confeccionado por el autor con datos tomado del IGP).

CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA DEGRADACIÓN POR EROSIÓN EN LA PARTE BAJA Y MEDIA DE LA CUENCA DEL RIO SAGUA.

Introducción.

En el presente capítulo se evalúa la susceptibilidad a la degradación por los procesos erosivos en la parte baja y media de la cuenca, partiendo de la caracterización de los factores naturales como geología, relieve, tipo de suelos y procesos geodinámicos que inciden en la degradación.

3.1 Trabajos cartográficos de campo

De los 606 puntos registrados y analizados en la base de datos se comprobó que los escenarios naturales están alterados por diferentes procesos geodinámicos. De los puntos registrados y analizados 44 se encuentran en área de erosión e2 (fuerte), 521 se encuentran en área de erosión e3 (media) y 41 se encuentran en área de erosión e4 (baja) (figura 11).

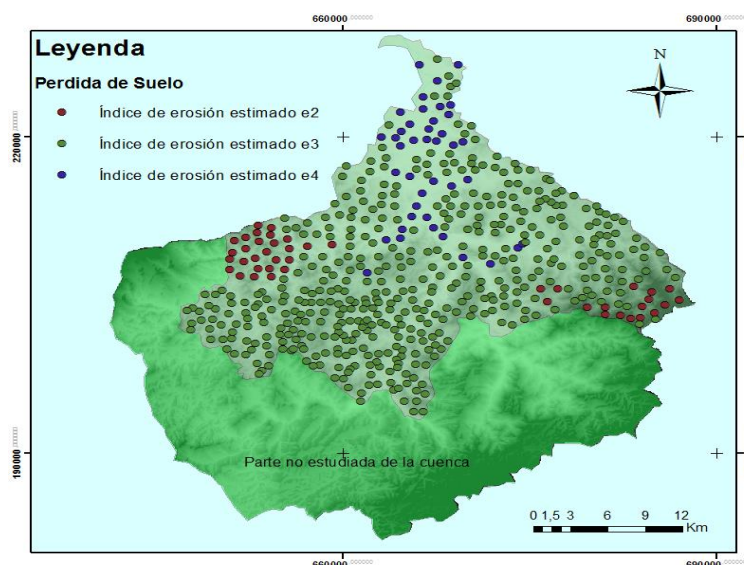


Figura 11. Comportamiento del índice de erosión en los puntos de documentados (confeccionado por el autor).

3.2 Cartografía digital de la Influencia de los factores naturales en la degradación de los suelos.

A continuación se describen la influencia de los factores estudiados en los procesos erosivos que se encuentran en la parte baja y media de la cuenca del río Sagua.

Geología del área.

En el análisis del factor geológico se determinó que no existe relación entre las unidades litológicas de mayor extensión en el área con las de mayor susceptibilidad. La geología es fundamental en la evaluación de la degradación de los suelos, se demostró mediante el análisis que las unidades litológicas más representativa del área son la Fm. Mícara con un 17,80%, los cúmulos maficos ultramaficos con un 17,72%, las tectónicas con un 16,22% y Fm. Picota con un 12,02% (figura 12).

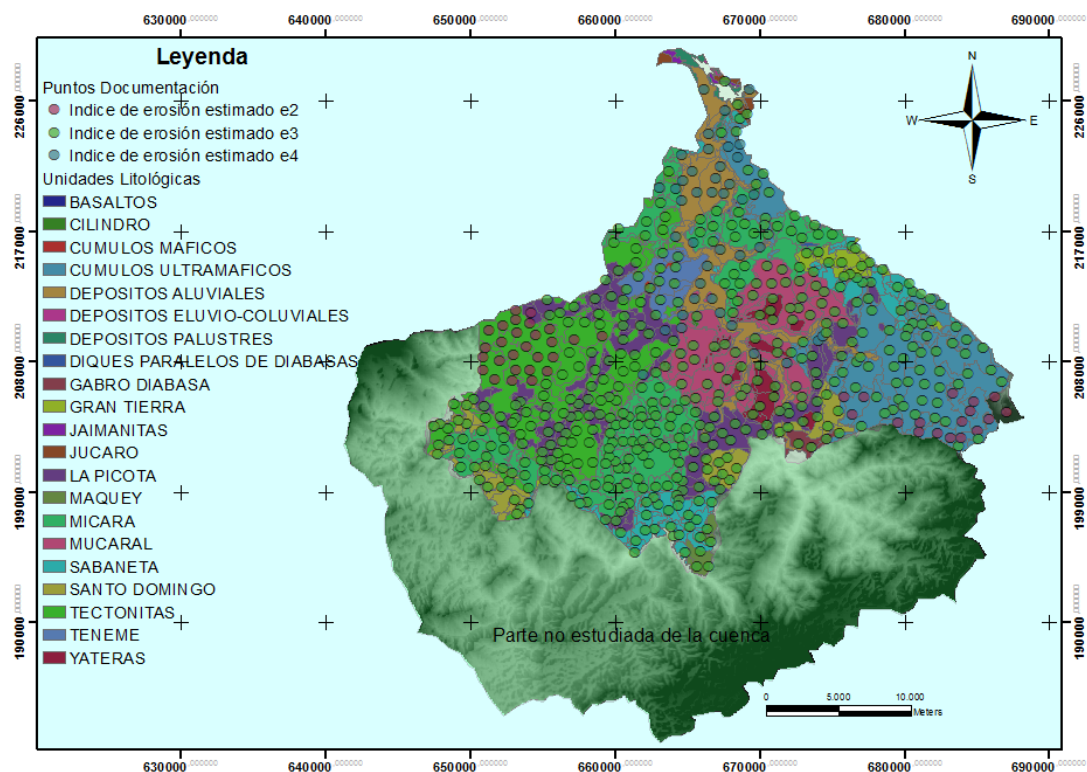


Figura 12. Relación de la geología y el índice de erosión en la parte media y baja de la cuenca del río Sagua.

En el área estudiada, las unidades más representativas son: la formación Gran Tierra con 0,90, Maquey con 0,90, Santo Domingo con 0,90, Tectonitas con 0,90 y Yateras con 0,89. Con el analisis realizado obtuvimos que los valores más altos de e2 y e3 se encuentran en la Fm. Micara y en los cumulos maficos y ultramaficos. El comportamiento de la susceptibilidad que tienen estas cortezas frente a los procesos geodinámicos como la erosión se describe en la tabla 2.

Tabla 2. Descripción del factor geológico.

Unidades Litológicas	Área de la clase (km ²)	%	Índice de Erosión e2 y e3 (km ²)	%	Valor de Susceptibilidad
Cúmulos máficos y Ultramaficos	107,23	17,725	105,68	19,35	0,89
Depósitos Aluviales	48,37	7,995	10,68	1,96	0,20
Depósitos Palustres	2,88	0,476	0,42	0,08	0,13
Fm. Gran Tierra	8,99	1,486	8,99	1,65	0,90
Fm. Júcaro	2,51	0,415	1,09	0,20	0,39
Fm. La Picota	72,73	12,022	70,70	12,94	0,88
Fm. Maquey	4,11	0,679	4,11	0,75	0,90
Fm. Mícará	107,74	17,809	100,83	18,46	0,85
Fm. Mucaral	61,79	10,214	56,67	10,37	0,83
Fm. Sabaneta	36,46	6,027	35,90	6,57	0,89
Fm. Santo Domingo	25,57	4,227	25,57	4,68	0,90
Tectonictas	98,18	16,229	98,18	17,97	0,90
Fm. Teneme	14,9	2,463	14,13	2,59	0,86
Fm. Yateras	13,52	2,235	13,30	2,43	0,89
Total	604,98		546,25		

Relieve.

En el análisis de correlación entre el relieve y el Índice de erosión, se pudo determinar su influencia sobre la degradación de los suelos (figura 13). A través del análisis se puede comprobar que las mayores modificaciones son las que se encuentran en las cotas entre los 250 m y 400 m. Intervalo donde se localiza el 27.45% del área de estudios con 329.41 km² siendo esta área la más susceptible con 0.37 ver (tabla 3).

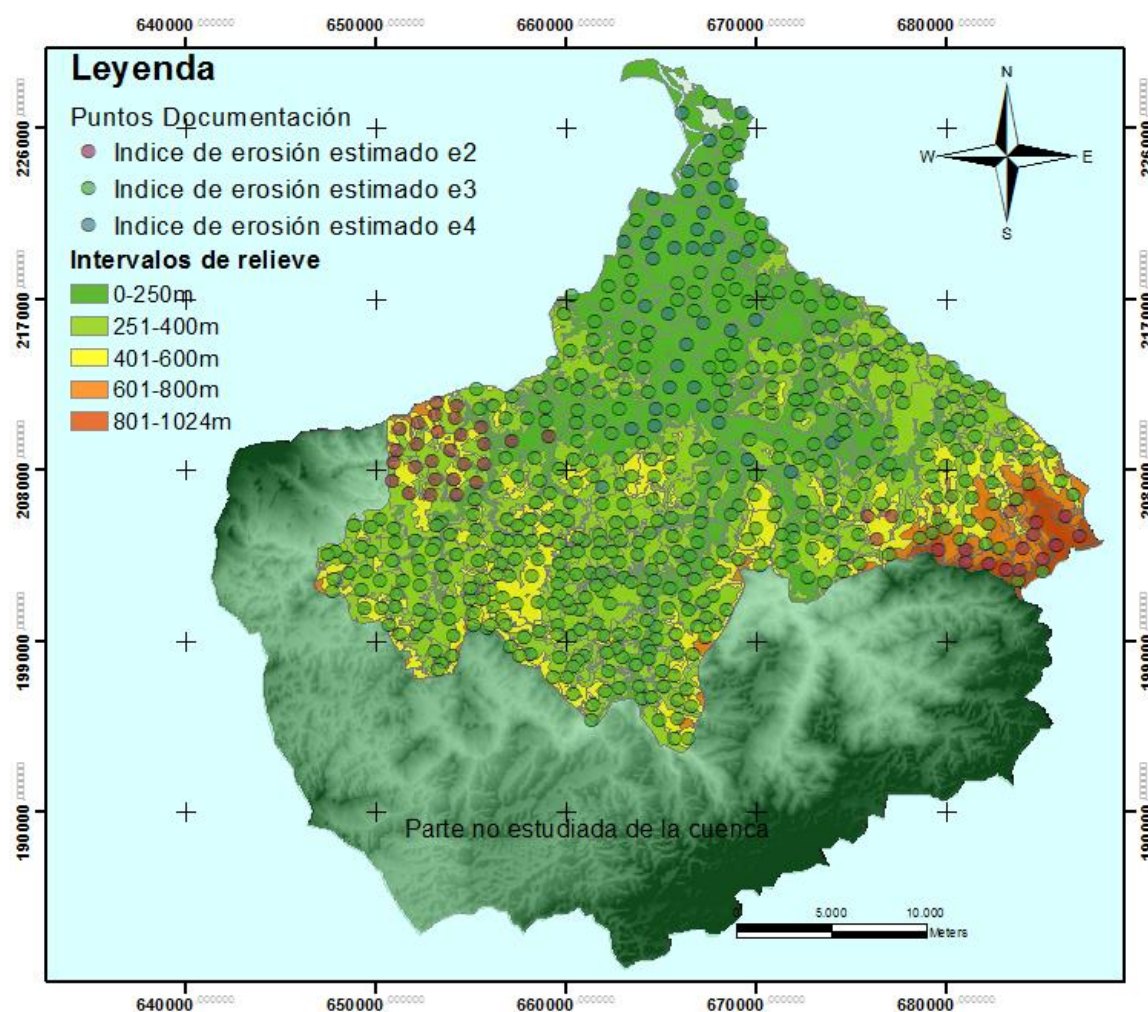


Figura 13. Relación del relieve y el índice de erosión en la parte media y baja de la cuenca del río Sagua.

Tabla 3. Descripción del factor relieve del área.

Relieve	Área por intervalos (km ²)	%	Índice de Erosión e2 + e3 (km ²)	%	Valor de Susceptibilidad
1 (0-250m)	219,86	18,326	162,92	29,02	0,35
2 (251-400m)	329,41	27,458	263,95	47,02	0,37
3 (401-600m)	320,44	26,710	95,95	17,09	0,14
4 (601-800m)	209,89	17,495	26,20	4,67	0,06
5 (801-1024m)	120,10	10,011	12,33	2,20	0,05
Total	1199,7		561,35		

Tectónica

Al comparar la relación entre el índice de erosión estimado y la tectónica se demostró que hasta una distancia de 120 m, existe influencia entre la estructura y los procesos erosivos e2 y e3. Es decir que el 100% de área que se encuentra hasta 120 m de la estructura, es susceptible a la degradación (figura 14 y tabla 4). Este análisis permitió determinar que debido a la tectónica presente en la zona, existen 50 km² del área de la cuenca que es susceptible a la degradación.

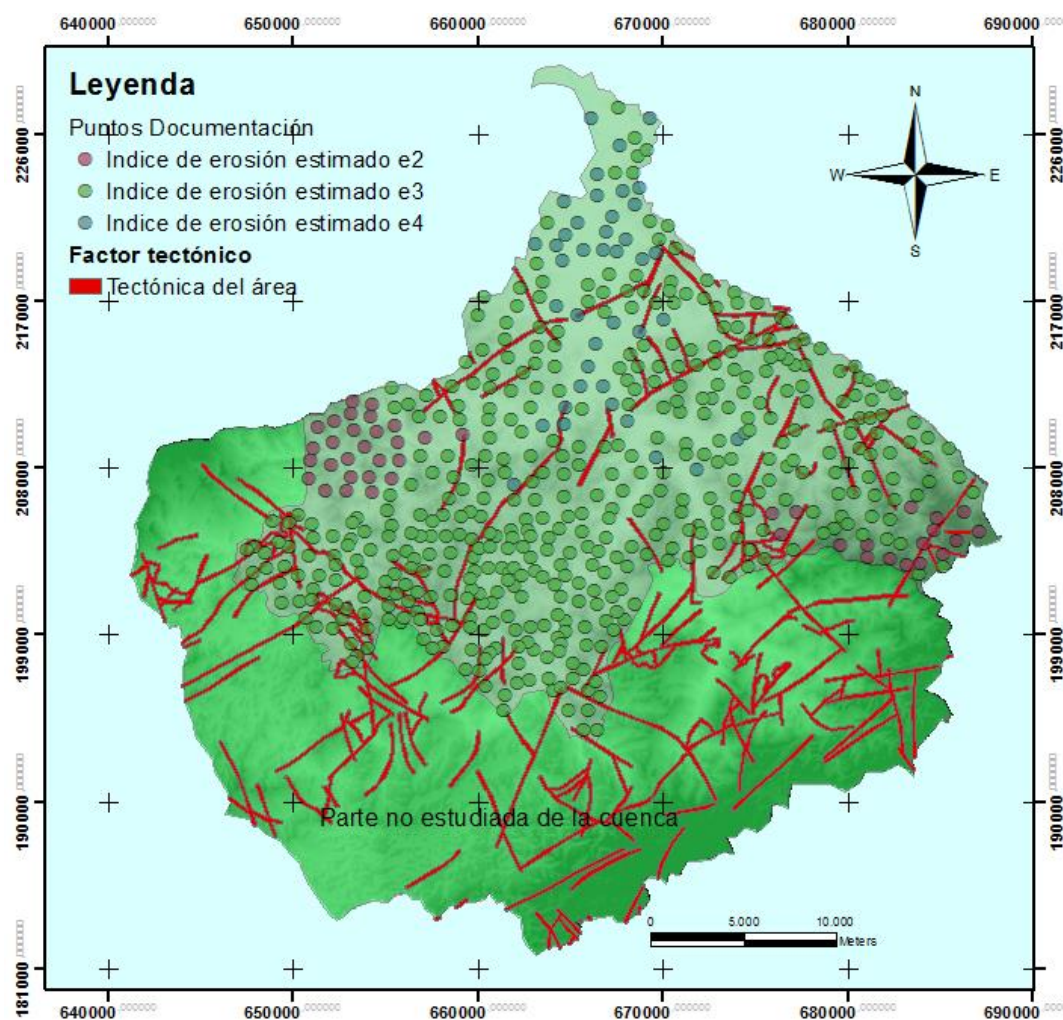


Figura 14. Relación de la tectónica y el índice de erosión en la parte media y baja de la cuenca del río Saguá.

Tabla 4. Descripción del factor tectónico.

Clases de Tectónica	Área (km ²)	%
Índice de erosión e2	2,99	5,92
Índice de erosión e3	47,5	94,08

Tipo de suelo.

Mediante el análisis de los tipos de suelos presentes en la cuenca y su relación con el índice de erosión se obtuvo que: los suelos fersialíticos rojo parduzco ferromagnecial están presentes en un 42,95 % del área, los pardos sin carbonato representan el 27,71 % y el pardo con diferenciación de carbonato el 19,53 % (figura 15).

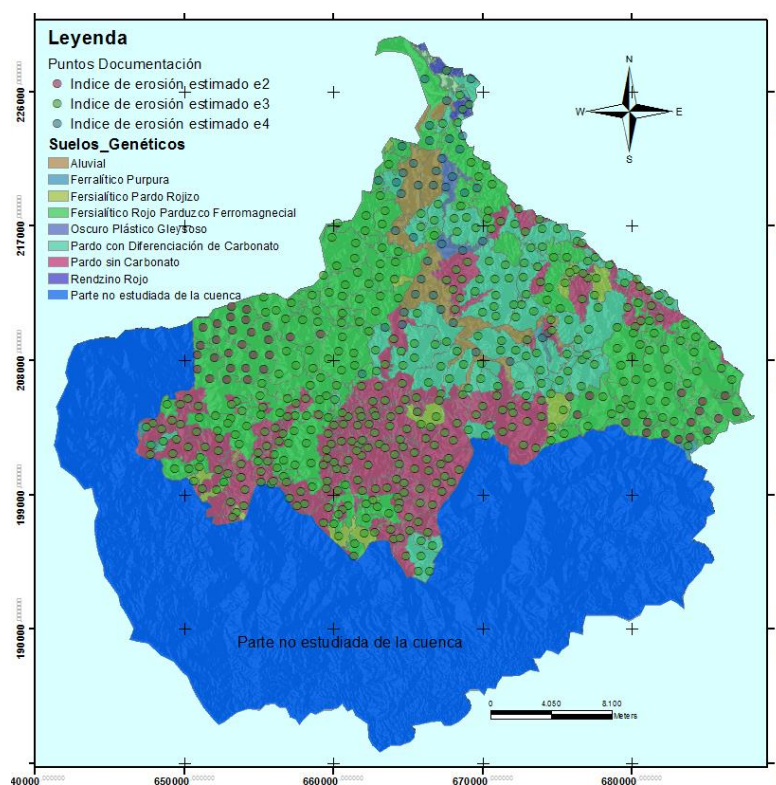


Figura 15. Relación del tipo de suelo y el índice de erosión en la parte media y baja de la cuenca del río Sagua.

La representatividad de los los pardos sin carbonato, el pardo con diferenciación de carbonato, el rendzino rojo y el fersialítico pardo rojizo coincide con los mayores valores de susceptibilidad (0,92). Otro suelo con valores altos de susceptibilidad fue el fersialíticos rojo parduzco ferromagnecial con un valor de susceptibilidad de 0,87.

Los resultados del análisis realizado por cada tipo de suelo y su relación con el índice de erosión estimada, se obtuvo que los valores más altos de e2 y e3 se encuentran en los suelos fersialíticos rojo parduzco ferromagnecial y en los pardos sin carbonato ver (tabla 5).

Tabla 5. Descripción del factor tipo de suelo.

CLASE DE TIPO DE SUELOS	Área de la clase (km ²)	%	Índice de Erosión e2 y e3 (km ²)	%	Valor de Susceptibilidad
Aluvial	32,78	5,25	1,76	0,31	0,05
Ferralítico Purpura	2,53	0,41	1,73	0,30	0,63
Fersialítico Pardo Rojizo	16,96	2,72	16,96	2,97	0,92
Fersialítico Rojo Parduzco Ferromanecial	267,97	42,95	253,26	44,29	0,87
Oscuro Plástico Gleysoso	5,67	0,91	-	-	-
Pardo con Diferenciación de Carbonato	121,85	19,53	121,85	21,31	0,92
Pardo sin Carbonato	172,91	27,71	172,91	30,24	0,92
Rendzino Rojo	3,30	0,53	3,30	0,58	0,92
Total	623,97		571,77		

Gran parte de estos se ubican en la parte medio central de la cuenca, donde se ha eliminado la vegetación autóctona, provocando la disminución de la capacidad productiva de los suelos y se han alterado los sistemas de drenaje naturales, desviando cauces fluviales y pequeños cursos. Todo esto altera el ciclo natural de regeneración de suelos condicionando la disminución de la capacidad productiva de los mismos.

Pendiente del terreno.

En la evaluación de la susceptibilidad en el área de estudio, demuestra que la pendiente no es una variable de mayor peso. Esto se explica, cuando el análisis de

los resultados obtenidos manifiesta que hay alta degradación de los suelos en áreas de bajas pendientes. Es por esto que en el procesamiento de la información no se usó la pendiente como una variable integrada al cálculo probabilístico. Con los resultados obtenidos se hizo una interpretación de los datos para ver la zona del área de estudio donde la pendiente tiene mayor influencia en la susceptibilidad (figura 16 y tabla 6).

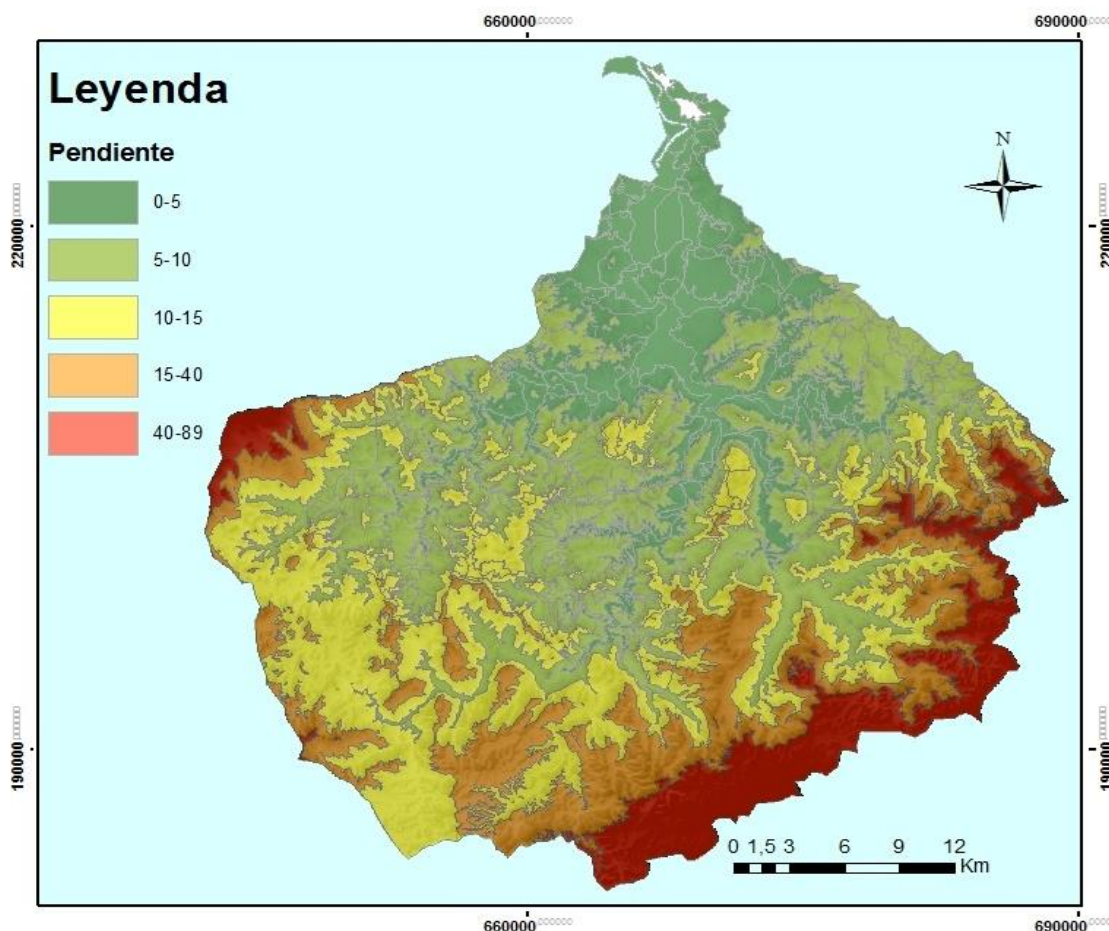


Figura 16. Relación de la pendiente del terreno y el índice de erosión en la parte media y baja de la cuenca del río Sagua.

Tabla 6. Descripción del factor pendiente.

Clases de pendientes	Índice de Erosión e2 y e3 (km ²)	%
0 ⁰ -5 ⁰	193,00	25,16

6°-10°	168,38	21,95
11°-15°	133,68	17,42
16°-89°	271,94	35,45

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

Mediante la integración de toda la información básica y el análisis e interpretación de los datos con el SIG, se obtuvo un mapa de degradación que indica la susceptibilidad del suelo a la erosión. Como fuentes de información se utilizaron los mapas bases de geología, modelo digital del terreno (relieve), tectónico, tipo de suelo, pendiente, procesos geodinámicos (Índice de erosión) y fotos satelitales.

Los menores niveles de degradación representan el 5,81% del área estudiada, estos se relacionan con depósitos aluviales, índice de erosión bajo y un relieve entre 0-200m de cota. Los valores más bajos se asocian espacialmente a zonas de pendientes entre 0°-5° (figura 17).

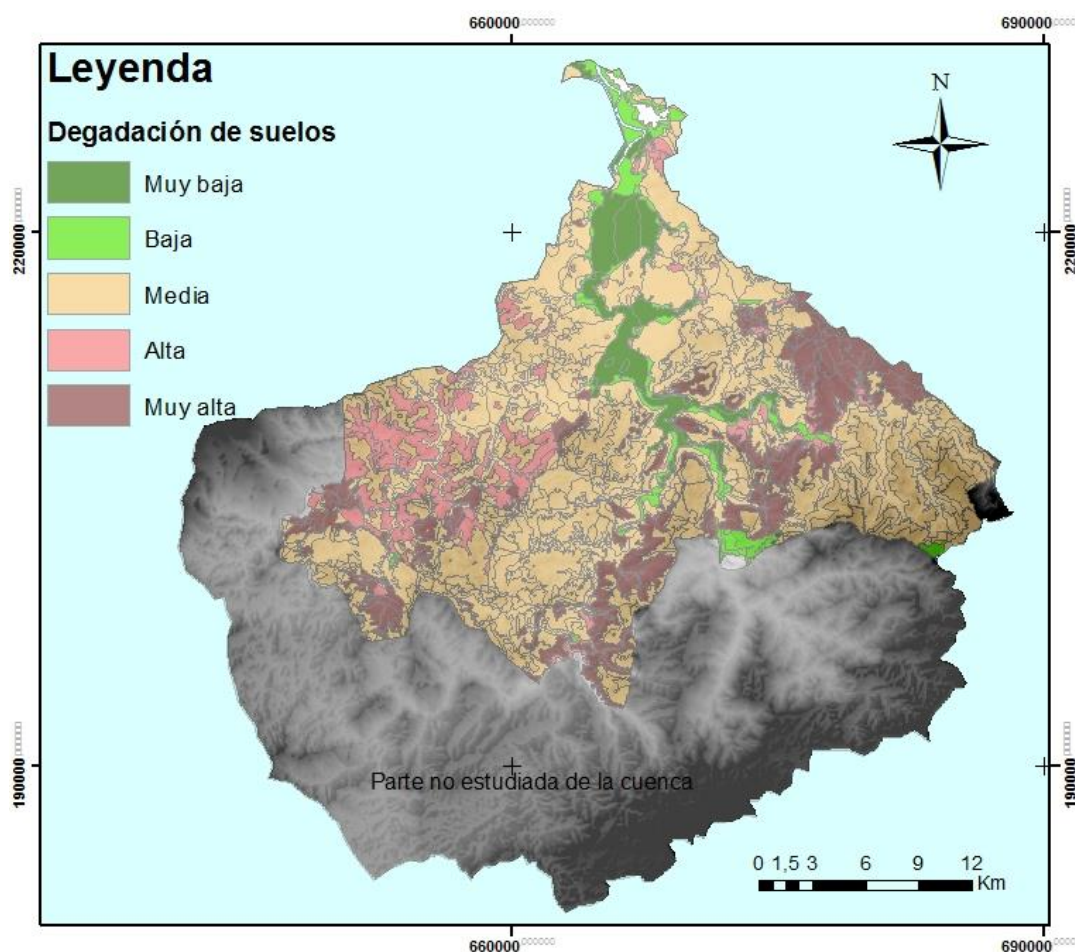


Figura 17. Mapa de susceptibilidad a la degradación de suelos por erosión en la parte media y baja de la cuenca del río Sagua.

La degradación media se expone en el 65,46 % de la cuenca y se manifiesta en toda el área donde la pendiente varía entre 6°-89°, el índice de erosión es moderado (e3) y fuerte (e2) y el relieve es cotas entre 250-600 m.

Los niveles de degradación alta, se ubican en el 9,15 % de la parte media y baja de la cuenca, lo cual está relacionada con las formaciones Picota y los cúmulos máficos ultramáficos presentes en el área.

Los valores de degradación muy alta, responden a la presencia de cúmulos máficos ultramáficos, a la formación Santo Domingo con un relieve entre 250-600 de cota y

los tipos de suelo fersialíticos pardo rojizo, pardos con diferenciación de carbonatos y pardos sin carbonatos. En toda esta zona el índice de erosión es moderado (e3).

Tabla 7. Descripción de los niveles de degradación.

Clases de susceptibilidad por degradación	Área susceptible en km²	%
Muy baja	35,48	5,81
Baja	27,67	4,53
Media	399,65	65,46
Alta	55,89	9,15
Muy alta	91,77	15,03

Una de las aplicaciones prácticas del mapa de degradación es que permite entender el comportamiento de los factores en un mismo medio y ayuda en el mejoramiento de las condiciones de productividad biológica de los suelos, así como perfeccionamiento de los planes de manejo integral del terreno con vista a un mejor aprovechamiento de los recursos del municipio.

Conclusiones Generales

1. En la investigación se comprobó que no existe relación entre las unidades litológicas de mayor extensión en el área con las de mayor susceptibilidad. Por otra parte, se identificó que las formaciones presentes en el área, las más susceptibles a la degradación por erosión son: Gran Tierra, Maquey, Santo Domingo, Tectonitas y Yateras.
2. A través del análisis de correlación entre el relieve y el índice de erosión se determinó que los mayores valores de susceptibilidad a la degradación por erosión se encuentran en las cotas entre los 250 m y 400 m, lo cual representa un 27.45% de la parte media y baja de la cuenca del río Sagua.
3. Al analizar la tectónica de la cuenca y su influencia en la degradación de los suelos, se demostró que hasta una distancia de 120 m de las fallas existen valores altos de susceptibilidad. Por esta relación 50 km² del área estudiada se considera susceptible a la degradación.
4. En la parte media y baja de la cuenca del río Sagua, la pendiente no es una variable determinante en la susceptibilidad a la degradación por erosión. Los resultados obtenidos manifiestan que hay alta degradación de los suelos en áreas de bajas pendientes.
5. En el área de estudio, los suelos más susceptibles a la degradación por erosión son: los pardos sin carbonato, el pardo con diferenciación de carbonato, el rendzino rojo, el fersialíticos pardo rojizo y el fersialíticos rojo parduzco ferromagnecial; estos ocupan el 93,4% de la parte media y baja de la cuenca del río Sagua.
6. El mapa de susceptibilidad elaborado como resultado de la investigación demuestra que el 25 % de la parte media y baja de la cuenca presenta susceptibilidades medias a alta, y que la mayoría de las áreas afectadas están asociadas a suelos con alta explotación agrícola o uso pecuario.

Recomendaciones

- Realizar monitoreos periódicos de los sectores donde la pérdida de suelos o índice de erosión son más elevados
- Utilizar por las autoridades competentes el mapa de susceptibilidad elaborado en la investigación, con el fin de monitorear las zonas degradadas y su comportamiento en la medida en que comienza la recuperación.
- Creación de un plan de medidas por parte de las autoridades pertinentes para minimizar la pérdida de suelos por erosión.

Bibliografía

- Abraham; Abraham; Elena M. "Lucha contra la desertificación en las tierras secas de Argentina; el caso de Mendoza. CYTED XVII, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo. Aprovechamiento y gestión de recursos hídricos. 2002.
- Almaguer Y. Metodología de cartografía de susceptibilidad a la rotura en cortezas lateríticas en el territorio de Moa, Cuba. Memorias del Taller Internacional de Riesgos Geodinámicos y Cierre de Minas (CYTED). Santa Cruz de la Sierra. 2005.
- Alvarado M. Reynoso R; Imelda R, Indicadores de degradación ambiental en la cuenca del río Zahuapan., enero de 2008.
- Antón, A. Suelos en Cuba, cuestión de hoy para el mañana. Granma (digital). Disponible en: <http://www.granma.cu/cuba/2018-05-09/suelos-en-cuba-cuestion-de-hoy-para-el-manana-09-05-2018-21-05-34>
- Bitar Yazbek, O. Recuperación de áreas degradadas por la minería en regiones urbanas .Geología Aplicada al Medio Ambiente, Instituto de Pesquisas Tecnológicas del estado de São Paulo (IPT) División de Geología – DIGEO. II curso internacional de aspectos geológicos de protección Ambiental (capítulo 23). 1997.
- Burrough, P. Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment. Oxford Science. 1994.
- Carreño-Vega. B; González-Febles M.J. Universidad Agraria de La Habana. La investigación de suelos erosionados: Métodos e Índices de diagnóstico. ISSN 0258 5979 Minería y Geología v. 21 n. 2, 2005.
- CCD/PNUMA. Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África. Texto con anexos. Suiza, 71p. 1995.

- CEPAL. Guía análisis y zonificación de cuencas hidrográficas para el ordenamiento territorial. 2013.
- Díaz J; Pérez D; Rodríguez Y. Determinación de índices de erosión de suelo aplicado análisis SIG para la localidad de San Andrés en la provincia de Pinar de Rio. Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente 2008.
- Del Bosque, I., Fernández Freire, C., Martín-Forero Morente, L., & Pérez Asensio, E. Los Sistemas de Información Geográfica y la Investigación en Ciencias Humanas y Sociales. Confederación Española de Centros de Estudios Locales (CSIC). 2012.
- Galán, D. Tesis de diploma. Análisis de la vulnerabilidad frente a deslizamientos en un tramo del camino a la Melba. 65 p. 2011.
- García Quintana, Dannier. Análisis del proceso de degradación de los suelos en la cuenca del Rio Cayo Guam. 2013.
- Gaspari F; Bruno J. Diagnostico de degradación ambiental por erosión hídrica en la cuenca del arroyo Napostá Grande., junio 2003.
- Iturralde M. Iturralde M. Sinopsis de la constitución y evolución geológica de Cuba. Inédito, 1997.
- López –Correa, P. Erosión en cárcavas en áreas degradadas del sector este del Parque Nacional Alejandro de Humboldt. Tesis de maestría. Departamento de Geología. 2003.
- López, L. Diccionario de Geografía aplicada y profesional. Terminología de análisis, planificación y gestión del territorio. Universidad de León. España. 2015.
- Martínez. Alberto; Sánchez Ruíz; Reina Márquez, Miranda Morejón. Departamento de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Causas y efectos de la degradación del suelo en un agrosistema dedicado al cultivo del tabaco. CIGET Pinar del Rio vol.8 No.4 octubre-diciembre 2006 (trimestral) RNSP No 1893. ISSN 1562-3297. (2001, 2003)

- Martínez. B; et al. "Desarrollo de una metodología de detección de cambios en zonas susceptibles de procesos de degradación". Dept. de Termodinámica Fac. De Física, Universidad de Valencia. Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global (2001) 110-113. 2001.
- Milan, E., Carcases, M., Ferrer, J. Procedimiento para la rehabilitación minero-ambiental de yacimientos piríticos polimetálicos cubanos. *Minería y Geología* / v.28 n.4 / octubre-diciembre / 2012 / p. 20-40 ISSN 1993 8012. (2012).
- PNUMA; Estado de la desertificación y aplicación del Plan de Acción de las Naciones Unidas para combatir la desertificación. Informe del Director Ejecutivo. Nairobi, UNEP, GCSS, III-3, 94p. 1991
- Quintas F. Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. Tesis doctoral, Departamento de Geología, I.S.M.M., 1989.
- Ramayo Cortés, Leduar "Texturas de los minerales del grupo de la sílice de la manifestación epitermal el rifle-hato viejo, región de Moa: clasificación, descripción e implicaciones genéticas." 2001
- Raposo-Vallejo. O; Vargas Martínez .A; metodología para la cartografía digital de la erosión hídrica del suelo en un sector del municipio de Moa. Revista Minería y Geología Vol. XVII No. 3-4,2000. ISSN 0258 5979. (2000).
- Regalado. Z; Medidas contra la desertificación y la sequía en Pinar del Río. 2011.
- Rodríguez A., "Estudio Morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica". Tesis doctoral. Departamento de geología, ISMM, Cuba. 1998.
- Rodríguez W. y Valcarce R. M. "Aplicación SIG para evaluar el peligro de inundaciones". VI Congreso Cubano de Geología y Minería. Geomática. 2005.
- Rubio. J en el Convenio de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación.

- Salatino, E. Desertificación en oasis. (En: Plan de Acción de lucha contra la desertificación en la Región Centro-Oeste de Argentina. Mendoza, IADIZA, Ed. CD). 1996.
- Santibáñez Quezada; Fernando, Paula Santibáñez Varnero, Monitoreo de la desertificación mediante indicadores ambientales y sociales y métodos participativos: el sistema MONITOR. Capítulo VIII IX Reunión Regional de América Latina y el Caribe, Bogotá, D. C., 18 al 20 de junio de 2003. 2003.
- Urquiza, M. Integración del programa de acción nacional de lucha contra la desertificación y la sequía a los programas de desarrollo sostenible en Cuba. Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo, (5). 2003
- Vantour, A., Cruz, R., Páez, M., Martín, G., & Capote, R. (2016). Diagnóstico de la degradación y vulnerabilidad a la desertificación de las tierras en Cuba. Disponible en: <http://www.observatoriogeograficoamericalatina.org>
- Velásquez, H., Menjivar, J., & Escobar, A. Identificación de suelos susceptibles a riesgos de erosión y con mayor capacidad de almacenamiento de agua. 2007.

Anexo 1. Indicadores de la degradación de suelos (PNUMA, 1995).

Causas de la degradación	Efectos
Disminución y degradación de la cobertura vegetal natural.	El bosque es sustituido por formaciones Secundarias de arbustos y matorral. El suelo menos rugoso o desnudo es más vulnerable a la erosión.
Reducción en el contenido en materia orgánica.	Pérdida de fertilidad: física (peor estructura); química (disminuye poder amortiguador e intercambio iónico) y biológico (sustento de Organismos).
Disminución de los organismos del suelo.	Alteraciones en la evolución de la materia orgánica, edafogénesis y fijación del nitrógeno.
Reducción excesiva de la biomasa y pérdida de biodiversidad natural.	Invasión de especies vegetales específicas de suelos degradados.
Aceleración de la erosión del suelo tanto causada por el agua como por el viento, por alteración del suelo y vegetación.	Erosión hídrica y eólica, como consecuencia de la menor cobertura vegetal.
Compactación del suelo, por el uso de maquinaria o labores inadecuadas, o sobrepastoreo.	Disminución de la porosidad, de la capacidad de infiltración y de la capacidad de retención de humedad.
Deterioro, incluso pérdida, de la estabilidad estructural del suelo y tendencia a la formación de costras.	Se incrementa los valores de las escorrentías superficiales y su potencial erosivo.
Transferencias de materiales edáficos y nutrientes de las partes altas de las laderas a las bajas.	Eliminación de los horizontes superficiales en las partes elevadas de las laderas.
Acumulación de sedimentos y nutrientes al pie de las laderas, vaguadas, lechos fluviales y embalses.	La acumulación puede convertir en improductivo el suelo cubierto, o puede colmatar embalses.
Aumento de la pedregosidad por transporte de los materiales más fino del suelo.	El suelo puede llegar incluso a quedar cubierto en superficie totalmente de piedras.

Disminución del espesor del perfil edáfico. Incluso puede aflorar en superficie el material parental.	Deja patente en el paisaje un vistoso mosaico de colores, por truncamiento de los horizontes superiores. Pérdida de suelo fértil en las zonas altas. Alteración de la infiltración en el perfil edáfico.
Pérdida de los materiales más finos superficiales. Pérdida de la base de sustentación de las raíces de las plantas.	Presencia de columnas, pedestales y montículos de erosión. En árboles pueden aparecer las raíces al aire.
Incisiones de diversa magnitud en el terreno.	Surcos, cárcavas, y barrancos.
Hundimientos y socavones por remoción y evacuación de material por conductos debajo del suelo.	Subfusión
Topografía abarrancada	Paisajes áridos (Badlands).
Contaminación del suelo. Salinización y alcalinización del suelo. Acidificación.	Pérdida de fertilidad. Contaminación de aguas superficiales y acuíferos.
Ocupación del suelo por obras e infraestructuras.	Pérdida horizontal de suelo fértil.
Incendios forestales provocados.	Pérdida de biodiversidad y de suelo fértil. Alteración del equilibrio en el ecosistema edáfico.
Perturbación en la regulación del ciclo hidrológico.	Reduce la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y agrava los efectos de la sequía. Puede haber mayores riesgos por inundación y avenidas.
Degradación de los recursos hídricos.	Reducción del agua disponible debido a la alteración del ciclo hidrológico y a la sobreexplotación de acuíferos. Desaparición de fuentes y manantiales y de los humedales y fauna a ellos asociados