



ISMMM
INSTITUTO SUPERIOR MINERO
METALURGICO DE MOA
DR. ANTONIO NUÑEZ JIMÉNEZ



GEOMIN
FACULTAD GEOLOGIA-MINAS
INGENIERÍA GEOLÓGICA

Trabajo de Diploma

En Opción al Título de

INGENIERO GEÓLOGO

Título: Diagnóstico de la vulnerabilidad global ante la erosión fluvial e inundaciones de los Consejos Populares Moa Centro y Los Mangos -Joselillo del municipio Moa

Autora: Yaima Maclaren Leyet

Tutor: Dr.C Tereza Hernández Columbié

Moa, 2018

“Año 60 de la Revolución”



PENSAMIENTO



“No digas de un error: - “es solo cuestión de opiniones “. Nadie consiente errores en teoría, sin tarde o temprano tolerar errores en práctica.”

Charles Spurgeon

“Si una persona es perseverante, aunque sea dura de entendimiento, se hará inteligente; y aunque sea débil se transformará en fuerte.”

“La práctica debe siempre ser edificada sobre la buena teoría.”

Leonardo Da Vinci

“A la cima no se llega superando a los demás, sino superándose a sí mismo.”

Anónimo

DEDICATORIA

Dedico esta tesis:

A mis padres por darme la vida y por contar con su apoyo durante todo mi tiempo de estudio.

A mis hermanos Yordanis y Yarisaídís.

A Yadian, por estar a mi lado en todo momento y por su ayuda incondicional, y a mi princesita Rocío que ha sido el regalo más bello.

A mi familia en general, mis amigos y compañeros de aula.

A mis profesores y tutores.

A todos aquellos que de una manera u otra han hecho posible esta tesis.

A la Revolución y al invicto Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios que me ha dado las fuerzas para avanzar no importando las dificultades que se presentan en el camino.

A mi tutora la Dra. C. Tereza Hernández Columbié por darme la oportunidad de realizar este tema a su lado y brindarme tantos conocimientos. Por impulsarme hacia las metas propuestas, por cada segundo dedicado de su tiempo el cual es bien limitado.

A Yadian por brindarme tanto amor y apoyo.

A mis padres por su educación y su apoyo brindado con el mayor amor del mundo.

A mis queridos hermanos que los amo mucho.

A toda mi familia porque son el motor impulsor para lograr las metas que me he trazado.

A todos mis profesores en el ISMMM por la excelente preparación que he recibido de cada uno de ellos.

RESUMEN

El presente trabajo titulado “**Diagnóstico de la vulnerabilidad global ante la erosión fluvial e inundaciones de los Consejos Populares Moa Centro y Los Mangos -Joselillo del municipio Moa** ”, tiene como objetivo general zonificar la vulnerabilidad global por los fenómenos geológicos de erosión fluvial e inundación los Consejos Populares Moa Centro y Los Mangos - Joselillo del municipio Moa, Holguín. La metodología empleada para el análisis de la vulnerabilidad se realiza mediante la evaluación cualitativa de las condiciones ambientales, económicas, sociales y geológicas que se manifestaron de forma directa u otras que puedan dar indicios de fenómenos presentes. Se aplica la metodología de Wilches Chaux para determinar la vulnerabilidad global. Los resultados de la investigación determinaron que los análisis de la vulnerabilidad global es media ante procesos de erosión fluvial en el sector 1 (puntos 1,2, 4 y 5) y vulnerabilidad global alta ante inundaciones en el sector 2 (puntos 2, 3, 5, y 6); se realiza una propuesta de un plan de medidas para la prevención, mitigación y corrección de impactos.

ABSTRAC

The present work entitled "Diagnosis of global vulnerability to fluvial erosion and flooding of the Moa Centro and Los Mangos People's Councils -Joselillo of the Moa municipality", has as general objective to zonificar the global vulnerability by the geologic phenomena of fluvial erosion and flood the Popular Councils Moa Center and The Mangos - Joselillo of the municipality Moa, Holguín. The methodology used to analyze vulnerability is carried out through the qualitative evaluation of the environmental, economic, social and geological conditions that were manifested directly or others that may give indications of present phenomena.. The Wilux Chaux methodology is applied to determine the global vulnerability. The results of the investigation determined that the analysis of global vulnerability is medium to processes of fluvial erosion in sector 1 (points 1,2, 4 and 5) and high global vulnerability to floods in sector 2 (points 2, 3, 5, and 6); a proposal of a plan of measures for the prevention, mitigation and correction of impacts is made.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	9
CAPITULO I. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL. CARACTERÍSTICAS GENERALES. RASGOS FÍSICO- GEOGRÁFICOS Y GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	11
Introducción.....	11
1.1 Generalidades.....	11
1.2 Estadios evolutivos de un río.....	12
1.3 Procesos de erosión, transporte y sedimentación fluvial	13
1.4 Riesgos de avenida e inundación:.....	16
1.5 Investigaciones precedentes	22
1.6 Definición del modelo conceptual de vulnerabilidad.....	30
1.7 Características regionales de Moa.....	32
Ubicación geográfica de la región	32
1.7 Características geológicas del área de estudio.....	34
Relieve	34
Clima.....	36
Economía.....	37
Geología Regional.....	38
Tectónica	44
Conclusiones parciales.....	47
CAPITULO 2: METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS	48
2.1 Introducción.....	48
2.2 Metodología de la investigación.....	48
2.3. Descripción de las etapas de trabajo.....	49

2.4. Diagnóstico de la vulnerabilidad.....	50
Métodos aplicados para la realización del diagnóstico de la vulnerabilidad	50
2.5. Clasificación cualitativa de la vulnerabilidad global.....	50
Conclusiones parciales	54
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	55
3.1 Introducción.....	55
3.2 Descripción del Área de estudio	55
Sector # 1. Punto # 1.....	55
Sector # 2. Punto # 1	61
3.3 Evaluación de la Vulnerabilidad Global (VG).....	66
3.4 CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD GLOBAL.....	66
3.5 Zonificación de la vulnerabilidad en el área de estudio.	69
Zonificación de la vulnerabilidad global del sector 1.....	69
Zonificación de la vulnerabilidad global del sector 2.....	71
3.6 Medidas de prevención, mitigación y corrección	72
Conclusiones parciales	73
CONCLUSIONES GENERALES.....	74
RECOMENDACIONES.....	75
BIBLIOGRAFÍA.....	76
ANEXOS	78
ANEXO 1.....	78

INTRODUCCIÓN

Los ríos constituyen los agentes más importantes en el drenaje y transporte de materiales del suelo de las áreas elevadas a las más bajas, y de los continentes al mar. Los procesos fluviales son los responsables de la distribución del agua en las tierras emergidas y contribuyen a la recarga de las capas acuíferas. Los desastres relacionados con flujos de ríos o invasión de aguas del mar no se deben analizar únicamente desde el punto de vista de la presentación del fenómeno, puesto que estos eventos se relacionan también con aspectos socioeconómicos, como la utilización inadecuada de la tierra, la urbanización y las formas de vida, la deforestación, la erosión de los suelos, el inadecuado manejo de la basura. Los episodios catastróficos relacionados con el agua suponen generalmente riesgos para las poblaciones. Estos riesgos suelen tener relación con dos procesos: inundaciones producidas por desbordamiento de los ríos y por deslizamiento de laderas y taludes.

El manejo de cuencas incluye diferentes aspectos en los cuales interviene el geólogo. Los sistemas fluviales son frecuentemente utilizados como vertederos de desechos industriales y humanos, la conservación del perfil de equilibrio de los cauces es alterada frecuentemente por dragado o aporte excesivo de carga física o sedimentos debido a actividades mineras, agrícolas y constructivas.

En nuestro país, y en particular nuestro municipio de Moa, las zonas montañosas son susceptibles a riesgos asociados a movimientos de masas en sus taludes y laderas, esto se debe a las condiciones ingeniero geológico existente: el relieve, las lluvias intensas, la geología y su tectónica, la sismicidad, los procesos geológicos y la acción antrópica. El presente trabajo se basó en realizar un diagnóstico de la vulnerabilidad ante la erosión fluvial e inundaciones de los Consejos Populares Moa Centro y Los Mangos - Joselillo del municipio Moa, Holguín.

Situación problemática

Incremento de los niveles de la vulnerabilidad ante la erosión fluvial y las inundaciones pluviales en los Consejos Populares Moa Centro y Los Mangos - Joselillo del municipio Moa, Holguín, los cuales han causado daños a la comunidad, la economía y el medio ambiente.

Problema científico

La inexistencia de un diagnóstico de la vulnerabilidad global ante la erosión fluvial e inundaciones de los Consejos Populares Moa Centro y Los Mangos - Joselillo del municipio Moa, Holguín.

Objetivo general

Zonificar la vulnerabilidad global por los fenómenos geológicos de erosión fluvial e inundación en los Consejos Populares Moa Centro y Los Mangos - Joselillo del municipio Moa, Holguín.

Hipótesis

Si se conoce el estado actual del proceso erosivo en la red fluvial y las áreas de inundación, se podrá definir el nivel de vulnerabilidad existente ante estos peligros y proponer las medidas para la prevención, mitigación y corrección de estos fenómenos en el área de estudio.

Objeto de estudio

La red fluvial de los Consejos Populares Moa Centro y Los Mangos - Joselillo del municipio Moa, Holguín.

Campo de acción

La vulnerabilidad global de los Consejos Populares Moa Centro y Los Mangos - Joselillo del municipio Moa, Holguín ante los procesos de erosión fluvial e inundaciones.

Objetivos específicos

- Caracterizar geo ambientalmente el área de estudio.
- Definir la metodología de trabajo para zonificar la vulnerabilidad global en el área de estudio.
- Determinar la vulnerabilidad global en el área de estudio.
- Proponer un plan de medidas para la prevención, mitigación y corrección ante la erosión fluvial e inundaciones en el área de estudio.

CAPITULO I. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL. CARACTERÍSTICAS GENERALES. RASGOS FÍSICO- GEOGRÁFICOS Y GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo realizar un análisis de la temática a nivel internacional y nacional, además de caracterizar geo ambientalmente el área de estudio.

1.1 Generalidades

Hidrodinámica básica. Una corriente fluvial es una masa de agua que se desplaza, debido a su energía potencial, desde puntos de mayor energía (mayor cota topográfica) a los de menor. Se denomina nivel de base el punto en que esta energía se anula (el mar, otro río confluente, un lago, etc.). El agua del río, durante su desplazamiento, vence unos rozamientos externos e internos. La velocidad del agua es máxima en la zona central y mínima en los bordes y fondo por el rozamiento con las paredes (Figura 1).

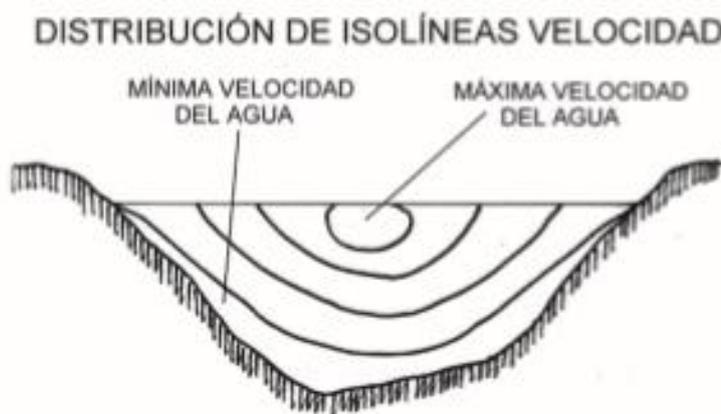


Figura 1. Distribución de la velocidad del agua de un río

1.2 Estadios evolutivos de un río

Los cauces fluviales tienden a adquirir un perfil longitudinal que suponga el mínimo gasto de energía posible, es decir, el menor desgaste de la potencia bruta. Así, la corriente pretende establecer una pendiente, denominada pendiente o perfil de equilibrio, que sea justamente la necesaria para el transporte de la carga. Naturalmente, dicho perfil es totalmente teórico, e inalcanzable, pero no obstante los ríos tienden a aproximarse a él. Los ríos modifican su perfil, sobre todo, cuando discurren por una llanura aluvial, ya que sus materiales, altamente movilizables, permiten un fácil y rápido ajuste a las condiciones del flujo, bien por erosión o por sedimentación. Un análisis diacrónico de la evolución de los ríos nos lleva a distinguir unas etapas o grados de evolución: estadios de juventud, madurez y senectud (Sangalli, P. 2010).

- **Estadio de juventud.** Ríos de carácter torrencial, lejos de su perfil de equilibrio, por lo que producen una intensa erosión vertical, profundizando sus valles, que adoptan un perfil en uve. La red fluvial está mal definida y poco desarrollada, y en todo el sistema arterial de ríos y afluentes se desencadena una intensa erosión remontante. Esta fase juvenil acaba cuando los ríos adquieren su teórico perfil de equilibrio o al menos están próximos a lograrlo. En definitiva, las características más acusadas de esta fase juvenil son: perfiles transversales en "V" e intensa erosión vertical y recesiva.
- **Estadio de madurez.** En él predomina la acción erosiva lateral, formación de meandros y ensanchamiento de los valles fluviales hasta formar amplias llanuras de inundación. La red fluvial se adapta paulatinamente a las características litológicas y estructurales de la cuenca hidrográfica. En suma, esta fase se caracteriza por la erosión lateral y rebajamiento del relieve entre divisorias.
- **Estadio de senectud.** En su etapa de senectud, no solo el río, sino también el relieve, ha alcanzado un estado de equilibrio muy avanzado. El perfil de los ríos se ha regularizado en grado sumo, las laderas

presentan su perfil de equilibrio, las diferencias de cota en el terreno se han reducido extraordinariamente, de tal forma que el relieve se aproxima a una penillanura. El relieve queda reducido a ondulaciones sumamente suaves, casi imperceptibles, que separarían vastas llanuras fluviales. Los ríos que circulan por tales llanuras tienen equilibrados los procesos de erosión, transporte y sedimentación.

Esta apacible configuración del paisaje es en realidad teórica, pues se necesitan enormes periodos de tiempo de calma tectónica, orogénica, climática, etc., para conseguirlo.

1.3 Procesos de erosión, transporte y sedimentación fluvial

La erosión fluvial: La erosión en un río se produce cuando la energía (o potencia bruta) de una corriente fluvial es mayor que el sumatorio de potencia fricción (la empleada en salvar fricciones) y potencia de transporte (la empleada en transportar materiales). Ver Figura 2. Esta toma tres modalidades: vertical, recesiva o remontante, y lateral.

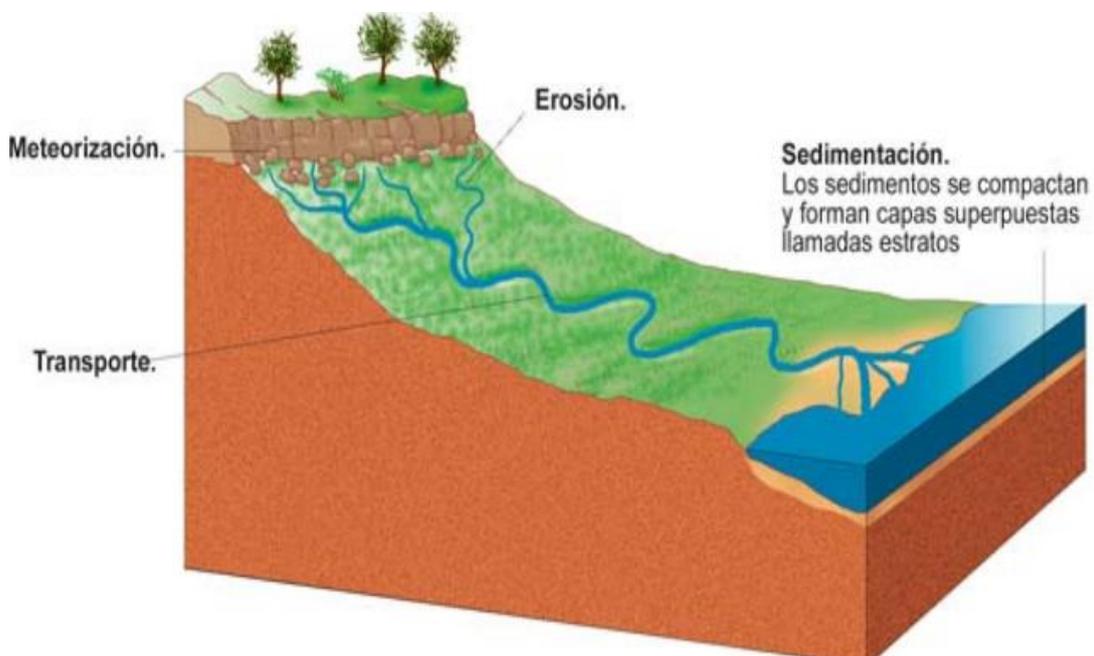


Figura 2. Fases de la dinámica fluvial

- Erosión vertical. La erosión vertical es el resultado de un conjunto sumatorio de procesos:
 - Abrasión, ejercida por la carga de fondo transportada por el río. Así, el movimiento giratorio helicoidal que puede tomar la corriente en algún punto debido a la rugosidad del lecho hace girar los cantos que transporta. El resultado es la formación de profundas cubetas con forma circular en el fondo del cauce, que reciben el nombre de marmitas de gigante o pilancones.
 - Acción hidráulica, debido a la velocidad de la corriente, que ahonda cada vez más en el cauce.
 - Por último, disolución en materiales solubles (yesos, sales, calizas, etc.), que puede producir una intensa erosión química.
- Erosión recesiva o remontante. Los ríos y arroyos tienden a ampliar sus cuencas hidrográficas por la continua erosión remontante de sus aguas. Las divisorias hidrográficas no son, pues, estáticas, sino que tienden a trasladarse aguas arriba

Erosión lateral (meandros). El río también tiende a ensanchar su valle, para lo cual ejerce una erosión lateral. La prueba más clara de la existencia de esta erosión la constituye la formación y evolución de los meandros. Los meandros son originados como consecuencia de un equilibrio entre pendiente topográfica, y distintos factores: velocidad, carga, caudal, etc. Suelen formarse en los tramos medios o bajos de los ríos. La acentuación de la curva es debida a que en la orilla cóncava hay una activa erosión, en tanto que en la convexa hay sedimentación, lo que da lugar a pequeñas playas fluviales. Según muestra la Figura 2, el flujo de agua al entrar en la curva choca contra la orilla cóncava, erosionándola. La existencia de las corrientes hace que los materiales sean transportados desde la orilla cóncava a la convexa. Como este fenómeno ocurre tanto en la entrada como en la salida de la curva, el meandro tiende a estrangularse y abandona el cauce fluvial, en cuyo caso recibe el nombre de meandro abandonado (Sangalli, P. 2010).

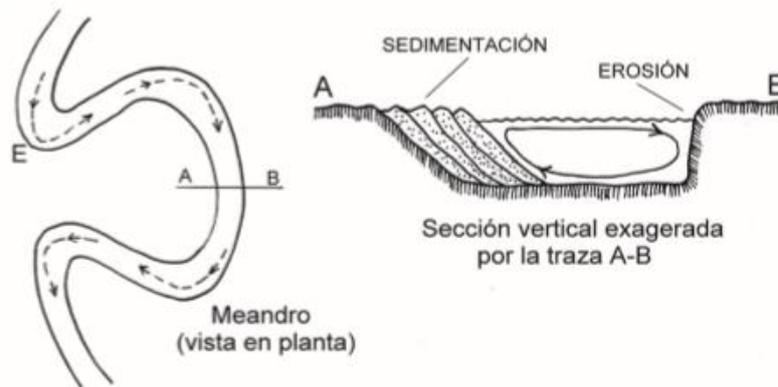


Figura 3. Esquema de un río meandriforme

Existen dos tipos principales de meandros:

- Meandros divagantes de llanura aluvial: son los meandros libres instalados en extensas llanuras aluviales. No tienen posición fija y sufren los tres procesos descritos en su evolución.
- Meandros encajados: son de posición fija y reciben su nombre por estar profundamente encajados en el fondo de un valle de paredes abruptas.

Transporte fluvial

El transporte lo realiza el río de diversas formas: disolución, suspensión, saltación y rotación (Figura 4). El transporte por disolución y suspensión puede producirse simultáneamente en toda la masa de agua. El transporte fluvial supone un gran desgaste de los clastos, que muestran superficies pulidas cuando ha actuado suficiente tiempo. En general, la carga que puede transportar un río es proporcional al caudal, y se compone del volumen de materiales que pone en movimiento o evacúa.

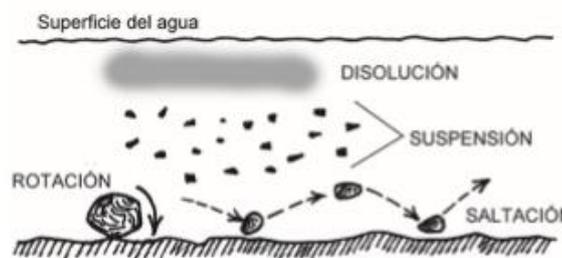


Figura 4. Esquema de los procesos de transporte fluvial

Sedimentación fluvial

La sedimentación y formación de depósitos de un río tiene lugar cuando la energía del río disminuye y se hace insuficiente para transportar toda la carga; entonces parte de ella es depositada. Las manifestaciones de estas deposiciones constituyen fundamentalmente las llanuras aluviales actuales y las terrazas fluviales.

A continuación, se describen los riesgos y efectos provocados por las inundaciones.

1.4 Riesgos de avenida e inundación:

Avenidas e inundaciones. Es el proceso natural por el cual el flujo de agua en un río rebosa el cauce. Las inundaciones tienen relación con características propias de la cuenca hidrológica, además de la cantidad e intensidad de las precipitaciones. Por lo general, se producen como resultado de procesos tormentosos o precipitaciones anómalas extraordinariamente fuertes. En los ríos podemos encontrar inundaciones en la zona de cabecera o zona de valle. Las inundaciones en la zona de cabecera tienen lugar en los tramos altos de los ríos, y responden casi siempre a precipitaciones muy elevadas durante tiempos muy pequeños. Las inundaciones de valle cubren zonas mucho más amplias y suelen producirse tras periodos largos de grandes lluvias, y ocurren con más retardo temporal que las de cabecera. La magnitud de la inundación tiene relación con la superficie y el tipo de cuenca de drenaje.

● Efectos de las inundaciones

Las inundaciones pueden tener efectos directos o indirectos, es decir, causados directamente por la inundación o derivados de una mala gestión del entorno físico. Entre los efectos directos pueden citarse:

- Heridos.
- Pérdidas de vidas.
- Afecciones a edificaciones y sistemas de comunicación.
- Procesos de erosión y sedimentación.

Los efectos indirectos o secundarios más comunes son:

- Contaminación de ríos y acuíferos.
- Desplazamiento de poblaciones.
- Enfermedades y hambre de la población.

La magnitud del daño causado por la inundación depende de factores como:

- Uso del terreno de la llanura de inundación.
- Velocidad del agua y profundidad de la lámina de inundación.
- Velocidad de ascenso del nivel del agua.
- Época del año en la que tenga lugar la avenida.
- Cantidad y tipo de material movilizado por el agua.

Efectos positivos de las inundaciones

En un medio natural no antropizado las inundaciones también pueden tener efectos positivos:

- Aportan materiales finos a la llanura de inundación haciendo que el terreno se vuelva más fértil.
- Renuevan el agua de los ríos eliminando una posible contaminación del agua y retirando detritos acumulados.
- Aporta sedimentos y mantiene una cota elevada del río respecto al nivel del mar.

• **Influencia del hombre en las inundaciones**

Las actuaciones del hombre sobre los cauces fluviales y llanuras de inundación suelen tener consecuencias directas sobre la dinámica fluvial que favorecen la formación de inundaciones. Las principales afectaciones tienen relación con el cambio de uso de suelo, construcción de presas y urbanizaciones.

- Cambios de uso de suelo: la modificación de pendientes, tipo de cultivo, presencia de bosques y los cambios en zonas urbanizadas tienen relación directa con la cantidad de escorrentía que llega a un río, al alterar sus caudales y tipo de sedimentos que le llegan y que transportará.

- Construcción de presas: la construcción de presas modifica el perfil de equilibrio de los ríos al favorecer una erosión remontante. Además, altera las zonas de transporte y sedimentación de los materiales.
- Urbanización: las zonas urbanizadas se caracterizan por crear una gran superficie impermeable, que canaliza casi el 100 % de la precipitación y la descarga en el río en un tiempo de respuesta muy rápido. Estas actuaciones incrementan el volumen de escorrentía superficial e impiden que el agua se infiltre o se quede retenida en el suelo permitiendo que llegue de una forma más diferida al río.

Erosión hídrica: 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 agua tiene la capacidad de erosionar el sustrato por el que discurre. Su fuerza erosiva es proporcional a la aceleración que adquiere en las pendientes. Por lo que se produce el desgaste de una superficie rocosa o parte del suelo provocada por el agua. En la naturaleza este es un fenómeno muy común que provoca el nivelamiento de las montañas y la formación de mesetas, llanuras, valles y deltas. Es claro que este caso la erosión es lenta. Pero cuando el hombre con el mal manejo del suelo acelera el proceso, este ya se hace destructivo.

Tipos de erosión hídrica

La erosión hídrica se presenta de diversas formas entre ellas la erosión en surcos, en cárcavas, por salpicadura etc. Ver Figura 5.



Figura 5. Tipos de erosión hídrica

Regueros o surcos (rill erosion): se produce cuando el agua arrastra a los elementos terrosos, al circular por la superficie, formando pequeños canales. 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 que con el tiempo pueden llegar a ser importantes.

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 exceso de humedad.

Erosión en cárcava: consiste en el vaciado de las partículas del suelo o sustrato por un flujo concentrado que da lugar a estrechas incisiones, de mayor tamaño y profundidad que un reguero, y que generalmente llevan agua sólo durante e inmediatamente después de fuertes precipitaciones. Osterkamp (2008).

Erosión por salpicadura (splash erosion): 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). Este fenómeno 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.

Factores condicionantes de los procesos erosivos

Lluvia: la variable climática más importante es la lluvia, debido a su fuerte influencia en ciertos procesos de erosión hídrica (erosión de impacto, riles, cárcavas, etc.) (Morgan, R. 2005). 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.

Cobertura Vegetal: la vegetación actúa como cubierta protectora estableciéndose como un buffer entre el suelo y la atmósfera (Morgan,R. 2005). Como regla general, la efectividad de la vegetación para reducir la erosión de impacto depende directamente de la altura y continuidad de la copa de los árboles, así como de la densidad de la cobertura superficial (pastos, hierbas y arbustos). La cobertura vegetal es la defensa natural de un terreno contra la erosión.

Entre los principales efectos de la cobertura vegetal se destacan lo siguiente: protección contra el impacto directo de las gotas de lluvia, dispersión y quiebre de la energía de las aguas de escurrimiento superficial, aumento de la infiltración por la producción de poros en el suelo por acción de las raíces, aumento de la capacidad de retención de agua por la estructuración del suelo por efecto de la producción e incorporación de materia orgánica.

La presencia de una cobertura vegetal no solo protege el suelo contra la erosión de impacto, sino que también brinda rugosidad al terreno por el que el flujo superficial viaja, reduciendo su velocidad y por ende, su poder erosivo (Morgan,R. 2005).

Topografía: la topografía es una variable muy importante al momento de predecir la erosión y sedimentación en un sitio dado. Factores como inclinación y largo de la pendiente determinan la cantidad y velocidad del escurrimiento superficial que se generarán producto de una tormenta dada. La distancia horizontal en la que viaja una partícula de suelo desprendida por el impacto de una gota de lluvia, está en directa relación con la inclinación de la pendiente. Por otro lado, la longitud de la pendiente influye en la profundidad y por ende en el poder erosivo del flujo superficial que se genere, siendo estas variables mayores en las secciones más bajas de la ladera, debido a una mayor área de contribución (Morgan,R.2005; García-Chevesich, 2008).

Suelos: se denomina suelo a la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre ella. 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 la lluvia, dificultando el escurrimiento superficial. La estructura, o sea el modo de cómo se componen las partículas del suelo, igualmente a 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 del agua, 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 es la relación entre su masa total y volumen y 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.

La materia orgánica puede mejorar casi todas las propiedades del suelo, pues la presencia de ésta aumenta la aireación e infiltración, así como la cohesividad inter-particular. Además, la materia orgánica facilita el crecimiento vegetal mediante la adición de nutrientes en el suelo. Por estas razones, el contenido de materia orgánica de un suelo dado es una variable relevante en términos de su resistencia a la erosión y, por ende, a la producción de sedimentos (García-Chevesich, 2008).

Erodabilidad: se define como la susceptibilidad o resistencia que ofrece la superficie a ser erosionada o degradada y depende de factores internos (litología, meteorización, fracturamiento, morfología, vegetación, nivel freático y drenaje superficial).

Factores con que el hombre contribuye a la erosión hídrica acelerada

- La deforestación irracional, que descubre totalmente el suelo cuando se incorporan nuevas tierras al cultivo
- La quema de rastrojos y de campos vírgenes con la destrucción consiguiente de los pastos naturales, el fuego por otra parte destruye la materia orgánica, que es el elemento primario para su cohesión como asimismo la vegetación, elemento atenuador del impacto de las gotas de lluvia, asimismo capaz de frenar la marcha del agua
- El sobrepastoreo, es decir, la excesiva carga de animales en un campo. La hacienda destruye en este caso el tapiz vegetal, remueve el suelo y modifica la estructura de la parte superior del horizonte
 - Las labranzas irracionales que siguen el sentido de la pendiente del campo, facilitando de tal manera el movimiento del agua y el arrastre de las partículas del suelo.

1.5 Investigaciones precedentes

En el Mundo

La erosión hídrica es el desgaste y la pérdida del suelo. Durante la erosión, el suelo pierde nutrientes, obstruye los ríos y arroyos con sedimentos y termina convirtiendo los terrenos en áreas desérticas. Si bien se trata de un fenómeno natural, este puede agravarse mucho más con actividades humanas como el

riego excesivo, la plantación de cultivos que no mantienen el suelo unido o la inclusión de ganado y maquinaria que destruyen las plantas y dejan el suelo susceptible a las inundaciones y los derrumbes. El proceso de urbanización es una de las acciones que impactan más directamente en la aceleración de los procesos erosivos de las cuencas y ríos que atraviesan las ciudades, unido a un incremento de las lluvias generadas por el cambio climático provocan que fenómenos como la erosión fluvial y las inundaciones causen cada día mayores desastres para las comunidades, la economía y el medio ambiente.

En la cuenca del río Tuxpan, las intensas lluvias que ocurren dentro de su área, generan gran cantidad de sedimentos que son transportados y depositados en la parte baja de su cauce que reducen su profundidad, lo cual provoca que sea dragado frecuentemente en los últimos 11 kilómetros antes de desembocar al mar, ya que es utilizado como canal de navegación para barcos de gran calado que arriban al puerto de Tuxpan, el cual es uno de los tres más importantes de Veracruz, México. Por lo anterior y como primer paso para entender el problema de erosión hídrica en la cuenca del río Tuxpan, se realizó un "Diagnóstico de la erosión hídrica en la cuenca del río Tuxpan", Veracruz, México por Melchor-Marroquín y otros, cuyos objetivos fueron identificar las áreas con riesgo de erosión hídrica y estimar la pérdida de suelo, mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, con la técnica de álgebra de mapas en ARCGIS 10.1. Donde se identificaron las áreas más afectadas por este fenómeno y se estimó la erosión en la cuenca. En este trabajo no se realizó un plan de medidas de prevención, mitigación y corrección de la erosión hídrica en la cuenca de río Tuxpán, además de no proponer la reforestación de la ribera de la cuenca.

En las últimas décadas Argentina ha transitado un proceso de desarrollo de la agricultura favorecido por la macroeconomía y la adopción de nuevas tecnologías. La expansión de la frontera agropecuaria y la incorporación de tierras al cultivo intensivo de granos y monocultivo de Soja afectó a muchas provincias del centro y norte del país. Como resultado de esta transformación el área agrícola a nivel nacional se incrementó de 21 a 36,5 millones de hectáreas durante 1997/2017. Debido a esto, se estima que los procesos de erosión

hídrica han tendido a agravarse en las últimas décadas. Según estimaciones recientes, el 23% del territorio nacional estaría afectado por erosión hídrica. De esto se desprende la necesidad de identificar estos procesos y contar con cartografía actualizada del estado de erosión hídrica de los suelos a escala nacional. Esta información constituye una herramienta clave para la toma de decisiones tanto a nivel regional como nacional y base para análisis prospectivos.

Puesto que la erosión hídrica es el principal problema que compromete la sustentabilidad de todos los sistemas productivos la estimación de las pérdidas de suelo por este fenómeno es una información de suma importancia para la planificación y toma de decisiones a diferentes niveles en Argentina

De acuerdo con los datos dados a conocer por Naciones Unidas, hay 110 países que sufren problemas relacionados con la desertificación y la sequía, debido a las malas prácticas de gestión del suelo y al cambio climático; cada año, se pierden más de 12 millones de hectáreas de suelo productivo por causa de la desertificación. De hecho “las tierras áridas abarcan una superficie del 40% del suelo de nuestro planeta, donde viven las personas más pobres del mundo y las más vulnerables al hambre”. (Ban Ki-Moon, secretario general de la ONU, 2011).

Las proyecciones demográficas internacionales apuntan a que la población de la tierra, en 2050, será de 9 mil millones de personas, lo que requerirá un aumento mundial de producción de alimentos del 70%. Cada minuto, se pierden 23 hectáreas de tierra productiva a causa de la degradación del suelo, lo que en un año equivale a una pérdida de 12 millones de hectáreas y 20 millones de toneladas de grano. Más del 50% de las tierras agrícolas se encuentran en situación de moderada a severamente degradadas.

La tasa cero de degradación de la tierra podrá lograrse cuando, durante un determinado periodo de tiempo, la tierra no degradada permanezca sana y la tierra, que ya está degradada, sea restaurada. De cara a Río+20, la UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification) proporcionará un análisis de las posibles implicaciones e impactos de esta meta para los responsables de las políticas nacionales. Este enfoque permitirá, a la comunidad global,

identificar las oportunidades de inversión sustentable, lo que ayudará a evitar la degradación de la tierra y a obtener beneficios de su uso sostenible. La Convención de las Naciones Unidas de la Lucha contra la Desertificación define el fenómeno como la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, resultante de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas.

A su vez, la degradación de la tierra se define como la reducción o la pérdida de la productividad biológica o económica de las tierras secas. En México, la degradación que predomina en los suelos es la química con el 17.9%, causada principalmente por las actividades agrícolas; le sigue, en importancia, la erosión hídrica (11.8%), la erosión eólica (9.5%) y, finalmente, la degradación física (6 por ciento).

El Instituto Nacional de Ecología define las causas de degradación de los suelos mexicanos de la siguiente manera:

- **Degradación química:** por pérdida de nutrientes, contaminación y acidificación por fuentes bioindustriales (excesiva aplicación de productos químicos como estiércol orgánico, fertilizantes, lluvia ácida, etc.); salinización (causada por actividades humanas tal como la irrigación; discontinuidad de la fertilidad inducida por inundaciones); otros problemas químicos.
- **Erosión hídrica:** se presenta una pérdida uniforme por deslave de la superficie y erosión laminar; deformación del terreno (un desplazamiento irregular de los materiales del suelo, caracterizado por la presencia de arroyos; depósitos, acumulaciones y sedimentos en los lagos; inundaciones, incluyendo rellenos de materiales no deseables en las márgenes de los ríos); erosión de los depósitos aluviales (acumulación excesiva de sedimentos en las cuencas, destrucción de arrecifes de coral, sedimentos de conchas y algas marinas).
- **Erosión eólica:** pérdida de la capa superficial del suelo (Figura 6); deformación del terreno (desplazamientos desiguales, caracterizados por la formación de grandes hondonadas, montículos o dunas); tolveneras

(daño a estructuras como caminos, edificios y/o destrucción de la vegetación por la arena).



Figura 6. Erosión eólica

- **Degradación física:** se presenta por encostramiento de la capa superficial del suelo, (costras a simple vista sobre los terrenos); compactación (causada por maquinaria pesada en suelos con débil estabilidad estructural, o en suelos donde el contenido de humus es bajo); degradación de la estructura (debido a la dispersión del material del suelo por sales de sodio y magnesio); inundación, (causado por el hombre, inundación y sumersión); aridificación, (causada por ejemplo por el abatimiento del nivel freático; y subsidencia de suelos orgánicos [por drenaje y oxidación]).
- **Degradación biológica:** responde a un desbalance de la actividad biológica de la capa superficial del suelo. Éste puede ser causado por la deforestación o por la sobre-aplicación de fertilizante químico en áreas industrializadas. En México, muy especialmente por quemas agropecuarias e incendios forestales.

Según Semarnat, en Aguascalientes los suelos se encuentran entre los más degradados. Como resultado de la Evaluación de la Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica y Eólica en la República Mexicana, se identificaron los riesgos de erosión hídrica y eólica que, potencialmente, podrían ocurrir en el país. A

nivel nacional, la superficie con riesgos de pérdida de suelo ocasionada por el agua es del 42% y los riesgos de pérdida de suelo por erosión potencial eólica amenazan al 89% del territorio nacional. Estos riesgos se presentan particularmente en la franja norte del país; en el resto de los estados se presentan riesgo de erosión eólica en más del 60% de su superficie. Los estados de Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Coahuila y Sonora presentan afectaciones de, prácticamente, el 100%.

En Cuba

La degradación de los suelos se encuentra entre los problemas más apremiantes de la crisis alimentaria mundial y su protección representa un problema de Seguridad Nacional para el país. Investigaciones realizadas en localidades de referencia de las provincias Mayabeque y Artemisa durante los últimos 30 años, han demostrado que los efectos de la antropogénesis intensiva en los suelos Ferralíticos Rojos en regiones de carso llano y de alturas se han incrementado y provocan una degradación intensa, que pudiera conducir a su extinción. Los resultados de la evaluación de la erosión de estos suelos en nuevos ambientes (carso de altura), la predicción de las pérdidas en escenarios futuros, y la obtención de los valores de referencia de contaminación por metales pesados (MP), hasta el presente no definidos para estos suelos en Cuba, permiten relacionar los procesos de erosión – sedimentación - contaminación de la cobertura ferralítica, concluyendo con una tendencia a la degradación. Estableciéndose que cualquier acción no controlada sobre la cobertura ferralítica podría activar el desplazamiento de los compuestos tóxicos retenidos en los sedimentos hacia áreas agropecuarias, los acuíferos o zonas urbanas densamente pobladas, con impacto negativo en la cadena alimentaria, según el Dr. Cs. José M. Febles González y la Dra. C. Marina B. Vega Carreño en un trabajo titulado Buenos suelos en extinción: la degradación de los suelos ferralíticos rojos en el occidente de Cuba.

En el territorio de Moa

La región de Moa sufre algunas afectaciones debido a los factores condicionantes de la pérdida de los suelos por erosión haciéndose necesario el constante estudio en el municipio. La erosión es un fenómeno complejo, desde

el punto de vista físico, y consecuentemente su análisis requiere del planteamiento de numerosas ecuaciones difíciles de aplicar en la práctica (Wischmeier y Smith, 1978).

En los 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, especialmente la textura, estructura, permeabilidad y densidad, al otorgar mayor o menor resistencia a la acción de las aguas. Este fenómeno geológico se desarrolla de varias formas, como la erosión eólica e hídrica. 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.

Dentro de los trabajos realizados se encuentra: estimación de la pérdida de suelos por erosión en el sector norte del municipio de Moa, de Deon Owen Adolph en 2014 ; se evaluó la susceptibilidad frente a procesos erosivos en el sector norte del municipio de Moa para futuras evaluaciones de riesgos que permitan prevenir o mitigar los daños derivados de estos fenómenos. Se confeccionó el mapa inventario de erosión a través del método cubano de evaluación de la pérdida de suelos por erosión empleando los Sistemas de Información Geográfica.

Correa (2003) realizó una investigación sobre El estudio de la erosión en cárcavas en áreas degradadas del sector este del Parque Nacional Alejandro de Humboldt. Se aplicaron métodos mecánicos para controlar la erosión; el ensayo de diferentes hidrotecnias, aterramiento y relleno de cárcavas con restos de podas y la revegetación. Se concluyó que el Sector este del Parque Nacional Alejandro de Humboldt, presenta disponibilidad de recursos laborales para ejecutar las diferentes medidas de protección en las áreas degradadas por la erosión en cárcavas.

Maidelín Bárcenas García (2017) en su tema de tesis, realizó una investigación sobre Erosión en el sector Los Pinos de Centeno - La Veguita, del río Cabaña donde se evaluó el impacto provocado por los procesos erosivos. Para estimar la pérdida de suelos integra métodos de cartografía geológica de campo, procesamiento digital de la información y la estimación de la pérdida de suelo mediante el método de Valoración del Daño por Erosión Actual (VADEA), permitiendo cuantificar la pérdida de suelo por área dañada en el sector estudiado, el que hasta la actualidad es de muy alto. Los principales impactos ambientales que inciden en este sector son daños a los recursos hídricos, variación de la morfología del terreno, paisajístico, atmosférico y daños a la flora y fauna.

Actualmente en el municipio la red hídrica de los Consejos Populares Mangos-Joselillo (Figura 7) y Moa Centro (Figura 8) se encuentra afectada principalmente por la actividad antrópica. Debemos tomar diversas medidas para la creación de una conciencia ambientalista universal que preserve el medio ambiente, en el que están incluidos los recursos, aguas subterráneas y suelos, constantemente estos recursos se degradan, contaminan y en ocasiones si no se protegen se convierten en peligros para las zonas bajas de la ciudad.



Figura 7. Arroyo Joselillo



Figura 8. Arroyo María

1.6 Definición del modelo conceptual de vulnerabilidad

En la década de 1960 los desastres naturales comenzaron a ser investigados también desde la óptica económica, con autores como Darcy y Kunreuther, (1969), quienes por medio de fórmulas matemáticas calculaban los riesgos de acuerdo con la probabilidad de que el evento sucediera, basándose justamente en eventos ocurridos en el pasado y sus periodos de recurrencia, aplicado sobre todo a los ciclos de recurrencia de las inundaciones.

La UNDRO (United Nations Disaster Relief Organizations), siglas en inglés, de conjunto con la organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la cultura (UNESCO) promovió una reunión de expertos con el fin de proponer una unificación de definiciones que ha sido ampliamente aceptada en los últimos años (UNDRO, 1979). Entre otros conceptos, el reporte de dicha reunión Desastres Naturales y Análisis de Vulnerabilidad incluyó lo siguiente:

Amenaza o peligro (Hazard – H). Definida como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un sitio dado.

Vulnerabilidad (V), como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresada en una escala desde 0 o sin daño a 1 o pérdida total.

Riesgo específico (specific risk – Rs). Como el grado de pérdida esperada debido a la ocurrencia de un evento particular y como una función de la amenaza y la vulnerabilidad. Elementos bajo riesgo (E), como la población, las edificaciones y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta en un área determinada.

Riesgo total (total risk - Rt), como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un evento desastroso, es decir el producto del riesgo específico (Rs) y los elementos bajo riesgo (E). En otras palabras, la evaluación del riesgo puede llevarse a cabo mediante la siguiente formulación general:

$$R_t = (E) (R_s) = (E) (H. V) \quad , \quad (1.1)$$

Conservando este marco conceptual propuesto por el grupo de expertos reunidos en 1979, el autor propuso en el Instituto de Ingeniería Sísmica y sismología (IZIIS) de Skopje, antigua Yugoslavia, en 1985, eliminar la variable exposición E, por considerarla implícita en la vulnerabilidad V, sin que esto modificara sensiblemente la concepción original (Cardona, 1985). A partir de 1993 y 1998 la OEA y la ONU comienzan a realizar los estudios de riesgos naturales que descansan sobre el análisis de la amenaza y la vulnerabilidad.

Dicha formulación, entonces, fue planteada de la siguiente manera:

$$R_t = A * V \quad , \quad (1.2)$$

En otras palabras: no se "es vulnerable" si no se " está expuesto". El original de dicha formulación fue divulgado por Fournier d'Albe (1985), Milutinovic y Petrovsky (1985) y, posteriormente, por Coburn y Spance (1992). Esta manera de conceptualizar la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo, ampliamente aceptada desde entonces en el campo técnico y científico.

Según Wilches – Chaux, (1989) el que un evento o fenómeno se considere o no riesgo, dependerá de que el lugar en donde se manifieste esté ocupado o no por una comunidad vulnerable al mismo. La vulnerabilidad a calcular es la global, donde intervienen varios tipos de vulnerabilidades, las cuales son: la económica, social, político, técnica, ideológica, cultural, educativa, geológica, institucional y física; en este último se sitúan las vulnerabilidades que se evalúan en las edificaciones: la estructural, la no estructural y la funcional.

1.7 Características regionales de Moa

Ubicación geográfica de la región

El municipio Moa se sitúa al noreste de la provincia de Holguín (Figura 9), limitado al norte con el Océano Atlántico, al sur con el municipio de Yateras, al este con el municipio de Baracoa y al oeste con los municipios de Sagua de Tánamo y Frank País.

Según el sistema de coordenadas Lambert de Cuba Sur, el municipio Moa se encuentra delimitado por los siguientes vértices:

X1: 680.911 Y1: 194.807

X2: 720.936 Y2: 229.601

El área de estudio se encuentra dentro del municipio Moa, correspondiendo a la red fluvial de los Consejos Populares Moa Centro (Sector 1) y Mangos – Joselillo (Sector 2) ver Figura 10.



Figura 9. Mapa de ubicación geográfica de Moa

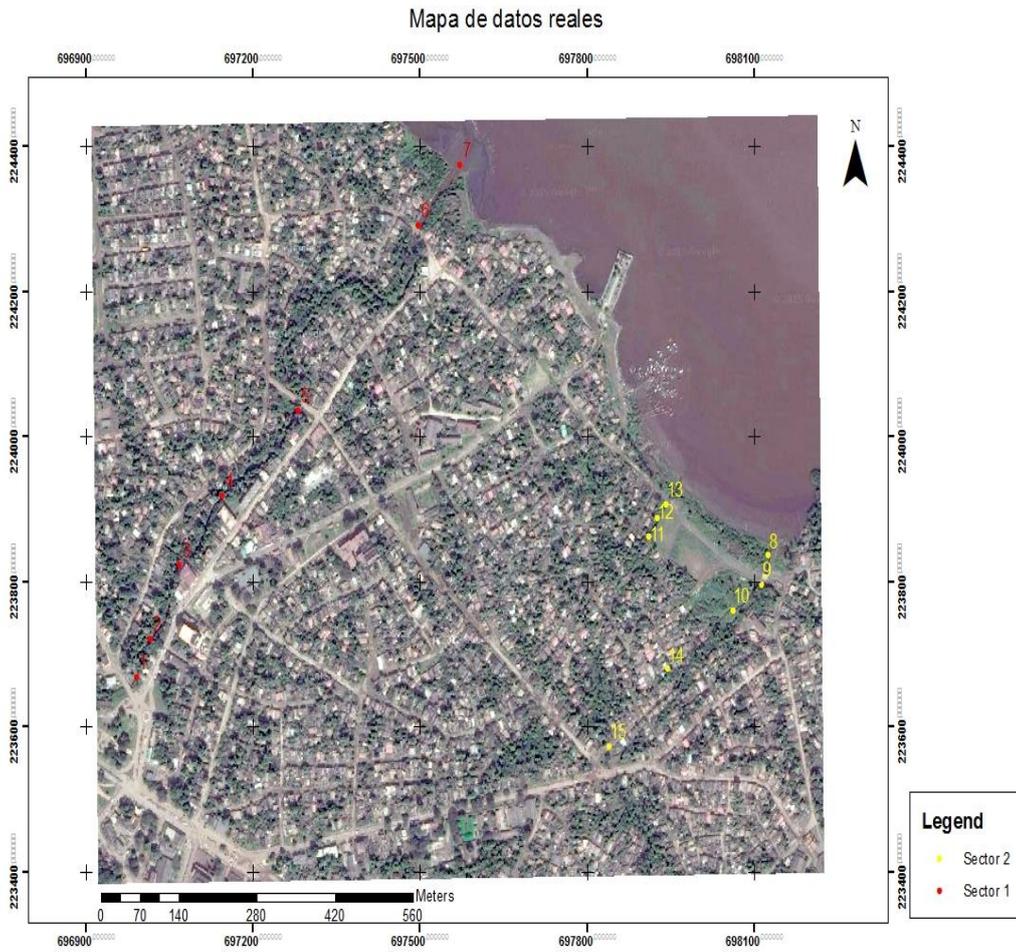


Figura 10. Sectores de Estudio

1.7 Características geológicas del área de estudio

Relieve

El territorio se caracteriza por el predominio del relieve de montaña, las que se manifiestan de forma continua hacia la parte centro sur, con predominio de las cimas aplanadas y vertientes abruptas hacia los cursos de aguas principales, destacándose como cota máxima la elevación El Toldo con una altura de 1174 m sobre el nivel del mar. Geomorfológicamente el territorio está clasificado genéticamente dentro del tipo de horst y bloques que corresponde a los cuerpos de rocas ultrabásicas elevados en la etapa geotectónica (Oliva. G 1989). Para la región se han determinado dos zonas geomorfológicas: de llanuras y montañas (Rodríguez, I.A. 1998).

Las llanuras fluviales, acumulativas y abrasivo–acumulativas presentan un desarrollo limitado a algunas cuencas fluviales de la zona. El área de estudio se encuentra ubicada específicamente en el borde occidental del bloque morfo tectónico de mayor levantamiento de la región, lo que le confiere una mayor inestabilidad e irregularidad de la topografía, por lo que aun cuando predomina el relieve de montañas bajas aplanadas, en su morfología aparecen numerosos barrancos, escarpes y deslizamientos. Los barrancos son frecuentes en la parte alta y media de los ríos que atraviesan el complejo ofiolítico y que tienen un fuerte control estructural, alcanzando su mayor expresión en la parte centro meridional y llegan a desarrollar pendientes de hasta 45° con alturas máximas de 240 m, lo cual hace susceptible a estos sectores al deslizamiento y arrastre de suelos.

El carso, en el área está comprendido entre las cuencas de los ríos Moa y Calentura al noroeste y el cauce superior del río Jiguaní por el sudeste, correspondiendo a la parte más alta del peniplano antiguo y a las mayores elevaciones de las Cuchillas de Moa (700-1200 m), donde se han identificado la presencia de dolinas y sumideros, así como estructuras columnares y piramidales de extremos afilados y cuellos erosionados. Muchas de estas

formas cársicas aparecen alineadas y orientadas en dirección nordeste, mientras otras formas cársicas han quedado cubiertos bajo la corteza.

Hidrografía

La red hidrográfica en la zona se encuentra bien desarrollada, representada por numerosos ríos y arroyos entre los que se destacan: Aserrío, Cabañas, Moa, Yagrumaje, Punta Gorda, Cayo Guam, Semillero, El Medio, Cupey, Yamanigüey y parte de su curso del Jiguaní, los que en su mayoría corren de Sur a Norte, desembocando en el océano Atlántico, formando deltas cubiertos de mangles (Figura 11). En general predomina la configuración fluvial de tipo dendrítica, aunque debido al control tectónico del relieve, pueden observarse sectores fluviales con red enrejada. Los ríos forman terrazas al llegar a la zona de pie de monte, sus orillas son abruptas y erosionadas en la zona montañosa mientras que en las partes bajas son llanas y acumulativas y en todos los casos son alimentados por las precipitaciones atmosféricas teniendo como nacimiento las zonas montañosas del grupo Sagua – Baracoa. En el sector analizado la red hidrográfica, aunque mantiene sectores con configuración dendrítica (Figura 12), presenta un gran control tectónico debido a la alta fracturación de las rocas.



Figura 11. Desembocadura del arroyo María

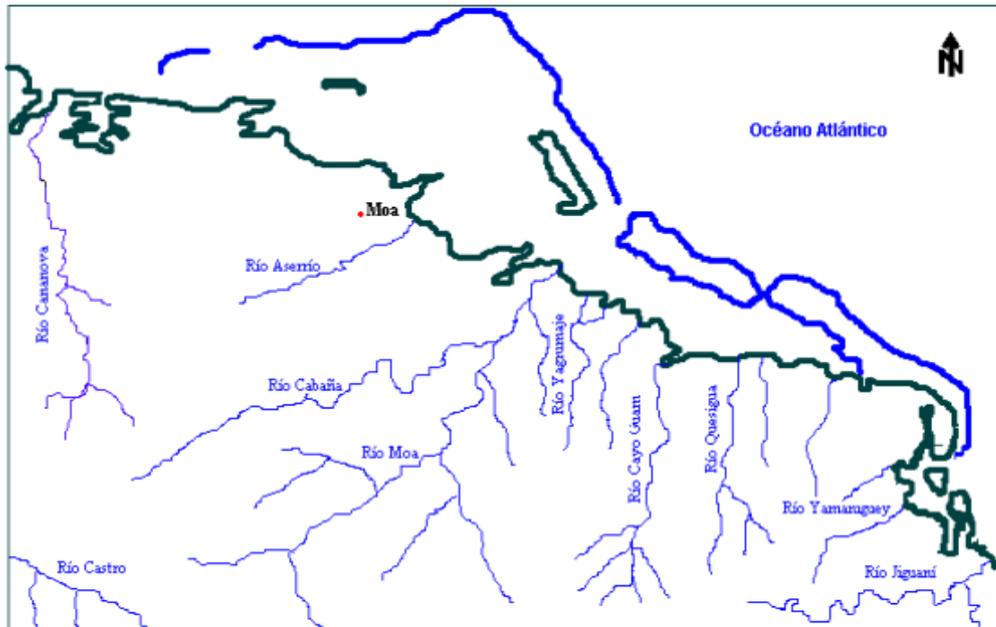


Figura 12. Mapa de red fluvial escala original 1:10000. Tomado de Fernández R. M. (2003)

Clima

El clima de la zona es del tipo tropical húmedo, con gran cantidad de lluvia, incluso en el mes más seco. El clima de la región se ve influenciado por la orografía, ya que las montañas del grupo Sagua-Baracoa sirven de barrera a los vientos alisios del NE, los cuales descargan toda su humedad en forma de abundantes precipitaciones en la parte norte. La distribución de las precipitaciones se caracteriza por dos períodos de lluvia, (Mayo - Junio) y (Septiembre - Enero) y dos períodos de seca (Febrero - Abril) y (Julio - Agosto). En un año, la precipitación media es 1624 mm y según los análisis estadísticos de 21 años (1989–2009) el total anual varía entre 767 – 3560 mm. La cantidad de días con lluvias anuales que se registran en la serie analizada para cada pluviómetro, manifiestan una regularidad cada cuatro años, en que existe un ascenso en la cantidad de días lluviosos. Los períodos húmedos comprendidos entre los meses de septiembre - enero con un promedio de lluvia que oscila entre 168 - 336 mm y mayo - junio con un promedio de 149 mm; y períodos secos que se dividen entre los meses de febrero, marzo, abril con un promedio

de lluvia de 94 mm y los meses de julio y agosto con un acumulado promedio de 100 mm de precipitaciones. La temperatura media anual oscila entre 21.5 °C y 30.41 °C, siendo los meses más calurosos desde julio hasta octubre y los más fríos de diciembre a marzo; los meses más lluviosos mayo, octubre, noviembre y diciembre y los más secos marzo, julio y agosto. En los últimos ocho años el promedio total de precipitaciones caídas en el municipio de Moa es de 2135.225 mm.

Tabla 1. Informe anual de precipitaciones en el municipio Moa (Instituto Municipal de Recursos Hidráulicos).

Año	Precipitaciones (mm)
2010	2969.8
2011	1833
2012	2287
2013	1697
2014	1555
2015	1789
2016	2202
2017	2749

Economía

Las principales actividades económicas de la región son: el desarrollo de la industria minera y el procesamiento de las menas níquelíferas, trayendo como consecuencia que sea una de las zonas más industrializadas de nuestro país, debido a que cuenta con plantas procesadoras de níquel como: la Empresa

Comandante Pedro Soto Alba y la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara ver Figura 13, (Valdés, Y. 2015),



Figura 13. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara

Además, existen otras industrias y empresas relacionadas con la actividad minero metalúrgica tales como: la Empresa Mecánica del Níquel (EMNi), la Empresa Constructora y Reparadora de la Industria del Níquel (ECRIN), el Centro de Proyecto del Níquel (CEPRONÍQUEL) y otros organismos de los cuales depende la economía de la región como son: Empresa Geólogo-Minera, la EMA y diferentes instalaciones de apoyo social, tales como: la presa Nuevo Mundo, el Tejar de Centeno, y el Combinado Lácteo. En la región se explotan también los recursos forestales por la Empresa Municipal Agroforestal (EMA), al constituir los recursos forestales un eslabón importante de la economía de la región, (Valdés, Y. 2015).

Geología Regional

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 discursar 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 neoa autóctono*.

El *cinturón plegado*, según el autor, está constituido por terrenos oceánicos y continentales deformados y metamorfozados 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 neoa autóctono 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 serpentinización variable, varios investigadores tienen su 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 serpentinización, 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 Mícara: está compuesta por tres facies terrígenas y terrígenas carbonatadas. En el inferior está constituida por aleurolitas masivas, mal estratificadas; brechas; areniscas; arcillas y calizas. En la media presenta Secuencia olistostrómica compuesta por margas, areniscas, aleurolitas, gravelitas y conglomerados. En la parte superior Predominan las aleurolitas y subordinadamente brechas y areniscas tobáceas, la parte más alta, con intercalaciones de tobas ácidas bentonizadas y calizas. De edad Maestrichtiano-Daniano. Aflora en la zona de Los Indios de Cananova y borde suroeste del cerro de Miraflores.

Formación La Picota: estas 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

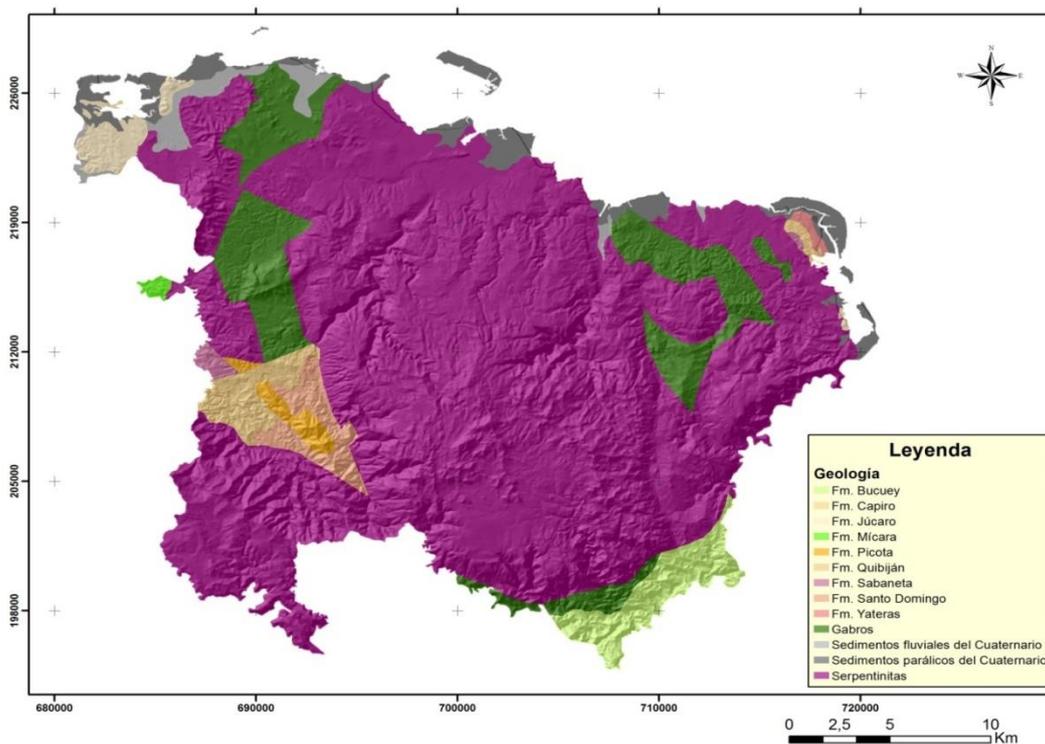


Figura 14. Mapa geológico del área. (Escala original 1:50 000) (tomado de Rodríguez, 1998)

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

monoclinal suave u horizontal, con algunas perturbaciones en las zonas donde existen dislocaciones jóvenes.

Tectónica

Desde el punto de vista geotectónico, en el área existen cuatro sistemas principales de fallas (Rodríguez, I.A. 1998), se puede observar en la Figura 16. El sistema más antiguo de los reflejados actualmente en la superficie tiene su origen asociado al cese de la subducción que generó la colisión entre el arco insular y el margen continental, originando el emplazamiento del complejo ofiolítico, por lo cual las fallas de este sistema se encuentran espacial y genéticamente relacionadas con los límites de los cuerpos máficos y ultramáficos dentro del complejo. Un ejemplo de estas estructuras es la falla ubicada al sur de Quesigua, al este del río de igual nombre, que pone en contacto las serpentinitas ubicadas al norte con los gabros que afloran al sur, así como las fallas que en El Lirial Abajo, Peña y Ramírez y Caimanes Abajo ponen en contacto a las serpentinitas con las rocas de las formaciones La Picota, Mícara y Quibiján respectivamente.

Estas fallas en su mayoría se encuentran pasivas lo que se demuestra por su pobre reflejo en el relieve, pudiendo notarse su presencia fundamentalmente por el contacto alineado y brusco entre litologías diferentes. Excepción de lo anterior lo constituye la falla ubicada al sur de Quesigua que aún se refleja a través de un escarpe pronunciado arqueado, con su parte cóncava hacia el norte que sigue la línea de falla, lo que se considera está asociado a la actividad geodinámica actual del sector, que es considerado uno de los más activos dentro del territorio (Rodríguez, I.A. 1998).

El segundo sistema y de mayor importancia en el territorio está constituido por fallas de dos direcciones: noreste y norte - noroeste que se desplazan mutuamente y se cortan entre sí, constituido por las dislocaciones más abundantes y de mayor extensión de la región, que indistintamente afectan todas las litologías presentes y son a su vez los límites principales de los bloques morfotectónicos. Su origen se encuentra asociado al proceso de

colisión del Arco Volcánico del Cretácico sobre el Paleomargen de Bahamas en el Eoceno Medio. Las principales estructuras representativas de este sistema son las fallas Los Indios, Cayo Guam, Moa, Cabaña, Quesigua, Miraflores y Maquey. Falla Los Indios: se extiende desde la parte centro meridional del área al oeste de Cayo Chiquito, atravesando hacia el norte la Bahía de Cananova y reflejándose dentro de la zona nerítica marina a través del desplazamiento de la barrera arrecifal y los depósitos litorales. En varios puntos esta estructura aparece cortada y desplazada por fallas de dirección norte-noreste. Su trazado es en forma de una línea curva cóncava hacia el oeste-sudoeste con un rumbo que oscila entre los 10° y 30° oeste en los diferentes tramos que la conforman. Falla Cayo Guam: con una dirección $N15^{\circ}W$, se extiende desde la parte alta del río de igual nombre, siguiéndose con nitidez hasta Punta Yagrumaje. Al igual que la falla Los Indios, esta estructura aparece cortada y desplazada en varios tramos por fallas de dirección noreste y sublatitudinales. Falla Moa: dentro del territorio es la estructura de mayor extensión y su trazo corresponde con una línea cóncava hacia el este con el arco mayor en la zona de Calentura, haciéndose más recta hacia el norte con una dirección de $N48^{\circ}E$, mientras que en su parte meridional tiene un rumbo $N25^{\circ}W$. En la parte norte esta estructura se bifurca en dos tramos, uno de rumbo $N35^{\circ}E$ denominado La Vigía y el otro de rumbo $N74^{\circ}E$ nombrado La Veguita, el que atraviesa la zona marina perilitoral, hasta cortar la barrera arrecifal a la cual limita y afecta, pues en el bloque oriental de la falla la barrera como tal desaparece, quedando reflejada sólo como un banco de arenas, lo que constituye un indicador del sentido de los desplazamientos. Falla Cabaña: se extiende desde el extremo centro occidental del área, al noroeste del poblado de Peña y Ramírez hasta el norte de la ciudad de Moa, cortando la barrera arrecifal y limitando el extremo oriental de Cayo Moa Grande. En su parte meridional presenta una orientación $N70^{\circ}E$ hasta la zona de Zambumbia donde es truncada por un sistema de fallas submeridionales, aflorando nuevamente con nitidez al nordeste del poblado de Conrado donde inicia su control estructural sobre el río Cabaña. En las cercanías de Centeno esta estructura es cortada y desplazada por la falla Cananova tomando una orientación $N56^{\circ}E$ la que mantiene hasta penetrar en

el océano Atlántico. 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 Jaguaní al sudeste del área de trabajo. Falla Maquey: limita y contornea las estribaciones septentrionales de la Sierra del Maquey. Aflora desde la zona de Hato Viejo hacia el sur de La Colorada, asumiendo un rumbo N65°E por más de siete kilómetros hasta Calentura abajo donde se cruza con las fallas Moa y Caimanes. En su parte más occidental mantiene una orientación N78°E siendo cortada y desplazada por estructuras de orientación noroeste.

El tercer sistema de estructuras está constituido por dos fallas de tipo strike-slip denominadas Cananova y El Medio. Por la posición que ocupan, orientación y componentes fundamentales de los desplazamientos no tienen similitud con las fallas antes mencionadas y su origen corresponde al Mioceno medio, cuando se inician los movimientos hacia el este de la placa Caribeña a través de la falla Oriente, lo que desarrolla un campo de esfuerzo que provoca la compresión del bloque oriental cubano en la zona de sutura de éste con la Plataforma de Bahamas, lo que originó la ruptura y el reacomodamiento de la corteza. Falla Cananova: presenta un rumbo predominante N53°W. Es cortada en diferentes puntos por estructuras submeridionales, caracterizándose toda la zona de falla por el grado de cizallamiento de las rocas que corta. Falla El Medio: con un rumbo aproximado de N40°E. Al igual que la Falla Cananova, origina un alto cizallamiento de las rocas a través de todo su trazo.

El cuarto sistema de fracturas corresponde a estructuras sublongitudinales que aparecen en toda el área pero que tienen su máxima expresión en las zonas periféricas de los sectores de máximo levantamiento, como por ejemplo las fallas a través de las cuales corren algunos tributarios como el arroyo La Veguita del río Moa, el arroyo La Vaca, arroyo Colorado al oeste del Cerro Miraflores y la de mayor envergadura que se encuentra al sur de Caimanes, lo cual permite considerar su origen asociado a procesos de descompresión o expansión de bloques al disminuir las tensiones horizontales que mantienen

cohesionado los macizos rocosos debido a los movimientos verticales diferenciales, lo que justifica la ausencia de desplazamientos geológicos y geomorfológicos apreciables. La edad de este sistema es considerado post Mioceno, cuando se inicia el proceso de ascenso definitivo del territorio actual de Cuba Oriental.

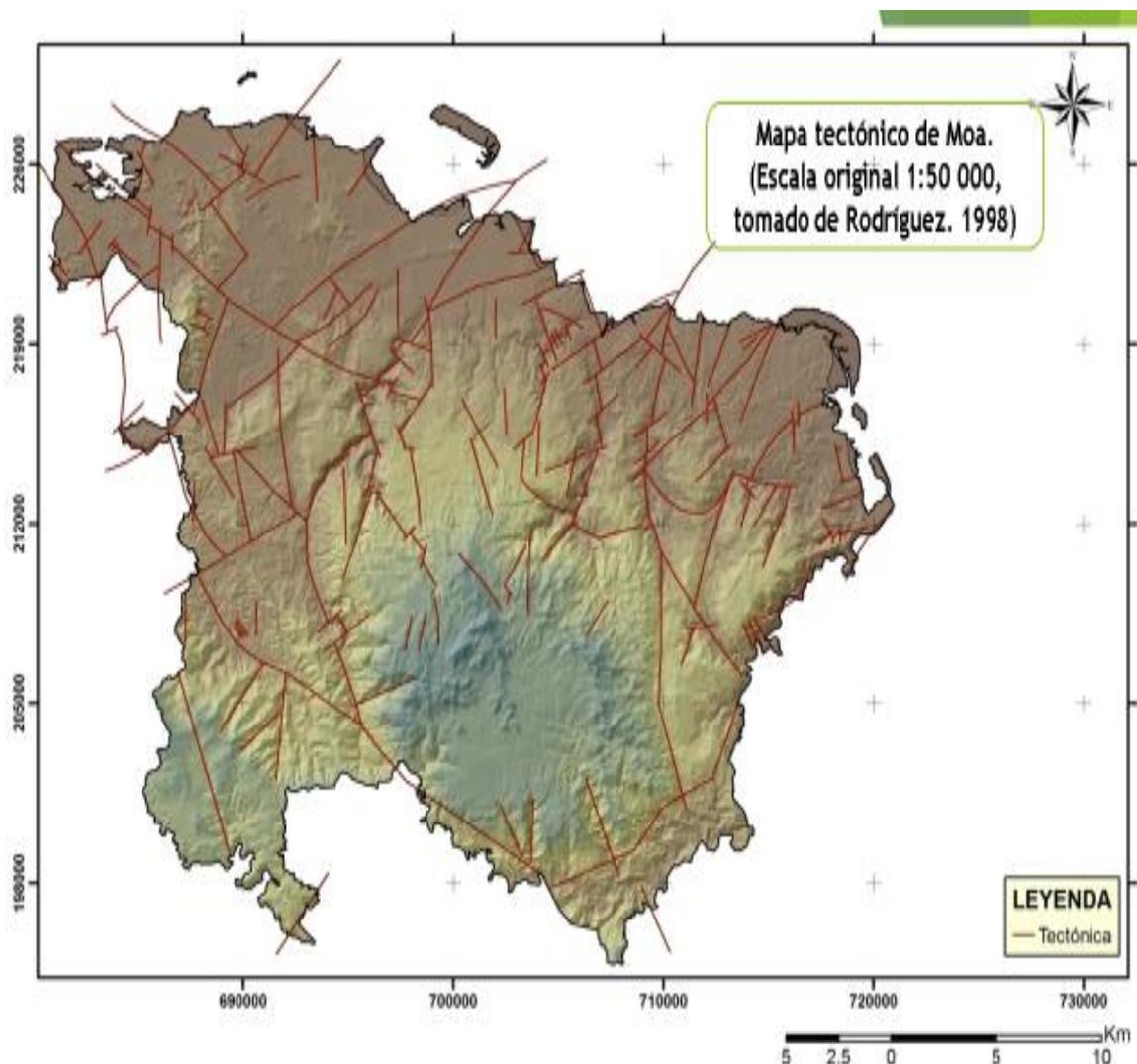


Figura 15. Mapa tectónico de Moa escala original 1: 50 000. Tomado de Rodríguez 1998

Conclusiones parciales

1. La caracterización geo ambiental del área de estudio demostró el alto nivel de vulnerabilidad existente ante fenómenos por erosión fluvial e inundaciones.

CAPITULO 2: METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

2.1 Introducción

En el presente capítulo se describe la metodología aplicada en la investigación, según las etapas principales.

2.2 Metodología de la investigación

La metodología aplicada para la evaluación de la vulnerabilidad global toma como base varias visitas detalladas de campo para lograr un análisis cualitativo del riesgo por fenómenos geológicos a partir de la utilización del método indirecto, el cual consiste en analizar la interrelación entre las características y condiciones que presenta el medio y las condiciones sociales y económicas, para identificar la potencialidad de ocurrencia de un evento desastroso.

El trabajo se realizó en tres etapas fundamentales (Figura 17):

- Etapa I. Recopilación de la información y revisión bibliográfica.
- Etapa II. Trabajos de campo.
- Etapa III. Interpretación de los resultados.



Figura 16: Organigrama del diseño de la investigación

2.3. Descripción de las etapas de trabajo

Recopilación de la información y revisión bibliográfica. I Etapa

Se realizó una revisión detallada de los proyectos de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo (PVR), estudios ambientales, licencias ambientales. Tesis de diploma, maestrías y doctorados, artículos, libros, informes y reportes técnicos.

Trabajos de campo. II Etapa

Durante el trabajo de campo se dividió el área de estudio en dos sectores (ver Figura 10), se realizaron 6 salidas al campo y se documentaron 15 puntos, lo que permitió definir la influencia de los impactos de la erosión fluvial en la ocurrencia de inundaciones y la vulnerabilidad de las comunidades aledañas, a través del control directo en las áreas. Se aplican toma de fotografías, técnicas de entrevistas (Figura 18) logrando definir el conocimiento de la percepción de los peligros por erosión fluvial e inundaciones en las comunidades.



Figura 17. Entrevista a la población

Interpretación de los resultados. III Etapa

Después de obtenidos los datos de los análisis realizados durante la ejecución del trabajo, los mismos fueron procesados con la ayuda de programas informáticos tales como Microsoft Excel y ArGis permitiendo la comparación de cada uno de los parámetros para luego ser interpretados. Se realizó un

diagnóstico de las condiciones ambientales y geológicas que se manifestaron de forma directa u otras que puedan dar indicios de fenómenos geológicos. Se aplica la metodología de Wilches Chaux para determinar la vulnerabilidad global.

2.4. Diagnóstico de la vulnerabilidad.

Métodos aplicados para la realización del diagnóstico de la vulnerabilidad

Para el diagnóstico de la vulnerabilidad se categorizaron los peligros que influyen en las cuencas en cinco tipos muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto; se evaluó el peligro según el peso de los diferentes factores como el litológico, topográfico estructural, climático hidrológico, antrópico y otros (ver Anexo 1, de la Tabla 3 a la 8).

2.5. Clasificación cualitativa de la vulnerabilidad global

Desde la perspectiva de los desastres, existe una relación intrínseca entre la marginalidad económica y la vulnerabilidad, ya que la disminución de esta última está ligada en gran medida a la intervención de las necesidades básicas de desarrollo. Es por ello que los factores sociales y económicos de cada una de las familias de una población son los parámetros más relevantes a la hora de evaluar y determinar la vulnerabilidad ante un desastre.

Wilches-Chaux (1993), identificaba diez componentes o niveles de la vulnerabilidad global en los desastres, que conducen a determinar los tipos de vulnerabilidad. Entre estos se encuentran el económico, social, político, técnico, ideológico, cultural, educativo, geológico, institucional y físico; en este último se sitúan las vulnerabilidades que se evalúan en las edificaciones: la estructural, la no estructural y la funcional.

El sistema propuesto considera los siguientes pasos para evaluar la vulnerabilidad global (VG):

- 1- Determinación de la vulnerabilidad física (VF)
- 2- Determinación de las vulnerabilidades complementarias (VC)
- 3- Cálculo de la vulnerabilidad global (VG).

Vulnerabilidad Física

Para su evaluación se partió de los datos de saneamiento básico y calidad de vivienda recogidas de las encuestas, en donde debido al alto porcentaje se le dio un valor de ponderación bajo de 10% y se le asignó un 90% al ítem de calidad de vivienda, que evalúa el número de casas que necesitan mejoras, junto con las viviendas ubicadas en zonas de riesgo. Luego, se realizó una suma ponderada de estos dos datos para obtener un valor de vulnerabilidad por Consejo Popular. Por lo tanto, el resultado obtenido muestra la calidad constructiva de cada predio y en las demás áreas el valor de la vulnerabilidad física general de los Consejos Populares.

Vulnerabilidades complementarias

Las cuatro vulnerabilidades que se analizan para el cálculo de la vulnerabilidad complementaria (VC) de los Consejos Populares son:

Vulnerabilidad ambiental y ecológica (VAE)

Vulnerabilidad económica (VE).

Vulnerabilidad social (VS).

Vulnerabilidad científico-tecnológica (VCT).

La vulnerabilidad complementaria (VC) a diferencia de la física, es común para toda la red hídrica, sus zonas y elementos estructurales y no estructurales, y es el promedio de las vulnerabilidades complementarias consideradas y se calcula por:

$$VC = \frac{VAE + VE + VS + VCT}{4}, \quad (2.1)$$

En los casos de cada una de las vulnerabilidades complementarias, se registran las variables que más peso tienen en su evaluación y sus características, luego el valor final es el promedio de las correspondientes a cada variable, calculada por medio de la expresión siguiente:

$$V_j = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_i}{N_i}, \quad (2.2)$$

Donde: VJ – Vulnerabilidad promedio en %

V1, V2,...Vi – Vulnerabilidades por cada variable en %

Ni - Cantidad de variables evaluadas.

Vulnerabilidad ambiental y ecológica (VAE)

Las variables para evaluar esta vulnerabilidad ambiental y ecológica se fundamentan en las condicionales atmosféricas, del agua, y ecológicas y su valoración aparece en el Anexo 1, Tabla 10

Vulnerabilidad económica (VE)

El Anexo 1, Tabla 11 contiene las variables características según el nivel de vulnerabilidad económica existente en los Consejos Populares refleja la capacidad para hacer frente a un desastre y está determinada. También se incluyen los efectos en el empleo y los niveles de ingresos para la población de la región cercana a la inversión.

Vulnerabilidad social (VS)

Los elementos a evaluar en la vulnerabilidad social aparecen en el Anexo 1, Tabla 12, en ella se analiza el nivel de organización y participación que tiene los habitantes para prevenir y responder ante situaciones de emergencia. Mayor será la vulnerabilidad de una entidad si su cohesión interna es pobre, es decir, si las relaciones que vinculan a los miembros de la misma con el conglomerado social, no se afianzan en sentimientos compartidos de propósito y que no existan formas organizativas que lleven esos sentimientos a acciones concretas.

Vulnerabilidad científica y tecnológica (VCT)

Es el nivel de conocimiento científico y tecnológico que los habitantes de los Consejos Populares tienen sobre los peligros de origen natural y tecnológico. Además, evalúa el acceso a la información y el uso de técnicas para ofrecer mayor seguridad a los habitantes frente a los peligros quienes deben estar informados sobre las medidas de prevención y mitigación, de la

importancia de la vigilancia y monitoreo, para evitar el daño o el colapso de la misma, a fin de minimizar o reducir así los riesgos.

Esta vulnerabilidad es el primer reflejo de la falta de percepción de los peligros y riesgos potenciales. Los valores de las variables de la vulnerabilidad científico tecnológica se encuentran en el Anexo 1, Tabla 13

Vulnerabilidad Global

Para fines de la estimación o valoración del riesgo, la vulnerabilidad global (VG) se clasifica en cinco niveles: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, el Anexo 1, Tabla 13 presenta la clasificación, descripción y valor de la vulnerabilidad global.

$$VG = \frac{P_f \cdot VF + VC}{P_f + 1} \quad , (2.3)$$

Donde:

P_f – Peso ponderado de la vulnerabilidad física en la vulnerabilidad global, que depende de la importancia socio-económica de la inversión en estudio (Tabla 2).

VF – Vulnerabilidad física de un elemento, zona

VC – Vulnerabilidad complementaria

Tabla 2. Peso ponderado que depende de la importancia socioeconómica de la inversión en estudio

Categoría de la obra	P_f
Sector educación y cultura	1.10 – 1.30
Sector industrial	1.30 – 2.00
Sector agropecuario	1.00 – 1.20
Sector salud	1.20 – 1.50
Viviendas	1.00 – 1.15
Edificios	1.60 – 2.00

Conclusiones parciales

1. Se establece una metodología que diagnostica la vulnerabilidad global ante la acción de la erosión fluvial y las inundaciones en las comunidades e instituciones, lo que permite proponer medidas de prevención y mitigación que incrementan la capacidad de respuesta y adaptabilidad ante la ocurrencia de inundaciones.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

3.1 Introducción

En el presente capítulo se describen los resultados del análisis cualitativo de la vulnerabilidad global por erosión fluvial y su influencia sobre el medio geológico, de modo que permita aportar medidas destinadas para incrementar la capacidad de respuesta y adaptabilidad de la población ante la ocurrencia de fenómenos provocados por el cambio climático, como son las inundaciones. Para ello se dividió el área de estudio en dos sectores, el sector # 1 es la red fluvial del arroyo María y el sector # 2 es la red fluvial Joselillo.

3.2 Descripción del Área de estudio

Sector # 1. Punto # 1

X: 696991,625

Y: 223668,047

Se sitúa en las inmediaciones del puente de Los Loros (Figura 19), en Moa Centro; en sus alrededores encontramos una bodega, una instalación de los servicios, un punto de venta por cuenta propia, 4 viviendas y el puente de Los Loros el cual es una vía de acceso público. Se observa erosión en cárcavas y pequeños deslizamientos en el cauce del río, aumentando la erosión lateral lo que se justifica por presencia construcciones en las riberas y la no puesta en práctica de medidas antierosivas.

En la ribera (derecha) del Rincón de Pepe se observan deslizamientos de bloques quedando esta instalación y 2 viviendas en peligro ante futuras inundaciones (Figura 20).



Figura 18. Deslizamiento de un muro del rincón de Pepe provocado por inundaciones



Figura 19. Deslizamientos de bloques en la ribera del arroyo

Punto # 2.

X: 697016,969

Y: 223721,402

En esta zona encontramos 2 instalaciones de la red de peluquería y de reparaciones de equipos electrodomésticos y 3 viviendas. Existe abundante vegetación ribereña, el tramo del arroyo está contaminado por deposición de desechos sólidos que contaminan las aguas, predomina la erosión lateral sobre la erosión de fondo, se observa la presencia de varios bancos de sedimentos.

En este punto el arroyo ha socavado los cimientos de las viviendas (Figura 21), además existen deslizamientos menores que favorecen el proceso de colmatación del cauce. Existe una alta probabilidad de ocurrencia de daños sobre las viviendas e instalaciones por socavación de los cimientos.



Figura 20. Socavación del arroyo en los cimientos de viviendas

Punto # 3.

X: 697068,991

Y: 223822,777

En las inmediaciones de este punto encontramos el Banco Popular de Ahorro (Figura 22), un Joven Club, 3 viviendas y un puente de acceso público; al igual que en el punto anterior se observa abundante vegetación, y deposición de desechos sólidos que contaminan las aguas del Arroyo María. A causa de la intensa erosión fluvial los cimientos del Banco poseen alto riesgo de colapso de la estructura, convirtiéndose en una institución muy vulnerable.



Figura 21. Erosión fluvial actuando en los cimientos del Banco Popular de Ahorro

Punto # 4.

X: 697146,356

Y: 223917,483

En las inmediaciones de este punto encontramos 5 viviendas muy próximas al borde superior de las riberas del arroyo (Figura 23), existiendo vertimiento directo de las aguas de origen doméstico al arroyo. Existen plantaciones de frutales y viandas que crecen sobre suelos contaminados. Las aguas son turbias y con olor fétido, se observan deslizamientos que favorecen la sedimentación del cauce.



Figura 22. Viviendas construidas sin planificación

Punto # 5.

X: 697282,412

Y: 224034,865

En este punto encontramos un puente el cual es vía de comunicación (Figura 24), en sus alrededores observamos abundante vegetación y presencia de turbidez en el agua. Sin embargo, por la falta de capacidad hidráulica de las obras de canalización y puentes, junto con la invasión de la llanura aluvial por varias construcciones, recurrentemente se generan desbordamientos e inundaciones que afectan algunas viviendas; esta problemática se agrava por los escombros que son arrojados que obstruyen el cauce.



Figura 23. Obstrucción del puente

Punto # 6.

X: 697498,502

Y: 224290,971

En este punto existe un puente de acceso público y 5 viviendas. El cauce se encuentra colmatado (Figura 25) y bloqueado por una barrera de troncos y arenas provocando que en periodos de intensas lluvias el flujo del agua rebose, además la deficiente capacidad hidráulica del puente provoca un retroceso de las aguas e inundación de esta zona costera.



Figura 24. Colmatación del cauce

Punto # 7.

X: 697573,199

Y: 224373,672

Estamos en presencia de la desembocadura del arroyo al mar (Figura 25) el cual no tiene prácticamente drenaje de las aguas fluviales, esta obstruido por escombros que favorecen el estrechamiento del cauce en forma de delta, interfiriendo con el régimen natural de circulación de aguas.



Figura 26. Desembocadura del arroyo María

Sector # 2. Punto # 1

X: 698126,672

Y: 223836,116

Estamos en presencia de la desembocadura del arroyo Joselillo al mar (Figura 27) el cual no tiene prácticamente drenaje de las aguas fluviales, por tanto, las mismas se estancan, interrumpiendo el régimen natural de circulación de aguas, y como consecuencia en periodos de intensas lluvias se produce un retroceso de las aguas hacia el interior del consejo popular.



Figura 27. Desembocadura del arroyo Joselillo

Punto # 2.

X: 698113,423

Y: 223796,1

En las inmediaciones de este punto nos encontramos un puente (Figura 28), una farmacia y una vivienda, con problemas de drenaje de las aguas pluviales y domésticas, provocando que el cauce se encuentre bloqueado. El agua está contaminada y con un fuerte olor fétido que enrarece el aire.



Figura 28. Vertimiento de desechos sólidos al arroyo

Punto # 3.

X: 698062,735

Y: 223760,085

En este punto existen 3 viviendas construidas en la cercanía del arroyo con alto riesgo de inundación (Figura 29). Se observa la redistribución del suelo producido durante las prácticas de la agricultura identificándose como un intenso proceso de degradación del suelo (erosión mecánica o erosión por laboreo), además de pequeños deslizamientos de tierra hacia el arroyo. El agua presenta turbidez indicando que no es apta para el consumo, ni los frutos de las plantaciones.



Figura 29. Viviendas con peligro de inundación

Punto # 4.

X: 697912,006

Y: 223861,46

En este punto se observa el sobrepastoreo (Figura 30) una de las actividades degradantes del suelo, además de ser una zona muy baja donde el arroyo aguas negras, se evidencian pequeños deslizamientos de tierra, lo que provoca que en épocas de intensas lluvias esta zona se inunde y afecte viviendas cercanas.



Figura 30. Sobrepastoreo y colmatación del arroyo

Punto # 5.

X: 697926,679

Y: 223886,804

En este punto encontramos 6 viviendas ubicadas en la ribera de arroyo, construidas sobre las riberas y llanuras de inundación del arroyo (Figura 31), con problemas de alcantarillado, las viviendas tienen mal estado constructivo y con peligro por inundación y contaminación de las aguas.



Figura 31. Viviendas ubicadas en la ribera del arroyo

Punto # 6.

X: 697942,686

Y: 223906,812

Estamos en presencia de un puente, el cual es vía de comunicación como se puede ver en la Figura 32. El cauce se encuentra bloqueado por una barrera de troncos y arenas provocando que en periodos de intensas lluvias el flujo de agua rebose, además la deficiente capacidad hidráulica del puente provoca un retroceso de las aguas e inundación de esta zona costera.



Figura 32. Desagüe del puente en mal estado

Punto # 7

X: 697945,139

Y: 223679.692

En este punto encontramos 2 viviendas ubicadas en la ribera de arroyo, construidas muy próximas al talud de las riberas y llanuras del arroyo (Figura 33), con problemas de drenaje, las viviendas están en mal estado constructivo con alto grado de vulnerabilidad por inundación y contaminación de las aguas.



Figura 33. Viviendas ubicadas en la ribera del arroyo

Punto # 7.

X: 697840,275

Y: 223572,623

Al igual que en el punto anterior encontramos 2 viviendas ubicadas en la ribera de arroyo (Figura 34), viviendas que están en mal estado constructivo y con peligro por inundación y contaminación de las aguas, convirtiéndose en vulnerables ante futuras inundaciones y probables deslizamientos por erosión fluvial.



Figura 34. Viviendas ubicadas en la ribera del arroyo

3.3 Evaluación de la Vulnerabilidad Global (VG)

La evaluación de los riesgos de la VG se realiza a través de la aplicación de métodos cualitativos y cuantitativos, representados a través de matrices de probabilidad e impactos. En el Anexo 1 Tabla 7 se muestran las características de VG en cada uno de los consejos populares, que es de: “Media” en el sector 1 y “Alta” en el sector 2.

3.4 CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD GLOBAL

Vulnerabilidad física (VF)

La matriz final de evaluación de la vulnerabilidad física VF de cada uno de los sectores y sus elementos estructurales y no estructurales, cualitativamente se muestra en el Anexo 1, Tabla 19, mientras que la cuantitativa, aparece en el Anexo 1, Tabla 20.

Vulnerabilidades complementarias (VC)

Vulnerabilidad ambiental y ecológica (VAE)

Las variables para evaluar esta vulnerabilidad se comportan (ver Anexo 1, Tabla 10) de la siguiente forma: Las altas temperaturas ambientales, llegan a una temperatura aproximada de 30 o 35 grados Celsius, que corresponden a un valor de 50%.

El aire y el agua tienen un nivel moderado de contaminación, el aire se ve afectado por el arrastre de los polvos, emanaciones de humo de las plantas cercanas y el agua en los informes de Hidroeconomía reflejan contaminación con sulfatos, por eso el valor tomado fue 50 %.

A las condiciones ecológicas se le asignó un 30 %.

El nivel de VAE, entonces será el promedio del nivel alcanzado por las tres variables, o sea:

$$VAE = (50+50+30) / 3 = 43,33 \% \quad (3.1)$$

Vulnerabilidad económica (VE)

Teniendo en cuenta el comportamiento de las variables características según el nivel de VE existente (ver Anexo 1, Tabla 11), se refleja la capacidad para hacer frente a un desastre y está determinada, fundamentalmente. También se incluyen los efectos en el empleo y los niveles de ingresos para la población de la región cercana a la inversión.

$$VE = (51+50+30) / 3 = 43,33 \% \quad (3.2)$$

Vulnerabilidad social (VS)

Los elementos a evaluar en la VS se analizan a partir del nivel de organización y participación que tienen los pobladores, para prevenir y responder ante situaciones de emergencia.

Mayor será la vulnerabilidad de una entidad si su cohesión interna es pobre; es decir, si las relaciones que vinculan a los miembros de la misma con el conglomerado social, no se afianzan en sentimientos compartidos de pertenencia y de propósito y que no existan formas organizativas que lleven esos sentimientos a acciones concretas (ver Anexo 1, Tabla 12). Los valores de las variables mencionadas se expresan a continuación:

Nivel de organización: entidad organizada (50 %).

Grado de relación entre las organizaciones locales: fuerte relación (25 %).

Integración entre las organizaciones: integración total (25 %).

Entonces la VS como la media del grupo será:

$$VS = (50+25+25) /3=33,33 \% \quad (3.3)$$

Vulnerabilidad científica y tecnológica (VCT)

Los valores de las variables de la VCT (ver Anexo 1, Tabla 13) se expresan a continuación:

Existen pocos estudios de los peligros naturales (55 %).

Conocimiento parcial de los estudios (50 %).

El valor promedio de esta vulnerabilidad es de:

$$VCT = (50+55) /2=54,5 \% \quad (3.4)$$

La VC de la población y sus zonas será el promedio de los cuatro tipos de vulnerabilidades evaluadas, entonces:

$$VC = \frac{VAE + VE + VS + VCT}{4} \quad (3.5)$$

$$VC = (43,33+ 43,33 + 33,33 + 54,5) /4 \quad (3.6)$$

$$VC = 42,57 \%$$

Vulnerabilidad Global (VG)

$$VG = \frac{P_f * VF + VC}{P_f + 1} \quad (3.7)$$

El cálculo de la VG (ver Anexo 1 Tabla 14), se determina como:

La estimación de la VG, en función de los valores de la VF, VC y P_f se muestra en el Anexo 1, Tablas desde 14 a la 22.

3.5 Zonificación de la vulnerabilidad en el área de estudio.

Teniendo en cuenta los factores y fenómenos geológicos que presenta el área de estudio, se dividió en 3 espacios: el sector 1a, el sector 1b y el sector 2.

Zonificación de la vulnerabilidad global del sector 1

Del Sector 1a se determinaron por las características y las situaciones actuales del terreno 4 puntos que presentan un nivel medio de vulnerabilidad global. Ver Figura 35. Este alto nivel se debe a factores como:

1. Presencia de deslizamientos en curso (Puntos 1 y 2).
2. Agrietamiento y altos niveles de corrosión en las estructuras del soporte del puente Los Loros (Punto 1).
3. Actividad intensa de la erosión fluvial (Puntos 3 y 4).
4. Alto grado de contaminación por el vertido de desechos sólidos al arroyo María.(Punto 3)
5. Evidencia del fenómeno de socavación en los cimientos de las viviendas e instalaciones estatales. (Punto 2 y 3)

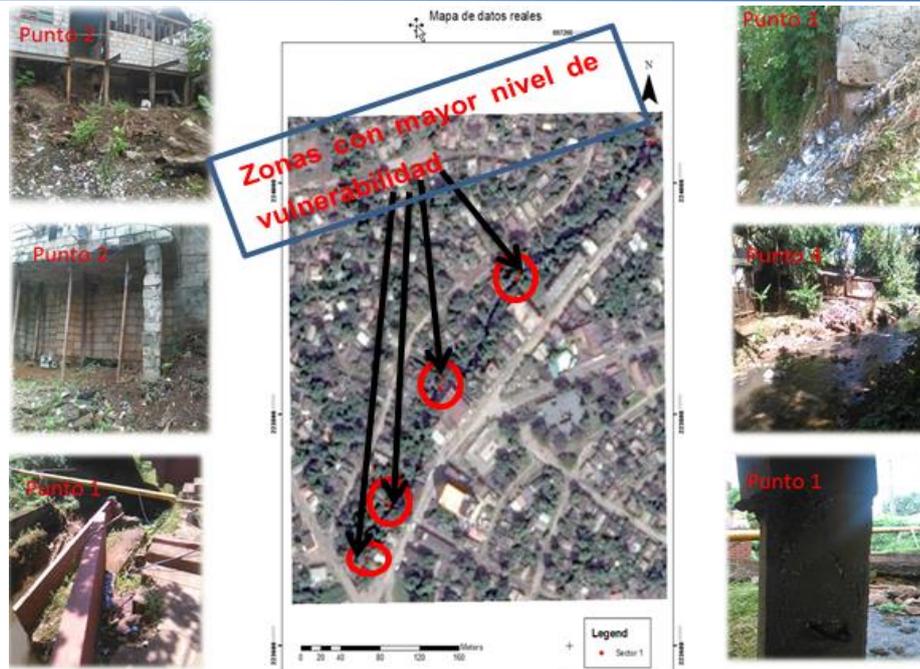


Figura 35. Zonificación sector 1a

En el sector 1b ver Figura 36 se clasifican 2 zonas de vulnerabilidad media, debido a:

1. Alta probabilidad de la ocurrencia de inundaciones por la colmatación en el cauce del arroyo María lo que produce pérdida de capacidad de evacuación (Punto 7 y 8).
2. Alta contaminación por vertido de desechos sólidos y de aguas albañales al arroyo María.
3. Obstrucción de las obras de fábrica arroyo María. Punto 8
- 4.

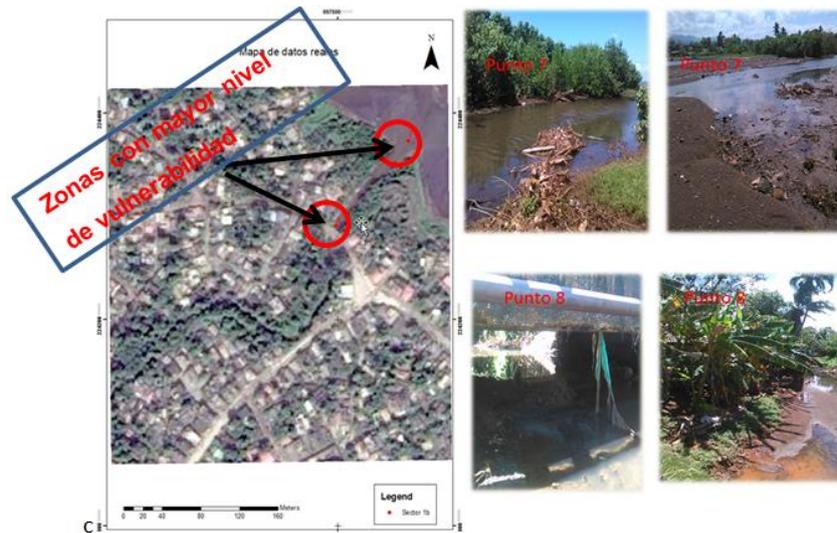


Figura 36. Zonificación sector 1b

Zonificación de la vulnerabilidad global del sector 2

En este sector se identificaron 6 zonas clasificadas con una vulnerabilidad alta (Ver Figura 37), debido a:

1. Alta susceptibilidad a la ocurrencia de inundaciones, causadas por la obstrucción del cauce del arroyo Joselillo. Punto 12 (Figura 37).
2. Colmatación de la desembocadura del arroyo Joselillo, por el vertido de desechos sólidos y la acumulación de sedimentos al mismo. Puntos 8 y 13 (Figura 37).
3. Alta contaminación por aguas albañales de las aguas del arroyo Joselillo. Punto 10 (Figura 37).
4. Construcción de las viviendas en la llanura de inundación del arroyo Joselillo. Puntos 14 y 15 (Figura 37)
5. Mal estado constructivo de las viviendas aledañas al arroyo Joselillo.

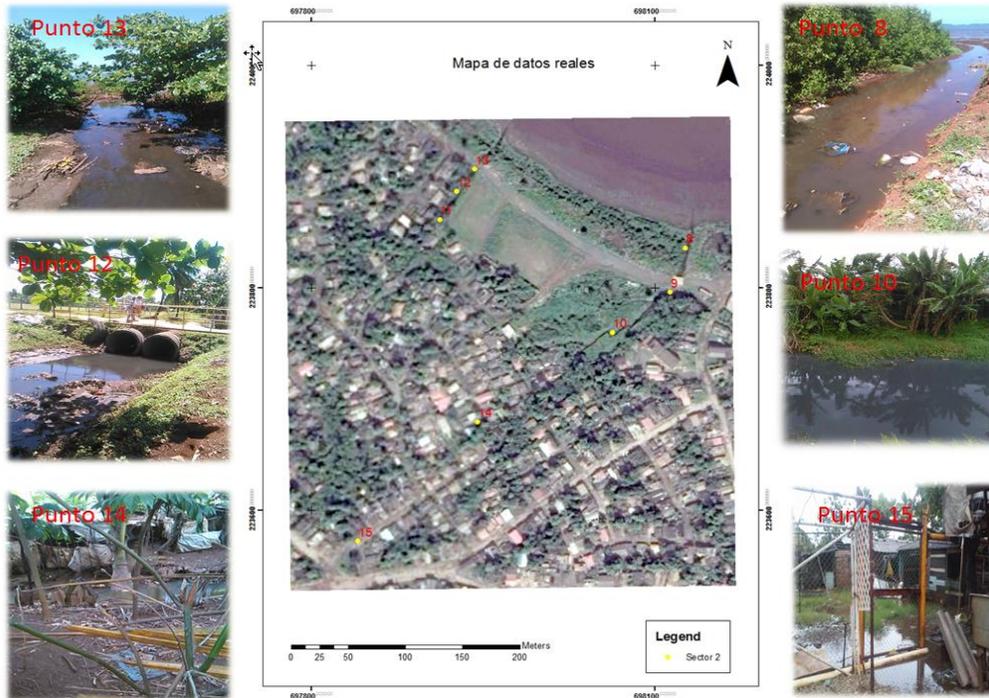


Figura 37. Zonificación sector 2

3.6 Medidas de prevención, mitigación y corrección

1. Capacitar a los integrantes de la comunidad en la construcción en los tipos de prácticas de conservación de suelos.
2. Aplicar técnicas de conservación de suelos en las laderas que se usan para la agricultura.
3. No realizar labores de agricultura en pendientes superiores a los 20 grados.
4. Plantar arbustos que añadan cubierta vegetal y fortalezcan los sistemas de raíces, lo cual a su vez mejorará la estabilidad del talud.
5. En el caso de que haya que ensanchar el lecho del cauce, dejar taludes de escasa pendiente y aplicar técnicas de bioingeniería para la recuperación de la vegetación.
6. Recuperar el espacio fluvial: longitudinal, transversal, vegetación de ribera.
7. Realizar las canalizaciones y defensas (basadas en uso de hormigón, escolleras y motas).

8. Dragados y limpiezas de sedimentos.

Conclusiones parciales

1. La evaluación de la VG determinó que los sectores más vulnerables son:
 - Sector 1: Puntos 1,2, 4 y 5 poseen VG media
 - Sector 2; Puntos 2, 3, 5, y 6 poseen VG alta
2. El plan de medidas de prevención, mitigación y corrección de impactos responde a los niveles de VG existentes en el área de estudio.

CONCLUSIONES GENERALES

1. La caracterización geo ambiental del área de estudio demostró el alto nivel de vulnerabilidad existente ante los fenómenos de erosión fluvial e inundaciones.
2. Se establece una metodología que diagnostica la vulnerabilidad global ante la acción de la erosión fluvial y las inundaciones en el sector de estudio, lo que permite proponer medidas de prevención y mitigación que incrementan la capacidad de respuesta y adaptabilidad ante la ocurrencia de estos fenómenos.
3. El proceso de evaluación de la VG determinó que:
 - Sector 1: Puntos 1,2, 4 y 5 poseen VG media ante erosión fluvial.
 - Sector 2; Puntos 2, 3, 5, y 6 poseen VG alta ante inundaciones.
4. El plan de medidas de prevención, mitigación y corrección de impactos responde a los niveles de VG existentes en el área de estudio.

RECOMENDACIONES

- Profundizar sobre esta temática para futuros trabajos.
- Facilitar los resultados a los organismos e instituciones del municipio para el uso de la investigación y su incorporación a los planes de reducción de desastres del municipio.
- Que las entidades del CITMA, gobierno y defensa civil tengan como referencia este trabajo para la toma de decisiones en el proyecto de la Tarea Vida.
- Informar a los vecinos de las comunidades vulnerables la situación actual de sus localidades.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguas Calientes, AGS.2017 Estadísticas a propósito del día mundial de la lucha contra la desertificación y la sequía
2. Andó J., Miklos K., Ríos Y. (1989). Caracterización general de la asociación ofiolítica de la zona Holguín - Moa y el papel de las ofiolitas en el desarrollo estructural de Cuba. Revista Minería y Geología, Vol. 7, No.1.
3. Artículo de EcuRed. (Ríos de Cuba) 2017.
4. CARREÑO, C. Mb., et al. Buenos suelos en extinción: la degradación de los suelos ferralíticos rojos en el Occidente de Cuba. Anales de la Academia de Ciencias de Cuba, 2016.
5. Carreño-Vega. B; González-Febles M.J (2005) Universidad Agraria de La Habana. La investigación de suelos erosionados: Métodos e Índices de diagnóstico. ISSN 0258 5979 Minería y Geología v. 21 n. 2, 2005.
6. Castañeda Sulma y Guardado L. Rafael (2015). Catastro erosivo de Moa.
7. Céspedes H. Yunier (2014): Análisis de la degradación ambiental en el municipio Moa.
8. Correa,. (2003): El estudio de la erosión en cárcavas en áreas degradadas del sector este del Parque Nacional Alejandro de Humboldt
9. Fernández (2012): Los factores que influyen en la desertificación en el sector Cerro Miraflores- Playa La Vaca, municipio Moa. Fernández R. M. (2003) Evaluación de la calidad de las aguas de consumo humano en la zona urbana de la ciudad de Moa.
10. Francisco J. Fernando (1992): Evaluación de la dinámica natural y amenaza erosiva en cuencas hidrográficas de montaña
11. Gaitán ,J. et al.,2017 Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina
12. García-Chevesich, P. 2008. Procesos y control de la erosión. Outskirts Press. Denver, CO. 276 p.
13. García P. Javier (1986): Dinámica erosiva del Piping: Un ejemplo en la depresión del Ebro.
14. García Yudith, Almaguer C. Yuri. Análisis estructural de las rocas serpentizadas del territorio de Moa.2013.
15. Melchor-Marroquín,J.M., et al., 2016 Diagnóstico de la erosión hídrica en la cuenca del río Tuxpan, Veracruz, México
16. Morgan, R. 2005. Soil erosion and conservation. National Soil Resources Institute. Cranfield University. Blackwell Science Ltd. Oxford,UK. 304 p.
17. Oliva .G.1989Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto de Geografía, ACC, .

18. Osterkamp, W.R. 2008. Annotated Definitions of Selected Geomorphic Terms and Related Terms of Hydrology, Sedimentology, Soil Science and Ecology, USGS Open File Report 2008-1217, Reston, Virginia.
19. Owen A, D. (2014): Estimación de la pérdida de suelo por erosión en el sector Norte de Moa.
20. 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. Rodríguez A., 1998.
21. Proenza. J. Gervilla. F. Melgarejo. J.C., 1999b. La moho transition zone en el macizo ofilítico moa-baracoa (cuba): un ejemplo de transición magma/peridotita. Rev.Soc. Geol. España, 12(3-4), 309-327
22. Quintana (2013): Caracterización de los procesos geodinámicas desarrollados en cuencas mediante métodos de cartografía geológica.
23. 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
24. Rodríguez, I.A. 1998 Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación del riesgo de génesis tectónicas. Tesis doctoral, Academia de Ciencias de Cuba. Departamento de Geología, ISMMM, Moa.
25. Sangalli, P. 2010 Curso de restauración ambiental de áreas degradadas, Burgos.
26. Segura S. Laura (2014): Conocimiento de la dinámica fluvial como herramienta para la planificación territorial. Caso río Volcán, Buenos Aires, Puntarenas, Costa Rica.
27. STRECKEISEN, A. 1975: To each plutonic rock its proper name. Earth Science.
28. UNDRO. "Natural Disasters and Vulnerability Analysis", Report of Experts
29. VALDÉS, Y. 2015: Caracterización petrológica y geoquímica de las rocas metamórficas, sector Camarioca Sur. Tesis de Maestría, Facultad Geología Minas, Departamento de Geología, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
30. Vericat, D. y Batalla, R. J. (2004): Efectos de las presas en la dinámica fluvial del curso bajo del río Ebro.
31. Wilches-Chaux, G. "La Vulnerabilidad Global". Editorial Tercer Mundo. Bogotá, Colombia, 1993.
32. Young, K.: (1977) Erosion potential of Soils, Proceed, 3rd Ted. Inter. Agency Sediment Conf., Denver, Etats Unis

ANEXOS

ANEXO 1.

Tabla 3. Categorización de los peligros que influyen en las cuencas

Categoría del peligro	Descripción	Suma total de los pesos
I	Peligro muy bajo	≤ 30.0
II	Peligro bajo	30.1 – 60.0
III	Peligro medio	60.1 – 80.0
IV	Peligro alto	80.1 – 90.0
V	Peligro muy alto	≥ 90.1

Tabla 4. Peso de los diferentes factores en la evaluación de los peligros

Familia de factores	Tipos de factores	Peso en el análisis
Factores que caracterizan la susceptibilidad	Litología suelo talud	10
	Litología suelo cimentación	10
	Estructura	5
	Topográfico	5
	Hidrológico	5
	Clima (temperatura y humedad)	10
	Uso de suelo	5
Factores	Clima (lluvias)	10

desencadenantes (eventos generadores)	Zonas hidrológicas críticas	10
	Redes técnicas	10
	Acciones antrópicas	100
Eventos ingeniero geológico	Evidencias de ocurrencia	20
Sumatoria total		100

Tabla 5. Pesos de los diferentes factores litológicos para evaluar la peligrosidad

Factor	Descripción	Categoría	Peso
Litología de suelos de los diques y la cimentación	Tipo de material y meteorización	Arenisca muy meteorizada	7,5
		Arenisca algo meteorizada	6
		Arenisca poco meteorizada	4,5
		Arenisca algo meteorizada con arcillas	9
		Arenisca poco meteorizada con arcillas	8
		Serpentina muy meteorizada	9
		Serpentina poco meteorizada	6
		Suelo arenoso arcilloso	8
		Suelos arcillosos	5

		Materiales aluviales antiguos bien consolidados	9
		Suelos arenosos blandos	7

Tabla 6. Pesos de los diferentes factores topográfico-estructurales para evaluar la peligrosidad

Factor	Descripción	Categoría	Peso
Topográfico	Altura de los taludes	Menos de 4 metros	2
		De 5 a 10	3
		Mayor de 10	5
	Pendientes de los taludes	Más de 45 grados	5
		De 36-45 grados	4.3
		De 26 a 35 grados	3
		Menos de 16-25 grados	2
		Menos de 15 grados	2.6
	Espesor de los estratos	Menor de 5 metros	2,6
		De 6 a 10 metros	2
		De 11 a 15 metros	5,5
		De 16 a 20 metros	3
		Mayor de 20 metros	3,7

Tabla 7. Pesos de los diferentes factores climático-hidrológicos para evaluar la peligrosidad

Factor	Descripción	Categoría,	Peso
Climático	Lluvias	Intensas, más de 100 mm/día	4
		Medias entre 80- 100 mm/día	3
		Bajas menos de 80 mm/día	1,5
	Temperatura	Altas mayor de 30 grados	3
		Medias de 15 a 30 grados	2
		Bajas menos de 15 grados	1
	Humedad	Alta más del 70 %	7
		Baja menos del 70 %	3
	Hidrológico	Profundidad del NF	Inundable
Pantanosos			8
Muy húmedo			6
Húmedo			4
Poco húmedo			2
Hidrológicos-zonas críticas		Concentración de cursos fluviales	7
		Puntos bajos para obras de drenaje	
		Sistema de subdrenaje	

Tabla 1: Pesos de los diferentes factores geotécnicos - antrópicos para evaluar la peligrosidad .

Factor	Descripción	Categoría	Peso
Geotécnicos	Eventos ingenieros geológicos- Evidencias ocurridas	Erosión laminar	5-8
		Erosión surcos	7-10
		Erosión carcavas	10-14
		Flujos locales	8-10
		Expansión/Contracción	9-12
		Disolución de suelos	10-14
		Sifonamiento, erosión interna	10-13
		Agrietamiento	9-12
Uso del suelo	Redes técnicas	Agua fría o caliente	4
		Desechos químicos	
		Lodos	
		Otras sustancias	
Uso del suelo	Ocupación	Zona urbana	5.0
		Áreas agrícolas	5.0
		Vegetación intensa	2.0
		Vegetación moderada	3.0
		Vegetación escasa	4.0

		Suelos descubiertos	5.0
Antrópicos	Actividad humana	Tránsito de vehículos pesados	2-4
		Uso de descarga albañal	5-10
		Actividad industrial / vibraciones	4-8
		Mal manejo de los taludes	3-5
		Focos de sobrecargas estructurales	6-8

Tabla 90. Clasificación de la vulnerabilidad física

Proceso	Nivel de vulnerabilidad			
	VB ≤ 25 %	VM 26 a 50 %	VA 51 a 75 %	VMA 76 a 100 %
Erosión superficial en taludes	Superficial laminar o eólica	Superficial con surcos aislados	Superficial con surcos extendidos	Superficial con cárcavas
Erosión interna en taludes	Suelos poco permeables y nivel freático bajo	Suelos de medio a permeables y nivel freático	Suelos permeables y nivel freático alto con drenes	Suelos permeables y nivel freático alto sin drenes

Deslizamientos	Brechas puntuales de menos de 1 m de ancho	Brechas puntuales entre 1 m a 3 m de ancho	Varias zonas con brechas entre 1 m a 3 m de anchos	Segmentos con brechas mayores a 3 m de ancho
Agrietamientos por sismos o débiles cimentaciones	Fisuras superficiales	Grietas medias superficiales	Grietas gruesas superficiales	Redes de grietas superficiales extendidas

Donde:

VB: Vulnerabilidad baja

VM: Vulnerabilidad media

VA: Vulnerabilidad alta

VMA: Vulnerabilidad muy alta

Tabla 10. Vulnerabilidad ambiental y ecológica

Variable	Nivel de vulnerabilidad			
	VB	VM	VA	VMA
	≤ 25 %	26 a 50 %	51 a 75 %	76 a 100 %
Condiciones atmosféricas (CA)	Niveles de temperatura promedios normales	Niveles de temperatura ligeramente superiores al promedio	Niveles de temperatura superiores al promedio natural	Niveles de temperatura superiores estables al promedio

		anual		normal
Composición y calidad del aire y el agua (CCAA)	Sin contaminación	Con un nivel moderado de contaminación	Alto grado de contaminación	Nivel de contaminación no apto
Condiciones ecológicas (CE)	Conservación de recursos naturales, no existe deforestación ni contaminación	Nivel moderado de explotación de los recursos naturales y del nivel de contaminación	Alto nivel de explotación de los recursos naturales, y del nivel de contaminación	Explotación indiscriminada de los recursos naturales

Donde:

VB: Vulnerabilidad baja

VM: Vulnerabilidad media

VA: Vulnerabilidad alta

VMA: Vulnerabilidad muy alta

Tabla 11. Vulnerabilidad económica

Variable	Nivel de vulnerabilidad			
	VB	VM	VA	VMA
	≤ 25 %	26 a 50 %	51 a 75 %	76 a 100 %
Actividad	Alta productividad y	Medianamente productiva y	Escasamente productiva y	Sin productividad y

económica (AE)	recursos bien distribuidos. Productos para el comercio exterior o fuera de la localidad	distribución regular de los recursos. Productos para el comercio interior, a nivel local.	distribución deficiente de los recursos. Productos para el autoconsumo.	nula distribución de recursos.
Acceso al mercado laboral (AML)	Oferta laboral superior a la demanda	Oferta laboral igual a la demanda	Oferta laboral menor a la demanda	No hay oferta laboral
Nivel de ingresos (NI)	Alto nivel de ingresos	Suficiente nivel de ingresos	Nivel de ingresos que cubre necesidades básicas	Ingresos inferiores para cubrir necesidades básicas

Donde:

VB: Vulnerabilidad baja. VM: Vulnerabilidad media. VA: Vulnerabilidad alta.

VMA: Vulnerabilidad muy alta

Tabla 12. Vulnerabilidad social

Variable	Nivel de vulnerabilidad			
	VB	VM	VA	VMA
	≤ 25 %	26 a 50 %	51 a 75 %	76 a 100 %
Nivel de organización	Entidad totalmente organizada	Entidad organizada	Entidad escasamente organizada	Entidad no organizada

(NOrg.)				
Grado de relación entre las instituciones y organizaciones locales (GRIOL)	Fuerte relación	Medianamente relacionados	Débil relación	No existe
Tipo de integración entre organizaciones e instituciones locales (TIOIL)	Integración total	Integración parcial	Baja integración	No existe integración

Donde:

VB: Vulnerabilidad baja. VM: Vulnerabilidad media. VA: Vulnerabilidad alta

VMA: Vulnerabilidad muy alta

Tabla 13. Vulnerabilidad científica y tecnológica

Variable	Nivel de vulnerabilidad			
	VB	VM	VA	VMA
	≤ 25 %	26 a 50 %	51 a 75 %	76 a 100 %
Existencia de trabajos de investigación sobre desastres naturales en la localidad	Todos los peligros naturales fueron estudiados	La mayoría de los peligros naturales fueron estudiados	Existen pocos estudios de los peligros naturales	No existen estudios de ningún tipo de peligros

(ETIDNL)				
Existencia de instrumentos para la medición de fenómenos completos (EIMFC)	Empresa totalmente instrumentada	Empresa parcialmente instrumentada	Empresa con escasos instrumentos	Empresa sin instrumentos
Conocimiento sobre la existencia de estudios (CEE)	Conocimiento total de los estudios existentes	Conocimiento parcial de los estudios	Mínimo conocimiento de los estudios existentes	No tienen conocimiento de los estudios

Donde:

VB: Vulnerabilidad baja.

VM: Vulnerabilidad media.

VA: Vulnerabilidad alta.

VMA: Vulnerabilidad muy alta

Tabla 14. Clasificación, descripción y valor de la vulnerabilidad global

Nivel de vulnerabilidad	Descripción/Características	Rangos de valores de VG
VMB y VB	Cuencas con suelos de estructura granular que poseen alta capacidad de infiltración, entidad con un ingreso medio a alto, con estudios y cultura de prevención, con cobertura de los servicios básicos, con buen nivel de organización, participación total y	≤ 25 %

	articulación entre las instituciones y las organizaciones existentes	
M	<p>Cuencas asentadas sobre suelos de calidad intermedia, inundaciones muy esporádicas, con bajo tirante y velocidad. Con material en regular y buen estado de conservación. Entidad con ingresos económicos medios, con cultura de prevención en desarrollo, con cobertura parcial de los servicios básicos, con facilidades de atención para servicios de emergencia. Entidad organizada, con participación de la mayoría, medianamente relacionados e integración parcial entre las instituciones y las organizaciones existentes</p>	De 26 a 50 %
VA	<p>Cuencas asentadas en zonas con material en mal y regular estado. Entidad con escasos recursos económicos, sin conocimientos y cultura de prevención, cobertura parcial de servicios básicos, accesibilidad limitada para servicios de emergencia, escasa organización, mínima participación, débil relación y una baja integración entre las instituciones y organizaciones existentes.</p>	De 51 a 75 %
VMA	<p>Cuencas asentadas en zonas de suelos con alta probabilidad de ocurrencia de erosión generalizada o suelos erosionables en grandes proporciones, de materiales. Entidad de escasos recursos económicos, sin cultura de prevención, inexistencia de</p>	De 76 a 100 %

	servicios básicos y accesibilidad limitada para atención a emergencias; así como una nula organización, participación entre las instituciones y organizaciones existentes.	
--	--	--

Tabla 15. Evaluación cuantitativa y cualitativa de la peligrosidad

Factores		Sector 1	Sector 2
1	Litología del suelo	5	5
2	Litología de la cimentación	7	10
3	Estructura	1	1
		3.7	3.7
4	Topográfico	1.3	1.3
		5	5
5	Hidrológico	3	6
		7	7
6	Cimentación	7	10
8	Uso de suelo	5	5
9	Clima	3	3
		0.3	0.3
		0.7	0.7
10	Redes técnicas	4	3
12	Actividad humana	7	6

13	Evidencias	10	15
14	Suma total	70	82
15	Evaluación de la peligrosidad	M	A

Leyenda:

A; Alta

M: Media

Tabla 16. Clasificación cualitativa de la vulnerabilidad física por sector (VF)

Grupo de eventos		
Naturales	Sector 1	Sector 2
Erosión superficial	Alto	Medio
Deslizamientos	Alto	Baja
Agrietamientos	Alto	Medio
Inundaciones	Medio	Muy Alto

Tabla 17. Clasificación cuantitativa de la vulnerabilidad física (VF) por sector

Grupo de eventos		
Naturales	Sector 1	Sector 2
Erosión superficial	65	50
Deslizamientos	70	25

Agrietamientos	55	35
Inundaciones	50	80

Tabla 18. Vulnerabilidad Global para el sector # 1

Grupo de eventos	VF	P _f	VC	VG
Naturales				
Erosión superficial	65	1.15	42,57	54
Deslizamientos	70			50
Agrietamientos	55			49
Inundaciones	50			46

Tabla 19. Vulnerabilidad Global para el sector # 2

Grupo de eventos	VF	P _f	VC	VG
Naturales				
Erosión superficial	50	1.15	42,57	46
Deslizamientos	25			33
Agrietamientos	35			38
Inundaciones	80			62

Tabla 20. Resumen de la clasificación de los peligros agrupados por sector

Grupo de eventos		
Naturales	Sector 1	Sector 2
Erosión superficial	Alto	Medio
Deslizamientos	Alto	Medio
Agrietamientos	Medio	Medio
Inundaciones	Medio	Alto

Tabla 21. Resumen de la clasificación de la vulnerabilidad global por sector

Grupo de eventos		
Naturales	Sector 1	Sector 2
Erosión superficial	Alto	Alto
Deslizamientos	Alto	Medio
Agrietamientos	Medio	Medio
Inundaciones	Medio	Alto

