



REPUBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE MOA
“Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero en Geología

Título: Fenómenos geológicos que afectan los viales en los Consejos Populares La Playa, Las Coloradas, Los Mangos y Joselillo en el municipio de Moa.

Autor: Jorge Enrique Pérez Vázquez

Tutor (s): Ing. Reinier Hernández Guilarte
M.Sc. Pedro Luis Polanco Almaguer

Moa, 29 de junio, 2018
“Año 60 de la Revolución”

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi padre en dondequiera que se encuentre, pues él, al igual que toda mi familia, siempre quiso verme formado como un buen profesional.

A mi madre Ana, por siempre estar ahí para mí y por su gran apoyo, a mi hermana, a mis abuelos y a mi tía Isa.....

Agradecimientos

Gracias a toda mi familia, a todos mis amigos dentro y fuera de esta universidad, gracias a todos los profesores que de una forma u otra me ayudaron, a mi tutor Reínier por todo el trabajo, la paciencia y dedicación que mantuvo; a todo aquel que me brindó su ayuda y contribuyó a la realización de este trabajo, a mis compañeros de aula y de beca, gracias también a mi amigo Darbel y a su madre Judith por acogerme en su casa en el comienzo de mis estudios, y especialmente a Lisandra por haberme brindado siempre su apoyo de forma incondicional.

Resumen

El presente trabajo titulado: **Fenómenos geológicos que afectan los viales en los Consejos Populares La Playa, Las Coloradas, Los Mangos y Joselillo en el municipio de Moa**, tiene como objetivo caracterizar los fenómenos geológicos presentes en el área que afectan a los viales, para ello se identificaron los fenómenos geológicos, se determinó el grado de deterioro de los viales por la influencia de estos fenómenos, la intensidad y distribución para identificar las zonas más susceptibles a estos y evaluar así de forma cualitativa la intensidad de los mismos, donde se hace un levantamiento geológico en los Consejos Populares apoyado de los planos del asentamiento urbano de cada Consejo Popular a escala 1: 5000, proporcionados por el Instituto de Planificación Física municipal, los cuales fueron digitalizados utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG), obteniendo como resultado que los fenómenos geológicos que afectan los viales son la erosión, sedimentación y la inundación, la Influencia de los mismos se clasifica en baja – media, media – alta y alta en el Consejo Popular Las Coloradas, baja, baja- media y media – alta en Joselillo y desde nula, baja y baja- media en La Playa y Los Mangos, y se proponen medidas para mitigar o reducir el deterioro o pérdida de dichos viales.

Palabras claves: viales, erosión, sedimentación, inundación.

Abstract

The present put a title to work: **Geological phenomena that The Beach, The Coloradas, The Mangos and Joselillo at Moa's municipality affect the ampoules in the Popular Pieces Of Advice**, you aim at characterizing the geological present phenomena in the area that they affect the ampoules, for it the geological freaks provided evidence of identity, determined him the grade of deterioration of the ampoules for the influence of these phenomena, the intensity and distribution to identify the most susceptible zones to these and to evaluate that qualitative form the intensity of the same, where a geological uprising in the Popular Pieces Of Advice backed up of the diagrams of the urbane settlement out of every Consejo is done Popular to scale 1: 5000, provided for Planificación's Institute Physical municipal, which were digitized utilizing an Information System Geographic – - mediate by the sea and Mangos, and measures are intended to abate or to reduce the deterioration or loss of the aforementioned ampoules (SIG) –, obtaining as a result that the geological phenomena that the ampoules affect are the erosion, sedimentation and the flooding, the influence of the same you classify in loud and loud fall in the Popular Piece Of Advice The Coloradas, reduce, it descends tall in Joselillo and from void, fall and the casualty mediates, stocking.

Keywords: vials, erosion, sedimentation, flood.

Índice

Introducción.....	1
Marco teórico conceptual de la investigación.....	3
Conceptos fundamentales:	3
Clasificación de los tipos de erosión	4
Vial o carretera:.....	8
Trabajos precedentes que se han realizado entorno al mantenimiento de los viales o carreteras.....	8
Regulación de inundaciones.....	8
Protección contra tormentas costeras	8
Control de erosión	9
Control de la erosión en taludes de carreteras	10
Trabajos realizados sobre la ocurrencia de inundaciones	14
Drenaje en carreteras	18
Capítulo I: CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	23
1.1 Generalidades.....	23
1.2 Características Geológicas	28
1.3 Características Tectónicas del sector de estudio	31
1.4 Características físico-mecánicas de los suelos lateríticos	41
1.5 Características Hidrogeológicas del sector de estudio.....	42
1.6 Procesos Geodinámicos y Antrópicos.....	44
1.7 Sismicidad.....	45
CAPITULO II.METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LA INVESTIGACIÓN REALIZDA EN EL ÁREA DE ETUDIO	48
Introducción:	48

2.1 Etapa preliminar: Recopilación y revisión de la información precedente.	50
2.2 Segunda etapa: trabajo de campo.	50
2.3 Procesamiento de la información	53
CAPÍTULO III. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	58
Introducción	58
3.1 Identificación de los fenómenos geológicos presentes en el área de estudio	58
3.1.1 Erosión	59
3.1.2 Sedimentación	62
3.1.3 Inundación.....	64
3.2 Influencia de los fenómenos geológicos en los Consejos Populares Las Coloradas, La Playa, Los Mangos y Joselillo en el deterioro de los viales.....	68
3.3 Medidas de mitigación.....	71
Conclusiones.....	72
Recomendaciones.....	73
Bibliografía	74
Anexos	78

INTRODUCCIÓN

Los viales, vinculados con el transporte terrestre automotor, son más prolíferos en todo el mundo, por medio de ellos se encuentra conectado prácticamente todo el planeta. Las carreteras además de contribuir económicamente ayudan en muchas otras esferas del desarrollo de la humanidad, permitiendo el intercambio sociocultural entre pueblos totalmente diferentes.

Las carreteras necesitan mantenimiento con mucha frecuencia, pues son seriamente afectados por procesos y fenómenos geológicos; vinculados fundamentalmente con la intensidad de la erosión.

En Cuba las carreteras sufren en su mayoría de sobreexplotación, ya que este medio es el más empleado en el país, como sucede en la mayoría de los países subdesarrollados. Los costos de otros medios de comunicación, vinculado con la infraestructura creada, alrededor del transporte terrestre automotor hacen más factible el gasto en mantenimiento de los viales, en lugar de promover el desarrollo de otro medio de transporte.

Moa es una de las zonas mineras más activas del país, donde el material explotado es transportado por vía terrestre. El municipio está enmarcado en una zona montañosa, lo cual acentúa el desarrollo de procesos erosivos más intensos que en zonas donde predomine un relieve más suave. La actividad minera y las condiciones climatológicas han inducido el desarrollo de una densa red de viales; pero al mismo tiempo, han provocado un incremento de los fenómenos geológicos, a partir de la acción antropogénica en el área.

La ciudad está directamente vinculada a la actividad minera, pues las familias moenses están todas directa o indirectamente ligadas a las empresas de la industria del níquel. La minería genera desarrollo industrial para los pobladores, es por ello que los viales juegan un papel primordial para el desarrollo de esta actividad y todo lo que esto implica tanto para el municipio como para la provincia y el país, sin embargo la mayoría de estos viales en esta ciudad se encuentran en muy malas condiciones debido a diversos factores, ya sean por la actividad antrópica o por causas naturales, además de no existir

ningún estudio precedente que avale o ampare las afectaciones que han sufrido estos viales.

La industria asfaltifera tampoco da abasto para la solución de todos los problemas acaecidos en el sistema de carreteras de Moa. Por lo cual, una de las soluciones a los problemas de los viales del municipio pasaría por realizar un estudio más detallado de cuáles son las causas reales del deterioro de las vías, para posteriormente establecer un sistema de medidas de mitigación a dichas causas.

Es por ello que se hace imprescindible el conocimiento de los procesos y fenómenos geológicos (principalmente erosión, sedimentación e inundación) presentes en el área de estudio que inciden y afectan a los viales de esta región.

Con estas ideas planteadas se desarrolla la presente investigación diseñada de la forma siguiente:

Problema: Necesidad de caracterizar los fenómenos geológicos que afectan los viales en los Consejos Populares La Playa, Los Mangos, Las Coloradas y Joselillo en el municipio de Moa para determinar su influencia en el deterioro de estos viales.

Objeto de estudio: Los viales de los Consejos Populares La Playa, Los Mangos, Las Coloradas y Joselillo.

Campo de acción: Los fenómenos geológicos que afectan los viales de Consejos Populares La Playa, Los Mangos, Las Coloradas y Joselillo.

Objetivo general: Caracterizar los fenómenos geológicos que influyen en el deterioro de los viales en los Consejos Populares, La Playa, Los Mangos, Las Coloradas y Joselillo del municipio de Moa.

Objetivos específicos:

1. Identificar los fenómenos geológicos que afectan los viales en los consejos populares La Playa, Los Mangos, Las Coloradas y Joselillo del municipio Moa.
2. Determinar la intensidad y distribución de los fenómenos geológicos que afectan los viales Consejos Populares La Playa, Los Mangos, Las Coloradas y Joselillo del municipio Moa.

3. Determinar el grado de deterioro de los viales por la influencia de los fenómenos geológicos en los consejos populares La Playa, Los Mangos, Las Coloradas y Joselillo del municipio Moa.
4. Proponer medidas para mitigar o reducir el deterioro de los viales en los Consejos Populares La Playa, Los Mangos, Las Coloradas y Joselillo del municipio Moa.

Hipótesis: Si se identifican, los fenómenos geológicos presentes en los Consejos Populares La Playa, Los Mangos, Las Coloradas y Joselillo, se determina su intensidad, distribución y su influencia en el deterioro de los viales entonces se podrá caracterizar los fenómenos geológicos que afectan el deterioro de los viles de estos Consejos y así proponer medidas de mitigación.

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

Conceptos fundamentales:

Procesos geológicos: son procesos naturales responsables de la formación y destrucción de las rocas y minerales que conforman la litosfera. Fundamentalmente son: meteorización, erosión, además transporte y por último sedimentación. La acción de estos tiende a destruir el relieve existente, llevar los materiales a zonas deprimidas y rellenar, con estos, dichas zonas con el fin de obtener una superficie homogénea o de equilibrio en donde su acción no sea necesaria al no existir relieve. (Wikipedia, 2018)

Meteorización: incluye todos los procesos de desintegración física y descomposición química de las rocas y minerales que se encuentran en la superficie terrestre por efecto de los agentes del intemperismo como el agua, el dióxido de carbono, el oxígeno, las diferencias de temperatura, los ácidos orgánicos y la acción de componentes biológicos. En dependencia del tipo de proceso que predomine se clasifica en meteorización física y meteorización química.

Erosión: según Griem Griem-Klee (1999, 2003), la erosión es el proceso del inicio del transporte o el inicio de un movimiento. El impulso de la erosión pueden ser fuerzas del agua, del hielo, del viento o la fuerza de gravedad, etc. Lo más importante es la erosión

por agua especialmente en los ambientes aluviales, fluviales y litorales. La energía del inicio del movimiento es siempre mayor que la energía del transporte. Es decir, las fuerzas para erosionar una roca son mayores que las de mantener las mismas partículas en movimiento. A parte de las fuerzas de erosión tradicionales existen otros fenómenos de menor importancia: erosión por fuerzas tectónicas, por impacto de meteoritos o por acciones antropogénicas.

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

- Actualmente la erosión es parte de las preocupaciones en la planificación de nuevas infraestructuras o en planificación del desarrollo urbano (construcción de viales, puentes, carreteras, etc.).
- La erosión costera es un riesgo geológico que afecta a casi toda la población que vive en las cercanías de los mares.
- La erosión eólica (por el viento) destruye inmensas áreas de producción agrícola.

Clasificación de los tipos de erosión

Existen dos tipos de erosión: la **erosión natural** y la **erosión antrópica** o causada por el hombre.

La erosión natural: La erosión natural resulta de la acción combinada del agua y el viento que desprenden y arrastran partículas del suelo y humus. La erosión provocada por efecto del agua recibe el nombre de erosión hídrica, mientras que la provocada por efecto del viento se conoce como erosión eólica.

Erosión hídrica: Corresponde al desgaste del suelo a causa del flujo de agua. Este tipo de erosión puede ser pluvial o fluvial.

La erosión pluvial: Corresponde al efecto erosivo del agua de lluvia. Una gota de agua es aproximadamente 1.000 veces más grande que una partícula de suelo. Por lo tanto, la fuerza del impacto de una sola gota de lluvia es suficiente para dispersar y arrastrar las partículas de suelo que encuentre a su paso.

La erosión fluvial: Es producida por las aguas continentales. Los ríos y corrientes subterráneas desgastan con su paso los materiales de la superficie terrestre. Parte del

suelo es arrastrada en dirección al mar, depositándose estos materiales en diversos lugares y modelando el paisaje.

Erosión eólica. Cuando el viento sopla con fuerza levanta las partículas del suelo y las moviliza en distintas direcciones. Este agente erosivo es menos intenso que el agua. Sin embargo, en los reglones secos adquiere gran importancia. En las zonas costeras y en las desérticas, el viento arrastra la arena desprovista de materia orgánica hasta los terrenos de cultivo, depositándose sobre ellos y destruyendo su vegetación.

Erosión antrópica

En los terrenos con abundante vegetación, la erosión es menor porque las raíces de las plantas ayudan a retener las partículas que forman el humus

La tala de árboles, para usar la madera u obtener áreas cultivables, agrava la erosión, al permitir que el suelo sea desgastado por las lluvias y el viento, lo que genera zonas inutilizables.

La construcción de canales que transportan el agua de los ríos para el riego artificial puede producir sectores secos y zonas inundadas. (tomado de <https://tiposde.eu/tipos-de-erosion>)

Algunos de los 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, 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, 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.

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, 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. (Tomado de tesis de diploma Owen D. 2014)

Material parental. Significa el material geológico inalterado (generalmente roca madre o de un depósito superficial o arrastrado) en donde se irán formando los horizontes del suelo. Los suelos típicamente tienen un gran compromiso estructural y de minerales desde su material parental. El material parental hecho de minerales consolidados o no consolidados que son sometidos a algún grado de meteorización física o química o biológica. (Wikipedia, 2018)

Sedimentación

Es la acción modeladora que consiste en la deposición y acumulación de los materiales procedentes de la erosión. Ocurre una vez que cesa el movimiento por transporte y se alcanza una posición de reposo. La sedimentación puede ser eólica, fluvial, marina y glacial.

Principales tipos de sedimentación:

La sedimentación eólica: se produce por la acción de los vientos, que transportan y depositan arena y otras partículas, formando montículos de diversas alturas. Las formaciones típicas de la sedimentación eólica son las dunas.

La sedimentación fluvial: se produce por la acción de las aguas de los ríos que transportan diversos materiales y los depositan, formando llanuras aluviales, terrazas y deltas. (Tomado de <http://hblogspot.com/2009/07>)

Inundación:

Es la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de esta por desbordamiento de ríos, torrentes o ramblas, por lluvias torrenciales, deshielo, por subida de las mareas por encima del nivel habitual, por maremotos, huracanes, entre otros (Wikipedia 2018)

Inundaciones pluviales: son consecuencia de la precipitación, se presentan cuando el terreno se ha saturado y el agua de lluvia excedente comienza a acumularse, pudiendo permanecer horas o días, hasta que se evapore y el terreno recupere su capacidad de inflación (tomado de <https://www.fema.gov/es/tipos-de-inundaciones#1>)

Inundaciones fluviales: las inundaciones fluviales suelen ocurrir como resultado de precipitaciones. Los ríos, riachuelos y arroyos se inundan con agua y se desbordan en sus orillas. Las tormentas pesadas y de movimiento lento y los sistemas tropicales también pueden causar inundaciones fluviales, ya que vierten cantidades sustanciales de lluvia en el lecho del río. Las inundaciones fluviales más severas son frecuentemente producidas por una combinación de muchos factores, tales como huracanes, tormentas, tropicales intensas lluvias, derretimiento de nieve, etc. (tomado de <https://www.fema.gov/es/tipos-de-inundaciones#1>)

Inundaciones costeras: la marea de tormenta que se desarrolla durante ciclones puede afectar zonas costeras, sobre elevando el nivel del mar hasta que éste penetra tierra adentro, cubriendo en ocasiones grandes extensiones. (tomado de <https://www.fema.gov/es/tipos-de-inundaciones#1>)

Vial o carretera:

Es una vía de transporte de dominio y uso público, proyectada y construida fundamentalmente para la circulación de vehículos automóviles. Las carreteras se distinguen de un simple camino porque están especialmente concebidas para la circulación de vehículos de transporte. (Wikipedia 2018)

Trabajos precedentes que se han realizado entorno al mantenimiento de los viales o carreteras.

Las carreteras están expuestas a inundaciones, derrumbes, deslizamientos, sedimentación, erosión entre otros fenómenos geológicos. Avanzar de manera proactiva para reducir la exposición de un proyecto vial a estos, puede reducir los costes de inversión en construcción y mantenimiento de las carreteras.

Regulación de inundaciones

Proteger o restaurar la vegetación en lugares clave en zonas aguas arriba de las carreteras puede reducir el riesgo de inundación en éstas. La vegetación regula y reduce la velocidad del caudal máximo durante las tormentas y baja el nivel de inundación, pues mejora la capacidad de infiltración de los suelos y el almacenamiento de agua. Evitar o reducir restricciones de flujo por la construcción de carreteras u otros desarrollos en planicies aluviales reducirá el riesgo de inundación de las carreteras; esto se debe a que el flujo de agua cuenta con suficiente espacio para fluir durante las inundaciones.

Protección contra tormentas costeras

Los ecosistemas costeros (pantanos, manglares, lechos de algas marinas y arrecifes) disminuyen la fuerza de las olas, reducen la erosión costera y el riesgo de inundaciones. La protección y restauración de estas zonas puede reducir la exposición de las carreteras costeras a inundaciones y erosión, particularmente durante tormentas.

Cuando los ecosistemas costeros sufren degradación o eliminación de vegetación, ya sea de manera indirecta o directa, y como resultado de la construcción de carreteras, incrementa el riesgo de daño tanto a la zona de la carretera como a la población.

Control de erosión

La vegetación mantiene el suelo en su lugar y capta sedimentos. Esto previene la erosión y mantiene los sedimentos fuera de los sistemas de drenaje y de los canales. La vegetación que se mantiene o se restaura aguas arriba de los caminos evita que un gran número de sedimentos presentes en el agua de escorrentías proveniente de las tormentas lleguen hasta las carreteras. Esta filtración evita que los sedimentos en los caminos y puentes tengan que ser removidos. Como resultado, los costes de mantenimiento de infraestructura y de vehículos se reducen. De igual modo, tanto las cunetas expuestas como los caminos sin asfaltar suelen ser fuente de sedimentos. Los caminos pueden facilitar la transformación de tierras de vegetación silvestre en tierras menos efectivas para la retención sedimentos, tales como campos de cultivo o áreas pavimentadas adyacentes. Las carreteras dependen de las áreas naturales circundantes para controlar la erosión y reducir los riesgos de desastres naturales, tales como derrumbes o inundaciones. Una carretera cuenta con diferentes secciones, las cuales dependen de diferentes servicios ambientales. Las áreas que proporcionan beneficios a determinadas secciones se conocen como “servicesheds” o áreas de servicio. La preservación, restauración y la buena gestión de estas áreas de servicio ayuda a minimizar los costes de construcción y mantenimiento de las carreteras y, al mismo tiempo, maximizar sus beneficios. Las carreteras son agentes importantes de crecimiento económico. De igual modo, son responsables de una mejor calidad de vida de la población, pues permiten el acceso a servicios básicos, como la educación y los servicios de salud. Adicionalmente, facilitan el acceso a los mercados, lo que incrementa las oportunidades de trabajo y reduce los costes de producción. Las carreteras tienen un rol fundamental en el desarrollo y en la prosperidad económica. Los caminos rurales, por su parte, ayudan al desarrollo de los mercados y de las economías locales. Cuando las carreteras se desarrollan de manera estratégica, tienen un papel fundamental en el crecimiento económico. Las carreteras reemplazan la vegetación con superficies pavimentadas o suelos expuestos, los cuales alteran los procesos hidrológicos en las

carreteras y alrededor de ellas. Este hecho puede acelerar el caudal en los canales de agua durante tormentas y, por ende, incrementar el riesgo de inundación. Los caminos también pueden incrementar las inundaciones al reducir la filtración del agua. En zonas en donde predomina la vegetación silvestre, la mayor parte de la lluvia se filtra hacia el subsuelo. En cambio, en las partes en donde las superficies pavimentadas ocupan una fracción mayor de la vertiente, mayor es la cantidad de lluvia que se convierte en escorrentía superficial. Por esta razón, las inundaciones suelen incrementar de manera proporcional a la cantidad de superficies pavimentadas, lo que provoca daños mayores a la infraestructura, a las propiedades, incluso, puede poner vidas en peligro. Los caminos contribuyen de manera importante a la erosión, sobretodo en ambientes húmedos con pendientes inclinadas. Los suelos expuestos a los lados del camino y las superficies viales sin asfalto suelen erosionarse, dando como resultado un flujo regular de sedimentos presentes en los cuerpos de agua que se dirigen río abajo. El grado de erosión depende del tipo de suelo, de la profundidad y la velocidad del caudal de agua, así como de la longitud y la inclinación de la pendiente. (Lisa Mandle, Rob Griffin, Josh Goldstein, Rafael Acevedo-Daunas, Ashley Camhi, Michele Lemay, Elizabeth Rauer, Victoria Peterson. 2016)

Control de la erosión en taludes de carreteras

Como resultado de la construcción de vías y carreteras, se generan a lo largo de ellas superficies expuestas de materiales del suelo y del subsuelo con pendientes fuertes e inicialmente desprovistas de cualquier tipo de vegetación; así, los taludes son áreas altamente vulnerables a la erosión hídrica y sobre todo a súbitos movimientos en masa. Para su control, los taludes usualmente han sido protegidos mediante estructuras civiles y tratamientos con vegetación, siendo los primeros muy costosos, pudiendo superar incluso el costo unitario de construcción de la misma. Dentro de las principales causas de la erosión en vías se tienen las siguientes (FAO, 1986, citada por Marín, 1992):

- Eliminación o reducción de la cobertura protectora.
- Destrucción o deterioro de la estructura y fertilidad natural del suelo.
- Incremento en condiciones de pendiente (corte y lleno material lateral banca).

- Disminución en la tasa de infiltración por efecto de la compactación por explanación.
- Interceptación de flujos superficiales por los cortes de la pendiente.
- Disminución de la resistencia al cizallamiento por efectos del corte.

Control del agua. De forma genérica, las bases sobre las que se soporta el control de la erosión por el agua de escorrentía, son las siguientes (Fournier, 1975):

- Facilitar la infiltración del agua.
- Limitar la longitud de las pendientes para fragmentar el volumen del agua, impidiendo que ésta alcance una velocidad erosiva.
- Asegurar la circulación de las aguas controladas hacia las salidas en colectores especialmente consolidados y acondicionados. Así, se tienen como directrices del control del agua: la variación de la longitud e inclinación de la pendiente; la captura y conducción de aguas; y el cubrimiento con vegetación, con cuya exposición se continúa:

Modificación de la pendiente. El control de la pendiente es un punto que debe ser atendido adecuadamente; dicho control puede acudir o bien al peinado de taludes o bien a la conformación de terrazas, de acuerdo a la situación particular que se enfrente. Suárez (1992) expone que en taludes de más de cinco metros de altura se recomienda construir bermas intermedias de 1 a 2 m de ancho cada 5 m como máxima altura entre ellas; dichas bermas deben tener fuerte pendiente lateral (5%) para facilitar el drenaje y evitar desbordamientos; hacia su parte interior debe construirse una cuneta de interceptación revestida. La finalidad de las bermas o gradas es disminuir la longitud del recorrido del agua a lo largo del talud y dividir la escorrentía en volúmenes fácilmente manejables. Una vez han sido conformadas debe procederse inmediatamente a su protección a través de técnicas que permitan su cubrimiento con especies vegetales, o en caso de que el repoblamiento tarde, debe proveerse de cubrimiento con algún material de fácil consecución en la zona, como restos vegetales, acículas de pino o algún otro que disminuya el efecto del golpeteo de las gotas de lluvia.

Captura y conducción de aguas. Los métodos de estabilización que contemplan el control del agua tanto superficial como subterránea -captura y canalización- son muy efectivos y generalmente más económicos que la construcción de grandes obras de contención, ya que tienden a desactivar el principal elemento desestabilizante de los taludes (Suárez, 1989). El control de aguas de escorrentía y las aguas lluvias en la parte superior del talud se logra a través de zanjas de coronación, cuyas aguas deben ser conducidas a sitios en donde su entrega no produzca socavación y acelere procesos de desgaste del suelo; estas estructuras son canales interceptores diseñados generalmente para lluvias con períodos de retorno de 10 años; en caso de no poder ser ellas conducidas a canales naturales o sitios apropiados, deben construirse canales con disipadores de energía y pocetas o aliviaderos.

Cubrimiento con vegetación. Como punto de partida de un programa de repoblamiento vegetal que vaya a ser desarrollado en taludes, debe considerarse la limitada oferta edáfica que condiciona de manera dramática el establecimiento y desarrollo de la vegetación de cara a la obtención de un cubrimiento adecuado contra la acción erosiva de la lluvia. Por tanto, es recomendable propiciar características deseables en el suelo para el buen desarrollo de las especies a incluir, en tal sentido podrían sugerirse entre otras, medidas como la fertilización del sitio previa inclusión del material vegetal o al momento de la siembra; favorecer asociaciones planta-micorriza; inclusión de retenedores hídricos en el caso de zonas secas o en períodos poco lluviosos en que se adelanten los programas, de forma que se disminuyan las elevadas mortalidades del material vegetal, derivadas en parte del estrés hídrico, y mayormente sentidas en los períodos de adaptación y establecimiento. Asimismo, dada la inexistencia de horizontes orgánicos y de suelo como tal, las especies a incluir no sólo deben ser lo suficientemente rústicas para prosperar en tales condiciones, sino, además es recomendable que ellas propicien el mejoramiento de las características del suelo, para lo cual la selección de especies leguminosas es atractiva.

Enrejado metálico. Se trata de una técnica empleada para contener la caída de rocas de pequeñas dimensiones, para lo cual se recubre todo el talud con una malla metálica protectora de triple torsión; no debe ser descartada su evidente eficacia en el aseguramiento y contención de terrenos susceptibles a desprendimientos de bloques, ya

que al envolver completamente la parte debilitada, evita en muchos casos su rápido derrumbamiento, retarda el agrietamiento progresivo y reduce, en el momento de producirse, el efecto expansivo de los desprendimientos voluminosos (Departamento de Antioquia, s.f.p.). La malla debe ser asegurada en la zona virgen del terreno anterior al borde superior del talud, a través de una correa de hormigón empotrado, en la que se hincan una serie de barras metálicas de las cuales se engancha o suspende; en el talud la malla se fija mediante barras más cortas o piquetes, hincados en las partes más sanas del terreno, procurando su inmovilización, sin con ello restar la elasticidad necesaria para amortiguar los movimientos superficiales del terreno. Se cita como norma barras superiores de 0,80 m y piquetes de 0.60 m, de 14 mm de diámetro.

Muros de contención. Los muros de contención han sido obras de amplia utilización en el control de movimientos en los taludes de vías; además de su elevado costo, el alcance de los objetivos que persiguen en muchas ocasiones ha desvirtuado su empleo, aunque en buena medida ello ha obedecido a diseño y ubicación inadecuados. Suárez (1992) afirma que con frecuencia ante deslizamientos rotacionales en donde la fuerza actuante en el pie tiene una componente vertical importante hacia arriba, el muro es levantado; por otro lado, en el caso de deslizamientos traslacionales, el muro puede ofrecer un buen sistema de estabilización siempre y cuando esté cimentado por debajo de posibles o reales superficies de falla. Los muros de contención han sido tradicionalmente contruidos en diferentes materiales, principalmente en concreto y en gaviones. Los muros en concreto simple o ciclópeo -cantos de roca y concreto- actúan como estructuras de peso o gravedad, no siendo recomendable su utilización en alturas superiores a 4 m. Lo anterior se debe no sólo al aumento de costos, sino, además, a la presencia de esfuerzos de flexión que no pueden ser resistidos por el concreto simple, pudiéndose presentar roturas a flexión en la parte inferior del muro o dentro del cimiento (Suárez, 1992). En lo posible, los muros deben ser cimentados por debajo de la superficie de falla con el objeto de obtener fuerzas de reacción por fuera del movimiento que aporte estabilidad no sólo al muro sino también al deslizamiento.

Trabajos realizados sobre la ocurrencia de inundaciones

Las inundaciones han coexistido con el hombre desde épocas muy antiguas, generando condiciones adecuadas para el desarrollo de las civilizaciones enriqueciendo con nutrientes los suelos agrícolas y facilitando la movilidad de gran variedad de productos y personas mediante la navegación. Se destaca en la historia de la humanidad la cultura egipcia y su desarrollo sobre el río Nilo, la zona de la Mesopotamia con los ríos Éufrates y Tigris, la cultura hindú en los ríos Indo y Ganges y más hacia el lejano oriente las principales culturas chinas se desarrollaron en torno de los ríos Hoang-Ho y Yang-Tse-Kiang. Las inundaciones son eventos propios y periódicos de la dinámica natural de las cuencas hidrográficas. La lluvia es el factor amenazante más importante en la generación de inundaciones. El agua de los ríos proviene en principio de la escorrentía proveniente de la parte alta de la cuenca, la cual depende del relieve, de la vegetación, del uso del suelo y en general de las condiciones en las que se encuentre la cuenca. Sin embargo, estos cuerpos de agua se nutren de igual manera de los flujos subsuperficiales que a su vez dependen de las condiciones hidrogeológicas y de los niveles freáticos de la zona. En nuestro país existe un importante número de ciudades y cabeceras municipales que por concepto de abastecimiento del recurso hídrico o por la facilidad de contar con transporte fluvial se ubican en cercanía de cuerpos de agua que en algún momento puede afectarlos con eventos de inundación. De acuerdo con los conceptos consolidados en la Cartilla Básica de Sistemas de Alertas Tempranas ante inundaciones por el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias FOPAE en el año 2011, dependiendo de las causas que generan una inundación, estas se pueden clasificar en general en:

- Inundación por desbordamiento: Es la consecuencia del exceso de lluvias la que genera aumento brusco del volumen de agua que supera la capacidad de transporte de un cauce durante la creciente.
- Inundación por encharcamiento: Producida por la acumulación de agua lluvia en un determinado lugar o área geográfica que presenta dificultades de drenaje bien sea por colmatación o fallas del sistema de alcantarillado. Esta inundación no coincide necesariamente con el desbordamiento de un cuerpo de agua que ocurre por la

concentración de un elevado volumen de lluvia en un tiempo muy breve o por una lluvia moderada y constante durante un largo tiempo.

- Inundación por rompimiento de jarillones o presas: Ocurre cuando se presenta la falla de alguna de estas estructuras y el agua contenida por ellas pasa a ocupar sus zonas de influencia.

- Inundación por marejadas: Es la que se presenta en las zonas costeras por el ascenso del nivel del mar, el cual puede ser por marejadas las cuales se originan por efectos de la atracción lunar y vientos fuertes de origen hidrometeorológico. Es de resaltar que los casos asociados a tsunamis en donde se tienen inundaciones muy bruscas por cuenta de grandes olas que ingresan en gran parte continental se describirán en un documento específico con el escenario de afectación a nivel país correspondiente. En la misma cartilla mencionada¹¹ se establece que de acuerdo con las características de las cuencas y la rapidez con la cual se producen los desbordamientos, las inundaciones se pueden clasificar en:

- Inundación rápida o avenida torrencial: Se refiere a crecientes que ocurren de manera repentina debido al alta pendiente del río o de la quebrada y su cuenca. En ocasiones se produce el arrastre de una gran cantidad de material como detritos (lodos, piedras y árboles). Debido a que el tiempo de reacción ante un evento de esta naturaleza es corto, requieren de una participación activa de la comunidad ya que las medidas de protección deben tomarse rápidamente y no hay tiempo para que los organismos de socorro se dirijan al lugar de la inundación con suficiente anticipación; las acciones de respuesta iniciales ante el evento deben ser realizadas por la comunidad inmediatamente se detecta la posibilidad de una inundación. Dentro de este concepto se incluyen eventos típicos como los “arroyos” como los que se presentan típicamente en la ciudad de Barranquilla y las “avalanchas” como las que se presentan en el municipio de Utica.

- Inundación lenta: Se produce cuando hay un aumento gradual del nivel del río hasta superar su capacidad máxima. El río se sale de su cauce, inundando las áreas planas cercanas al mismo. En este caso, el tiempo de anticipación que ofrece el SAT normalmente es suficiente para que las entidades operativas coordinen las actividades de respuesta con el apoyo de la comunidad. Vale la pena mencionar que las

inundaciones rápidas son muy complejas en su análisis debido a su corto tiempo de respuesta y por lo tanto existen mayores incertidumbres para su detección que en el caso de las inundaciones lentas.

Las inundaciones no deben ser vistas solo como eventos negativos, los procesos de inundación en general se asocian con procesos relacionados a la renovación de la humedad de los suelos, transporte de nutrientes a zonas aluviales, recargas de acuíferos, migración de varias especies y actividades de socavación y deposición de los ríos producto del equilibrio que los cauces realizan de los sedimentos. (FOPAE. 2011).

Metodologías para la estimación de la amenaza por inundación

- **Métodos históricos:** los métodos históricos utilizan marcas y placas sobre elementos artificiales (edificaciones, vías de comunicación, obras públicas, etc.) o naturales (rocas y árboles) a lo largo de las márgenes de los ríos, documentación histórica (manuscritos e impresos de archivos, bibliotecas y hemerotecas), y testimonios orales o audiovisuales (fotografías, dibujos, cartografía histórica, etc.), para reconstruir la extensión cubierta o la cota alcanzada por las aguas durante una crecida desencadenada en el período histórico.
- **Métodos paleohídricos:** partiendo de la definición de los métodos paleohídricos, cualquier análisis y fuente de eventos hidrológicos pasados (registros de aforos, inundaciones históricas, datos dendrogeomorfológicos y liquenométricos, etc.), puede considerarse como parte del método. Sin embargo, la literatura científica restringe los métodos paleohídricos solamente a los provenientes de registros geológicos o sedimentológicos. Los métodos paleohídricos utilizan los registros geológicos para determinar depósitos o marcas de inundaciones anteriores de las cuales no se tiene información histórica, a partir de elementos datables mediante técnicas paleontológicas, dendrocronológicas, radiométricas o arqueológicas. Al tener informacióndatable, puede asignarse una probabilidad de ocurrencia para los eventos.
- **Métodos geológicos y geomorfológicos:** los métodos geológicos y geomorfológicos utilizan la tipología de las formas del terreno y los depósitos generados a partir de eventos de inundaciones para delimitar las áreas geomorfológicamente activas dentro

del cauce fluvial, su frecuencia cualitativa de inundación, e incluso inferir órdenes de magnitud de parámetros como la profundidad, velocidad de la corriente o carga sólida transportada. Es importante mencionar que estas técnicas están cobrando fuerza a lo largo del mundo al ser las únicas que consideran fenómenos naturales difícilmente modelables con otras técnicas como las migraciones del canal o el transporte de sólidos, y además tienen en cuenta las tendencias evolutivas naturales del sistema fluvial.

- **Métodos Hidrológicos e Hidráulicos:** Los métodos hidrológicos e hidráulicos proponen, respectivamente, estimar los caudales generados en una cuenca o corriente y calcular las velocidades y niveles con los que circularían por un determinado tramo fluvial. Los métodos hidrológicos encuentran los valores máximos de los caudales para diferentes periodos de retorno, ya sea por medio del análisis estadístico de información histórica de caudales o por medio de caudales obtenidos a partir de modelos hidrometeorológicos que relacionan precipitación y escorrentía. Los métodos hidráulicos parten de diferentes hipótesis, simplificaciones o aproximaciones al flujo del agua para poder hacer uso de las ecuaciones físicas que lo modelan esto permite estimar diferentes parámetros (profundidad, velocidad, energía) que permiten definir el grado de amenaza. Estos métodos son los más recomendados para determinar amenaza por inundación fluvial ya que tienen en cuenta los procesos físicos que generan la inundación y además permiten asociar un valor de período de retorno a la inundación.

- **Métodos Asistidos por Sensores Remotos:** una de las principales aplicaciones de los sensores remotos es la de inspeccionar cuerpos de agua, debido a las características radiactivas que posee el agua. La radiación reflejada por suelos húmedos es menor, facilitando la delimitación de áreas inundadas. Para zonas donde se tienen imágenes satelitales constantes, las imágenes se convierten en una evidencia fuerte de la amenaza. A partir de una caracterización simple de las mismas, se pueden delimitar las zonas cubiertas por la inundación. De acuerdo con la forma en la que se define la amenaza es necesario también definir frecuencia del evento. Es acá donde la presente metodología puede tener problemas. Debido a que las imágenes provenientes de satélites son una fuente de información relativamente nueva, no se tiene información suficiente para poder determinar eventos con períodos de retorno significativos, por lo que pierden su confiabilidad en la definición de la amenaza. Para poder asociar una

frecuencia de ocurrencia al evento es necesario tener información de los caudales. Teniendo información de caudales, el evento se asocia a un caudal con cierta frecuencia de ocurrencia pudiendo así determinar la amenaza. Cualquiera de los métodos enunciados genera una zonificación de amenaza aceptable dependiendo en gran medida de la calidad de la información que se ingrese a los modelos, en lo que refiere a escala, cobertura, procesamiento de imágenes, detalle de los levantamientos topográficos, etc. Más adelante se realizará la discusión acerca de cuál debería ser la metodología más conveniente a ser implementada por el país para la definición de zonas seguras en general en el nivel municipal y departamental. (UNAL, 2010.)

Drenaje en carreteras

El drenaje transversal de la carretera se consigue mediante alcantarillas cuya función es proporcionar un medio para que el agua superficial que escurre por cauces naturales o artificiales de moderada importancia, en forma permanente o eventual, pueda atravesar bajo la plataforma de la carretera sin causar daños a ésta, riesgos al tráfico o a la propiedad adyacente. Se entiende por alcantarilla a una estructura de drenaje cuya luz mayor, medida paralela al eje de la carretera, sea de hasta 6 m. Losas de luces mayores, se tratarán como puentes en lo relativo a su cálculo hidráulico. La alcantarilla debe ser capaz de soportar las cargas del tráfico en la carretera, el peso de la tierra sobre ella, las cargas durante la construcción, etc., es decir, también debe cumplir requisitos de tipo estructural.

El objeto del drenaje en las carreteras, es en primer término, el reducir al máximo posible la cantidad de agua que de una y otra forma llega a la misma, y en segundo término dar salida rápida al agua que llegue a la carretera. Para que una carretera tenga buen drenaje debe evitarse que el agua circule en cantidades excesivas por la misma destruyendo el pavimento y originando la formación de baches, así como también que el agua que debe escurrir por los drenajes se deposite originando pérdidas de estabilidad y asentamientos perjudiciales. El prever un buen drenaje es uno de los factores más importantes en el proyecto de una carretera.

Para darle prolongación al sistema de desagüe natural resultante de los ríos, cauces, arroyos, que es detenido por la presencia de una carretera debe ser restituido dicho

drenaje por uno artificial (hecho por el hombre). Para que garantice lo menos posible el paso de aguas por dicha carretera, así pues, los drenajes también permitirán evacuar las aguas de la carpeta de rodamiento de la vialidad como las aportadas de manera natural. En su diseño influyen otros factores además de los hidráulicos que principalmente determinarán sus dimensiones. Estos factores se derivan de las características de la carretera, de la morfología de los cauces, de la evaluación de los daños que puede ocasionar la concentración del flujo y otras consideraciones, fundamentalmente económicas, relativas a los costes de construcción y mantenimiento y a la estimación de la vida de la carretera. Se debe tener en cuenta la influencia de factores para un diseño adecuado, tratando aspectos como la pendiente de la obra, su alineación, la capacidad de las bajantes o encauzamientos, la situación de la obra y el diseño de la abertura y de la salida, contribuyendo con criterios y soluciones para la consideración de las características específicas de las obras. Las obras de drenaje Transversales pueden dividirse en dos grupos: Las conocidas comúnmente por «pequeñas obras de desagüe», cuya sección resulta determinante para el desagüe del cauce, y que están generalmente provistas de una solera. Las tipologías contempladas son caños, arcos de medio punto y arcos rebajados, todos ellos de hormigón en masa. Se acompañan también modelos de pozos para distintos tipos de cunetas.

Los puentes, viaductos y, en general, las obras de paso de grandes dimensiones o «grandes obras de desagüe», están directamente relacionadas con cauces y caudales más significativos e inquebrantables, mayor altura, luces mayores a 10m pasan grandes volúmenes de agua a raves de la obra en una dirección perpendicular a ella, cuya sección no resulta determinante para el desagüe del cauce, pero que presentan otros problemas (sobreelevaciones de la lámina de agua, erosiones bajo apoyos). No suelen tener solera, las obras de drenaje transversal deberán perturbar lo menos posible la circulación del agua por el cauce natural, sin excesivas sobre-elevaciones del nivel del agua, que pueden provocar aterramientos aguas arriba, ni aumentos de la velocidad que pueden provocar erosiones aguas abajo. Criterios técnicos de fabricación. A la hora de proyectar el drenaje de una carretera deben tenerse en cuenta una serie de factores que influyen directamente en el tipo de sistema más adecuado, así como en su posterior funcionalidad. Los más destacables son:

- Factores topográficos: Dentro de este grupo se engloban circunstancias de tipo físico, tales como la ubicación de la carretera respecto del terreno natural contiguo, en desmonte, terraplén o media ladera, la tipología del relieve existente, llano, ondulado, accidentado, o la disposición de sus pendientes en referencia a la vía.
- Factores hidrológicos: Hacen referencia al área de la cuenca de recepción y aporte de aguas superficiales que afecta directamente a la carretera, así como a la presencia, nivel y caudal de las aguas subterráneas que puedan infiltrarse en las Capas inferiores del firme.
- Factores geotécnicos: La naturaleza y características de los suelos existentes en la zona condicionada la facilidad con la que el agua puede llegar a la vía desde su punto de origen, así como la posibilidad de que ocasione corrimientos o una erosión excesiva del terreno. Las propiedades a considerar son aquellas que afectan a su permeabilidad, homogeneidad, estratificación o compacidad, influyendo también la existencia de vegetación. La mínima dimensión de la pequeña obra de drenaje transversal no debe ser menor a la establecida por las normas de instrucción de carreteras (5-2-IC) Y a su vez es preferible sobredimensionar los diámetros de los tubos, para garantizar que la tubería drenara cuando este obstruida por escombros.

El drenaje longitudinal en una carretera es un proceso de vital importancia para la infraestructura, no sólo por motivos constructivos, sino también para mantener unos niveles de seguridad en la circulación de vehículos sobre esta. La principal función del sistema de drenaje de una carretera es la evacuación del agua procedente de precipitaciones que se vierte sobre la plataforma de la carretera y los desmontes adyacentes a esta. De esta forma, se mantiene la superficie de rodadura libre de encharcamientos y se evita el fenómeno conocido como aquaplaning, que se produce cuando el neumático en su proceso de movimiento no es capaz de evacuar la totalidad del agua presente en la superficie y pierde el contacto efectivo (y por tanto las condiciones de adherencia) con el pavimento, generándose una pérdida de control del vehículo por parte del conductor. Además, la introducción de cunetas en una carretera elude la sedimentación de elementos procedentes de los terrenos en desmonte sobre la superficie de la vía, los cuales pueden resultar bastante peligrosos para la circulación

sobre esta. De esta forma, la existencia de un drenaje longitudinal adecuado posibilita una circulación confortable y en buenas condiciones de seguridad por parte de los usuarios de la vía.

Asimismo, el drenaje longitudinal es un elemento fundamental de cara a garantizar que el periodo de vida útil del pavimento no se vea resentido, principalmente por dos motivos: por una parte, la disposición de una correcta red de drenaje disminuye la infiltración del agua de lluvia en los poros de la mezcla bituminosa, hecho muy importante para el correcto mantenimiento de la infraestructura, ya que esa agua al producirse un descenso en la temperatura (durante las horas más frías del día: tarde, noche y madrugada) se congela y aumenta su volumen, generando grandes daños en las capas externas del pavimento. Recordemos que la capa de rodadura (superficial) está especialmente diseñada para proporcionar unas condiciones óptimas de adherencia a los vehículos que circulen sobre ella. Si esta capa se ve dañada, la seguridad de circulación disminuye considerablemente. Por otra parte, la red de drenaje, como se ha mencionado anteriormente, impide la sedimentación de elementos procedentes de los terrenos en desmonte arrastrados por el agua de lluvia o simplemente por la acción de la gravedad. Esto evita un deterioro prematuro de las condiciones de la superficie del pavimento, generado por la acción erosiva sobre este. De esta forma, el drenaje longitudinal es esencial en las obras de carreteras, no sólo desde el punto de vista de persistencia de la infraestructura en buenas condiciones, sino también para mantener unas condiciones de seguridad y confortabilidad adecuadas a la circulación de tráfico rodado sobre esta. Se puede concluir que los drenajes son necesarios para la preservación de las carreteras. Las estructuras de drenajes son de mucha importancia ya que las carreteras se construyen en el camino interceptando el sistema de drenaje natural, y así garantiza el libre escurrimiento de las aguas que caen desde las laderas, ríos, taludes y de la misma carpeta de rodamiento. Se puede decir que las obras tienen un impacto positivo al medio ambiente la infraestructura de la carretera se vería afectada por la erosión, sedimentación, así como también modificaciones al drenaje natural. (Tomado de www.BlogStructuralia.com)

Capítulo I

CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.

1.1 Generalidades

El municipio de Moa tiene una extensión territorial de 732.6 km². Se encuentra ubicado en la provincia Holguín, al noroeste de Cuba oriental (Fig. 1). Limita al Este con el municipio Baracoa, al Sur limita con el municipio guantanamero de Yateras; por el Oeste con los municipios de Frank País y Sagua de Tánamo y al Norte con el estrecho de Bahamas en el Océano Atlántico. Próximos a sus costas se encuentran los cayos Moa Chico y Moa Grande situados frente a la Ciudad de Moa y Cayo del Medio en la Bahía de Yamanigüey.

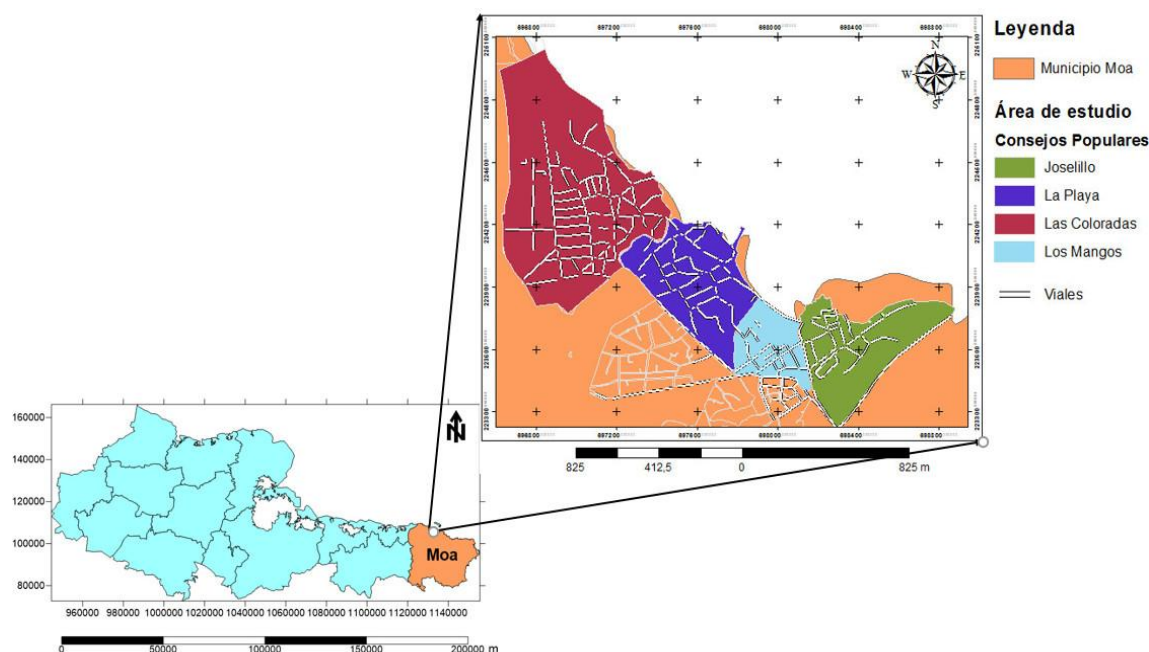


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio (elaborado por J. Pérez y R. Hernández 2018)

Orográficamente el territorio se caracteriza por una alta complejidad, predominando el relieve de montaña, hacia la parte este, con cota máxima de 1139 m sobre el nivel del mar (El Toldo) y ondulado hacia el norte, zona correspondiente a la región costera. La zona montañosa se caracteriza por presentar valores de pendientes que pueden

sobrepasar los 45 grados y valores máximos de isobasitas de 900 m en el segundo orden y 800 m en el tercero. (Rodríguez, 1998).

Zona de Llanuras. Se desarrolla en toda la parte norte de la región ocupando la zona comprendida desde la barrera arrecifal hasta los 100-110m de altura hacia el Sur. La formación de estas llanuras está relacionada con la acción conjunta de diferentes procesos morfogénicos que en él han actuado, predominando los procesos fluviales y marinos. (Rodríguez, 1998a)

La zona de llanura fue clasificada en tres subtipos:

- 1 Llanuras acumulativas marinas.
- 2 Llanuras fluviales clasificadas en acumulativas y erosivo-acumulativas
- 3 Llanuras acumulativas palustres

Zona de Montañas. Según Rodríguez (1998a), esta zona geomorfológica es la más extendida dentro de la región ocupando toda la parte sur y central, además del Cerro de Miraflores y las zonas nordeste y noroeste del poblado de Cananova.

Teniendo en cuenta esos parámetros la zona de relieve de montaña fue clasificada en cuatro subtipos:

1. Zona de premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas.
2. Zona de submontañas y premontañas ligeramente diseccionadas.
3. Zona de montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas.
4. Zona de montañas bajas diseccionadas.

Conjuntamente con estas zonas, aparecen en la región formas menores del relieve o elementos del paisaje, algunas originadas por acciones antrópicas; que constituyen elementos importantes en la caracterización geomorfológica regional.

El relieve predominante en el área de estudio es de llanuras Como se observa en la figura 2 descritas por (Rodríguez, 1998a). La misma presenta un relieve ligeramente ondulado de tipo erosivo denudativos, con cotas absolutas que varían desde 8.0 hasta

19.0m.s.n.m, desarrollado sobre las rocas de la Asociación Ofiolítica, en este caso sobre serpentinitas y peridotitas serpentinizadas.

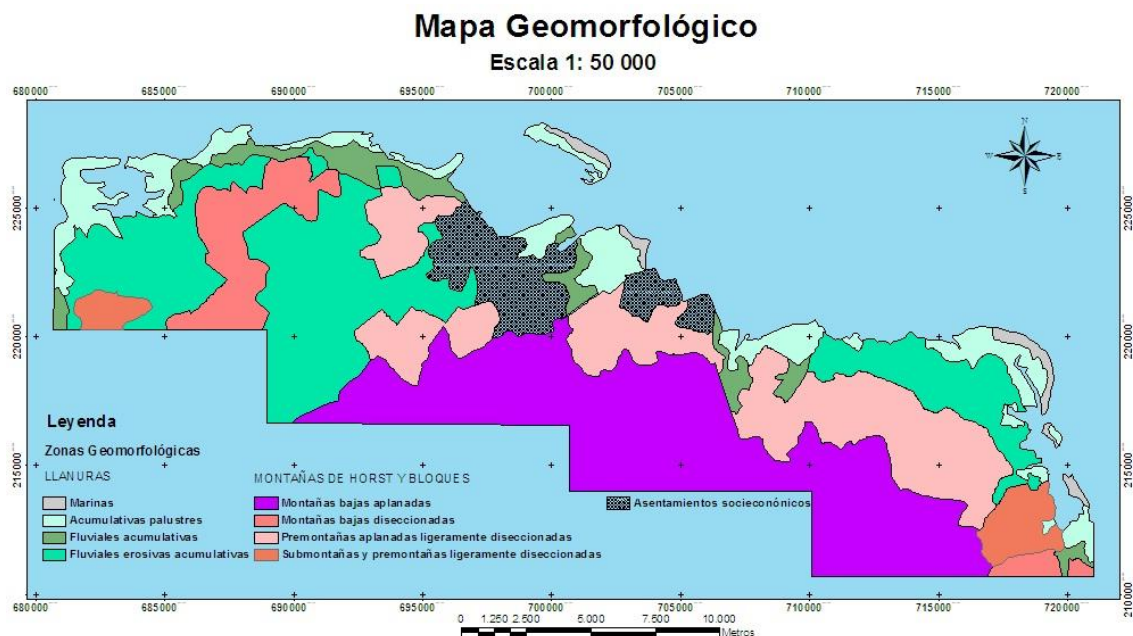


Figura 2. Mapa geomorfológico. Escala 1: 50 000 (Modificado de Rodríguez 1998a).

El municipio Moa presenta características climáticas muy propias, debido a su ubicación geográfica, relieve y dirección e intensidad predominante de los vientos. Estas se distinguen con claridad por las condiciones pluviométricas exclusivas del lugar, e incluso dentro del mismo territorio donde existen variaciones en los acumulados de precipitaciones debido a la diferencia de altitudes y la existencia de zonas a barlovento y sotavento. El clima de la zona es subtropical húmedo, distinguiéndose de acuerdo a la distribución de las precipitaciones períodos secos y húmedos. La temperatura media anual oscila entre 22. 26° – 30.5 °C, siendo los meses más calurosos desde julio hasta septiembre y los más fríos enero y febrero. La principal cantidad de precipitaciones cae en forma de lluvias torrenciales, predominantemente originadas por tormentas y por efecto convectivo, estas últimas ocurren debido a la elevación del aire húmedo proveniente del mar sobre el macizo montañoso Cuchillas de Moa.

En el período comprendido entre los meses de diciembre a abril caen lluvias provocadas por la llegada de frentes fríos del norte. Los mismos pueden durar de dos a tres días, caracterizándose por tener poca intensidad y cantidad de lluvias.

La siguiente tabla muestra la cantidad de precipitaciones caídas en el territorio de Moa en los últimos ocho años

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

El promedio total de precipitaciones caídas en los últimos ocho años en el municipio de Moa es de 2135.225 mm.

La abundancia de precipitaciones en casi todo el año, conjugado con las características del relieve y del clima favorecen la existencia de la red hidrográfica bien desarrollada, de tipo dendrítica, aunque en algunos casos se observa subparalela; representada por numerosos ríos y arroyos entre los que se destacan: Cananova, Moa, Yagrumaje, Punta Gorda, Cayo Guam, Cupey, Yamanigüey, Jiguaní, los cuales, de Sur a Norte, desembocando en el océano Atlántico, formando deltas cubiertos de mangles.

El río Moa, nace en la cota 950 m y desemboca en la bahía de Moa, tiene 21 km de extensión y corre en dirección noroeste–noreste, se alimenta de los ríos Calentura, Los Guineos, Arroyón y de arroyos y cañadas que bajan desde regiones montañosas. Su cauce presenta numerosos meandros, aunque su principal fuente de alimentación son

las precipitaciones atmosféricas. Presenta un caudal en seca de 0.4 m³/s y en época de lluvias alcanza 20 m³/S. Actualmente su flujo está regulado por la Presa Nuevo Mundo y la presa Derivadora de Planta de Agua perteneciente a la Empresa Comandante Ché Guevara.

El río Cayo Guam, nace en la cota 820 m y desemboca en el Océano Atlántico, su área de alimentación es de 57.71 Km². El río Quesigua, nace en la cota 420 m desemboca en el Océano Atlántico, su área de alimentación asciende a 26.7 Km².

El río Yagrumaje situado al sudoeste del yacimiento “Punta Gorda”, tiene su nacimiento en la cota 620 m y su desembocadura en el Océano Atlántico. Forma barrancos casi verticales, su longitud es de 11 Km, su cuenca tiene un área aproximada de 12 Km².

El río Jiguaní nace a 700 m y ocupa un área de alimentación de 21 km².

Estos ríos forman terrazas al llegar a la zona de pie de monte y presentan numerosos meandros, sus orillas son abruptas y erosionadas en la zona montañosa mientras que en las partes bajas son llanas y acumulativas, son alimentados por las precipitaciones atmosféricas teniendo como nacimiento las zonas montañosas del grupo Sagua-Baracoa. El nivel de los ríos cambia en dependencia de las precipitaciones. Los niveles más bajos se observan en el período de seca (julio-septiembre) y los más elevados en el período de lluvia (octubre-enero). (Domínguez, 2005)

Los ríos y sus cuencas hidrográficas tienen gran influencia sobre los ecosistemas costeros y marinos. Sus altos poderes erosivos y caudales arrastran todo tipo de material hasta depositarlo finalmente en la costa y el mar, afectando con ello importantes recursos escénicos, como la Bahía de río Moa, y recursos biológicos y pesqueros como los ya afectados arrecifes coralinos.

La acción de los Alisios que predominan del nordeste en invierno y del este en el verano y las características orográficas del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa produce una serie de brisas locales de considerable magnitud que son capaces de modificar o perturbar el curso normal de los Alisios (Montesinos, 2007). Los vientos locales más importantes son las brisas marinas que durante el día refuerza a los alisios en la vertiente norte y el Terral que durante la noche los debilita. También se manifiestan con

las brisas de valles durante el día y las brisas de montaña que en el horario nocturno descienden hacia las partes bajas.

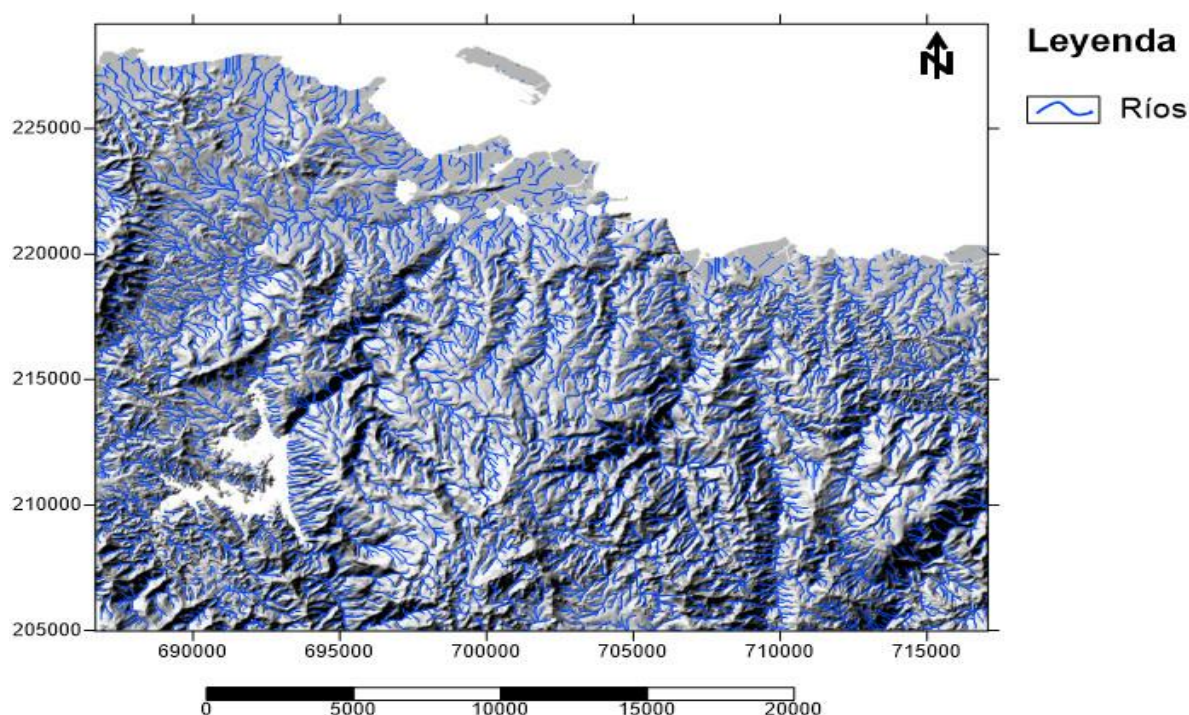


Figura 3. Red hidrográfica de la región de Moa

1.2 Características Geológicas

La geología de la región se caracteriza por una gran complejidad condicionada por la variedad litológica presente y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el decursar 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).

En 1998, Iturralde-Vinent reconoce en la constitución geológica del archipiélago cubano dos elementos estructurales principales: el Cinturón Plegado y el Neoautóctono.

El Cinturón Plegado según el autor, está constituido por terrenos oceánicos y continentales deformados y metamorizados de edad 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 el área de estudio no se encuentran representadas las unidades continentales. Las unidades oceánicas están constituidas por las ofiolitas septentrionales, las rocas del arco de islas volcánicas del Cretácico (Paleoarco), las secuencias de las cuencas de *piggy back* del Campaniense Tardío-Daniense, el arco de islas volcánico del Paleógeno y las rocas de las cuencas de *piggy back* del Eoceno Medio-Oligoceno. El neoaútóctono está constituido por materiales terrígenos carbonatados poco deformados del Eoceno Superior Tardío al Cuaternario que cubren discordantemente las rocas del cinturón plegado.

En el área de estudio existe un desarrollo considerable de los complejos ultramáfico, de gabros y volcansedimentario (Proenza 1997; Proenza y otros, 1999a, 1999b, 1999c, 2000). Según Fonseca y otros (1985) el espesor aproximado del complejo ultramáfico es de 1000 metros y el de gabros de 500 metros. Quintas (1989) estima un espesor de 1200 metros para el complejo volcansedimentario.

El complejo ultramáfico desde el punto de vista petrológico se caracteriza por un predominio de harzburgitas, y en menor grado dunitas; también se han descrito dunitas plagioclásicas, wherlitas, lherzolitas, y piroxenitas (García y Fonseca, 1994; Proenza y otros, 1999a, 1999b).

Los cumulos de gabros forman grandes cuerpos incluidos en el complejo ultramáfico. La dimensión de estos cuerpos oscila entre 1 y 3 Km de ancho, por 10 a 15 Km de longitud. El contacto entre los gabros y el complejo ultramáfico generalmente es tectónico. Muchas veces los gabros están cubiertos por mantos de rocas ultramáficas (Fonseca y otros, 1985), aunque Andó y otros (1989) plantean que en algunos sectores el contacto es transicional.

Los principales tipos petrológicos descritos son: gabros olivínicos, gabronorita, gabros, anortositas y noritas (Ríos y Cobiella, 1984; Fonseca y otros, 1985; Torres, 1987; Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999a, 1999b; Rodríguez, 2000).

Las secuencias del arco de islas volcánico del Cretácico están representadas por las rocas de la Fm. Téneme (Cretácico Superior-Inferior), integrada fundamentalmente de

basaltos, andesitas basálticas, tobas y brechas (Proenza y Carralero, 1994; Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Gyarmati y otros, 1997).

Las secuencias del arco de islas volcánico del Paleógeno están representadas por la Formación Sabaneta (Daniano-Eoceno Medio) (Iturralde-Vinent, 1976, 1995, 1996, 1998; Cobiella, 1988, 1997, 1998; Proenza y Carralero, 1994; Quintas y otros, 1995). La cual yace sobre una secuencia de transición que contiene finas intercalaciones de tufitas (Fm. Gran Tierra) (Iturralde-Vinent, 1976) o descansa discordantemente sobre las formaciones Mícara y La Picota, y sobre las ofiolitas y vulcanitas cretácicas (Nagy y otros, 1983). La misma está compuesta por tobas vitroclásticas, litovitroclásticas, cristalovitroclásticas con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados tobáceos, lutitas, margas, gabelitas, conglomerados volcanomícticos y algunos cuerpos de basaltos, andesitas, y andesitas-basálticas, los cuales alcanzan hasta 6000 m de espesor. Otros autores como es el caso de Albear y otros (1988), dividen esta formación en Castillo de los Indios (Eoceno Inferior-Medio) y Miranda (Paleoceno-Eoceno) (Fig. 4), mientras que Gyarmati y Leyé O'Connor (1990) la divide en Sabaneta y Castillo de los Indios. Todas ellas con características similares.

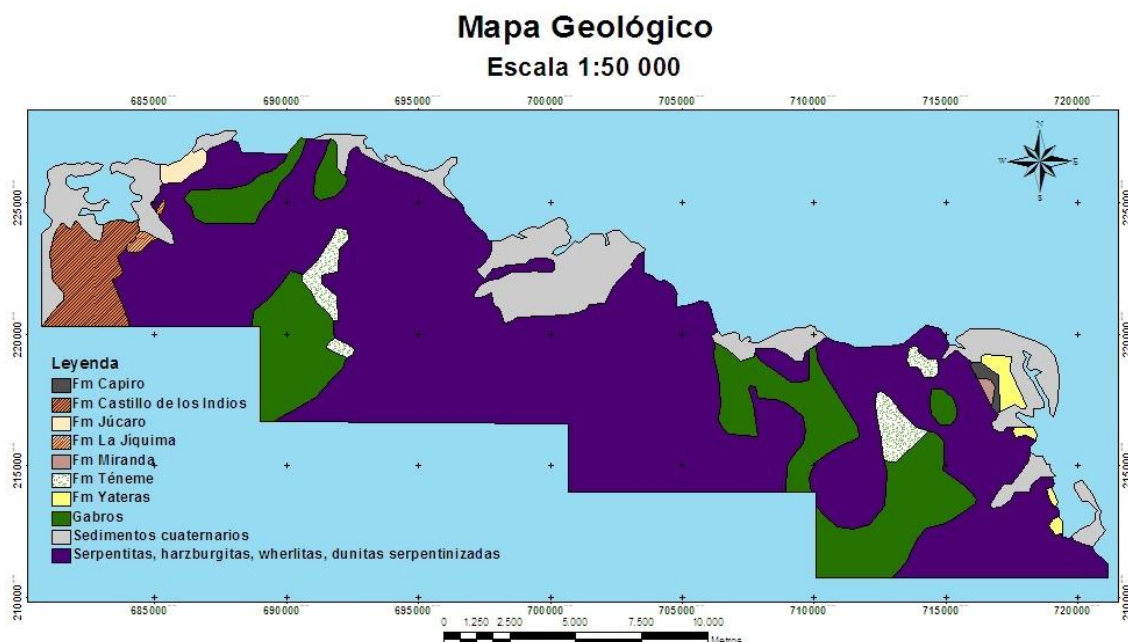


Figura 4. Mapa geológico. Escala 1: 50 000 (Modificado de Rodríguez, A. 1998a)

Las secuencias estratigráficas del Eoceno Medio-Oligoceno están representadas por la formación Sierra de Capiro (Eoceno Superior), que se compone de lutitas y margas con intercalaciones de lutitas y conglomerados con fragmentos de calizas arrecifales, serpentinitas y rocas volcánicas (Cobiella, 1978a, 1978b; Quintas, 1989; Gyarmati y LeyéO'Connor, 1990).

Las rocas del neautóctono constituyen una secuencia terrígeno-carbonatada poco deformada, que aflora en las cercanías de las costas formando una franja que cubre discordantemente los complejos más antiguos y que estructuralmente se caracterizan por su yacencia monoclinas suave u horizontal (Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1994,1996; Crespo, 1996; Rodríguez, 1998a, 1998b).

1.3 Características Tectónicas del sector de estudio

El Bloque Oriental Cubano comprendido desde la falla Cauto-Nipe hasta el extremo oriental de la isla, presenta una tectónica caracterizada por su alta complejidad, dado por la ocurrencia de eventos de diferentes índoles que se han superpuesto en el tiempo y que han generado estructuras que se manifiestan con variada intensidad e indicios en la superficie (Rodríguez, 1998a, 1998b).

Campos, (1983). Plantea que este bloque se caracteriza por el amplio desarrollo de la tectónica de cabalgamiento que afecta las secuencias más antiguas. Localmente esta complejidad en la región de estudio se pone de manifiesto a través de estructuras fundamentalmente de tipo disyuntivas con dirección noreste y noroeste, que se cortan y desplazan entre sí, formando un enrejado de bloques y microbloques con movimientos verticales diferenciales, que se desplazan también en la componente horizontal y en ocasiones llegan a rotar por acción de las fuerzas tangenciales que los afecta como resultado de la compresión (Campos, 1983; Rodríguez, 1998a, 1998b).

También se observan dislocaciones de plegamientos complejos, sobre todo en la cercanía de los contactos tectónicos (Campos, 1983).

Rodríguez A., 1998 a, reconoce para el territorio cuatro sistemas de estructuras disyuntivas que corresponden a cada uno de los periodos de la evolución geotectónica. (Fig. 5)

La descripción de cada uno de estos sistemas y las principales estructuras que los conforman se realiza a continuación según un orden cronológico desde el sistema más antiguo, asociado genéticamente al proceso de emplazamiento del complejo ofiolítico hasta el más joven, originado bajo las condiciones geodinámicas contemporáneas.

Del análisis de la evolución geológica de la zona de Moa se aprecia la complejidad lito-estructural de los distintos macizos rocosos presentes. Según Rodríguez, 1998b, es común el alto nivel de agrietamiento y la presencia de fallas de carácter regional, las cuales se detallan a continuación:

El sistema más antiguo para la región tiene su origen asociado al cese de la subducción e inicio del proceso compresivo de sur a norte del arco volcánico cretácico y que culminó con la presumible colisión entre el arco insular y el margen pasivo de la Plataforma de Bahamas. Bajo estas condiciones compresivas ocurre el emplazamiento del complejo ofiolítico a través de un proceso de acreción, por lo cual las fallas de este sistema se encuentran espacial y genéticamente relacionadas con los límites internos de los complejos máficos y ultramáficos y de estos con las secuencias más antiguas. Respecto al momento en que ocurre este proceso existen divergencias. Proenza J. (1997), considera que éste se desarrolla en el periodo Campaniense Superior-Paleoceno Inferior.

Las fallas de este sistema aparecen frecuentemente cortadas y dislocadas por sistemas más jóvenes y no constituyen límites principales de los bloques tectónicos activos en que se divide el territorio actual.

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.

Muchas de las estructuras de este sistema se encuentran enmascaradas por las dislocaciones más jóvenes, así como por las potentes cortezas de meteorización desarrolladas sobre el complejo ofiolítico. 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 consideramos está asociado a la actividad geodinámica actual del sector, que es considerado uno de los más activos dentro del territorio.

El segundo sistema cronológico está 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, haciéndose sumamente importante la caracterización del mismo desde el punto de vista geodinámico contemporáneo. Este sistema está constituido por fallas de dos direcciones: noreste y norte-noroeste que se desplazan mutuamente y se cortan entre los sesenta y ochenta grados.

Las estructuras de este sistema se consideran han sido originadas como resultado de los procesos de colisión y obducción del arco volcánico cretácico sobre el margen pasivo de Bahamas, existiendo una transición de las condiciones compresivas iniciales, típicas de la colisión, en expansivas durante el reajuste o relajamiento dinámico de las paleounidades tectónicas que obducen sobre Bahamas, por lo que el comportamiento final de estas estructuras es de carácter normal.

Teniendo en cuenta el proceso que les dio origen, su edad es considerada en su fase final como Eoceno Medio con dudas (?), según lo ya analizado al inicio del capítulo referente a las divergencias existentes sobre la edad probable de culminación del proceso.

Las principales estructuras representativas de este sistema serán caracterizadas a continuación.

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°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°E, mientras que en su parte meridional tiene un rumbo N25°W.

En la parte norte esta estructura se bifurca en dos tramos, uno de rumbo N35°E denominado La Vigía y el otro de rumbo N74°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.

En su conjunto forma la estructura más compleja, pero a su vez, de más fácil reconocimiento por su expresión nítida en la topografía.

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

Falla Cabaña. 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°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°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 Jiguaní.

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 deslizamiento por el rumbo - *Strike-Slip* - determinadas durante las recientes investigaciones y que no habían sido reportadas con anterioridad, las cuales se denominaron Cananova y El Medio. Por la posición que ocupan, orientación y componentes fundamentales de los desplazamientos, no presentan similitud con las fallas antes descritas. El origen de estas estructuras se consideró está asociado al momento en que se inician los movimientos hacia el este de la Placa del Caribe a través de la falla Oriente, desarrollándose un campo de esfuerzo de dirección norte-noreste, con la compresión del Bloque Oriental Cubano, en la zona de sutura de éste con la Plataforma de Bahamas, lo que provocó la ruptura y el reacomodamiento de la corteza desde el Eoceno Medio-Superior.

Falla Cananova: Fue cartografiada a escala 1: 25 000 desde la Bahía de Yaguaneque hasta el poblado de Jucaral, presentando 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: Fue mapeada desde Punta Mangle hasta su intersección con el río Quesigua 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 que aparece desarrollado en el territorio corresponde a estructuras sublongitudinales que aparecen en toda el área, pero tienen su máxima

La edad de este sistema es considerada en su límite inferior posterior al Mioceno Medio, momento en que se inicia el proceso de ascenso definitivo del territorio actual de Cuba oriental como tendencia general y se extiende hasta el presente por prevalecer las condiciones geodinámicas que le dan origen.



Rodríguez, (1998b) plantea que desde el punto de vista tectónico la región de Moa en general y el área de estudio en particular es muy compleja, perteneciendo a la misma los bloques y sub-bloques que se describen a continuación. (Fig. 6)

Bloque Cananova. Constituye el extremo sur occidental del área de los trabajos, quedando sólo su parte nororiental dentro de la misma. Geomorfológicamente este bloque se caracteriza por presentar llanuras fluviales acumulativas, erosivo-acumulativas, y palustres, y al este del poblado de Cananova y al sur, en la zona de Cañamazo, Serrano y El 51 el relieve que se desarrolla es de submontañas ligeramente disecionadas, con cotas máximas en el orden de los 150 m. Geológicamente este bloque está conformado en superficie por rocas pertenecientes a la cuenca marginal del paleoarco volcánico del Cretácico, formación Mícara; del neoarco volcánico de Paleógeno, formación Sabaneta; así como por la formación Júcaro perteneciente a la secuencia terrígena carbonatada de la etapa platafórmica. En la parte baja del río Cananova y alrededor de su desembocadura afloran los sedimentos fluviales y parálicos del Cuaternario.

Bloque Miraflores. Se encuentra ubicado en la parte más occidental del área, teniendo como núcleo el Cerro de Miraflores y las laderas occidentales, norte y nororientales del mismo. Está conformado litológicamente en superficie por las rocas del basamento del arco insular cretácico y de la antigua corteza oceánica - secuencia ofiolítica - con pequeños sectores en su porción suroccidental de afloramiento de las rocas de las formaciones Mícara y Sabaneta y al norte por la formación Júcaro y los sedimentos parálicos y fluviales del Cuaternario. Geomorfológicamente el bloque se caracteriza por presentar montañas bajas disecionadas en su mayor territorio, hacia el oeste y el norte presenta llanuras fluviales acumulativas, así como llanuras palustres en la parte correspondiente al litoral. Este sistema de montañas desarrollado sobre las rocas del complejo ofiolítico se va a caracterizar por líneas divisorias alargadas con orientación principal norte-noreste condicionada por los procesos tectónicos que provocaron el emplazamiento de las ofiolitas y disecionadas a través de numerosas fallas que la cortan, siendo la más significativa la falla Cananova que marca el límite entre dos sectores del bloque: norte y sur.

Bloque Cabaña. Situado al este del bloque Miraflores, con orientación noreste desde la localidad de Zambumbia hasta Cayo Moa Grande, y en su porción meridional, en la zona Cayo Grande-Caimanes Abajo, mantiene una dirección noroeste.

Geológicamente el basamento sobre la cual se sustenta la morfología de este bloque está conformado por las tobas de la formación Santo Domingo, las rocas del complejo ofiolítico y sedimentos parálicos y fluviales en la zona aledaña al litoral.

El relieve es de llanuras erosivas y erosivo-acumulativas las que hacia el sur transicionan a submontañas ligeramente diseccionadas con divisorias de configuración arborescente. El drenaje es de densidad moderada a alta con predominio de redes dendríticas exceptuando los cauces primarios del río Cabaña cerca de la zona de intersección con el río Moa, donde aparecen redes enrejadas. Los valores morfométricos que para este bloque se comportan con gran variabilidad evidencian una intensidad mínima de levantamiento relativo respecto a los bloques laterales con una disección vertical máxima de 100 m/km² en la parte centro - septentrional, disminuyendo hasta 90 m/km² hacia el norte y 40 m/km² hacia el sur.

Bloque Moa. Se encuentra ubicado en la parte centro-ccidental del área de trabajo, al este de bloque Cabaña con el cual contacta a través de la falla de igual nombre y al este con el bloque El Toldo según la falla Moa, extendiéndose de norte a sur en forma de una franja cóncava hacia el este.

En este bloque afloran las rocas del complejo ofiolítico en el mayor por ciento de su superficie. Hacia el sur, en la zona de Calentura afloran las rocas cretáceas de la formación Santo Domingo, mientras que hacia el norte existe una extensa área de desarrollo de sedimentos fluviales y palustres del Cuaternario. Geomorfológicamente para el bloque es predominante el relieve de montañas bajas de cimas aplanadas ligeramente diseccionadas lo que junto a las condiciones litológica permite, que en el sector exista un intenso desarrollo y conservación de las cortezas de meteorización lateríticas, que a su vez condicionan la densidad del drenaje que sólo aumenta en las laderas abruptas, coincidiendo con las alineaciones tectónicas. Los cursos de agua permanentes van a presentar cauces en forma de barrancos profundos y estrechos. Hacia el norte el relieve transiciona a premontañas bajas y aplanadas y de ahí a llanuras

fluviales y palustres las cuales se encuentran cubiertas por las construcciones socioeconómicas de Moa.

Bloque El Toldo. Ocupa la posición central del área de estudio, correspondiéndole los máximos valores del levantamiento relativo de la región. Litológicamente está conformado en superficie por las rocas del complejo máfico y ultramáfico de la secuencia ofiolítica, sobre las cuales se ha desarrollado un relieve de montañas bajas de cimas aplanadas ligeramente disecionadas. Hacia la parte norte se desarrollan en un pequeño sector premontañas aplanadas.

En este bloque aparecen desarrolladas formas del relieve cársico en peridotitos ubicadas alrededor de las elevaciones máximas, siendo el punto de mayor cota El Toldo con 1174 m sobre el nivel del mar.

Hacia la parte norte, en su prolongación dentro de la zona marina puede notarse la pérdida de la barrera arrecifal desde la intersección de la falla La Veguita hasta la falla Quesigua, donde sólo queda como testigo de su existencia un banco de arena de morfología similar, lo que se considera constituye un índice de los movimientos diferenciales entre los bloques.

Bloque Cayo Guam. Junto con el bloque Cananova es el de más pequeña extensión en el área y se dispone como una cuña entre los bloques El Toldo y Cupey a través de las fallas Cayo Guam y Quesigua respectivamente y al igual que el bloque Moa, se comporta como un escalón intermedio en descenso respecto al bloque El Toldo. Geológicamente la mayor extensión de la superficie lo ocupan las rocas del complejo ofiolítico, predominando hacia el sur las serpentinitas y hacia el norte los gabros.

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

Las estructuras tectónicas principales que atraviesan este bloque son de dirección noreste y en muchos casos cortan a las fallas límites de bloques.

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

Geomorfológicamente para el área predomina el relieve de montañas bajas y aplanadas hacia la parte occidental y bajas diseccionadas con divisorias alargadas hacia el sudeste. Las premontañas y submontañas serán aplanadas hacia el oeste y diseccionadas hacia el este. La variabilidad del relieve es el resultado de la acción de tres factores fundamentales: litológico, topográfico y tectónico, ya que no sólo existen variaciones en el tipo de roca sobre la cual se conforma el relieve sino que también, a partir de Punta Guarico ocurre una desviación costera de probable origen tectónico que condiciona la variación de la orientación fluvial, la que toma una dirección noreste, paralelo al sistema de grietas y fallas que controla el drenaje.

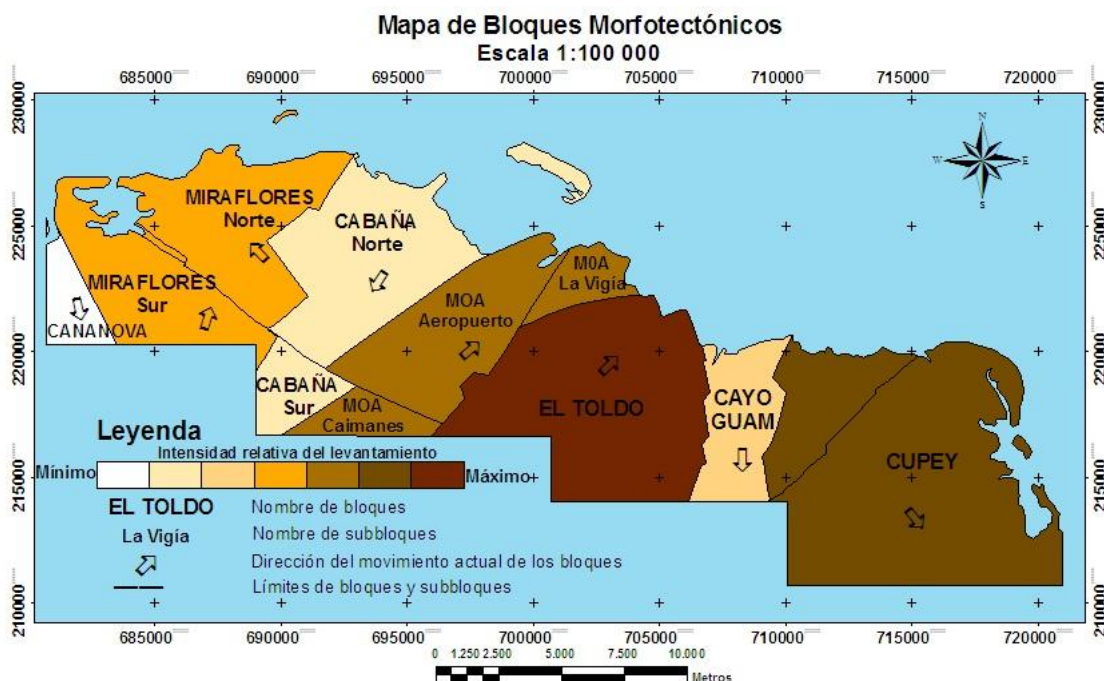


Figura 6. Mapa de bloques morfo-tectónicos. Escala 1: 100 000 (Modificado de Rodríguez A. 1998a)

1.4 Características físico-mecánicas de los suelos lateríticos

Carmenate y Guardado (1996) dividen los suelos lateríticos del municipio según sus características físicas en dos grupos principales: gruesos (lateríticos-L- y serpentiniticos-S-) y finos (lateríticos-Lf- y serpentiniticos -Sf-).

Suelos lateríticos (L).

Granulométricamente está constituido por gravas finas, arenas gravosas, arenas finas muy mezcladas con arcillas y arcillas limosas, con densidades variables (alta, media, baja). La humedad varía entre 10 y 31% constituyendo en el corte los valores más bajos. Su densidad seca alcanza los máximos valores entre 15,1 y 22,4 kN/m³ en la medida en que la fracción es más gruesa, sin embargo, su relación de vacío es la más baja. El peso específico oscila entre 32,7 y 37,8 kN/m³, siendo los más altos. Su plasticidad varía desde 13 hasta 19%.

Suelos serpentiniticos (S)

La granulometría de estos suelos la constituyen gravas gruesas, arenas gravosas y arenas muy finas. Sus valores de humedad son relativamente altos de 57 a 92%. Asimismo, se grado de saturación es de 87 a 100 %. La densidad es muy baja, desde 8 a 9,6 kN/m³ y presentan relaciones de vacío desde 2,2 a 2,72. Su peso específico varía entre 29,7 y 33,5 kN/ m³.

Suelos lateríticos finos (Lf)

Son suelos de granulometría que oscila desde arcillas hasta arcillas limosas mezcladas o muy mezcladas con arenas de densidad media, baja, o muy baja, y arcillas que van de plásticas a muy plásticas, de consistencia fluida hasta sólida. Su humedad varía entre 26 y 96 % rango relativamente grande para estos suelos. La saturación va de 90 a 100 %. El peso específico oscila entre 30 y 37 kN/ m³, aproximándose al grupo L. sin embargo, su densidad seca es relativamente baja, coincidiendo con relaciones de vacío que van desde 0,8 a 3,11 lo que es característico de una estructura poco sólida. Sus límites varían en alto rango y su plasticidad va desde 14 a 68 %.

Suelos serpentiniticos finos (Sf)

Lo constituyen arcillas y arcillas plásticas mezcladas con arenas o gravas de consistencia sólida a fluida y densidades que transitan de media, baja a muy baja. La humedad es en general alta, de 44 a 114 %. Su peso específico es bajo, de 30,5 a 33,6 kN/ m³. Presenta relación de vacío y densidad baja. Sus características plásticas alcanzan altos valores.

1.5 Características Hidrogeológicas del sector de estudio

Debido al régimen de precipitaciones, particularidades hidrogeológicas regionales, características de las rocas acuíferas y parámetros hidrogeológicos existentes en el territorio, lo identificamos como una zona de elevada complejidad hidrogeológica. Se ha establecido para la región, la existencia de cinco complejos acuíferos fundamentales, a partir de la caracterización del tipo de rocas presentes, así como, de su capacidad para el almacenamiento en mayor o menor grado de aguas subterráneas, los mismos son descritos a continuación:

- Complejo acuífero de las ofiolitas

Se extiende en dirección noroeste-sudeste, al oeste del río Moa. Litológicamente se encuentra constituido por serpentinitas alteradas, peridotitas serpentinizadas y piroxenitas. La capacidad acuífera ha sido poco estudiada; su profundidad de yacencia es de 1.3 - 12 metros. El coeficiente de filtración (K) oscila entre 1 - 14.7 m/día, el gasto de aforo (Q) entre 1.2 - 4 L/s. según las clasificaciones de Kurlov y Aliokin las aguas son de tipo hidrocarbonatadas – magnésicas.

- Complejo acuífero de los sedimentos costeros

Se extiende por casi todo el norte del área, formando una franja estrecha que presenta dimensiones de 1 - 2 Km. de ancho. El relieve es costero con cotas de 0 - 2m sobre el nivel del mar; su edad se corresponde con el Cuaternario. Su composición litológica integrada por depósitos arcillosos contiene fragmentos angulosos de composición múltiple. Las rocas acuíferas se asocian a calizas organógenas, en menor escala sedimentos no consolidados, así como, depósitos arcillo - arenosos con fragmentos angulosos de composición variada. Predominan aguas cársicas y de grietas, y en algunos casos intersticiales. Por lo general tienen interrelación hidráulica con el agua de mar.

A una profundidad comprendida entre los 1 - 5 m yace el nivel freático. El coeficiente de filtración (K) de estas rocas alcanza valores hasta los 268.4 m/días, el gasto (Q) es aproximadamente de 14 L/seg., con un gasto específico (q) de 93.4 L/seg. En las calizas, según Kurlov el agua se clasifica como clorurada – hidrocarbonatada – sódica.

- Complejo acuífero de los sedimentos aluviales.

Se extiende en dirección norte – sur formando una franja ancha en su parte inferior, y estrecha en la superior, ocupando prácticamente la totalidad de las terrazas de los ríos más importantes, así como, los valles de sus afluentes. Constituido por gravas, arenas, cantos rodados y arenas arcillosas, con una potencia de 15 m de potencia aproximadamente, estos sedimentos se asocian con una edad cuaternaria y se caracterizan por su alta capacidad para el almacenamiento de agua. El coeficiente de filtración (K) varía de 13 - 290 m/días, mientras que su gasto de aforo (Q) oscila entre 2 - 57 L/seg. Estas aguas yacen a una profundidad comprendida entre los 1 - 5 m; y se denominan según las clasificaciones de Kurlov y Aliokin como hidrocarbonatadas magnéticas.

- Complejo acuífero de las lateritas.

Se extiende por casi toda la zona ocupando gran parte del área. Su composición litológica se corresponde con potentes cortezas de intemperismo, representando a un acuitardo, debido al predominio de aguas capilares y de potencias considerables de lateritas que alcanzan los 30 m de potencia, con un marcado desarrollo de procesos de capilaridad, donde los ascensos capilares de las aguas pueden alcanzar alrededor de 20 m. Las precipitaciones atmosféricas son la fuente principal de alimentación de esta agua. Por su composición química son aguas hidrocarbonatadas – magnéticas y sódicas de baja mineralización.

- Complejo acuífero de los sedimentos terrígenos – carbonatados.

Aparece este complejo solo en una pequeña porción al norte del poblado de Cañete. Constituido geológicamente por margas estratificadas, calizas compactas, depósitos brechosos de carácter tanto tectónico como sedimentarios, aleurolitas y conglomerados. Las rocas acuíferas se corresponden con los conglomerados brechosos y las calizas, y en menor medida, las margas estratificadas.

1.6 Procesos Geodinámicos y Antrópicos.

Los fenómenos físico-geológicos presentes en el área estudiada son:

Meteorización: es la desintegración física y descomposición química de las rocas y minerales que se encuentran en la superficie terrestre por efecto de los agentes del intemperismo como el agua, el dióxido de carbono, el oxígeno, las diferencias de temperatura, los ácidos orgánicos y la acción de componentes biológicos, etc.

Los procesos de meteorización determinan:

- ✓ La cantidad de material suelto o disgregado en la superficie de la tierra (en este caso en el área de estudio) lo que a su vez condiciona la intensidad de los procesos erosivos que en ella se desarrollen.
- ✓ La formación de los suelos utilizados por el hombre para el desarrollo de diferentes actividades.
- ✓ La acumulación de recursos minerales de interés industrial.

Erosión: Es el proceso geológico a través del cual ocurre el arranque y transporte de fragmentos de los materiales de la superficie terrestre por la acción de diferentes agentes en movimiento que actúan en la superficie como el agua, el hielo, el viento e incluso, los animales. Erosión es sinónimo de degradación.

Sedimentación: Es el proceso geológico mediante el cual los materiales detríticos erosionados y transportados se acumulan en un determinado lugar, cuencas de acumulación, que pueden encontrarse en los fondos marinos, lacustres o en las propias cuencas fluviales.

Inundación: Efecto generado por el flujo de una corriente cuando sobrepasa las condiciones que le son normales y alcanza niveles extraordinarios que no pueden ser controlados en los vasos naturales o artificiales que la contienen, lo cual deriva ordinariamente los daños que en aguas desbordadas ocasiona en zonas urbanas, tierras productivas y en general en valles y sitios bajos.

1.7 Sismicidad.

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

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

No obstante, la frecuente sismicidad de la región suroriental, en los últimos años se ha activado la región de Moa y sus acuatorias septentrionales. Esta actividad sísmica se comportó como una serie de terremotos con liberación cíclica de baja energía, con una magnitud semejante y una gran cantidad de eventos, cuyo origen es de carácter tectónico, estando concentrada junto a la falla Miraflores, límite de los bloques morfoestructurales de Miraflores y Moa. La orientación predominante de los epicentros es NE-SW, lo cual se refleja notablemente en la localización de los sismos perceptibles (fig.7).

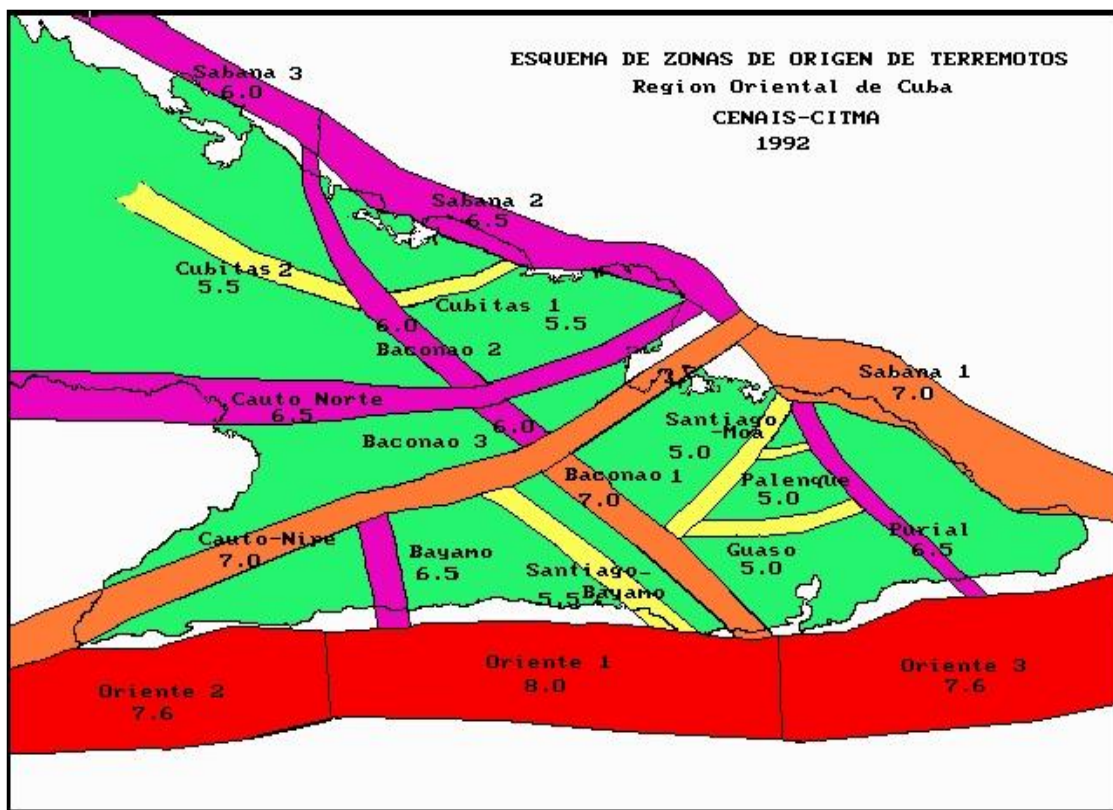


Figura 7. Zonas sismogeneradoras principales que afectan al territorio oriental de Cuba, dentro de ellas se observan subzonas que afectan a Moa de manera directa. Tomado de Chuy y otros (1997).

Capítulo II

CAPITULO II. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LA INVESTIGACIÓN DESARROLLADA EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Introducción:

En el presente capítulo se describe la metodología aplicada en la investigación para la caracterización de los principales fenómenos geológicos que afectan a los viales de Moa en los Consejos Populares, Las Coloradas, La Playa, Los Mangos y Joselillo, según tres etapas principales. Se parte de una recopilación y revisión de la información de investigaciones precedentes, con lo cual se conforma la información primaria. Se describen los métodos y procedimientos utilizados para caracterizar los procesos geológicos que operan en el área de estudio; y así determinar la influencia de los mismos en estos viales.

La investigación se realizó en tres etapas fundamentales (Fig. 8):

Etapas

- Etapas preliminares**

- Trabajo de campo**

- Análisis e interpretación de los resultados**

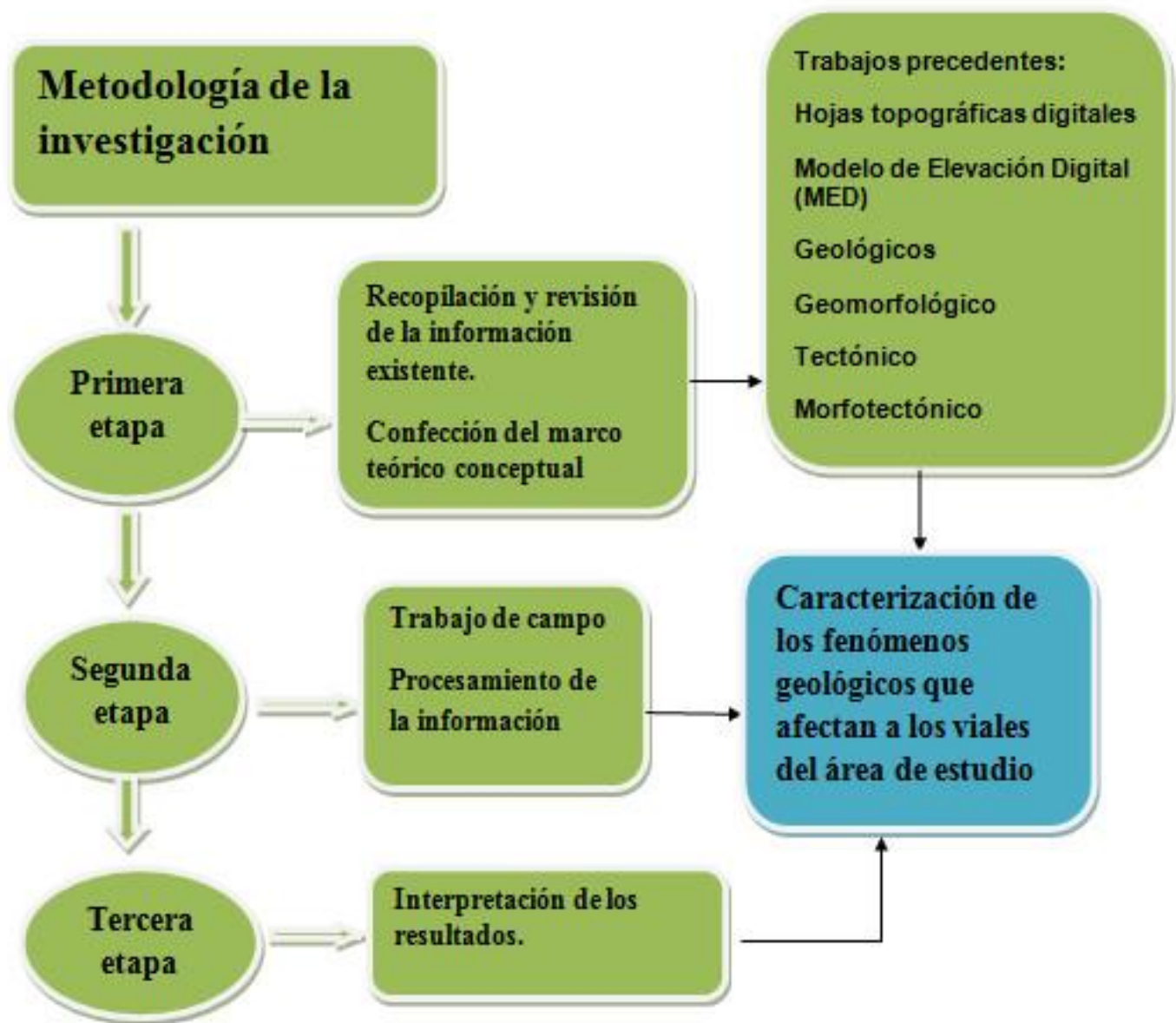


Figura 8. Diagrama de flujo de la investigación

2.1 Etapa preliminar: Recopilación y revisión de la información precedente.

En esta etapa se realiza el análisis de las bibliografías existentes de la región y del área de estudio, de la cual se extrae y recopila la información útil para la investigación. Se realizan búsquedas en el Centro de información del ISMM, donde se tuvo acceso a libros, revistas, trabajos de diplomas, tesis de maestría y doctorales, además de búsquedas en Internet. Como resultado se obtuvo información referente a la descripción regional desde el punto de vista geológico, geomorfológico, topográfico, tectónico y morfotectónico. También se recopilaron varios mapas que sirven de base al desarrollo de etapas posteriores de la investigación.

Se confecciona el marco teórico conceptual de la investigación. De igual manera se obtienen los mapas topográficos del área de estudio a escala 1: 25 000.

Se visitó el Fondo Geológico del Departamento de Geología del ISMM; además se visitaron Instituciones Gubernamentales del Municipio como: Planificación Física, CITMA, Poder Popular, Centro de Gestión y Reducción de Riesgos municipal, donde se recopilaron varios mapas que sirven de base al desarrollo de etapas posteriores de la investigación.

2.2 Segunda etapa: trabajo de campo.

En esta etapa se realizaron marchas de reconocimiento del área estudio con el objetivo de ubicar las zonas más afectadas, así como la influencia de los fenómenos geológicos en el deterioro de los viales.

Se desarrollaron dos salidas al campo donde se documentaron 23 puntos, (Fig. 9 y 10) ocupando un área que abarca toda la zona de estudio.

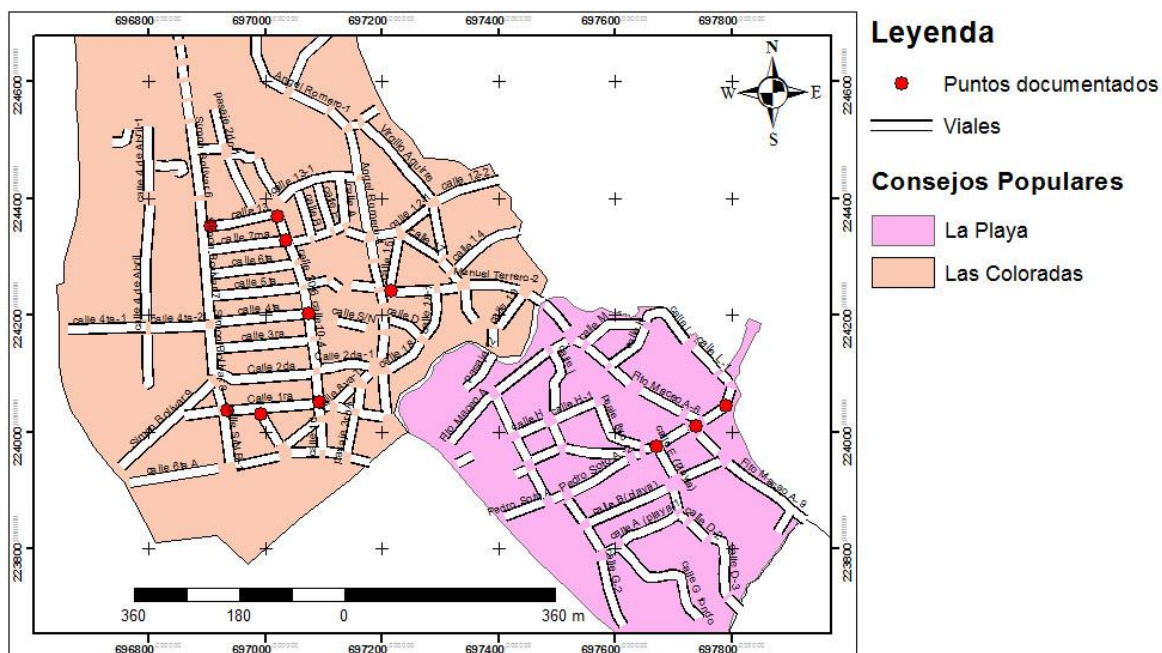


Figura 9. Mapa de ubicación de los puntos de documentación Consejos Populares La Playa y Las Coloradas. (elaborado por J. Pérez y R. Hernández 2018)

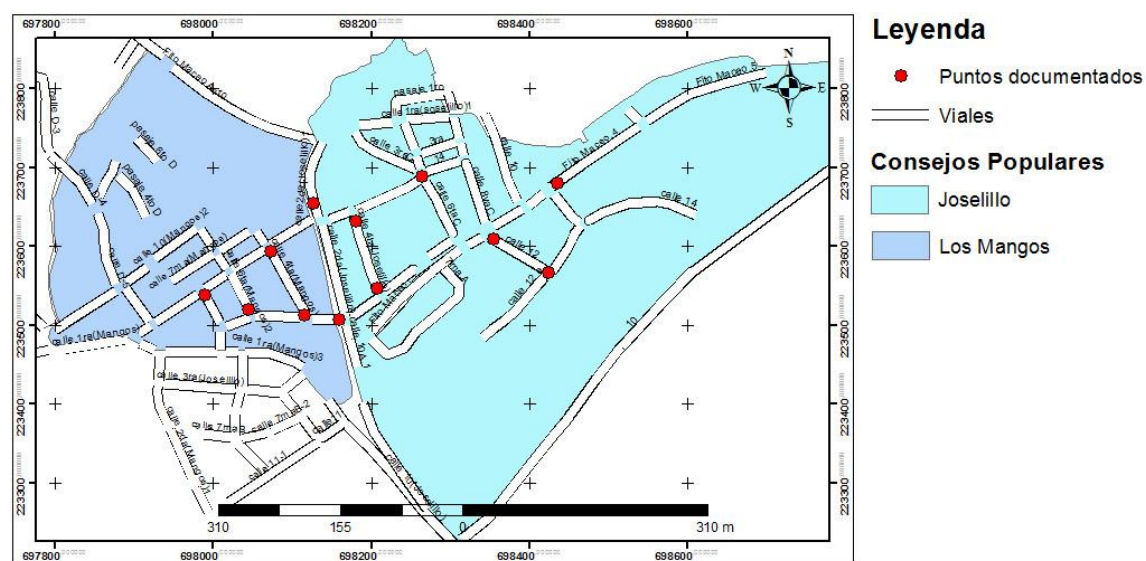


Figura 10. Mapa de ubicación de los puntos de documentación Consejos Populares Joselillo y Los Mangos. (Elaborado por J. Pérez y R. Hernández 2018)

Materiales utilizados: cámara fotográfica, mapas de los distintos consejos proporcionados por la dirección municipal de planificación física (fig. 11), tablet MediaPad-huawei, Lápiz, bolígrafo, Libreta de campo, hojas blancas

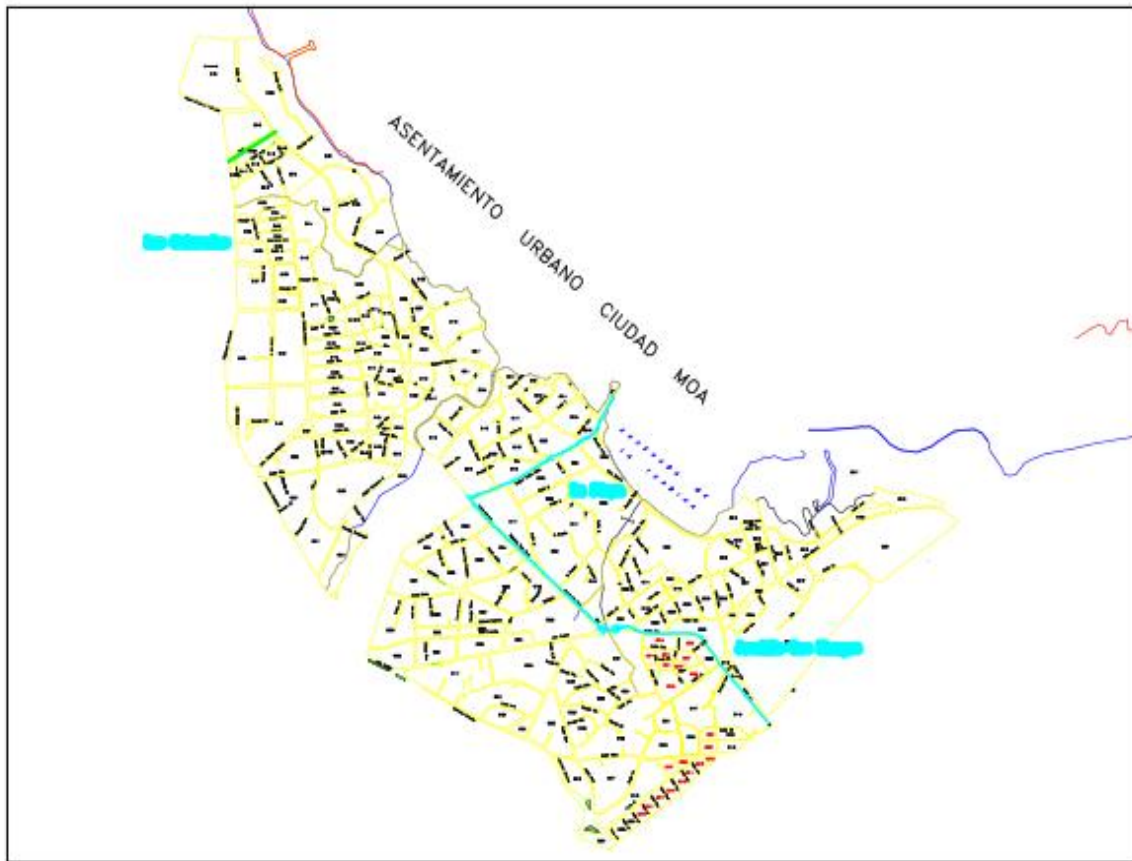


Figura 11. Mapa del asentamiento urbano municipio de Moa escala 1: 5000 (Instituto de Planificación Física municipal, 2010)

El método utilizado fue el de levantamiento que consistió en documentar cada punto de interés, se tomó como base un plano de todos los viales del área, perteneciente a Planificación Física Municipal y así identificar los fenómenos geológicos que afectan a estos viales en el área de estudio. Para determinar el fenómeno inundación se aplican técnicas de encuesta en todos los Consejos Populares (Fig. 12).

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO

"Dr. Antonio Núñez Jiménez"

FACULTAD GEOLOGÍA MINAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

La información que a continuación se le solicita contribuirá de manera decisiva al mejoramiento del sistema de prevención de riesgo de nuestro municipio. Por favor responda de manera consiente y sincera el cuestionario que se le brinda, de manera que con sus respuesta ayude a perfeccionar nuestro trabajo.

1. ¿En qué consejo popular vive usted? _____
2. Alguna vez ha sabido o ha sido afectado por una inundación en su casa o vecindario? ☐ Si ☐ No
3. En caso de haber contestado sí, pudiera decir ¿en qué período del año han ocurrido? _____ Períodos ☐ No recuerdo
4. ¿A que causa asocia usted la inundación referida? ☐ Lluvias abundantes
☐ Crecida de ríos o cañadas
5. Recuerda usted si alguna de estas inundaciones han causado daño a algún vial (camino, trillo, calle, carretera, acera) ☐ No ☐ Sí. Diga donde está ubicado _____
6. ¿En q tiempo considera usted que el nivel del agua disminuye? _____
7. ¿Cómo calificaría usted el efecto de las inundaciones en la deterioro de los viales? ☐ Alto ☐ Bajo ☐ Ninguno

Figura 12. Encuesta realizada a los pobladores de los Consejos Populares estudiados

2.3 Procesamiento de la información

Durante esta etapa se digitalizaron las calles y los Consejos Populares utilizando el programa ArcGis 10.4, (Fig. 13) debido a que la base cartográfica obtenida del Instituto de Planificación Física municipal, no contaba con esta, creándose durante su proceso de digitalización varios campos, el de nombre para su identificación y tres más relacionados

con los procesos geológicos analizados, donde se delimitó con la herramienta clip (Fig. 14), las que correspondían a cada Consejo Popular.

Además, se utilizaron los softwares Global Mapper versión 18 (Fig. 15) para exportar los formatos en ArcGis 10.4 y Surfer 14 para generar los mapas de pendiente y visualizar la red de drenaje.

El ArcGis es un Sistema de Información Geográfico (SIG) que particulariza un conjunto de procedimientos sobre una base de datos no gráfica o descriptiva de objetos del mundo real que tienen una representación gráfica y que son susceptibles de algún tipo de medición respecto a su tamaño y dimensión relativa a la superficie de la tierra, se usan herramientas de gran capacidad de procesamiento gráfico y alfanumérico, estas herramientas van dotadas de procedimientos y aplicaciones para captura, almacenamiento, análisis y visualización de la información georeferenciada.

Características principales del ArcGIS 10.4:

- Formatos espaciales: GeoTIFF, TFW y RSF.
- Importa formato de vectores: EMF, GSI, GSB, BNA, DLG, LGO, LGS, DXF, PLT, BLN, CLP, WMF, SHP, MIF, DDF, E00.
- Formato de imágenes a Importar: TIF, BMP, TGA, PCX, GIF, WPG, DCX, EPS, JPG, PNG, PCT.
- Formato de datos a Importar: XLS, SLK, DAT, CSV, TXT, BNA, WKx, WRx, BLN.
- Formatos de Exportación: LAS, EMF, GSI, GSB, DAT, DXF, SHP, BLN, BNA, GIF, BMP, WMF, CGM, MIF, CLP, TIF, TGA, PCX, WPG, PNG, JPG, PCT, DCX.

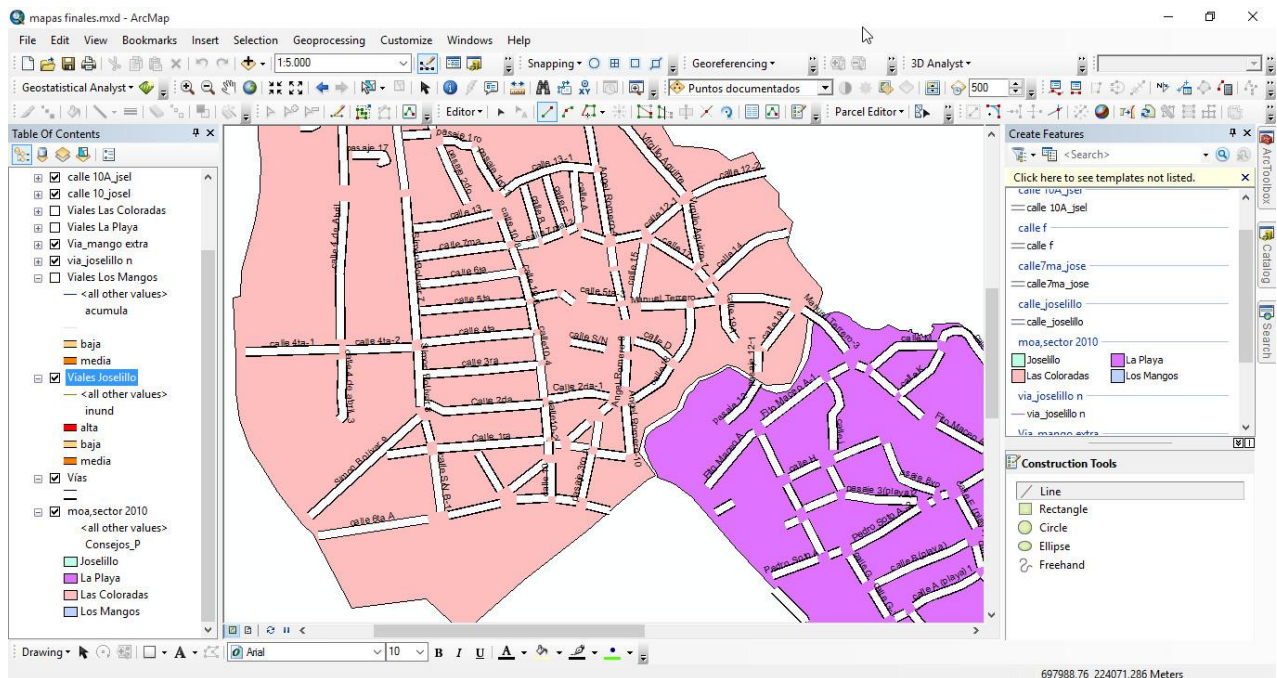


Figura 13. Vista del SIG ArcGis 10.4

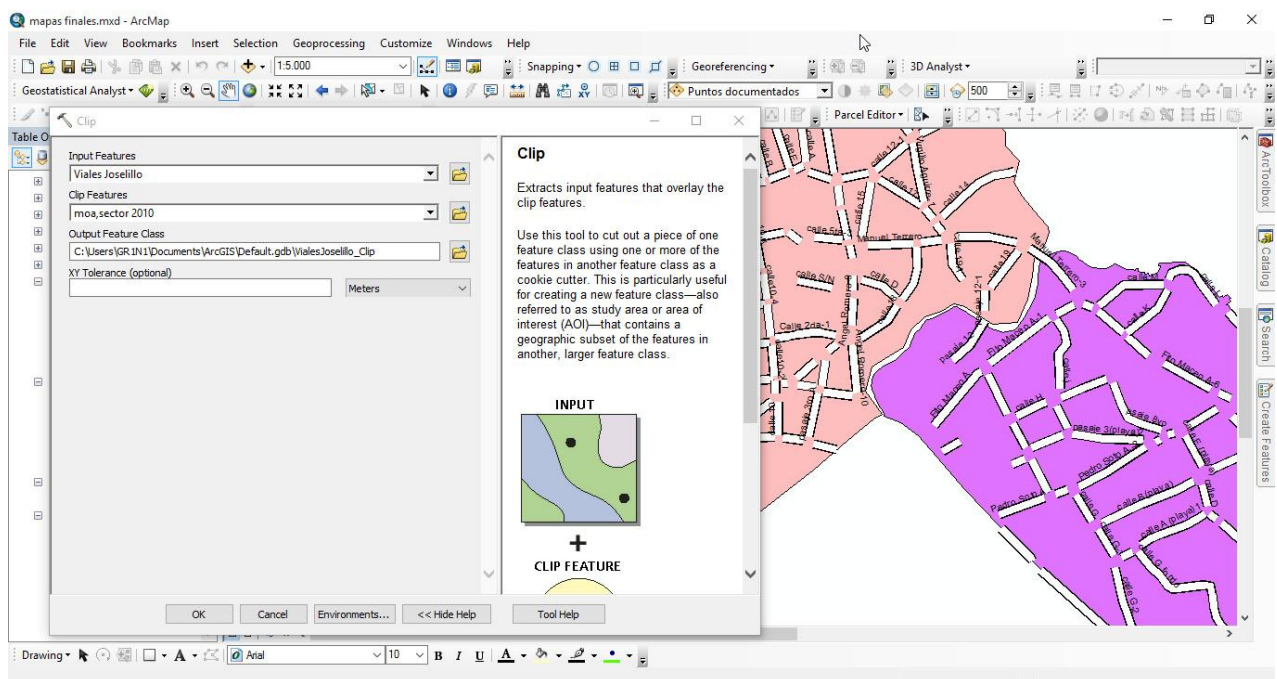


Figura 14. Vista de la herramienta clip del SIG ArGis 10.4.

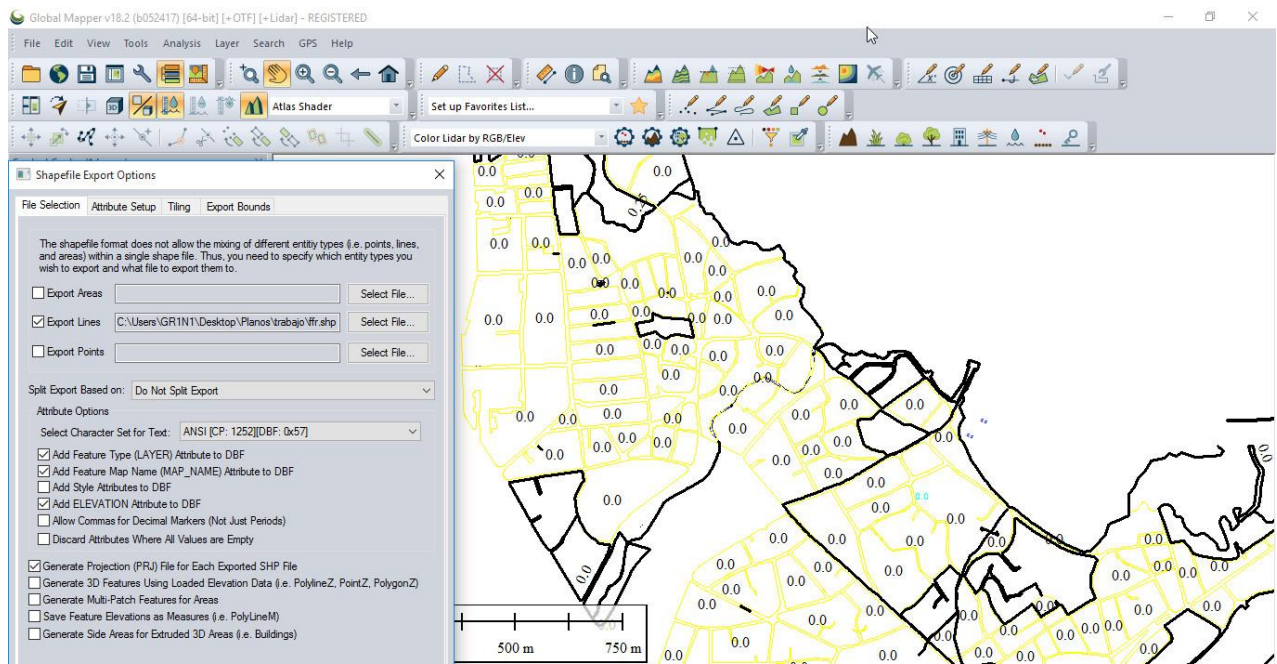


Figura 15. Vista del software Global mapper versión 18

CAPITULO III

CAPÍTULO III. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Introducción

En el presente capítulo se realiza el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos, donde se caracterizan los fenómenos geológicos que actúan en el área de estudio, luego se identifican los mismos de forma tal que posteriormente se obtiene un mapa donde se muestran las zonas más vulnerables a estos fenómenos, con la utilización de un Sistema de Información Geográfica. Posteriormente se proponen un plan de medidas para la mitigación y gestión del riesgo a nivel de municipio que debe implementarse para disminuir las vulnerabilidades existentes a estos fenómenos.

3.1 Identificación de los fenómenos geológicos presentes en el área de estudio

En el área de estudio, los agentes del intemperismo y otros procesos y fenómenos geológicos inciden constantemente sobre la superficie, lo que provoca la degradación del suelo y los viales construidos sobre él; siendo la erosión, sedimentación y la inundación los fenómenos más recurrentes.

En los Consejos Populares Las Coloradas, La Playa, Los Mangos y Joselillo, (Fig. 16) prácticamente todos los viales sufren de la incidencia directa de estos fenómenos geológicos, siendo estos unos los principales factores que condicionan su deterioro.

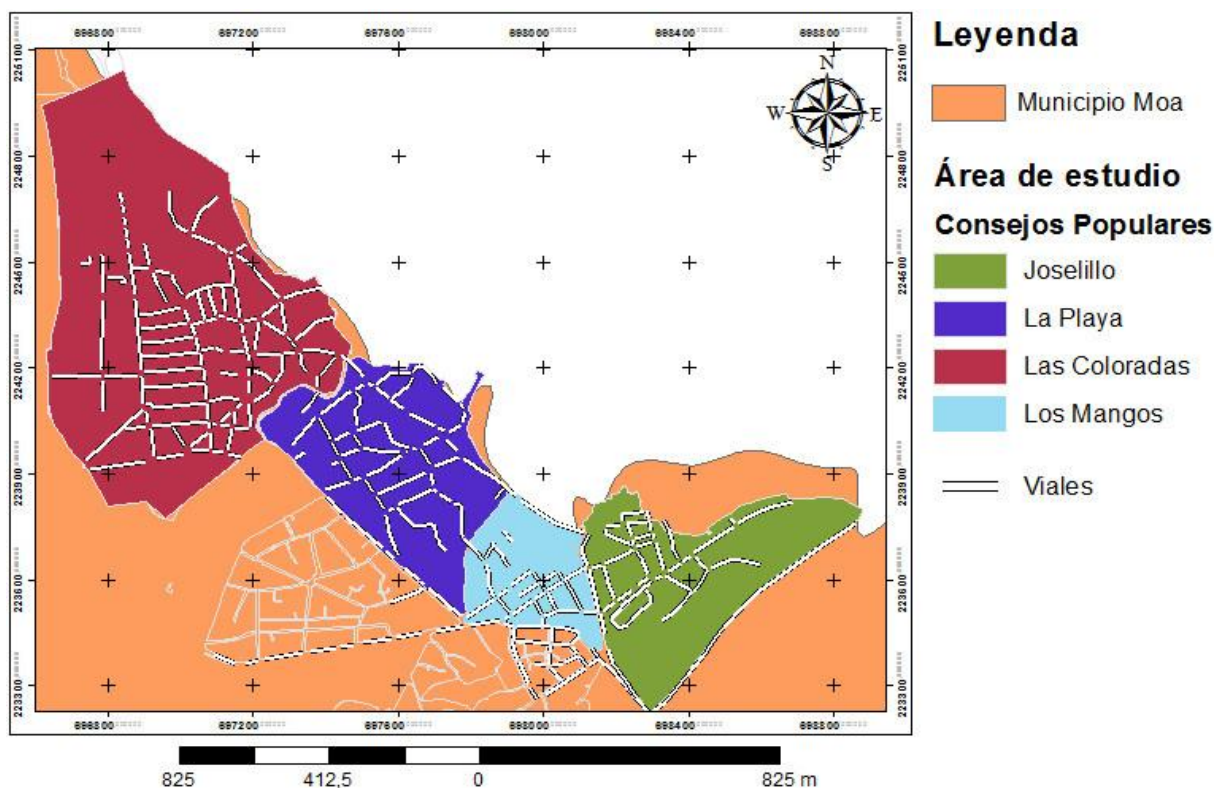


Figura 16. Mapa de los Consejos Populares Las Coloradas, La Playa, Los Mangos y Joselillo (elaborado por J. Pérez y R. Hernández 2018)

3.1.1 Erosión

Durante los trabajos de campo se observó una fuerte influencia del proceso erosivo sobre las vías y cuya máxima representación se documentó en las calles 1ra, 4ta, 13, pasaje 1ro y 2do, tramos de la ave. Simón Bolívar y tramo de la calle Manuel Terrero del Consejo Popular Las Coloradas (Fig.17) (Imagen 2); en el Consejo Popular La Playa la erosión se muestra media y baja; observándose de igual modo en los consejos populares Los Mangos y Joselillo (Fig. 18).

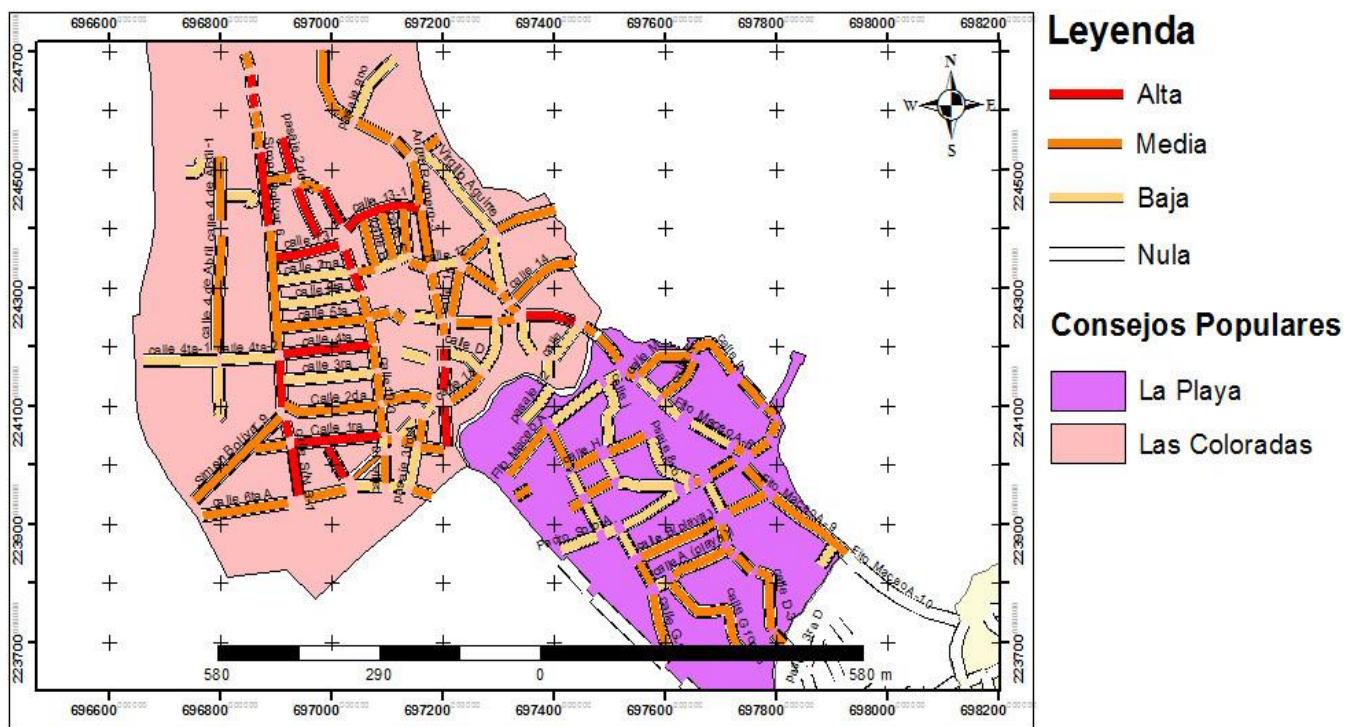


Figura 17. Mapa de erosión en los viales. Consejos Populares La Playa y Las Coloradas. (elaborado por J. Pérez y R. Hernández 2018)

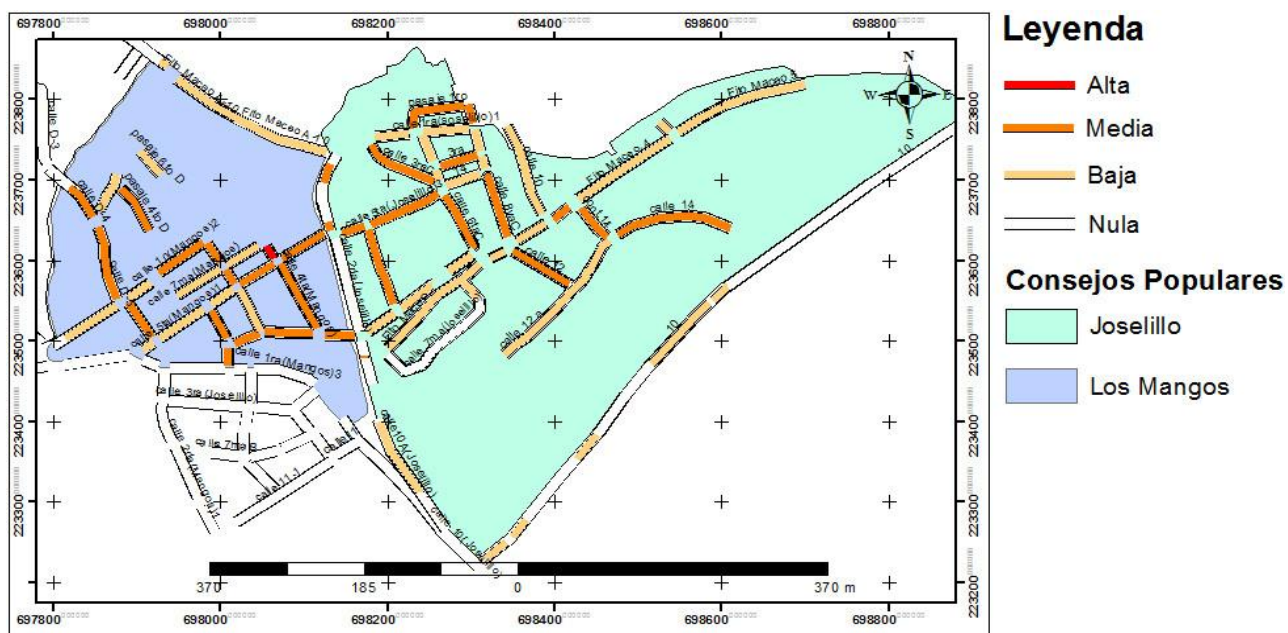


Figura 18. Mapa de erosión en los viales. Consejos Populares Los Mangos y Joselillo. (elaborado por J. Pérez y R. Hernández 2018)

Se comprobó que predomina la erosión pluvial, causada por el impacto de la lluvia y por el escurrimiento superficial, observándose pequeñas cárcavas que no superan los 10 cm (Imagen 1).



Imagen 1. Calle 10ma/7ma y 13 Consejo Popular Las Coloradas, pequeña cárcava



Imagen 2. Erosión en la Calle 13/ ave Simón Bolívar y 10 Consejo Popular Las Coloradas.

3.1.2 Sedimentación

Este fenómeno está representado en toda el área de estudio de una manera vinculada con la erosión mostrándose desde nula a media en los Consejos Populares Las Coloradas y La Playa (Fig.19) (Imagen 3) y en los Consejos Populares Los Mangos y Joselillo de nula a alta siendo alta las calles 14 y 4ta en el Consejo Popular Joselillo.

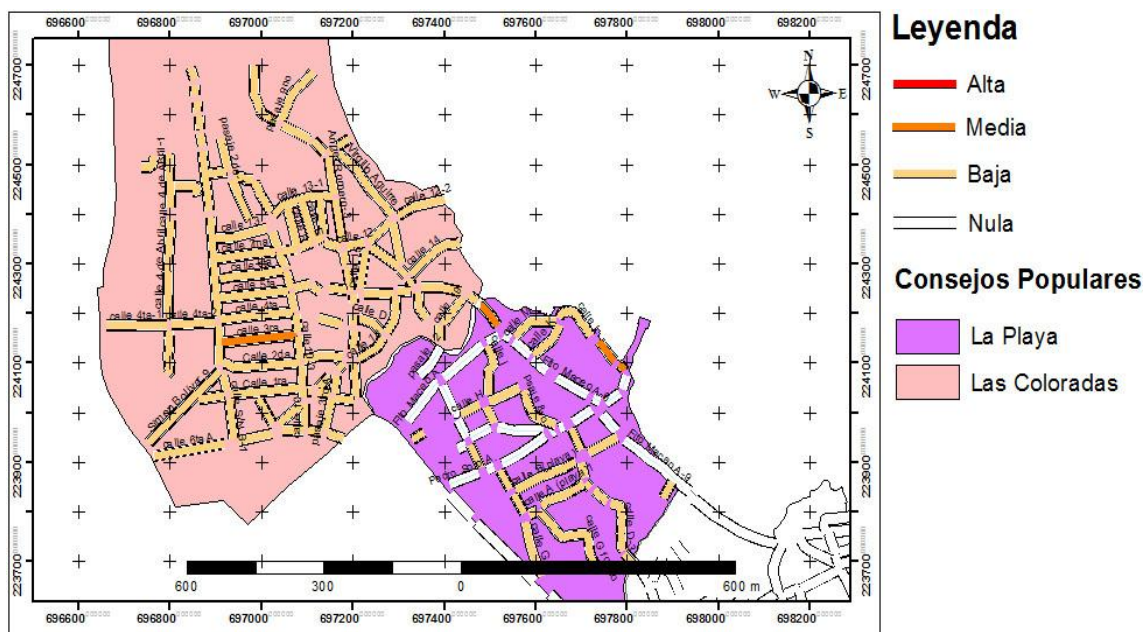


Figura 19. Mapa de sedimentación en los viales. Consejos Populares La Playa y Las Coloradas. (elaborado por J. Pérez y R. Hernández 2018)

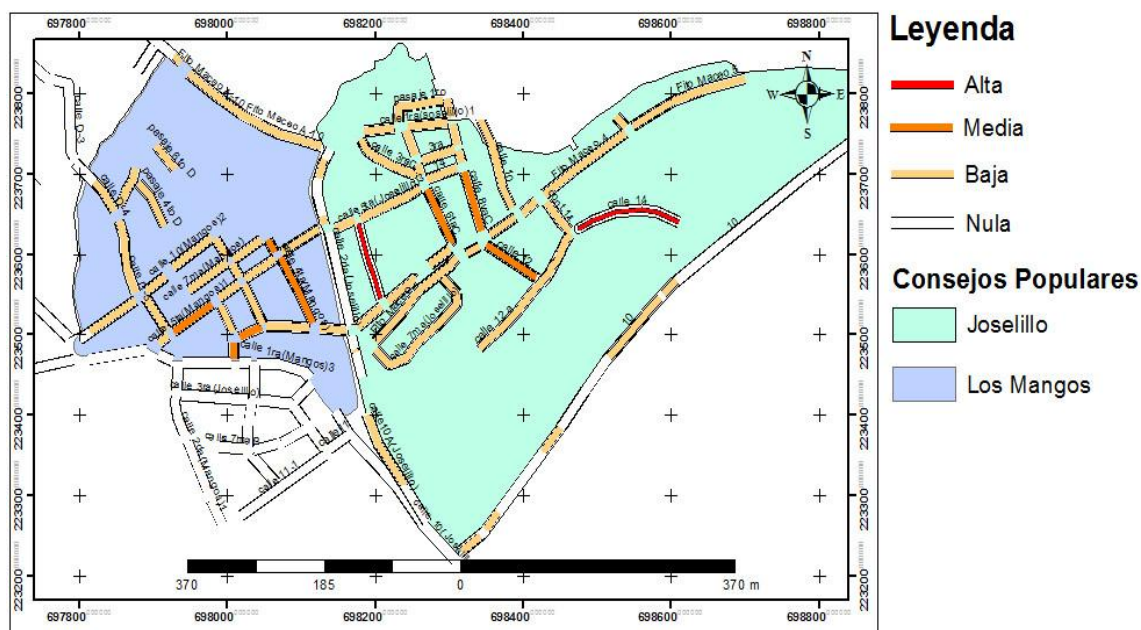


Figura 20. Mapa de sedimentación en los viales. Consejos Populares Los Mangos y Joselillo. (elaborado por J. Pérez y R. Hernández 2018)



Imagen 3. Sedimentación en la Calle 10ma/7ma y 13 Consejo Popular Las Coloradas

3.1.3 Inundación

Esta se determinó principalmente por la opinión de los pobladores de la zona de estudio mediante una técnica de encuestas realizadas en toda el área, la cual arrojó como resultado que el 100 % de los Consejos Populares Las Coloradas y La Playa no presenta inundación, en Los Mangos un 11% si y un 89% no y en Joselillo un 20% no y un 80% si (Gráficos 1,2,3,4), por lo que el Consejo Popular Joselillo es el más afectado por el fenómeno inundación siendo las intensas lluvias la principal causa de que ocurra este fenómeno, resultado que se representa en la encuesta, representándose en las calles 4ta, 14 y 12 como alta, en el resto de las calles se muestra desde media, baja, hasta nula (fig. 24). (Imagen 4, 5, 6,).

Disminuyendo el nivel del agua en un tiempo de algunas horas en las calles Fito Maceo, 8va, 10 y hasta varios días como es el caso de calle 4ta, 12, 14, y un tramo de la calle Fito Maceo, presentando las calles 12, 14 un relleno antrópico de un material bien compactado que debe ser una de las causas fundamentales para evitar que el agua se infiltre o la carencia de una red de drenaje.

**Encuesta en el Consejo Popular
La Playa**



Grafico 1

**Encuesta en el Consejo Popular
Las Coloradas**

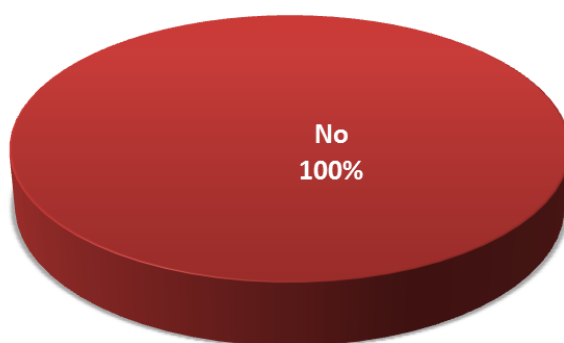


Grafico 2

**Encuesta en el Consejo Popular
Los Mangos**

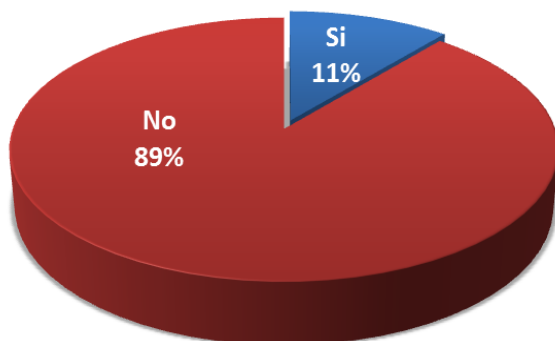


Grafico 3

**Encuesta en el Consejo Popular
Joselillo**

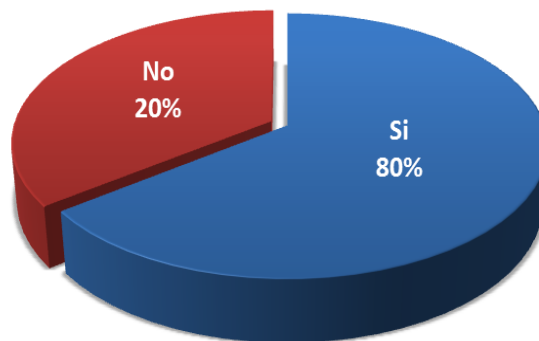


Grafico 4

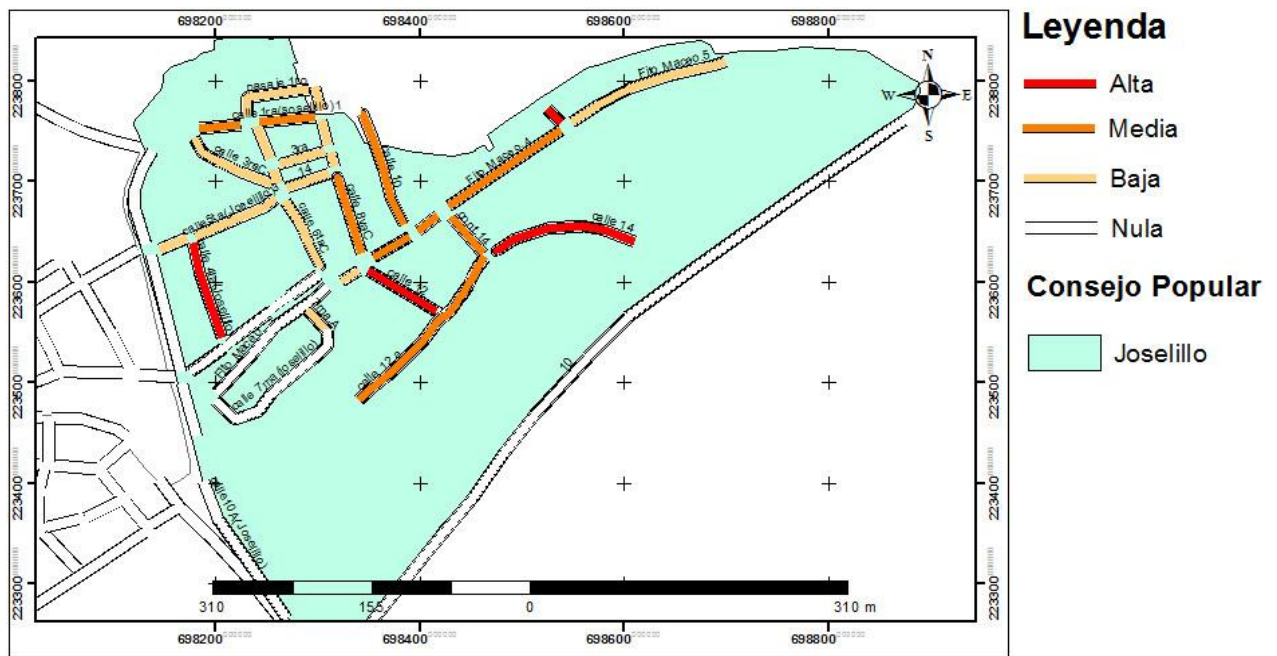




Imagen 4. Calle 14 Consejo Popular Joselillo.



Imagen 5. Calle 12, Consejo Popular Joselillo.



Imagen 6. Calle 4ta Consejo Popular Joselillo.

3.2 Influencia de los fenómenos geológicos en los Consejos Populares Las Coloradas, La Playa, Los Mangos y Joselillo en el deterioro de los viales.

En general el deterioro de los viales en los Consejos Populares Las Coloradas, La Playa, Los Mangos y Joselillo del municipio de Moa están afectados por la influencia de los fenómenos geológicos (erosión, sedimentación e inundación) desde nula, baja, baja-media, media- alta y alta, siendo el Consejo Popular Las Coloradas donde más se evidencia este deterioro influenciado por la erosión y la sedimentación desde baja – media, media – alta y alta, en segundo lugar se encuentra Joselillo desde baja, baja-media y media – alta. La Playa y Los Mangos presentan un deterioro en los viales, pero en menor medida en correspondencia con Las Coloradas y Joselillo, nula, baja y baja-media. (Fig. 28).

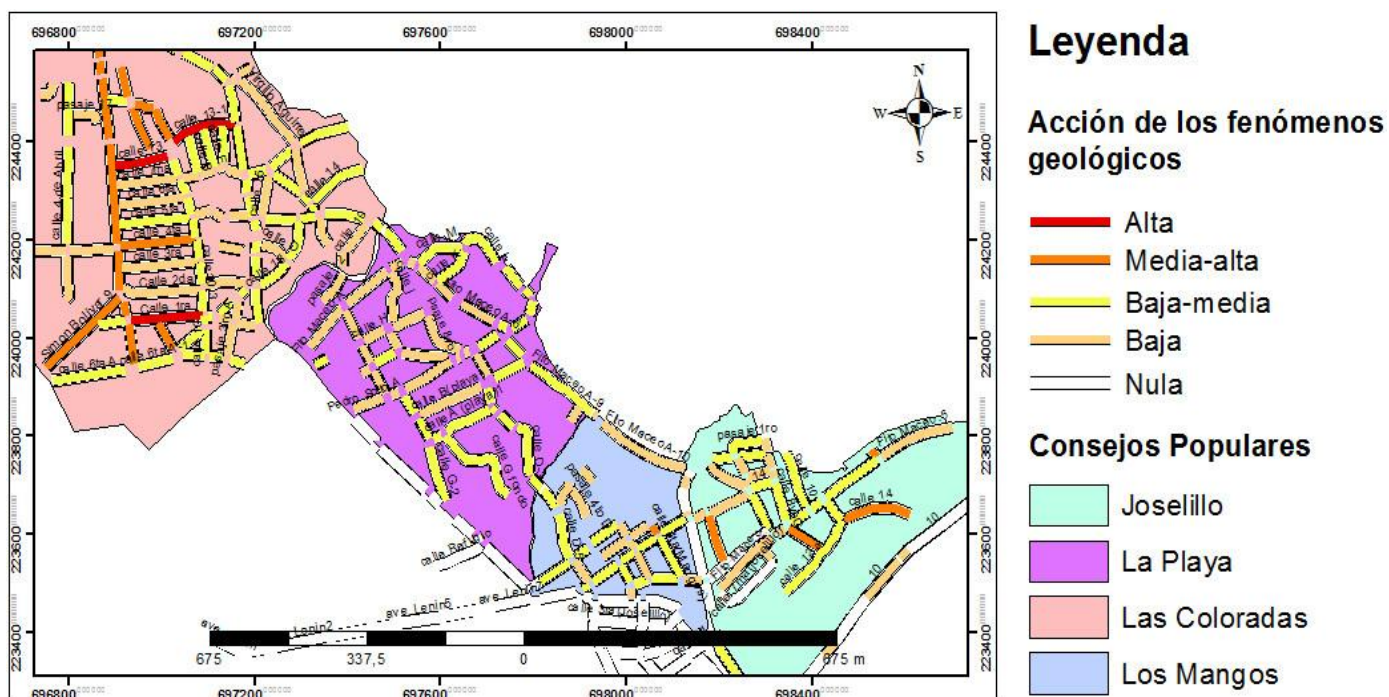


Figura 25. Mapa de influencia de los fenómenos geológico en el deterioro de los viales en los Consejos Populares Las Coloradas, La Playa, Los Mangos y Joselillo del municipio de Moa. (elaborado por J. Pérez y R. Hernández 2018)

A continuación, se explica la influencia de los agentes de estos fenómenos en el área de estudio:

Lluvia: es mucho más dañina cuando ocurre de manera intensa. No es tan importante el total de la lluvia como la intensidad de la misma (Hudson, 1982), los intensos aguaceros que ocurren en el área de estudio tiene un efecto mucho más catastrófico que las precipitaciones suaves. Si a lo anterior le sumamos que los viales no cuentan con alcantarillado para evacuar el agua meteórica, se condiciona entonces la aparición del escurrimiento. Según Horton (1945) el escurrimiento es igual a la intensidad de la lluvia menos la velocidad de infiltración. De esa fórmula se desprende que en el área de estudio el escurrimiento es un fenómeno agudo que condiciona el intenso proceso erosivo presente. La frecuencia de la lluvia también afecta los viales, ya que dos eventos

de lluvia que se sucedan sin haberse alcanzado a secar el suelo pueden llevar a que la segunda lluvia no se infiltre, o lo haga mínimamente y gran parte de ella escurra.

Pendiente: Conforme se incrementa el grado y longitud de la pendiente aumenta la erosión del terreno (Morgan, 1986). En el área de estudio la pendiente afecta de forma local en algunos puntos donde se observan inclinaciones de 0 a 5 grados y donde la erosión es más intensa.

Material parental: La importancia del material parental en el análisis del fenómeno erosivo estriba en los rasgos hereditarios que de él se derivan en los suelos conforme avanza el proceso de meteorización. En el caso de estudio, nos encontramos con tres situaciones diferentes, desde el punto de vista del material a ser erosionado. En algunos sectores existe predominio del pavimento, en cuyos casos la erosión es menos visible o nula, aunque se evidencia deterioro del pavimento. Cuando existe ausencia de este observamos que queda al descubierto los suelos arcillosos típicos de la región, los cuales, desde el punto de vista de la dureza relativa se catalogan como rocas blandas que presenta una alta porosidad, la cual permite el ingreso del agua al interior de esta, favoreciendo el proceso de meteorización, que resulta en un efectivo ablandamiento del material y de allí una mayor susceptibilidad a la erosión. En un tercer caso, constatamos, que se usan disímiles materiales como relleno, que al no contar con las propiedades geotécnicas indicadas y no estar bien compactados, al contrario de ser una medida correctora, se comportan como una fuente antrópica de aporte de sedimentos.

Es importante destacar que existen otros factores de primera importancia en la explicación del proceso erosivo de forma general, particularmente por las características del área de estudio no se observaron durante los trabajos de campo (uso de suelo, vegetación, características físicas del suelo, etc.).

3. 3 Medidas de mitigación

1. Instalar un sistema de alcantarillado en toda el área.
2. Colocar barreras de contención para evitar la erosión.
3. Estudiar el material de relleno a los viales desde el punto de vista geomecánico.
4. Situar un sistema drenaje longitudinal en toda el área.
5. Implementar acciones en función al tratamiento de los viales, así como para la calidad del material usado en su construcción.

CONCLUSIONES

1. Los fenómenos que afectan a los viales en los Consejos Populares La Playa, Los Mangos, Las Coloradas y Joselillo del municipio de Moa son la erosión, la sedimentación y la inundación.
2. La erosión es el fenómeno que más afecta los viales, determinándose que tiene una influencia de media a alta en toda el área de estudio. La sedimentación tiene una presencia baja y la inundación solo afecta al consejo popular Joselillo.
3. Los fenómenos geológicos estudiados, de forma general, presentan una influencia baja-media en los Consejos Populares La Playa, Los Mangos y Joselillo, llegando a media-alta y alta en Las Coloradas.
4. Se proponen cinco medidas de mitigación para la protección de los viales del área de estudio.

RECOMENDACIONES

1. Extender el estudio de los fenómenos geológicos que afectan a los viales a todos los Consejos Populares del municipio de Moa.
2. Entregar al gobierno municipal la investigación y que se apliquen las medidas propuestas en la misma.
3. Realizar un estudio tectónico detallado para ver si tiene alguna influencia en el deterioro de los viales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ashley Camhi, Lisa Mandle, Rob Griffin, Josh Goldstein, Rafael Acevedo, Michele Lemay, Elizabeth Rauer, Victoria Peterson (2016). Carreteras y Capital Natural : Gestión de las dependencias y de los efectos sobre los servicios ecosistémicos para inversiones sostenibles en infraestructura via. Colombia.
2. Adolph, D. O. (2014). Estimación de la pérdida de suelos por erosión en el sector. Moa: ISMMM.
3. Almaguer, P. L. (2012). Influencia de los procesos geológicos en la morfología costera del municipio de moa. Moa: ISMMM.
4. Blogspot. (25 de marzo de 2018). Obtenido de blogspot.com/2009/07/la-sedimentacion-y-sus-tipos.html
5. BlogStructuralia. (s.f.). Recuperado el 24 de marzo de 2018, de <https://www.BlogStructuralia.com>
6. Catalogación en la fuente proporcionada por la Biblioteca Felipe Herrera del Banco Interamericano de Desarrollo. (2016) Carreteras y Capital Natural. (s.f.).
7. Carmenate y Guardado. (1996) Evaluación Ingeniero/Geológica de las áreas con peligros geoambientales de la ciudad de Moa. Geología -Minería .
8. Fema. (s.f.). Recuperado el 2018 de marzo de 2018, de <https://www.fema.gov/es/tipos-de-inundaciones#1>.
9. Fournier, F. (1975). Conservación de suelos (No. S593 F6e).
10. Garcia-Chevesich, P. (2008). Procesos y control de la erosión.
11. Geología, 15(2): 37-41, 1998b.
12. Griem, W. &.-K. (1999). Rocas sedimentarias clásticas 5. Ejemplos de rocas clásticas.
13. Iturralde-Vinent, M. (1998). Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. Acta Geológica Hispana.

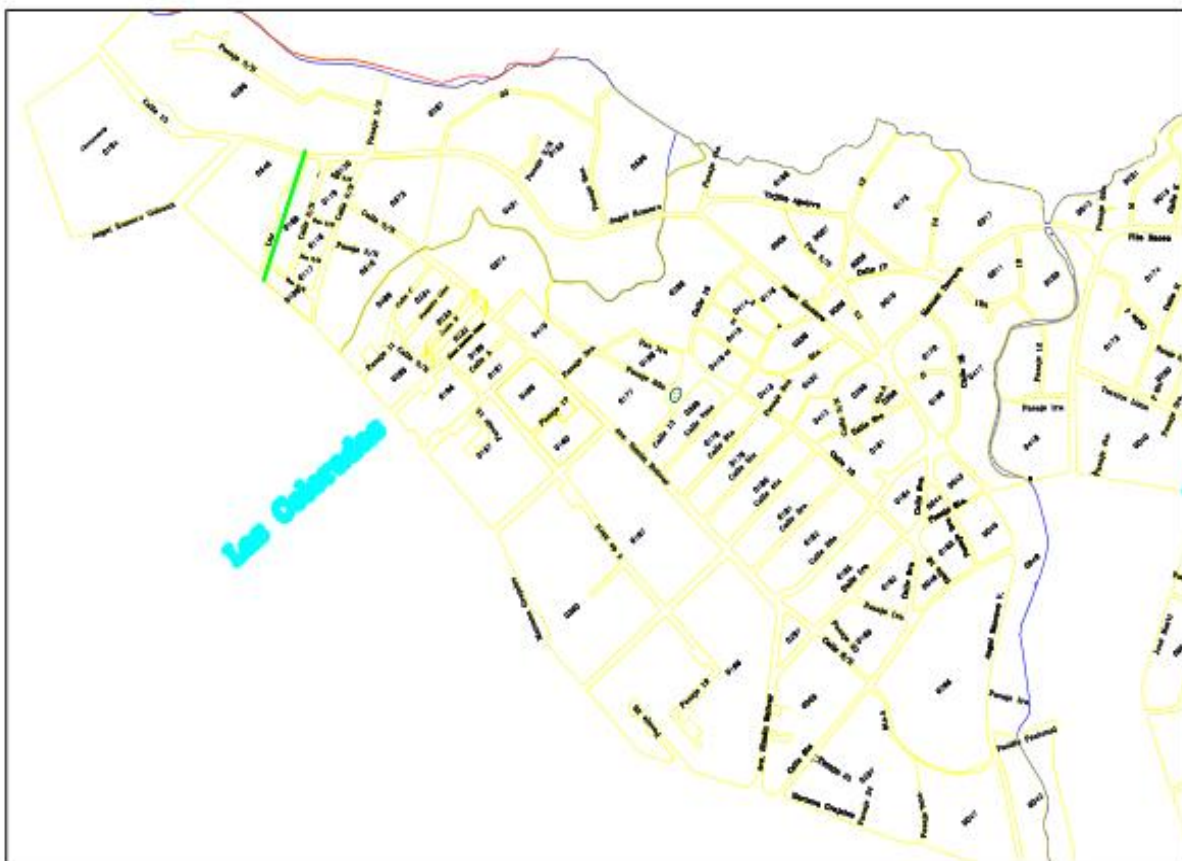
14. L. Domínguez. (2005). Potencial Geológico y Geomorfológico de la región de Moa para la propuesta de un modelo de gestión de los sitios de interés patrimonial. Moa, Holguín, Cuba: ISMMM.
15. Lisa Mandle, R. G.-D. (s.f.). Gestión de las dependencias y de los efectos sobre los servicios ecosistémicos para inversiones sostenibles en infraestructura vial. Carreteras y capital natural.
16. Morgan, R. (2005). Soil erosion and conservation. National Soil Resources Institute.
17. Ofiolítico Moa-Baracoa: un ejemplo de interacción magma/peridotita. Revista de la Sociedad Geológica de España, 12(3-4): 309-327, 1999b.
18. Proenza, J. y N.M. Carralero. Un nuevo enfoque sobre la geología de la parte sur de la cuenca de Sagua de Tánamo. Minería y Geología, 11: 3-10, 1994.
19. Proenza, J.; F. Gervilla; J.C. Melgarejo. La Moho Transition Zone en el Macizo
20. Proenza, J.; J.C. Melgarejo; F. Gervilla. La faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba oriental): una litosfera oceánica modificada en una zona de suprasubducción cretácica. En: Tercera Conferencia Internacional sobre Geología de Cuba, el Golfo de México y el Caribe Noroccidental, 2000.
21. Proenza, J.; J.C. Melgarejo; F. Gervilla; J. Solé. Los niveles de gabros bandeados en el macizo ofiolítico Moa-Baracoa (Cuba). Gabros característicos de cumulos de ofiolitas de zonas de suprasubducción. Minería y Geología, 16 (2): 5-12, 1999c.
22. Quintas, F. Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMMM, 1989. 161p.
23. Quintas, F.; J. Proenza; J.L. Castillo. Análisis tectono-sedimentario de la paleocuenca Sabaneta. Minería y Geología, 12: 3-8, 1995
24. República., C. C. (2011). FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS (FOPAE). Cartilla básica de SAT (Sistemas de Alerta Temprana) ante inundaciones. , 9.

25. Ríos, Y.I. y J.L. Cobiella. Estudio preliminar del macizo de gabroides Quesigua de las ofiolitas del este de la provincia de Holguín. *Minería y Geología*, 2: 109-132, 1984.
26. Rodríguez, A. (1998). Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. . Moa: ISMMM.
27. Rodríguez, A. Estilo tectónico y geodinámico de la región de Moa. *Minería y*
28. Rodríguez, A. Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa (Tesis doctoral) 19p, 1998a.
29. Rodríguez, R. Estudio petrológico de las rocas de afinidad ofiolítica portadoras de ilmenita en la zona de Cayo Grande en el macizo Moa-Baracoa. Tesis de Maestría. Centro de Información. ISMMM, 2000. 69p.
30. Tiposde. (s.f.). Recuperado el 10 de abril de 18, de <https://tiposde.eu/tipos-de-erosion>
31. Torres, M. Característica de la asociación ofiolítica de la región norte de Moa-Baracoa y su relación con el arco volcánico Cretácico. Trabajo de Diploma. Centro de Información. ISMMM, 1987.
32. UNIVERSIDAD NACIONAL D. Criterios metodológicos mínimos para la elaboración e interpretación cartográfica de zonificaciones de amenaza por inundaciones fluviales para el territorio colombiano. (2010). UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Sede Medellín., 46.
33. Velandia, J. C. (2014). LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES EN LAS INUNDACIÓN DE COLOMBIA: UNA MIRADA CRÍTICA .
34. Wikipedia. (s.f.). Recuperado el 10 de abril de 2018, de (https://es.wikipedia.org/wiki/Material_parental
35. Wikipedia. (s.f.). Recuperado el 10 de abril de 2018, de https://es.wikipedia.org/wiki/Procesos_geológicos

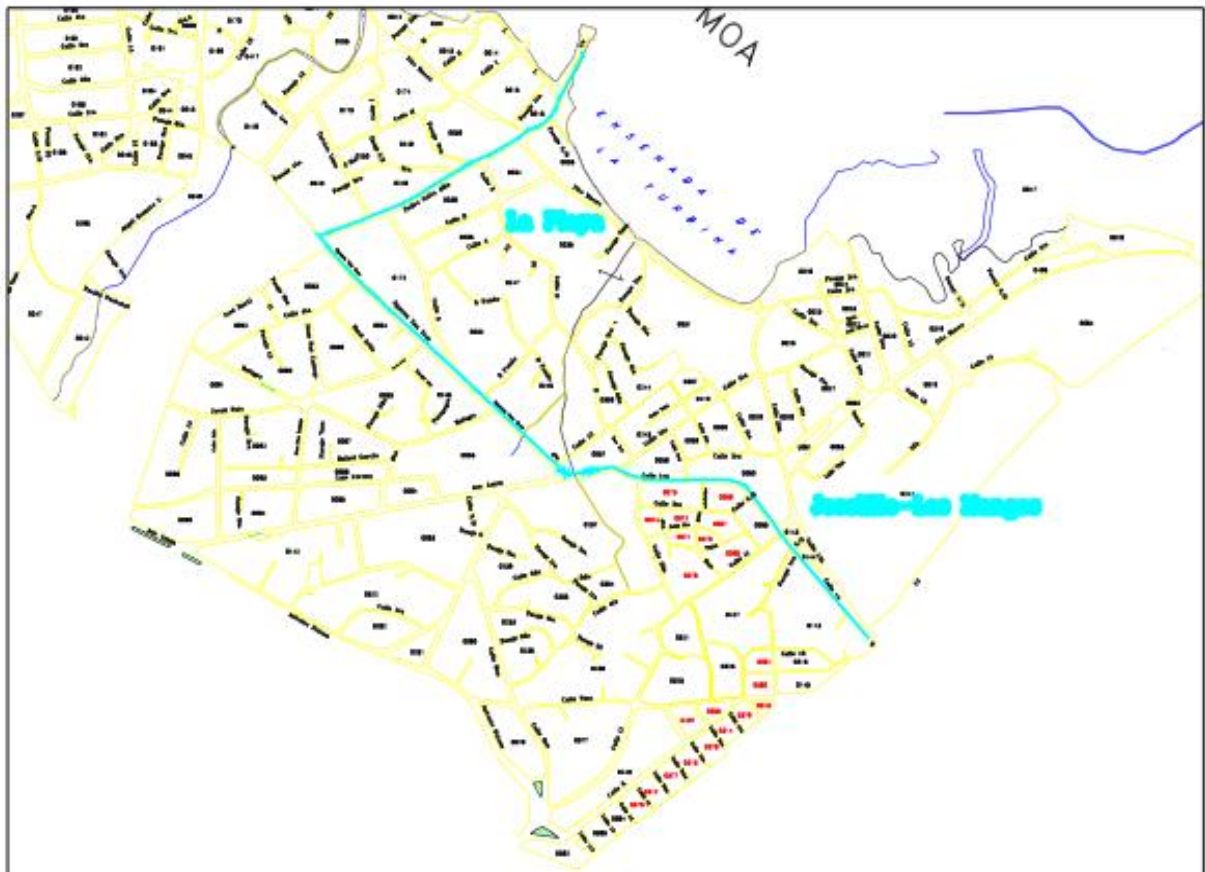
36. Wikipedia. (s.f.). Recuperado el 25 de marzo de 2018, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Inundación>)
37. Wikipedia. (s.f.). Recuperado el 25 de marzo de 2018, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Carretera>

ANEXOS

Anexo 1. Plano Consejo Popular Las Coloradas, escala 1: 5000 (Instituto de Planificación Física municipal, 2010)



Anexo 2. Plano de los Consejos Populares La Playa, Los Mangos Joselillo escala 1: 5000 (Instituto de Planificación Física municipal, 2010)



Anexo 3. Erosión



a



b



c



d

a / b calle 10 Consejo Popular Las Coloradas,

c calle 13 Consejo Popular Las Coloradas

d calle Manuel Terrero Consejo Popular Las Coloradas

Anexo 4. **Sedimentación**



a

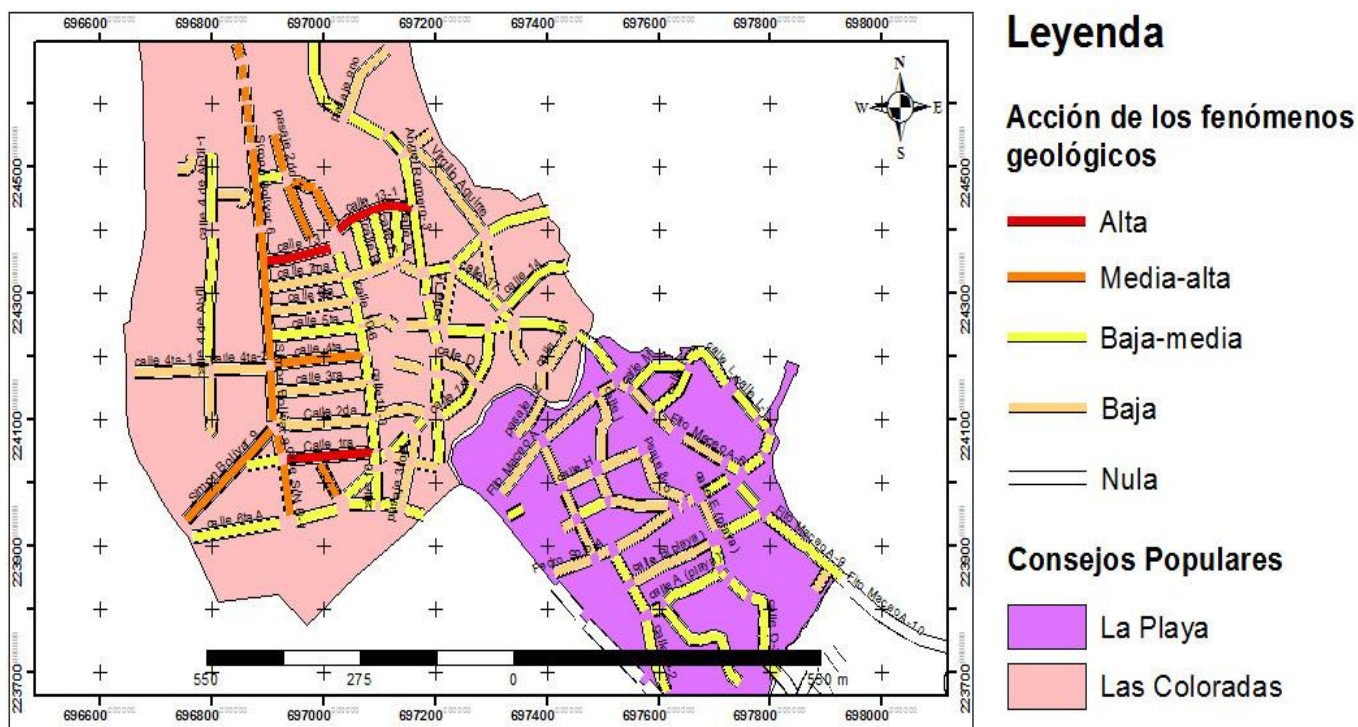


b

a calle 3ra Consejo Popular los Mangos,

b calle 4ta Consejo Popular los Mangos

Anexo 5. Mapa de la influencia de de los fenómenos geológico en el deterioro de los viales en los consejos populares Las Coloradas, La Playa, del municipio de Moa. (elaborado por J. Pérez y R. Hernández 2018)



Anexo 6. Mapa de la influencia de de los fenómenos geológico en el deterioro de los viales en los Consejos Populares Los Mangos y Joselillo, del municipio de Moa. (elaborado por J. Pérez y R. Hernández 2018)

