

**Facultad: Geología y Minería
Departamento de Geología**

Trabajo de Diploma

**En opción al Título de
Ingeniero Geólogo**

**Título: Mapa geomorfológico preliminar
del municipio Mayarí a escala 1: 100 000**

Autor: Sergio Greenidge Moro

Tutora: Dra. Alina Rodríguez Infante



Pensamientos

Tanto si piensas que puedes como si piensas que no puedes, de cualquier modo está en lo cierto.

Henry Ford.

En la vida hay tres clases de personas: las que saben contar y las que no.

Homer Simpson.

Alea jacta est.

Julio César.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas, que de forma directa o indirecta han contribuido con mi formación y con la realización de este trabajo de Diploma.

Gracias:

- A mis padres, Lourdes y Sergio, por ser la vela y el timón de todos mis deseos y aspiraciones.
- A toda mi familia por el cariño que me han brindado. Mi abuela Silvia, mi tía Juana y mis primos Deyi, Marianita, Alexey y Kikito; y muy especialmente a mis abuelos Nilda y Pablo, y a mi tía Loida por sus desmedidos sacrificios.
- A mi tutora Alina por cada consejo, por su confianza y por enseñarme a amar esta ciencia.
- A todos los profesores del Departamento de Geología, por ser motivo de inspiración y superación. En especial a Yurisley y Beatriz por toda su ayuda y apoyo durante la carrera.
- A mis compañeros de aula por todos los momentos vividos, cada uno, de singular provecho. Sin su presencia el curso hubiera sido un poco aburrido.
- A todos los integrantes del Taller IRSE de GEOCUBA, Yaniuska, Yulita, Yoni, Dania, Félix, Alexander, Tatiana, Daisy, Denia y en especial a Yaneisi y Arnaldo por su tiempo y dedicación.
- A las amistades que tengo el privilegio de tener hace años: José Luis, Robertico, Lachi, Raulito, Alexi, Frank, Lula, Daysel; y a Lisette por todo lo que representa. A los amigos que quedaron del IPVCE.
- A las fuertes amistades que hice en la universidad: Carlos, José Carlos, José Ángel, Daniel, Polier, Yuri, entre otros.
- A Lesly por todo su amor y comprensión, a Viviana por su ayuda. A Vivi, Bea, David y Lili.

Dedicatoria

Les obsequio este trabajo de Diploma a mis padres como resultado de todo el amor cariño y empeño que me han dedicado.

Le dedico esta tesis a mi abuelo Bernardo y

A todas las personas que han hecho de las ciencias geológicas un mundo tan apasionante.

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo determinar los tipos de relieve que componen el municipio Mayarí, para la confección de su mapa Geomorfológico preliminar a escala 1: 100 000. Para esto se digitalizaron las hojas topográficas que conforman el área de estudio, obteniendo el modelo digital de la misma. Siguiendo la “Metodología para hacer trabajos geológicos” de la empresa GEOCUBA Oriente Norte, se procesó dicho modelo, con el que se generaron los parámetros morfométricos empleados en el estudio. Los métodos morfométricos y el análisis de la red de drenaje fueron los únicos métodos geomorfológicos empleados en la confección del mapa geomorfológico. Cada índice morfométrico fue representado gráficamente en un mapa, permitiendo el análisis cualitativo y cuantitativo de las irregularidades del terreno. De la interpretación de estos mapas se obtuvo un mapa Geomorfológico preliminar a escala 1: 100 000, en el que se presentan varios morfoalineamientos que pudieran constituir estructuras disyuntivas, y se determinan 10 de sectores de relieve según tres niveles jerárquicos de clasificación: categoría morfoestructural, genética y rasgos distintivos. Los resultados obtenidos demuestran que el área de estudio presenta una alta complejidad geomorfológica, donde la tectónica es el controlador principal de las morfoestructuras y procesos geológicos imperantes.

Abstract

Present investigation aims at determining the types of relief that they compose Mayari municipality, for the confection of his preliminary Geomorphologic map to scale 1: 100 000. Ad hoc, they digitized the topographic sheets that conform the study area, getting the digital model from the same. Following the Methodology to do Geological works the company's GEOCUBA North Orient, processed his model saying, the one with which the morphometric parameters were generated used in the study. Methods morphometric and the analysis of the drainage system were the only one geomorphologies methods used in the confection of the geomorphologic map. Each morfométrico index was represent graphically on a chart in a map, permitting the qualitative and quantitative analysis of the irregularities of the lot. Of the interpretation of these maps was obtain a preliminary Geomorphologic map to scale 1:100000, the one in which new disjunctive structures are proposed and they determine 10 types of relief according to three hierarchic levels of classification: morfoestructural category, genetics and distinctive features. The obtained results prove that the area of study presents a loud geomorphologic complexity, where tectonics is the principal control of the morph structures and geological prevailing processes.

ÍNDICE

Introducción.....	1
Capítulo I: Características físico geográficas y geológicas generales.....	5
1.1 Características físico-geográficas del área de estudio.....	5
1.2 Caracterización geomorfológica de la región	10
1.3 Geología regional y local.....	11
1.3.1 Procesos y fenómenos geodinámicos	19
1.3.2 Condiciones geoambientales regionales	21
1.4 Estado del Arte.....	22
1.5 Referencia teórica y metodológica	24
Capítulo II: Metodología y volumen de los trabajos proyectados	26
2.1 Metodología de la investigación	26
2.2 Métodos utilizados y su procesamiento	29
2.2.1 Métodos morfométricos	30
2.2.2 Procesamiento del mapa geomorfológico.....	36
Capítulo III: Interpretacion y representación de los resultados obtenidos	37
3.1 Interpretación de los mapas.....	37
3.1.2 Mapa Hipsométrico	37
3.1.3 Mapa de Pendientes.....	39
3.1.4 Mapa de Disección vertical	42
3.1.5 Mapa de Disección horizontal.....	45
3.1.6 Mapas de Isobasitas	46
3.1.7 Mapa de la Red de drenaje superficial.....	50
3.2 Representación de las morfoalineaciones	52
3.3 Determinación y caracterización de los tipos de relieve.....	53
Conclusiones.....	60
Recomendaciones.....	61
Bibliografía	62
Anexos	67

INTRODUCCIÓN

Las diversas formas de manifestarse el relieve en la superficie terrestre han sido para el hombre, objeto de atención e incertidumbre. Desde la antigüedad, intentó darle explicación a sus inquietudes sobre las irregularidades terrestres. En un inicio estas explicaciones se basaban en ideas fantásticas o teístas, carentes de todo conocimiento científico.

El desarrollo de las modernas ideas geomorfológicas comenzó hacia el siglo XVI, con los trabajos de Leonardo Da Vinci (1452-1519) y de los franceses Desmanest, Buffon y Guetthard (siglo XVIII), sobre el origen de los valles fluviales, llegando a la conclusión que estos habían sido originados por los propios ríos que los cruzaban a través de un lento proceso erosivo.

Varios fueron los estudios e investigaciones que antiguos naturalistas y fisiógrafos realizaron en el mundo sobre las características y procesos de la superficie de la Tierra. Los quehaceres geológicos llevados a cabo por Nicolás Steno (1638-1686), William Smith (1769-1839), y los científicos británicos de los siglos XVIII y XIX, James Hutton (1726-1797), John Playfair (1748-1819), Charles Lyell (1797-1875), entre otros, fueron medulares para la formación de un basamento científico del conocimiento geológico; el cual dentro del marco conceptual de la geomorfología la fue enriqueciendo poco a poco.

En Cuba al igual que en el mundo los trabajos geomorfológicos no surgieron de forma independiente, sino que fueron desarrollándose conforme se iba ampliando el conocimiento geológico del archipiélago. Uno de los primeros estudios geológicos realizados en la isla con rigor científico, tuvo lugar en la época de la colonia, cuando los ingenieros Manuel Fernández de Castro y Pedro Saltaraín y Lagarra publicaron en 1869 en Madrid el *Croquis geológico de Cuba*. En este periodo al igual que en la neocolonia, se sucedieron disímiles trabajos, enfocados principalmente a la búsqueda de recursos minerales para su aprovechamiento.

Luego del triunfo de la revolución se realizaron innumerables estudios geológicos: petrológicos, geodinámicos, geoquímicos, de prospección, exploración y

explotación de yacimientos minerales, ingeniero geológico e hidrogeológicos; tanto a escala regional como local. En alguno de estos, especialmente en los realizados por las brigadas cubano húngaras (proyectos CAME), se ejecutaron análisis geomorfológicos de los polígonos designados, sin embargo, los levantamientos geomorfológicos de la región e incluso del país son muy escasos y antiguos.

En 1976 se inició por el Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba, la creación del Mapa Geomorfológico a escala 1:100 000 del territorio nacional, respondiendo a la necesidad de profundizar el conocimiento de las peculiaridades geomorfológicas del país, lo cual solo podría lograrse con la realización de un levantamiento detallado. Estos trabajos no pudieron culminarse por la falta de recursos y de asesoría científico-técnica; privando de esta forma al territorio cubano, de un mapa geomorfológico unificado y detallado, que sirviera de soporte para la planificación de soluciones a los futuros problemas de urbanismo, obras públicas, erosión, medio ambiente y agricultura; así como los procesos geodinámicos que pueden ser susceptibles de convertirse en riesgo geológico. Es por ello y por los nuevos cambios sociales, ambientales y de desarrollo experimentados en nuestro país, que se retoma el proyecto nacional de la confección del *Mapa Geomorfológico de la República de Cuba* a escala 1: 100 000. El mismo fue licitado al Taller de Investigaciones Regionales y Servicios Especializados (IRSE) de la Agencia de Servicios Especializados y Medio Ambiente (ASEMA) de GEOCUBA Oriente Norte. El proyecto se encuentra en su etapa inicial por lo que el mapa creado en la presente investigación es un mapa prototipo o preliminar. Para el IRSE es de interés primario comenzar creando el mapa geomorfológico de los municipios Mayarí y Banes, considerados zonas piloto, pues la suma de estos resume importantes tipos de relieve presentes en la isla; desde los sistemas montañosos hasta la franja costera.

Como parte de este proyecto se inserta esta investigación, enmarcada en el municipio Mayarí.

El municipio Mayarí situado en el nordeste holguinero posee importantes yacimientos de laterita ferroniquelíferas, formados a partir de una intensa meteorización química, principalmente en la meseta Pinares de Mayarí. El beneficio de estos yacimientos ha generado toda una infraestructura minero metalúrgica y un crecimiento urbano en su geografía. Estos yacimientos han sido por varios años objeto de una minería invasiva, que ha modificado en gran medida el relieve del territorio y la geodinámica superficial del mismo, no existiendo un estudio geomorfológico que permita evaluar la magnitud de las transformaciones ocurridas y sirva de sustento en la proyección de su desarrollo social e infraestructural.

Lo anterior evidencia la necesidad de crear el mapa geomorfológico del municipio de Mayarí a escala 1: 100 000, lo que constituye el problema de la presente investigación.

Objeto: Relieve del municipio Mayarí.

Objetivo: Realizar el Mapa geomorfológico del municipio Mayarí a escala 1: 100 000.

Campo de acción: Geoformas y morfoestructuras del municipio Mayarí, y sus procesos activos.

Para dar cumplimiento al objetivo general propuesto se establecen como,

Objetivos específicos:

1. Determinar e interpretar los índices morfométricos del área de investigación
2. Establecer y caracterizar las geoformas y morfoestructuras que conforman el relieve del municipio Mayarí.

Hipótesis: Si se determinan los índices morfométricos y mediante su interpretación delimitamos y caracterizamos las morfoestructuras presentes en el área de estudio, se podrán definir los tipos de relieve de la misma, para la confección de su mapa geomorfológico preliminar a escala 1: 100 000.

El mapa geomorfológico de Mayarí además de dar cumplimiento a los planes del proyecto dirigido por el IRSE, permitirá enfocar y evaluar los cambios en la morfología, y ordenamiento territorial del municipio.

CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS GENERALES

1.1 Características físico-geográficas del área de estudio

1.2 Caracterización geomorfológica de la región

1.3 Geología regional y local

1.4 Estado del arte

1.5 Referencia teórica y metodológica

1.1 Características físico-geográficas del área de estudio

El municipio Mayarí, se localiza en la parte centro–este de la provincia Holguín. Al norte limita con la Bahía de Nipe y el Océano Atlántico, además de los municipios Banes y Antilla, al sur con la provincia de Santiago de Cuba (municipios Julio Antonio Mella, San Luis y Segundo Frente), al este el municipio Frank País y al oeste los municipios Cueto y Báguanos. Su extensión territorial es de 1 310.6 km² (Fig. 1).

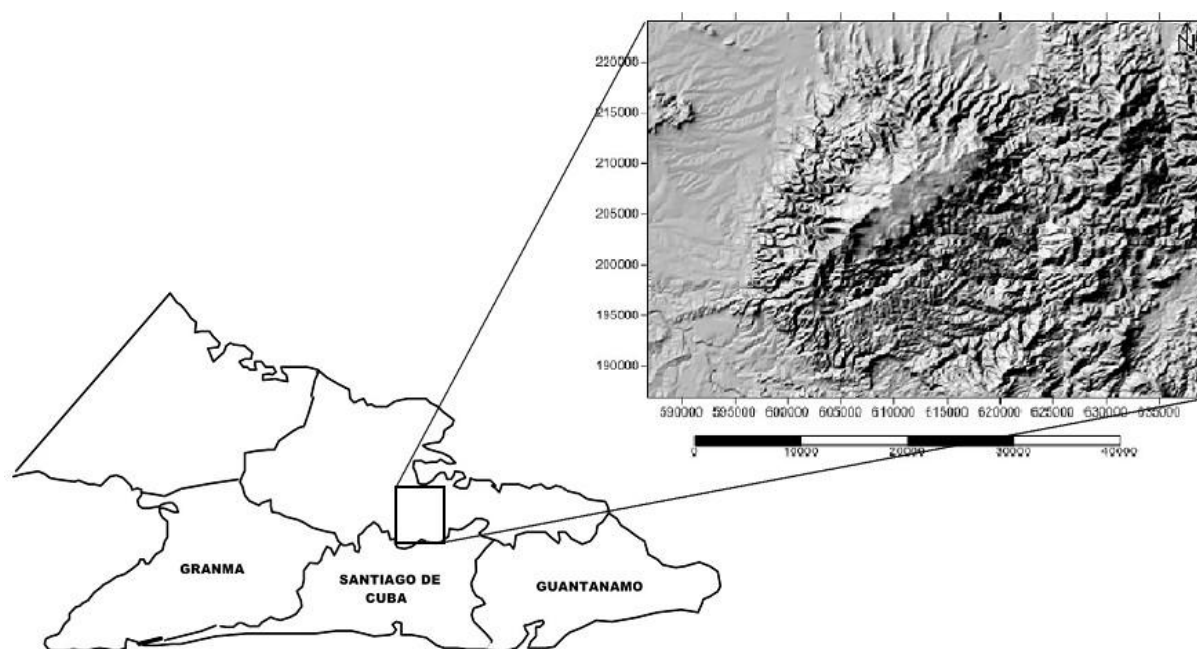


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio.

Características socioeconómicas de la región

El municipio cuenta con 108 534 habitantes y una densidad poblacional de 80.1 hab/km²; el 62.7 % de la población es urbana. La cabecera municipal es la ciudad de Mayarí con alrededor de 60 000 habitantes. Existen además, 134 lugares habitados, otros centros urbanos importantes son: Levisa, Nicaro, Guatemala, Guaro, Felton, Cosme y Caridad.

Mayarí ocupa el segundo lugar en la provincia en habitantes y el primero en extensión territorial. Además es el tercero del país en población entre los municipios que no son cabeceras de provincias, solo superado por Contramaestre y Cárdenas. Su población representa el 10.2 % del total de la provincia, se sitúa en el lugar 26 en cuanto a población y fondo habitacional del país y solo en su tipo es superado por los municipios Palma Soriano y Manzanillo y en extensión territorial es el 8^{vo} de Cuba.

El municipio Mayarí presenta un notable desarrollo Industrial. En su territorio se encuentran la Central termoeléctrica "Lidio Ramón Pérez", puesta en marcha en la década de los 90 del siglo XX, que es la de mayor capacidad de generación de Cuba (560 Mega Watts); además de la fábrica "René Ramos Latour" (actualmente fuera de servicio), de Nicaro, productora de Níquel; y la fábrica de plásticos Cajimaya, entre otras.

La actividad económica fundamental se sustenta en la generación de electricidad, plásticos y accesorios, agricultura no cañera, la ganadería vacuna, la actividad extractiva y forestal, la silvícola, la cafetalera, el comercio, la gastronomía y los servicios, la construcción, la producción alimentaria, las investigaciones, el transporte, así como la actividad de la salud, la cultura, el deporte, la educación y la actividad de los servicios comunales y personales entre otros.

Particularidades climáticas de la región

Los regímenes de temperatura y precipitación son los elementos climáticos que por excelencia caracterizan el clima de una región. La provincia Holguín a partir de los regímenes medios de temperatura y precipitación cuenta con tres zonas climáticas: costera (abarca la zona costera de los municipios de Gibara, Rafael Freyre, Banes,

Antilla, Mayarí, Frank País y Moa), montañosa (zona montañosa de los municipios del este de la provincia que pertenecen al macizo Nipe-Sagua-Baracoa) e interior a la que pertenecen el resto de los municipios (Pérez Rivas y Hidalgo Mayo). El municipio Mayarí abarca las dos primeras zonas climáticas.

Zona Costera: La temperatura media del aire oscila entre 24-28°C (Fig. 2) y los acumulados anuales de precipitación se encuentran entre 800-1 200 mm (Fig. 3). En esta zona se alcanzan las mayores velocidades del viento para la provincia con valores que superan los 22.8 km/h durante el período noviembre- abril, la dirección predominante durante todo el año del ENE-E (más del 60 % de los casos), mientras la frecuencia de calmas no excede el 15% (Pérez Rivas y Hidalgo Mayo).

Zona Montañosa: La temperatura media del aire oscila entre 18-22°C (Fig. 2) y los acumulados anuales de precipitación superan los 1 200 mm (Fig. 3). En esta zona se alcanzan los valores más bajos de la velocidad del viento para la provincia con registros que no superan los 10.8 km/h durante el período noviembre-abril, la dirección predominante tiene gran variación con valores de 17.7 %, 12.9% y 12.1 % en las direcciones del NE, E y SE respectivamente, en tanto la frecuencia de calmas excede el 30 % de los casos (Ibíd.).

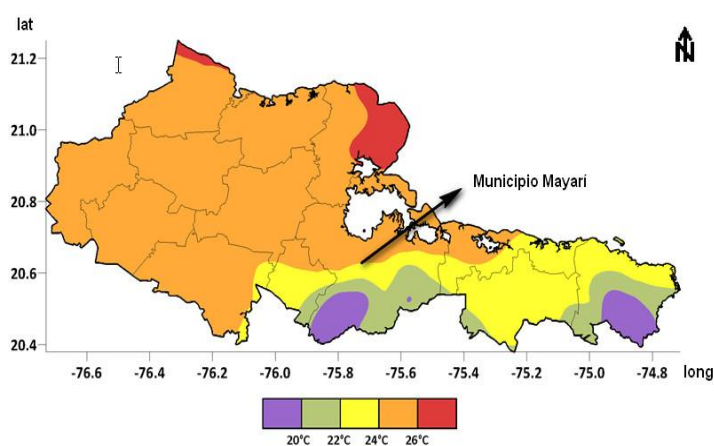


Figura 2. Distribución anual de la temperatura media del aire en la provincia Holguín según la norma climática 1981-2010 (Ibíd.).

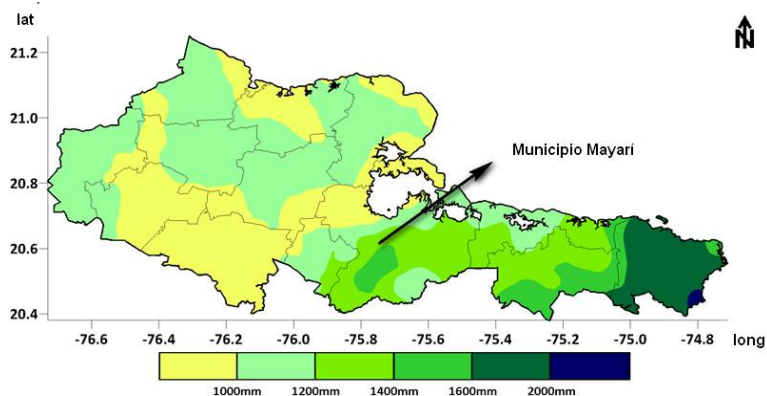


Figura 3. Distribución anual de los acumulados de precipitación en la provincia Holguín según la norma climática 1981-2010 (Ibíd.).

La humedad relativa del aire en el municipio es de 84.1 %, siendo esta superior a la media normal (80 %), lo cual demuestra que se está en presencia de una zona con características climáticas húmedas, determinadas por la abundancia de lluvias caídas, así como las bajas temperaturas que reinan durante casi todo el año (Ibíd.).

La clasificación de Köppen- Geiger a partir de la configuración y la disposición de los sistemas montañosos, y los índices de temperatura y precipitaciones; permite distinguir cinco tipos de clima (Fig. 4).

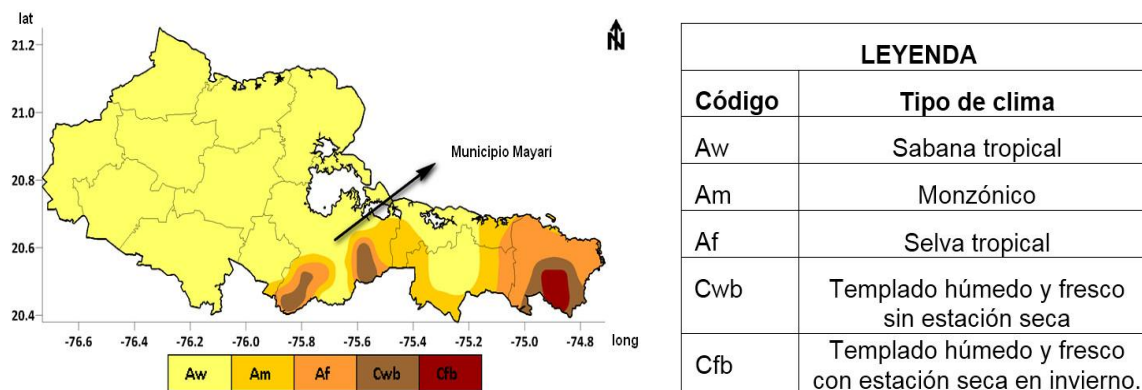


Figura 4. Regionalización climática mediante la clasificación de Köppen-Geiger de la provincia Holguín según la norma climática 1981-2010 (Ibíd.).

El área de estudio hacia su mitad norte y centro-sur presenta un clima del tipo sabana tropical (Aw), al este y parte del sureste aparecen franjas de un clima tipo monzónico (Am). Al sur del municipio se presentan porciones de un clima de tipo selva tropical. El clima de tipo templado se muestra en las regiones montañosas de alturas superiores a 500 m.s.n.m., representadas en el territorio por la sierra de Nipe; donde el clima es templado húmedo y fresco sin estación seca (Cwb).

Vegetación

La vegetación natural actual de la región se encuentra altamente afectada por la actividad antrópica. El resto de las áreas está ocupado por matorrales secundarios y vegetación cultural.

Bosque Tropical Aciculifolio (Pinar con *Pinus cubensis*): En el área de estudio los pinares ocupan las montañas pequeñas desde los 500 m de altura, en los macizos montañosos Sierra de Nipe – Cristal.

Bosques Tropicales Latifolios (Bosque siempre verde mesófilo de baja altitud): Se ubican principalmente en la zona de premontaña y submontaña sobre suelo pardo sin carbonato.

Bosque semideciduomesófilo (Matorral secundario con bosques y comunidades herbáceas): Estos ocupan parte de las alturas de rocas sedimentarias carbonatadas.

Matorral Tropical Latifolio (Xeromorfosubespinoso sobre serpentinita (Charrascal)): Se encuentra en las premontañas y submontañas formadas por serpentinita hasta una altura de 450 m.s.n.m.

Complejo de Vegetación de Mogote: Se encuentra en las alturas de rocas sedimentarias carbonatadas sobre suelos pardos con carbonatos.

Manglar: Ubicado en la llanura fluvio-marina, deltáica sobre suelos hidromórficos, pantanosos y turbosos.

Muchos de estos bosques han sido afectados por la actividad antrópica transformándolos para la utilización de los suelos en la agricultura, la ganadería, la minería, construcción de obras hidráulicas y la explotación de los recursos forestales sin tener en cuenta su importancia para la conservación de los suelos y la estabilidad en los taludes y los ecosistemas que ocupan.

1.2 Caracterización geomorfológica de la región

La geomorfología del municipio Mayarí está compuesta por dos macizos montañosos, sierra de Nipe y la porción oeste de la sierra Cristal. Su relieve ha sido condicionado tectónicamente, donde se refleja las particularidades de la compleja estructura geológica obtenida como resultado de los movimientos compresivos de la orogenia cubana y las adquiridas en la etapa neotectónica. En la sierra de Nipe se encuentra la mayor elevación del territorio, la Mensura, con 995 m.s.n.m. Se encuentran diferentes categorías geomorfológicas determinadas por las diversas amplitudes de los movimientos neotectónicos como son las montañas, las alturas y las llanuras. Las montañas son el resultado de ascensos neotectónicos moderados e intensos (CISAT, 2007).

En la zona de estudio van a encontrarse los siguientes escalones morfoestructurales:

Montaña pequeña, de horst-bloque, aplanada, diseccionada, masiva, con una altura de 500 a 995 m.s.n.m. sierra de Nipe. En ella se encuentran varias superficies de nivelación de génesis denudo-acumulativa de edad Mioceno-Plioceno al que está asociado el yacimiento Mina Pinares (Alfonso Olivera, 2013).

Montañas bajas, aplanadas, diseccionadas, con una altura de 500 a 750 m.s.n.m., donde se encuentra una superficie de nivelación de génesis denudo-acumulativa de edad Cuaternaria, al que está asociado el yacimiento Mina Ocuja-La Ramona (Alfonso Olivera, 2013).

Premontañas, aplanadas, ligeramente diseccionadas, con una altura de 300 a 400 m.s.n.m. A ellas está asociada la altura media, que es de 307 m.s.n.m. (Ibíd.).

Premontañas y submontañas, de bloque en plegamientos, diseccionados, con una altura de 200 a 300 m.s.n.m. (Ibíd.).

Alturas que ocupan pequeñas áreas asociadas a los sistemas montañosos, son el resultado de ascensos neotectónicos débiles y moderados con una altitud de hasta 300 m.s.n.m. En el área constituyen las alturas de Mayarí, varias alturas ubicadas a lo largo de la cuenca del Río Mayarí como son: Seboruco, con 106 m.s.n.m., Sabaneta, con 106 m.s.n.m., Colorado, con 100 m.s.n.m., entre otras, (Ibíd.).

Las llanuras ocupan gran parte del territorio y corresponden a las zonas de descenso relativo o de ascensos neotectónicos más débiles, cuyas amplitudes son inferiores a los 100 m (Ibíd.).

1.3 Geología regional y local

Iturralde-Vinent (1998) resume la constitución geológica de Cuba a partir de dos niveles estructurales principales: el substrato plegado (orógeno cubano) y el neoa autóctono (Fig. 5). El substrato plegado está constituido por terrenos tanto de naturaleza continental como oceánica. Los componentes del orógeno cubano son alóctonos y fueron acrecionados en el borde meridional de la placa norteamericana entre el Cretácico y finales del Eoceno. El neoa autóctono está representado por las rocas y estructuras originadas a partir del Eoceno Superior, que se desarrollaron básicamente en el mismo lugar que hoy ocupa el territorio de Cuba.

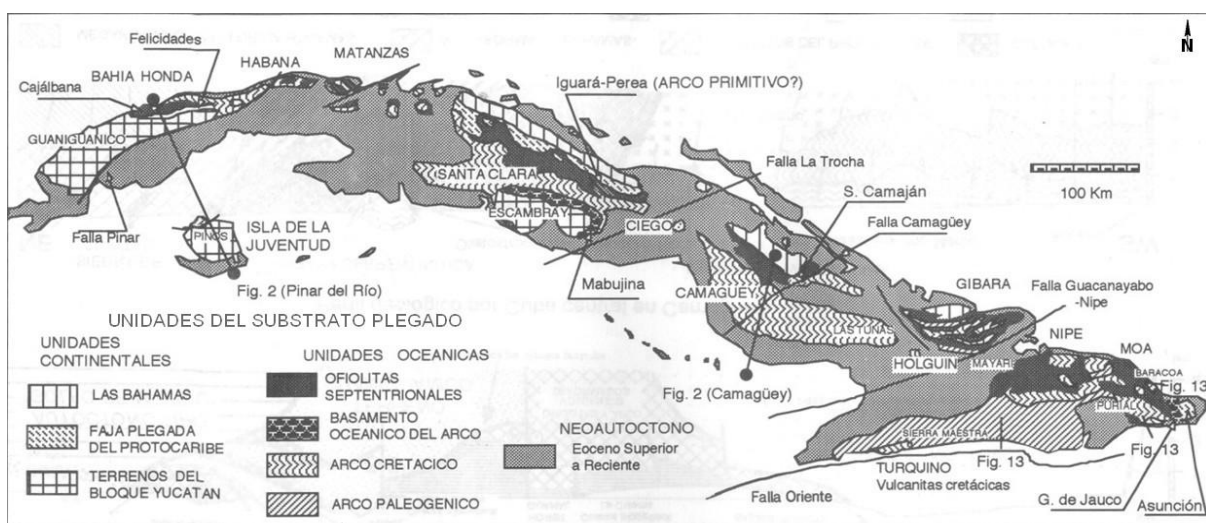


Figura 5. Esquema geológico generalizado con los niveles estructurales de Cuba. Tomado de (Iturralde-Vinent, 1998) y modificado por el autor.

El municipio Mayarí se encuentra conformado por unidades del neoa autóctono y del substrato plegado, este último representado por las ofiolitas septentrionales del complejo ofiolítico Mayarí–Baracoa.

Las ofiolitas del cinturón septentrional, afloran como una serie de cuerpos alargados en la mitad norte de la isla de Cuba, entre Cajalbana al oeste y Baracoa al este (Fig. 5), formando potentes cuerpos de rocas muy deformadas, que en la literatura geológica cubana se han denominado melanges. Dichos cuerpos deformados

incorporan fragmentos y escamas de los macizos infra y suprayacentes (Iturralde-Vinent, 1996). Las ofiolitas tienen distintas maneras de presentarse en superficie: como fajas estrechas muy deformadas asociadas a zonas de fallas, o bien como mantos tectónicos de diversa potencia. Las fajas estrechas se conocen bien, por ejemplo, a lo largo de la falla Pinar. Los mantos tectónicos de ofiolitas pueden presentar la “estratigrafía” interna del macizo bien preservada (como en Camagüey y Mayarí) o presentar un intenso grado de desmembramiento y mezcla con otras unidades geológicas como en Bahía Honda, La Habana, Matanzas y Holguín (Iturralde-Vinent, 1998).

La faja de Mayarí-Baracoa desde el punto de vista de sus deformaciones, se puede visualizar como una gran brecha con una clara zonalidad vertical. Hacia la base del cuerpo son más comunes las fábricas trituracionales y foliar, y se presentan muchas inclusiones de las rocas subyacentes. Hacia arriba en los cortes se encuentran enormes bloques con fábrica brechosa. El volumen principal del macizo está integrado por los complejos del Fundamento Melanocrático (Iturralde-Vinent, 1996).

Las litologías del macizo Mayarí-Baracoa están asociada principalmente al Complejo Cumulativo compuesto por cúmulos máficos (gabros olivínicos, noritas, troctolitas y anortositas) y ultramáficos (lherzolitas, websteritas, harzburgitas y raras dunitas), todos serpentinizados. Ocasionales cuerpos podiformes y venas cortantes de cromititas. Diques de gabroides, plagioclasitas y plagiogranitos. En la parte superior de la sección puede aparecer un cuerpo potente de gabros isotrópicos. Cerca de Mayarí, los diques de diabasas tienen pocos centímetros de espesor y se encuentran en haces paralelos entre las ultramafitas, a distancias de 1 a 5 metros uno de otro, con una inclinación de unos 50°-70° (Iturralde-Vinent, 1998).

En el área también se distinguen rocas carbonatadas y terrígeno carbonatadas sobreyaciendo a las ultramafitas serpentinizadas del complejo intrusivo del Cretácico Superior.

En Mayarí la geología se describe según el Mapa geológico 1: 100 000 tomado del Instituto de Geología y Paleontología (I.G.P.), el cual constituirá la base informativa geológica, para los trabajos geomorfológicos realizados (Fig. 6).

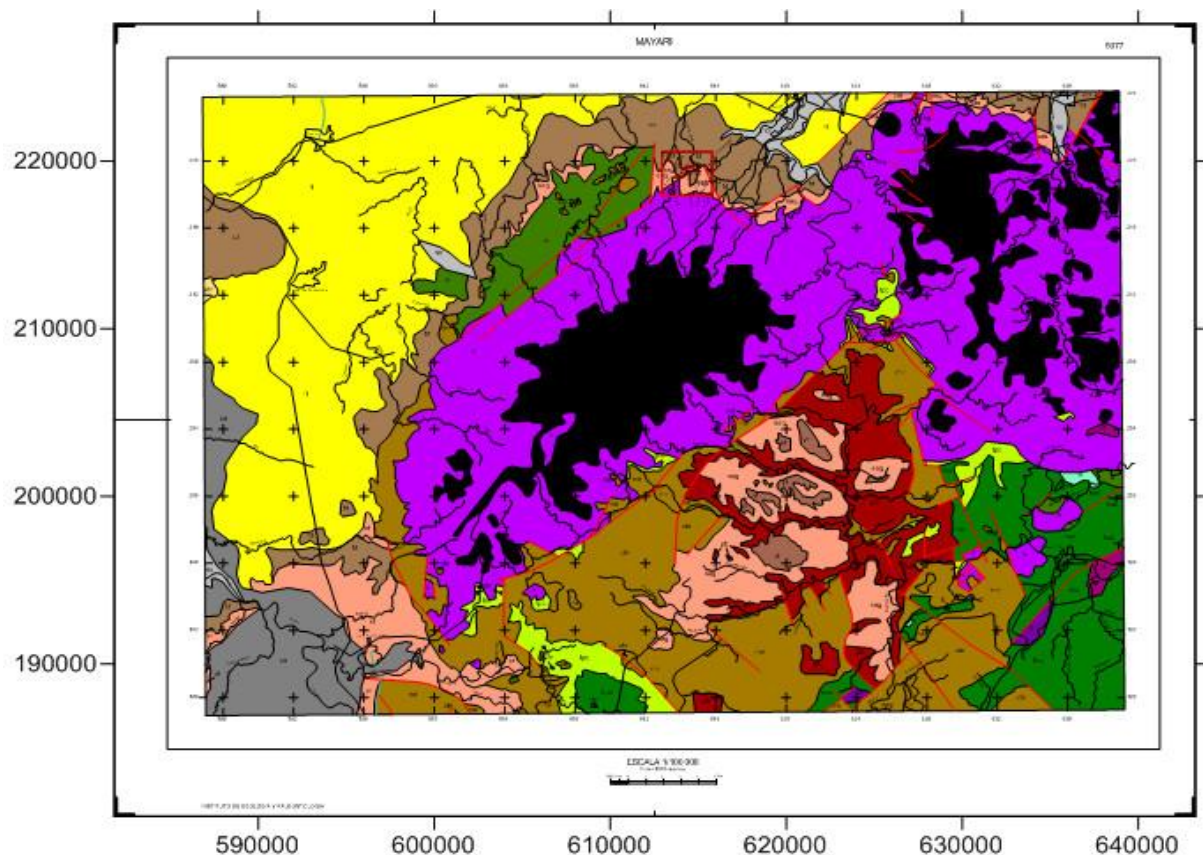


Figura 6. Mapa Geológico del área de estudio. Leyenda (Anexo 1).

Rocas serpentinizadas del Complejo Ofiolítico: Constituidas por harzburgitas y peridotitas. Se han datado con una edad de Jurásico-Cretácico Temprano (Iturralde-Vinent, 1996). Se considera que estas rocas serpentinizadas poseen un espesor superior a los 1000 m, se presentan en forma de escamas tectónicas muy fracturadas (Fonseca et al., 1985).

Depósitos Río Macío: Está integrada por depósitos en valles aluviales de composición y granulometría heterogénea. Los cuales están formados por sedimentos arenosos, areno-arcillosos y conglomerados, estos últimos los conforman fragmentos de rocas ultramáficas serpentinizadas (peridotitas y harzburgitas). Mineralógicamente se pueden describir por la presencia de óxido e hidróxido de hierro y aluminio. Los minerales de hierro son hematita, goethita, magnetita, y de aluminio principalmente gibbsita. Las arcillas están representadas por montmorillonita. En la parte superior del perfil aparecen materiales orgánicos.

Formación Bitirí (Oligoceno Superior): Calizas algáceas de matriz fina, duras, compactas, carsificadas, que contienen ocasionalmente fragmentos de corales y grandes ejemplares del género *Lepidocyclina*. Presenta coloración que va del amarillo-grisáceo a pardusco. Las calizas presentan con frecuencia una cantidad variable de granos procedentes de rocas volcánicas, los cuales son lógicamente redepositados. El ambiente tectónico es el neoa autóctono (I.G.P., 2013).

Formación Camazán (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior.): Calizas coralino-algáceas (biolititas), calizas biodetríticas, a veces arcillosas, formando capas de 15 a 30 cm de espesor, con macroforaminíferos apreciables a simple vista; calcarenitas, calciruditas, limolitas calcáreas, con intercalaciones de margas y arcillas, ocasionalmente yesíferas. Coloración variable, amarillo, crema, marrón y gris. Se formó en el ambiente tectónico neoa autóctono (Ibíd.).

Formación Río Jagüeyes (Mioceno Inferior, parte alta-Mioceno Superior, parte baja): Limolitas, areniscas, gravelitas polimícticas de matriz arenácea a arcillosa, con cemento carbonático escaso o ausente y margas arcillosas y arenáceas, fosilíferas, alternando con calizas biodetríticas, calizas biohémicas, calcarenitas y arcillas. Las arcillas y limolitas pueden ser yesíferas. Predominan los colores crema, grisáceo y marrón. El ambiente tectónico es el neoa autóctono (Ibíd.).

Formación Mucaral (Eoceno Medio parte alta-Eoceno Superior), sinonimia de la invalidada Fm. Sagua, presente en el mapa: Secuencia terrígena compuesta principalmente por margas, margas arcillosas y margas calcáreas bien estratificadas, con intercalaciones frecuentes de calizas margosas, arcillosas y biodetríticas, más raramente de areniscas calcáreas. La secuencia, en su parte inferior, presenta intercalaciones frecuentes de margas y calizas tobáceas, de tobas y tufitas redepositadas que en varios lugares es subyacente. El ambiente tectónico es de neoplateforma (Ibíd.).

Formación Charco Redondo (Eoceno Medio): Calizas compactas organodetríticas, fosilíferas, de color variable, predominando los tonos blancos a grises verdosos. En la parte inferior del corte, son frecuentes las brechas, donde predomina la estratificación gruesa, mientras que en la parte superior predomina la estratificación fina. Es correlacionable con la Fm. Puerto Boniato. Se depositó en aguas marinas

poco profundas, en un ambiente sublitoral. Se formó en el ambiente tectónico neoa autóctono (Ibíd.).

Formación La Picota (Cretácico Superior): Conglomerados polimícticos con intercalaciones de areniscas polimícticas y conglomerados con brechas mal seleccionadas, que se intercalan con argilitas. Los clastos son predominantemente de diabasas y serpentinitas, calizas, rocas efusivas de composición media a básica, gabros, dioritas y piroxenitas. El tamaño de los fragmentos varía desde algunos centímetros hasta cientos de metros. La selección de los clastos es pobre y la matriz fragmentaria, de igual composición que la de los clastos. El ambiente tectónico es el substrato plegado. Unidades de naturaleza oceánica. Cuencas postvolcánicas y transportadas (piggy back) del primer ciclo (Ibíd.).

Formación Puerto Boniato (Eoceno Medio): Esta unidad está representada por una alternancia de calizas organodetríticas aporcelanadas, algáceas y margas, con intercalaciones finas de sílice, limolitas y lutitas. En su corte predominan las calizas, de forma subordinada está la presencia de tufitas y areniscas tobáceas calcáreas; cercanas al contacto con la Formación Caney se observan horizontes de rocas piroclásticas. Se formó en el ambiente tectónico de neoplataforma (Ibíd.).

Gabros del Complejo Ofiolítico: Los cuerpos de gabros forman grandes bloques y diques incluidos en el macizo ofiolítico, cuyos contactos con los otros tipos litológicos son generalmente tectónicos, las dimensiones de los cuerpos de gabros varían de uno a 3 km de ancho y de 10 a 15 km de longitud. Se estima que presentan un espesor medio de 500 m (Fonseca et al., 1985).

Formación Sabaneta (Paleoceno Inferior (Daniano, parte alta)-Eoceno Medio): Tobas de ácidas a medias, de colores claros, vitroclásticas, litovitroclásticas, cristalovitroclásticas con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados tobáceos, limolitas, margas, gravelitas, conglomerados vulcanomícticos y ocasionalmente pequeños cuerpos de basaltos, andesitas, andesito-basaltos y andesito-dacitas. Es muy característica, debido a la alteración de las tobas, la presencia de minerales del grupo de la montmorillonita (bentonita) y de las zeolitas (zeolitas). En las tobas, el promedio de vidrio volcánico es superior al 60 %. El ambiente tectónico es el substrato plegado. Arco volcánico del Paleógeno.

Formación Yateras (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior, parte baja): Areniscas de grano fino, conglomerados de cemento terrígeno, con clastos de calizas biodetríticas, calizas arrecifales, alternancia de calizas detríticas, biodetríticas y biógenas, de grano fino a grueso; estratificación fina a gruesa o masivas, muy duras, de porosidad variable, a veces aporcelanada. Por lo general, la coloración es blanca, crema o rosácea, menos frecuentemente amarronada (carmelitosa). Es frecuente la presencia de grandes foraminíferos (lepidocyclinas) en las calizas de la unidad. El ambiente tectónico es de neoplataforma (Ibíd.).

Formación Mícara Cretácico Superior (Maastrichtiano Superior)-Paleoceno Inferior (Daniano Inferior): Constituida por limolitas masivas, mal estratificadas; brechas; areniscas; arcillas y calizas. Secuencia olistostrómica compuesta por margas, areniscas, gravelitas y conglomerados. Los olistolitos son de brecha y ultrabasitas serpentinizadas. En su parte más alta, aparecen intercalaciones de tobas ácidas bentonitizadas y calizas (Ibíd.).

Formación Miranda (Paleoceno Inferior (Daniano, parte alta)-Eoceno Medio), sinonimia de la Fm. Sabaneta: Tobas de ácidas a medias, de colores claros, vitroclásticas, litovitroclásticas, cristalovitroclásticas con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados tobáceos, limolitas, margas, gravelitas, conglomerados vulcanomícticos y ocasionalmente pequeños cuerpos de basaltos, andesitas, andesito- basaltos y andesito-dacitas. Es muy característica, debido a la alteración de las tobas, la presencia de minerales del grupo de la montmorillonita (bentonita) y de las zeolitas (zeolitas). En las tobas, el promedio de vidrio volcánico es superior al 60 %. El ambiente tectónico es el substrato plegado. Arco volcánico del Paleógeno (Ibíd.).

Tectónica regional

Esta región se caracteriza por su actividad tectónica actual vinculada a la última etapa de evolución geólogo–tectónica de la isla, en la cual permanecen con un grado de actividad significativa los movimientos verticales y horizontales. La génesis de estos movimientos está vinculada con su ubicación en las proximidades de la zona de fallas Bartlett–Caimán, principal estructura tectónica activa de este territorio,

al tiempo que constituye el límite transformante entre las placas litosféricas Caribeña y Norteamericana (Alfonso Olivera, 2013).

Por las investigaciones sismotectónicas de la región, se comprobó que los movimientos recientes, condicionaron la desarticulación del territorio en un sistema de bloques tectónicos con un régimen peculiar de desarrollo, teniendo los límites de los bloques por lo general una naturaleza disyuntiva, destacándose en la región nororiental, los bloques Holguín, Mayarí-Moa-Baracoa y la cuenca Cauto–Nipe (Alfonso Olivera, 2013).

Características hidrográficas e hidrogeológicas regionales

La abundancia de precipitaciones atmosféricas, así como la morfología son los factores que condicionan el desarrollo de una compleja y densa red hidrográfica, la cual constituye una valiosa reserva del potencial hídrico con el que cuenta la región, como lo son los ríos: Mayarí, Nipe, Guaro, Piloto, Naranjo, Sojo y Birán, ente otros.

Existe en la zona una cantidad considerable de pequeños ríos, arroyos y cañadas, los cuales son tributarios de los ríos principales (Mayarí, Nipe, Guaro). Alguno de estos pequeños ríos en su curso por los flancos de la meseta forma cascadas que caen desde alturas de algunos metros hasta decenas de metros formando cañones profundos y estrechos.

La red de drenaje es variada, distinguiéndose la red fluvial de tipo radial y en menor grado de desarrollo las redes del tipo sub-paralela con orientación SE, y angular en los límites y flancos de la meseta. También se acentúa una red de tipo dendrítica en la superficie semiplana de la meseta con amplio desarrollo de una corteza de intemperismo potente.

El río Mayarí, como río fundamental, corre principalmente de sur a norte, en su cauce arrastra un gran caudal y atraviesa una llanura denudativa sobre un lecho de rocas onduladas y diseccionadas. A lo largo del río se desarrolla un valle en forma de U lo cual denota su madurez. En su curso superior este río es alimentado por los ríos de menor envergadura La Caoba y La Jarahueca, además de esto, la zona se encuentra drenada por otros ríos y numerosos afluentes los cuales alcanzan un número elevado.

Las aguas del río Piloto corren en dirección W-E y su valle aparece encajonado en algunos sectores en forma de V lo que indica que está en la etapa de juventud. En los límites de la superficie semiplana se observa generalmente un cambio brusco de los valores del gradiente de su perfil longitudinal. La amplitud y profundidad de su cauce son variables.

El río Naranjo presenta características hidrográficas y geomorfológicas similares a las del río Mayarí y Piloto, sus aguas corren en dirección W-E, su valle presenta formas combinadas de pequeños valles en forma de V, con algunos barrancos donde la erosión de fondo es más acentuada, por lo que el perfil del río en estos tramos tiene mayor pendiente.

Debido al régimen de precipitaciones, particularidades hidrogeológicas regionales, características de las rocas acuíferas y parámetros hidrogeológicos existentes en el territorio, se considera como una zona de elevada complejidad hidrogeológica. En el área están presentes tres horizontes acuíferos (Alfonso Olivera, 2013):

Horizonte acuífero de los sedimentos aluviales del Cuaternario Superior: Este complejo acuífero se encuentra localizado en la terraza del río Mayarí. Está conformado litológicamente por arcillas, arenas y gravas de distintos tamaños y composición.

Horizonte acuífero de las rocas carbonatadas del Cuaternario Medio: Está representado por rocas calizas órgano-detriticas (arrecifales) y calcarenitas.

Horizonte acuífero de los sedimentos turbo-cenagosos del Cuaternario Superior: Este horizonte acuífero se observa en todos los humedales costeros, representado en su mayor parte por turba, a veces con una mezcla de material arcilloso o carbonatado (marga).

En general las aguas subterráneas presentan una mineralización muy variada que oscila de 28 mg/l a 0.6 mg/l, aumentando la concentración de las sales solubles totales en dirección al mar. Químicamente se clasifican como cloruradas sódicas en dependencia a la concentración de los iones predominantes. La dirección del flujo subterráneo coincide con el flujo superficial.

1.3.1 Procesos y fenómenos geodinámicos

En la geografía mayarísera tienen lugar un conjunto de procesos y fenómenos geológicos que actúan al unísono, pero en dependencia de varios factores como condiciones climáticas, pendiente, litología, estructuras geológicas y la actividad antrópica; unos predominan respecto a otros.

Meteorización: Es uno de los fenómenos físico-geológico más importante y está vinculado a la descomposición física o/y química que produce alteraciones en la roca o suelo, las cuales modifican sustancialmente los parámetros de resistencia y permeabilidad. En el municipio Mayarí estos procesos están vinculados con la formación de potentes cortezas lateríticas sobre rocas ultrabásicas y básicas principalmente en la zona de la meseta Pinares de Mayarí. Las condiciones climáticas, geomorfológicas, tectónicas y características mineralógicas de las rocas existentes favorecieron los procesos de meteorización química del medio. La corteza de meteorización está desarrollada principalmente sobre peridotitas de tipo harzburgitas serpentinizadas en distinto grado y por serpentinitas, las cuales ocupan la mayor parte del territorio y en menor grado por materiales friables producto del intemperismo químico.

Movimientos de masas: Este proceso está vinculado a los movimientos de laderas naturales y taludes condicionados naturalmente o generados por actividades mineras o construcciones civiles. Los mecanismos de rotura y las tipologías de los movimientos de masas desarrollados en las cortezas residuales, están condicionados por las características estructurales del macizo rocoso, aunque en las zonas de desarrollo de cortezas redepositadas, las condiciones geotécnicas de los materiales inciden con más fuerza sobre el tipo de movimiento (Almaguer, 2005). Las propias condiciones naturales de las cortezas lateríticas como alta humedad, granulometría muy fina, altos contenidos de minerales arcillosos, baja permeabilidad, así como la intensa actividad sismo-tectónica en la región y elevados índices pluviométricos, hacen que este fenómeno sea muy común y se convierta en un peligro latente, capaz de generar grandes riesgos no sólo en la actividad minera sino en otros sectores del territorio.

Erosión: Es un proceso, que aunque se produce de forma natural en las potentes cortezas lateríticas, se ha visto incrementado por la actividad antrópica, vinculada a la minería a cielo abierto y a la deforestación. La erosión tiene lugar, sobre todo en las zonas desbrozadas donde los suelos han quedado sin protección alguna, lo cual unido al carácter muy friable de los mismos propicia un rápido acarreo pendiente abajo. Apenas llueve con regularidad se observa en el terraplén formas erosivas del microrelieve como las conocidas damas con sombrero, pruebas irrefutables de una fuerte erosión hídrica. Además de esto, se pueden ver grandes cárcavas y surcos abiertos por los procesos erosivos durante el arrastre del material.

Sismicidad: En el municipio Mayarí se encuentran 4 estructuras activas, las cuales son las más significativas desde el punto de vista de peligrosidad sísmica por su cercanía al área del Tránsito, son la Sabana 1, Baconao 1 y la Cauto-Nipe, así como Santiago-Moa, pero con magnitudes menores.

La zona de estudio se caracteriza por eventos de baja energía, que oscilan entre 0,1 y 2,0 de magnitud Richter, por lo que se observan pocos eventos con magnitudes mayores de 2,5. Esto se ha podido ir registrando en un orden ascendente por la alta sensibilidad con que cuenta este nuevo sistema, a partir de 1998. La sismicidad vinculada con magnitudes menores de 1,5 Richter, generalmente se considera como “sismicidad de fondo” en las estimaciones de peligrosidad sísmica, formando parte de la sismicidad de interior de placas, la cual no produce ningún efecto en el área de estudio. En la figura 7 se puede observar a partir de los últimos 26 años (1979-2005) la cantidad de eventos que se registraron en la región.

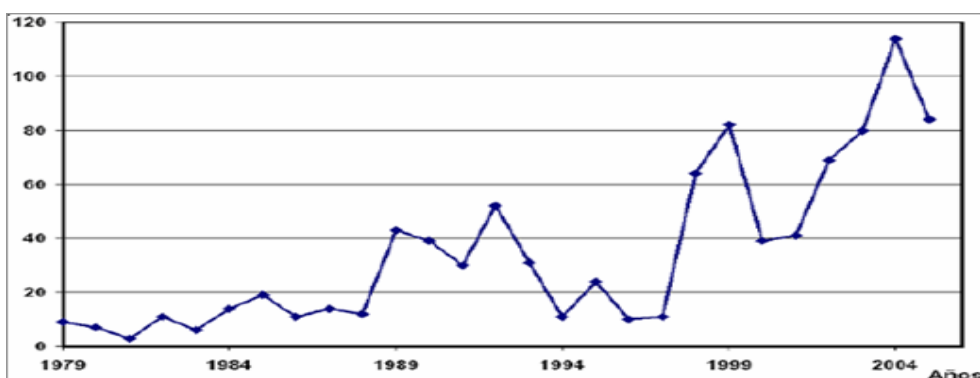


Figura 7. Cantidad de terremotos registrados en Cuba Oriental (1979-2005) con magnitudes mayores de 2,5 Richter (Alfonso Olivera, 2013).

1.3.2 Condiciones geoambientales regionales

Actividad Antrópica: Los niveles alcanzados en la mecanización del trabajo agrícola, particularmente en la agricultura cañera y en la explotación forestal, influyen directamente en el aumento de las afectaciones por compactación de suelos agrícolas y forestales, así como las condiciones naturales favorecen el desarrollo de procesos erosivos, los cuales tienen diversos grados y formas. En áreas de la cuenca del río Mayarí se encuentra una de las reservas más importantes de Níquel del país, mineral que lleva más de 60 años de explotación minera en la zona. La minería se desarrolla en varias etapas que afectan en mayor o menor grado el entorno. Primeramente se desarrollan actividades de destape de las menas lateríticas, eliminando la cobertura vegetal. En esta etapa, y producto a las grandes precipitaciones, se generan arrastres de grandes volúmenes de sedimentos hacia los cauces de los ríos y arroyos. Luego continúa la actividad extractiva, que genera una cantidad considerable de taludes con pendientes elevadas, relacionados con los frentes de explotación y la construcción de caminos mineros. Además, otro de los elementos negativos es la formación de embalses de aguas en áreas de minas. Como actividad paralela, se realiza la formación de escombreras, con los materiales estériles donde se desarrolla el proceso de reforestación y restauración.

Los suelos sometidos a la explotación minera y a la construcción de obras ingenieriles, túneles, presas, caminos, entre otras, quedan destruidos, su estructura es alterada. La actividad antrópica con frecuencia crea las condiciones que favorecen a la formación de los deslizamientos. El recorte de las laderas, la construcción de taludes abruptos, alteración de la escorrentía superficial y subterránea y muchas otras acciones del hombre son conmensuradas por su propagación, envergadura e importancia con los fenómenos naturales y constituyen condiciones importantes de la alteración del equilibrio de las masas de rocas en las laderas y taludes.

Los principales impactos ambientales que tienen lugar en el municipio se pueden agrupar en 4 grandes grupos:

1. Los asociados a la actividad agropecuaria
2. Los asociados a la actividad minera
3. La construcción de viales y asentamientos urbanos
4. Los incendios espontáneos o provocados.

1.4 Estado del Arte

La mayoría de los trabajos geológicos sobre el área de estudio han estado orientados a la búsqueda y evaluación de las reservas minerales existente en la faja ofiolítica del nordeste holguinero. Esta región, Mayarí-Sagua-Moa, se caracteriza por presentar una gran complejidad geológico estructural e importantes yacimientos de cromo y laterita ferroniquelíferas (corteza de intemperismo), siendo estos últimos uno de los objetivos principales de las investigaciones realizadas en la región.

Las primeras investigaciones profundas de carácter regional se realizan en la década de los sesenta, donde cabe mencionar los estudios de los especialistas de antigua URSS A. Adamovich y V. Chejovich (1963, 1964), que constituyeron un eslabón fundamental en el conocimiento geológico del territorio oriental y esencialmente para las zonas de desarrollo de cortezas de intemperismo.

Un paso de avance en el conocimiento de las características geomorfológicas de la región, lo constituyó el primer mapa geomorfológico general de Cuba, a escala 1:1 500 000, que aparece en el Atlas Nacional publicado en 1970. Otros mapas geomorfológicos tipológicos generales de Cuba aparecieron en el Atlas XX Aniversario y en el nuevo Atlas Nacional (1989) a escalas 1: 1 750 000 y 1:1 000 000, respectivamente. Mapas a escala 1: 250 000, como los de las provincias de Pinar del Río y La Habana y Ciudad de La Habana, realizados en la década de 1980, así como otros muchos, generales y especiales a escalas más detalladas, se han continuado elaborando (Seco, 1989).

En 1974 Knipper y Cabrera, plantean que los cuerpos de rocas ultrabásicas serpentinizadas se deslizaron por planos de fallas profundas hasta la superficie

donde se emplazaron sobre formaciones sedimentarias del Cretácico en forma de mantos tectónicos.

En 1976 se estableció que la tectónica de sobrepunto afecta también a las secuencias sedimentarias fuertemente dislocadas, detectando en numerosas localidades la presencia de mantos alóctonos constituidos por rocas terrígenas y volcánicas del Cretácico Superior. Como resultado de estos trabajos en 1978 Cobiella propone un esquema tectónico que resume una nueva interpretación estratigráfica y paleogeográfica de Cuba oriental delimitando cinco zonas estructuro faciales.

En el periodo de 1972-1976, se realiza el levantamiento geomorfológico de la antigua provincia de Oriente a escala 1: 250 000 por la brigada cubano-húngara de la Academia de Ciencia de Cuba, siendo el primer trabajo que generaliza la geología de Cuba oriental (Batista Rodríguez, 2002).

En el periodo de 1980-1985 el Departamento de Geomorfología del Centro de Investigaciones Geológicas en colaboración con la Facultad de Geología del ISMMM, desarrolló el tema de investigación Análisis Estructural del Macizo Mayarí-Baracoa donde se analiza por primera vez de forma integral para todo el nordeste de Holguín, el grado de perspectiva de las cortezas de intemperismo ferroniquelíferas en dependencia de las condiciones geólogo geomorfológicas, a través de la aplicación de métodos morfométricos y de fotointerpretación (Batista Rodríguez, 2002).

En esta década del 80 Campos (1983) al igual que Quintas (1989) realizan estudios tectónicos y estratigráficos respectivamente de sectores de la zona oriental, aportando nuevos conocimientos y concepciones sobre las características estructurales, de evolución tectónica y paleogeográfica.

En 1985, se realiza el Estudio geomorfológico de la antigua provincia de Oriente, en el que considerando a Cuba como una morfoestructura de primer Orden, caracterizan las geoformas presentes en la región atendiendo a sus dimensiones areales (II Orden, III Orden, IV Orden, V Orden y así sucesivamente), parámetros morfométricos, actividad paleo y neotectónica, y el tipo de relieve que manifiestan (positivo, negativo) relacionado con la estructura geológica asociada (horst, graben).

En este estudio plantean que la Sierra de Nipe (meseta Pinares de Mayarí) y la Sierra Cristal, son morfoestructuras de IV Orden, muy activas, pues presentan movimientos tectónicos constantes. Indican que sus relieves y estructuras geológicas representan formas positivas; y ambas se caracterizan por extensos peniplanos, desarrollados en distintas alturas interrumpidas por elevaciones superpuestas, residuales (loma de la Mensura y loma los Mulos), testigos de una antigua superficie de nivelación.

En 1989 Nekrasov y otros, y Andó y otros, realizan investigaciones, en las ofiolitas orientales de Cuba, llegando a establecer divisiones tectónicas de la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa, así como diferentes características geológicas y petrológicas de las mismas.

Proenza Fernández (1997) realiza una investigación de la mineralización de cromita en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba), con ejemplo del yacimiento Mercedita.

Alfonso Olivera (2013) realiza la Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí, en el cual plantea que los principales tipos de movimientos de masas en el municipio son desprendimientos de rocas, deslizamientos, flujos y expansiones laterales. Las zonas con mayor índice de riesgos en el municipio Mayarí se encuentran en los consejos populares Pinares de Mayarí, Arroyo Seco, Levisa, Cajimaya, Cabonico y Colorado, debido a que en estas zonas es donde se concentran los mayores índices de peligro y vulnerabilidad.

1.5 Referencia teórica y metodológica

La presente investigación necesitó para su desarrollo una base teórica y metodológica, que permitiera la orientación correctamente estructurada de cada tarea geomorfológica ejecutada. Atendiendo al precepto metodológico se tomó como guía para las cartografía geomorfológica el trabajo de Ricardo Labrada y otros (2016), como fuente principal; pues además de constituir un resumen de la revisión de bibliografías internacionales destacando los pasos utilizados para las elaboraciones de metodologías y leyendas, respetando las normas vigentes de geomorfología, es asimismo el resultado de la compilación y análisis de los trabajos geomorfológicos precedentes hechos en nuestro país. Esta metodología también se

presenta como la propuesta susceptible de ser la norma rectora para los estudios de geología superficial en Cuba.

Desde el punto de vista teórico el libro de Seco (1989), ofreció el conocimiento básico, que permitió la aplicación de los métodos geomorfológicos, así como una mejor comprensión e interpretación de los resultados obtenidos en la investigación.

La metodología elaborada por Ricardo Labrada y otros (2016) en el IRSE de GEOCUBA Oriente Norte se encuentra actualmente en fase de validación nacional. La misma tiene como objetivo “realizar el *Mapa Geomorfológico de la República de Cuba* a escala 1: 100 000, que será obtenido a partir de una combinación de métodos, tecnologías y concepciones cartográficas actuales, poseyendo mayor precisión que los anteriores de su tipo y elaborado con un tratamiento más profundo, acorde al avance de las geociencias en Cuba” (Ricardo Labrada; et. al., 2016). Esta metodología además de plantear los métodos y procedimientos para la medición, zonificación y caracterización del relieve cubano así como los procesos endógenos y exógenos que controlan y/o modifican la evolución de este; presenta un glosario de términos geólogo geomorfológico, el cual es medular en la sistematización y unificación de los conocimientos aplicados en la ciencia geomorfológica. Otro acápite de relevante importancia, es la semiología planteada, identificada por una amplia y detallada información de símbolos y leyendas que se emplearán en la confección del *Mapa Geomorfológico de la República de Cuba* a escala 1: 100 000.

El libro de Seco (1989) posee una carga significativa de conocimientos, de los cuales se aprovecha fundamentalmente la explicación de los principales conceptos y principios geomorfológicos, imprescindibles para cualquier investigación de esta índole; la caracterización precisa de los procesos endo y exogenéticos, y los diversos tipos de relieve que estos forman; así como la descripción de los métodos de las investigaciones geomorfológicas, las etapas de las mismas y la leyenda de los mapas geomorfológicos; tres aspectos capitales en el desarrollo del presente estudio. Este importante cúmulo de información proporciona objetividad en las tareas a realizar y en los resultados esperados.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS PROYECTADOS

2.1 Metodología

2.2 Métodos utilizados y su procesamiento

2.1 Metodología de la investigación

El desarrollo de las tareas realizadas en la presente investigación contó con tres etapas principales, acordes con la evolución de los trabajos:

- Preliminar
- Experimental
- Interpretación y representación de la información.

Etapas preliminar

En esta etapa se seleccionó el municipio de Mayarí como la zona piloto para comenzar el proyecto de la confección del *Mapa Geomorfológico de la República de Cuba* a escala 1: 100 000. Posteriormente se realizó una búsqueda y revisión de la información del área de estudio, y de trabajos geomorfológicos, disponibles en: las bases de datos remotas, el fondo geológico del Departamento de Geología del ISMMM, la sala técnica de la biblioteca del ISMMM, los congresos de la Sociedad Cubana de Geología (SCG), informes técnicos y proyectos de GEOCUBA Oriente, informes de antiguos trabajos geológicos y geomorfológicos archivados en la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM), la revista *Minería y Geología* y en sitios web de INTERNET; esta búsqueda aportó un conocimiento básico de las características geológico geomorfológicas fundamentales del área de los trabajos; así como métodos y criterios de geomorfología que pueden ser empleados en la confección del mapa. Esto permitió el avance del presente estudio partiendo del umbral del conocimiento. Asimismo se digitalizaron las hojas topográficas que conforman la región de estudio para la creación del Modelo Digital del Terreno (MDT). Las tareas llevadas a cabo en esta etapa se pueden resumir de la forma siguiente:

Búsqueda y obtención de:

- Informes técnicos y trabajos geólogo geomorfológicos
- Modelo Digital del Terreno (Base topográfica)
- Mapa geológico
- Otros mapas temáticos existentes

Obtención del Modelo Digital del Terreno (MDT): Para la confección del MDT, se empleó la digitalización directa, de tipo vectorial manual, de las cartas topográficas (Anexo 2) de escala 1: 25 000, de GEOCUBA I Edición digital 2005. Estas se georreferenciaron y se les realizó una corrección polinómica para rectificar las deformaciones existentes en el papel y la declinación magnética. Se utilizó el sistema de coordenadas planas Cuba Sur. Los errores de digitalización fueron corregidos en los programas PSF, pertenecientes al Taller IRSE. El software utilizado fue AutoCad Map® 2004 de Autodesk, Inc para digitalizar las isolíneas vectorizadas. Los vectores obtenidos fueron exportados a formato *dxf* (drawing interchange format). Para la obtención del GRID se transformaron las polilíneas de los DXF en puntos formados por los nodos de estas, estos puntos contienen información de sus coordenadas y la hipsometría. Con el software Surfer® 8.0 de la Golden Software se generó el GRID correspondiente al MDT. El método de modelación que se utilizó fue el Krigging, el cual es un método geoestadístico que logra un correcto ajuste del modelo matemático a partir de los variogramas del sector estudiado. La unidad de medida empleada fue el metro. Es necesario aclarar que el MDT obtenido por el Taller IRSE, presentaba una escala de 1:25 000 y fue reescalado en el software Surfer® 8.0, a 1:100 000, que es la escala propuesta en nuestro trabajo.

Mapa geológico y otros mapas temáticos existentes: Los mapas que ofrecieron una información preliminar del área de estudio son: el Geológico de Mayarí del I.G.P.(2001), a escala 1:100 000; donde se identificaron las principales características litológico-estructurales del municipio; el mapa de Zonación Sísmica de la región Oriental (Anexo 3), en el que se evidencia que el área de estudio es de un riesgo sísmico bajo, con terrenos que presentan una aceleración máxima de 0.1g

(0.98cm/s²); y el mapa de Regionalización Climática de la provincia de Holguín, según la norma climática de 1981-2010 (Figs. 2, 3 y 4).

Etapla experimental

En esta etapa se concibió el análisis y procesamiento de la información disponible, permitiendo la determinación de los índices morfométricos como, pendiente, densidad de drenaje, disección vertical y horizontal, hipsometría, entre otros, los cuales son vitales en la cartografía geomorfológica. Asimismo se realizó la interpretación de los mapas derivados de estos parámetros, lo que permitió según los criterios morfométricos la delimitación de varios tipos de relieve presentes en el territorio.

Para el procesamiento de toda la información obtenida se utilizaron un conjunto de softwares y programas como: Surfer versión 8.01–may 9 2002 (Surface Mapping System, Copyright© 1993- 2002, Golden Software, Inc); Surfer versión 12.0.626 (Surface Mapping System, Copyright© 1993- 2014, Golden Software, Inc); AutoCAD Map 2004 de Autodesk y PSF pertenecientes al Taller IRSE de la empresa GEOCUBA Oriente Norte.

Los trabajos que conformaron esta etapa se pueden resumir de la siguiente forma:

Procesamiento de la información:

- Análisis de la información previa. Revisión e interpretación del MDT a escala 1: 100 000. Lectura del mapa geológico. Estudio de los mapas temáticos
- Localización morfoestructural preliminar
- Determinación de los índices morfométricos, y análisis de sus alineaciones

Etapla de interpretación y representación de los resultados

En esta etapa se analizaron e interpretaron los resultados obtenidos de las etapas precedentes, editando los mismos, y representándolos en la memoria escrita. Los trabajos ejecutados se pueden simplificar de la siguiente forma:

Confección del mapa geomorfológico, elaboración de la memoria y edición:

- Interpretación de los mapas morfométricos y determinación de los morfoalineamientos
- Evaluación y selección de la información geólogo-geomorfológica a insertar en el mapa prototipo.
- Digitalización y tratamiento informático
- Redacción de la memoria explicativa
- Confección del mapa geomorfológico
- Edición.

2.2 Métodos utilizados y su procesamiento

El relieve es una representación compleja de un conjunto de factores y procesos de índole externa e interna; la interacción de estos en la superficie determina las características de las irregularidades del terreno, que pueden ser estudiadas a través de diversos aspectos, principalmente morfología, génesis y edad.

Los métodos de análisis del relieve son los que permiten el estudio por separado de sus aspectos componentes, (Seco, 1989). Existen varios métodos para la interpretación de las formas del relieve, los cuales deben utilizarse al unísono, buscando coincidencias espaciales entre diversos patrones manifestados en las geoformas; y no por separado lo cual induciría interpretaciones erróneas en la investigación. En la confección de nuestro mapa prototipo, atendiendo al tiempo disponible, por imprecisiones en la creación del MDT, y los recursos con que se contaron, se decidió emplear solamente los métodos morfométricos. Estos métodos se caracterizan por ser de fácil aplicabilidad, además de brindar una información cualitativa y cuantitativa precisa de las propiedades del relieve, así como la intensidad y predominio de los procesos exógenos y tectónicos. A continuación se describen los métodos empleados y su procesamiento.

2.2.1 Métodos morfométricos

Expresan de forma cuantitativa determinados aspectos del relieve (como la inclinación de la superficie), o de los procesos que actúan sobre la superficie (el grado de desmembramiento horizontal o vertical que causan los agentes erosivos, por ejemplo). Estos rasgos morfológicos tienen una estrecha relación con la estructura de la corteza terrestre y con el régimen de la actividad neotectónica. Las características morfométricas constituyen un importante indicador de la actividad de la dinámica actual de los procesos geomorfológicos (Seco, 1989). Los índices morfométricos empleados se obtuvieron a partir del procesamiento digital del MDT, los mismo son representados de forma gráfica a través de sus correspondientes mapas (mapas auxiliares), los cuales permiten una mejor visualización de las características del relieve, indicadoras de la actividad dinámicas de los procesos endo y exogenéticos. Los métodos de representación cartográfica empleados fueron el cartograma y las isolíneas. A continuación se muestran los parámetros morfométricos utilizados y su procesamiento:

1. Hipsometría
2. Pendiente
3. Disección vertical
4. Disección horizontal
5. Isobasitas de II, III y IV orden.
6. Red de drenaje superficial.

Mapa Hipsométrico: La representación cartográfica de la hipsometría tiene como finalidad presentar de manera simplificada la información topográfica, condición que permite distinguir de forma inmediata los desniveles y pisos altitudinales más importantes, así como las alturas máximas y mínimas (Lugo Hubp, 1991). Estos niveles altitudinales se pueden agrupar en las tres principales categorías morfoestructurales: montañas, alturas y llanuras (en tierra firme). En la Tabla 1 se muestra la clasificación empleada para las categorías morfoestructurales. Es necesario aclarar que en el área de estudio las montañas presentes son montañas bajas, pues su cota máxima no supera los 1 200 m.

Tabla 1 Clasificación morfoestructural según la hipsometría, tomado de (Lilienberg, 1973)

Niveles morfoestructurales	Categoría morfoestructural	Metros sobre el nivel del mar
Montañas	Montañas medianas	1200-2000
	Montañas bajas	700-1200
	Montañas pequeñas	400-700
	Premontañas	120-400
Llanuras	Llanuras	0-120

En la Tabla 1, no aparece reflejada la categoría de alturas, pues la clasificación de estas según la hipsometría es muy variable. Las alturas son el “resultado de ascensos neotectónicos débiles y moderados con amplitudes de hasta unos 300 m, o constituyen restos de superficies más elevadas, en cuyo caso no sobrepasan la altura de una decena de metros” (Díaz Díaz, 1989). Es por esto que su determinación se basa, en su relación con las morfoestructuras circundantes; considerándolas como elevaciones aisladas, englobadas generalmente por zonas llanas.

Procesamiento: El mapa se confeccionó a partir del MDT en el software Surfer versión 12.0.626. Se cargó en dicho software con el comando “Image Map”, formando un mapa raster, el cual representa los valores Z acordes con un uso específico, en este caso se le asignaron los rangos hipsométricos con una gama de colores según la clasificación establecida.

Mapa de Pendiente: El índice morfométrico de la pendiente es uno de los más utilizados en los estudios geomorfológicos y ciencias afines. El mapa refleja la inclinación de una porción de la superficie respecto a un plano horizontal, a través de la distribución areal de las pendientes de igual valor. Los valores de pendiente pueden ser expresados en grados, porcentaje y fracción; en la investigación se trabaja con grados.

En la literatura geomorfológica existe una gran variedad de clasificaciones de pendientes, determinadas por las características individuales de un territorio o por el objetivo específico de una investigación. En este trabajo se tomó la clasificación de la Unión Geomorfológica Internacional (Tabla 2.), presentada en “Mapa de pendiente y disección del terreno”, porque los niveles que establece permiten una visión tectónica homogénea de las zonas geomorfológicas delimitadas en la región.

Tabla 2. Clasificación del ángulo de pendiente para mapas geomorfológicos, tomado de “Mapa de pendiente y disección del terreno”, modificada por el autor.

Categoría	Término de pendiente
0°-2°	Plana (planicie)
2°-5°	Ligeramente inclinada
5°-10°	Medianamente inclinada
10°-15°	Muy inclinada
15°-35°	Fuertemente inclinada
35°-55°	Abrupta
55°-90°	Vertical

El mapa obtenido brinda información significativa para la ubicación de zonas que presentan un control tectónico.

Procesamiento: El mapa se generó siguiendo la: “Metodología para hacer trabajos geológicos” de la empresa GEOCUBA Oriente Norte, Taller IRSE. Con el programa PSF (morfgd.exe) se determina la cota mínima, cota media, cota máxima, la disección vertical, pendiente, desviación y el coeficiente de variación. En el programa, luego de cargar el MDT, en el indicador de **Modelo Resultante**, solo se introduce el Paso con el que van a salir los *grd*, en este caso se le dio 100; y en el indicador **Área de Trabajo** se introduce el Lado, en este caso 1000, estos valores se deben a la escala empleada. Luego de creado el fichero *grd* de los ángulos de pendiente, este se valida en el software Surfer versión 8.01, y para su acabado se sigue el mismo procedimiento utilizado en el mapa hipsométrico.

Mapa de Disección vertical: Este mapa se conoce también como mapa de profundidad de erosión o de disección del relieve. El mismo expresa el grado de desmembramiento vertical que sufre la superficie del terreno, producto de la actividad erosiva de las corrientes fluviales. Se obtiene de la resta de la cota máxima y la cota mínima en un área determinada (1km^2). Este índice morfométrico ayuda a visualizar zonas donde la actividad fluvial tiene un papel dominante en el modelado del relieve, “su análisis facilita la comprensión de las principales direcciones y amplitudes de los levantamientos neotectónicos. Áreas con altos valores de disección, corresponden con zonas de mayor intensidad del levantamientos neotectónicos, ya que los agentes erosivos en esas condiciones intensifican su actividad, hasta alcanzar su nivel erosional” (Estudio geomorfológico de la antigua provincia de Oriente, 1985). En la Tabla 3 se muestra la clasificación que se considera es la más adecuada para el área de estudio.

Tabla 3. Clasificación de los tipos de relieve tomado de “Confección de Mapas morfométricos”.

Tipos de relieve (descripción)	Grado de disección (m/km²)
Llanuras planas débilmente diseccionadas	< 2.5
Llanuras onduladas ligeramente diseccionadas	2.5-5
Llanuras onduladas medianamente diseccionadas	5-10
Llanuras onduladas fuertemente diseccionadas	10-15
Llanuras colinosas ligeramente diseccionadas	15-20
Llanuras colinosas medianamente diseccionadas	20-30
Llanuras colinosas fuertemente diseccionadas	30-40
Lomeríos y colinas ligeramente diseccionados	40-60
Lomeríos y colinas medianamente diseccionados	60-80
Lomeríos y colinas fuertemente diseccionados	80-100
Montañas ligeramente diseccionadas	100-250
Montañas medianamente diseccionadas	250-500
Montañas fuertemente diseccionadas	>500

Procesamiento: La confección de este mapa presenta el mismo procedimiento que el mapa anterior.

Mapa de Disección horizontal: Este mapa muestra el grado de erosión lateral. Establece la relación existente entre la longitud total de la red hidrológica en metros y un área de un kilómetro cuadrado. Este método es un criterio para establecer tipos genéticos de relieve. “Generalmente los mayores valores de disección horizontal se encuentran donde, en pequeñas distancias ocurren numerosos, ríos, arroyos y arroyuelos. Esto es típico de las zonas altas, con variables pendientes” (Estudio geomorfológico de la antigua provincia de Oriente, 1985). En la Tabla 4 se muestra la clasificación empleada en la confección del mapa.

Tabla 4. Clasificación de la Disección horizontal, tomado de “Confección de Mapas morfométricos”.

Tipo de disección horizontal (descripción)	Grado de disección horizontal (m/km²)
Muy suavemente diseccionado	< 300
Suavemente diseccionado	300-1000
Ligeramente diseccionado	1000-2000
Ligera a medianamente diseccionado	2000-3000
Medianamente diseccionado	3000-4000
Fuertemente diseccionado	4000-5000
Muy fuertemente diseccionado	> 5000

Procesamiento: El mapa de Disección horizontal se generó siguiendo la: “Metodología para hacer trabajos geológicos” de la empresa GEOCUBA Oriente Norte, Taller IRSE. En el programa PSF (densidadfracturas.exe) partiendo de la suma de todos los ríos sin Z en el PSF (bln.suma.bln.exe) y utilizando el MDT para georreferenciar, se introduce el Paso en dependencia de la escala, en este caso 100 y el radio se le deja 200. El fichero resultante (ríos_dens.exe) es la disección horizontal.

Mapas de Isobasitas: Estos mapas marcan los niveles de base de erosión de los ríos de un determinado orden, el cual va a estar dado por el tiempo de su formación, denominándose primer orden a los ríos más jóvenes o de última formación y sucesivamente serán más viejos a medida que el orden sea mayor, de esta forma

los cauces de primer orden serán aquellos que no reciben agua de ningún otro tributario, es decir, son los primeros canales en encausar las aguas, más conocidos por cárcavas y cañadas. La unión de dos cursos de primer orden dará lugar a la formación de un curso de segundo orden y así sucesivamente, ahora bien, cuando se unen dos cursos de órdenes diferentes se mantiene el orden del superior.

Después de confeccionado el mapa de órdenes, se superpone el mismo al mapa topográfico, buscándose los puntos de intersección de los ríos de un orden determinado con las curvas de nivel, poniéndose en esos puntos los valores de la cota topográfica. Después de marcados todos los puntos se unen con líneas rectas o curvas los puntos de igual valor. Estos mapas se construyen para los ríos de segundo orden en adelante, pues los del primer orden darían como resultado final un mapa similar al topográfico actual. La interpretación de estos mapas es de gran utilidad en los estudios tectónicos y neotectónicos en particular, y en la evaluación de la intensidad de la erosión en el tiempo (Domínguez González, 2005). En la investigación se determinaron las isobasitas de segundo, tercer y cuarto orden.

Asimismo fue necesario para indicar los sectores de máximos levantamientos actuales, la confección del mapa de diferencia de isobasitas 3 y 2.

Procesamiento: Previo a la confección del mapa se necesitó la clasificación de los ríos por órdenes, esto se realizó de forma “manual”, en el AutoCad Map 2004, donde se le asignó un layer independiente a cada orden. Los mapas se generaron en el Surfer 8.0 y se les asignó la cota en el PSF (cot_río.exe). Los posibles errores del procesamiento precedente son identificados con el programa PSF (revisa.exe). Con la data generada para cada orden se crearon *grd* para los órdenes dos, tres y cuatro, todos con la misma configuración geométrica que el MDT.

El mapa de diferencia de isobasitas se obtuvo restando nodo a nodo los valores del GRID de isobasitas de tercer orden menos el de segundo.

Mapa de Red de drenaje superficial: Este mapa se confeccionó para determinar el comportamiento de la red de drenaje tanto en tipo como en densidad. El drenaje de cualquier región de la superficie terrestre está condicionado por varios factores, dentro de los cuales los más importantes son el clima, la litología, la topografía y las

condiciones estructurales del terreno, los cuales permitirán utilizar la información de estos mapas en la valoración geólogo tectónica de la zona.

Para la confección del mapa de red fluvial se parte del sistema de ríos y tributarios representado en el mapa topográfico, tanto en sus cauces permanentes como temporales. Después de trazada la red, el objetivo fundamental está en la determinación de las principales alineaciones que pueda presentar la red, las anomalías en el comportamiento del drenaje así como las variaciones en la densidad del mismo (Domínguez González, 2005).

Procesamiento: En el AutoCad Map 2004 sobre una base topográfica se digitalizaron de forma manual todos los sistemas fluviales, tanto en sus cauces permanentes como temporales, atendiendo a los órdenes de los mismos. Estos fueron exportados como layer independientes, en formato **dxf**, y convertido a **bln**, con el programa PSF (dxf_bln.exe). Posteriormente todos los **bln** fueron sumados en el programa PSF (bln.suma.bln.exe). Con el fichero **bln** resultante se creó el **grd** en el software Surfer 8.0, y luego se generó el mapa en el mismo software.

2.2.2 Procesamiento del mapa geomorfológico

El mapa geomorfológico se creó en el software Surfer versión 12.0.626, a partir de la digitalización poligonal de cada sector de relieve identificado. Cada polígono conformado fue exportado como un fichero **bln**, y posteriormente cargado en el mismo software, asignándoles los colores correspondientes según Ricardo Labrada y otros (2016). En este software también se ubicaron los diversos símbolos que responden a formas distintivas de relieve o a características y procesos del mismo.

El método principal de representación empleado fue el fondo cualitativo, el cual consiste en tomar un índice como fundamental, en nuestro caso la morfoestructura, y mostrarlo con un color de fondo (Biosca Aguiara; et. al., 1980).

CAPÍTULO III: INTERPRETACIÓN Y REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

3.1 Interpretación de los mapas

3.2 Representación de las morfoalineaciones

3.3 Determinación y caracterización de los tipos de relieve

3.1 Interpretación de los mapas

3.1.2 Mapa Hipsométrico

El área de estudio está estructurada por las tres categorías geomorfológicas principales: montañas, alturas y llanuras (Fig. 8). Las montañas son el “resultado de ascensos neotectónicos moderados e intensos con amplitudes de 300 a 2 000 m, de estilo diferente que han involucrado a las estructuras antiguas. Las llanuras corresponden a las zonas de los ascensos neotectónicos más débiles o de descensos relativos, cuyas amplitudes son inferiores a los 100 m y solo en las partes centrales más elevadas del territorio alcanzan los 200 a 280 m” (Díaz Díaz, 1989). Las llanuras del territorio no sobrepasan los 120 m.s.n.m. Las superficies de alturas fueron determinadas fundamentalmente por su relación espacial con las morfoestructuras circundantes, y no por sus cotas; estas superficies se encuentran formando grupos aislados y son el resultado de los ascensos neotectónicos débiles y moderados con amplitudes de hasta 300 m.

Las montañas del área investigada son bajas, representadas por la Sierra de Nipe. Estas montañas bajas se subdividen en dos sectores, uno al oeste del valle del río Mayarí, en el que se extiende la meseta Pinares; y otro al este del mismo valle. Ambos sectores por su configuración morfoestructural constituyen un sistema de horst y bloques.

La meseta Pinares de Mayarí ubicada entre la llanura de Nipe y el valle del río Mayarí, con orientación NE-SW, cobra su altura máxima en la loma de la Mensura con 995 m.s.n.m. La meseta está constituida por serpentinitas, emplazadas durante la etapa orogénica cubana. En su parte superior aparece una antigua superficie de nivelación, donde existe un marcado predominio de los procesos de intemperismo químico, que favorecen la formación de potentes cortezas ferroniquelíferas. Hacia el

sureste de la meseta disminuyendo el nivel hipsométrico afloran superficies con dirección W-NW, formando sistemas de horst escalonados y con litologías asociadas a las formaciones Yateras, Puerto Boniato, Miranda, Sagua (invalidada, actual Formación Mucaral), La Picota, Charco Redondo, Mícara y Bucuey. Estas áreas se hallan cortadas por valles fluviales que presentan su misma dirección.

En la porción suroeste y sur-suroeste de la meseta la transición de la montaña a la llanura es más gradual que en su vertiente noreste, en donde el cambio altitudinal se desarrolla con poca extensión horizontal. En la zona donde el salto de cotas es más gradual aparecen alineaciones asociadas a contactos litológicos en las cotas 75 y 200.

Las montañas bajas ubicadas al este del río Mayarí es una morfoestructura con dirección NNW-SSE, que posee cimas que superan los 700 m.s.n.m. y constituyen su parteaguas principal. Al suroeste de este sector, aparecen superficies orientadas perpendicularmente a la estructura morfológica principal, y alineadas con áreas pertenecientes a la meseta de Pinares. Estas superficies presentan una composición litológica distinta a las divisorias principales; pues están constituidas por las formaciones Miranda, Mícara, La Picota, Yateras, Mucaral, Charco Redondo, Puerto Boniato y Bucuey; mientras que el parteaguas y sus vertientes están compuestos por rocas serpentínicas.

Hacia el sur se observa un peniplano de rocas de la Formación Mícara, que funge como cuenca del río Mayarí. Al sur de este peniplano se hallan zonas más elevadas con rocas pertenecientes a las formaciones Miranda y Charco Redondo, con alineación principalmente NNE.

Las tres zonas de alturas identificadas constituyen elevaciones aisladas, rodeadas por áreas llanas. En dos de ellas aflora la Formación Camazán, una se ubica al noroeste de la meseta Pinares de Mayarí y la otra al oeste de la región de estudio. La tercera zona de alturas constituida superficialmente por rocas de la Formación Río Jagüeyes se extiende al noroeste del territorio y presenta un grupo de pequeñas elevaciones alineadas en la dirección NW-SE.

Las alturas situadas al noroeste de la meseta forman un sistema de horst y bloques de yacencia monoclinal hacia el noroeste.

En el territorio las llanuras se extienden en la porción norte, oeste y suroeste, con cotas inferiores a los 120 m. Estas llanuras se encuentran bordeando las montañas bajas y están compuestas por varias formaciones, predominando Río Jagüeyes. Las llanuras de alturas superiores a los 75 m.s.n.m, tiene mayor distribución areal hacia el oeste y suroeste del municipio, mientras que las de valores hipsométricos inferiores se sitúan hacia el norte.

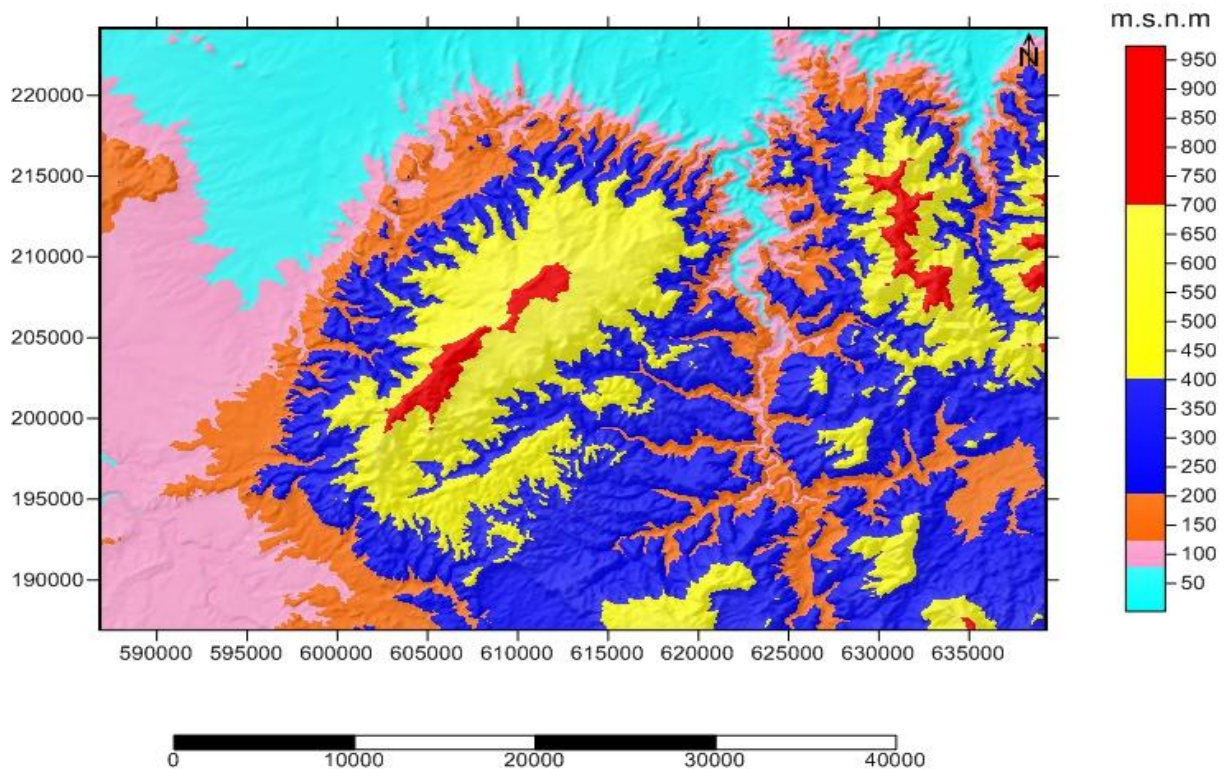


Figura 8. Mapa Hipsométrico.

3.1.3 Mapa de Pendientes

El grado de inclinación del territorio, debido a sus características morfoestructurales y genéticas, es muy variable (Fig. 9); en la zona de llanura predominan las planicies, con pendientes entre 0° y 2° , siendo ligeramente inclinadas en las franjas que bordean las zonas montañosas. En algunos sectores, principalmente al norte y al suroeste de forma puntual llegan a ser medianamente inclinadas.

Al suroeste de la meseta Pinares, en los límites de esta con la llanura, se observa cierta alineación definida por cambios bruscos de pendiente, las cuestas medianamente inclinadas transicionan rápidamente a las de tipo muy inclinada, y siguen el mismo patrón hasta ser fuertemente inclinadas.

En los flancos de la meseta Pinares predominan las pendientes fuertemente inclinadas; los declives verticales se distribuyen de forma puntual al suroeste del eje central de la morfoestructura principal; mientras que las cuestas abruptas con mayor representación que las verticales, muestran en la porción noreste y el sureste patrones de alineación. Asimismo, al sureste, con orientación perpendicular a la meseta aparecen pendientes muy inclinadas manifestando una extensión lineal con cuestas de igual valor al este del río Mayarí.

En la loma de la Mensura prevalecen en su vertiente oeste las pendientes abruptas, y hacia el este las fuertemente inclinadas. Puntualmente en esta área se observan pendientes verticales.

En la parte superior de la meseta predominan los declives con valores de 2° a 10° , hacia el sureste son ligeramente inclinadas y, al noroeste y noreste son medianamente inclinadas. Esta área se encuentra alineada con un sector pequeño de similares grados de pendiente, ubicado en la parte baja de la meseta y que colinda con una zona de alturas; la configuración geométrica de este sector es similar a la superficie de nivelación de la meseta, según los rangos de pendientes. El sector está ubicado en la franja de gabros, su orientación es la misma de la meseta.

Al sur de la meseta Pinares de Mayarí aparecen dos zonas con cambios bruscos de inclinación. La que se halla más al sur presenta una alineación orientada al NW-SE, mientras que la otra mantiene una extensión lineal con una dirección paralela a la meseta.

La zona de alturas situada al oeste del territorio, se caracteriza por poseer superficies medianamente inclinadas y, con menor dimensión, muy inclinadas. Las cuestas abruptas se presentan de forma puntual.

Las alturas del noroeste de la región van desde ligeramente inclinadas hasta medianamente inclinadas, manifestándose su orientación NW-SE.

Las superficies de las alturas ubicadas al noroeste de la meseta transicionan desde muy inclinadas hasta fuertemente inclinadas.

En la región ubicada al este del valle del río Mayarí las pendientes fuertemente inclinadas son las que cobran mayor distribución. En los flancos del parteaguas

principal de esta región se presentan declives abruptos, y en ellos de manera puntual aparecen cuevas verticales.

Al norte se observa una pequeña área con cambio brusco de pendiente. En esta área se transiciona de zonas medianamente inclinadas a fuertemente inclinadas.

La superficie del peniplano ubicado al sur de la región está ligeramente inclinada, y en la dirección noroeste manifiesta cambios bruscos de pendientes asociados a la presencia de rocas serpentínicas dentro de la Formación Mícara. La configuración geométrica, según los límites de pendientes, de este peniplano es similar a la superficie de nivelación de la meseta Pinares de Mayarí, y su dirección es paralela a esta.

Al norte del peniplano arriba mencionado se presentan pendientes abruptas alineadas que parten desde el este y se extienden hacia el nor-noroeste.

Las superficies con pendientes fuertemente inclinadas, abruptas y verticales, reflejan por el alto grado de inclinación, un control tectónico de sus estructuras.

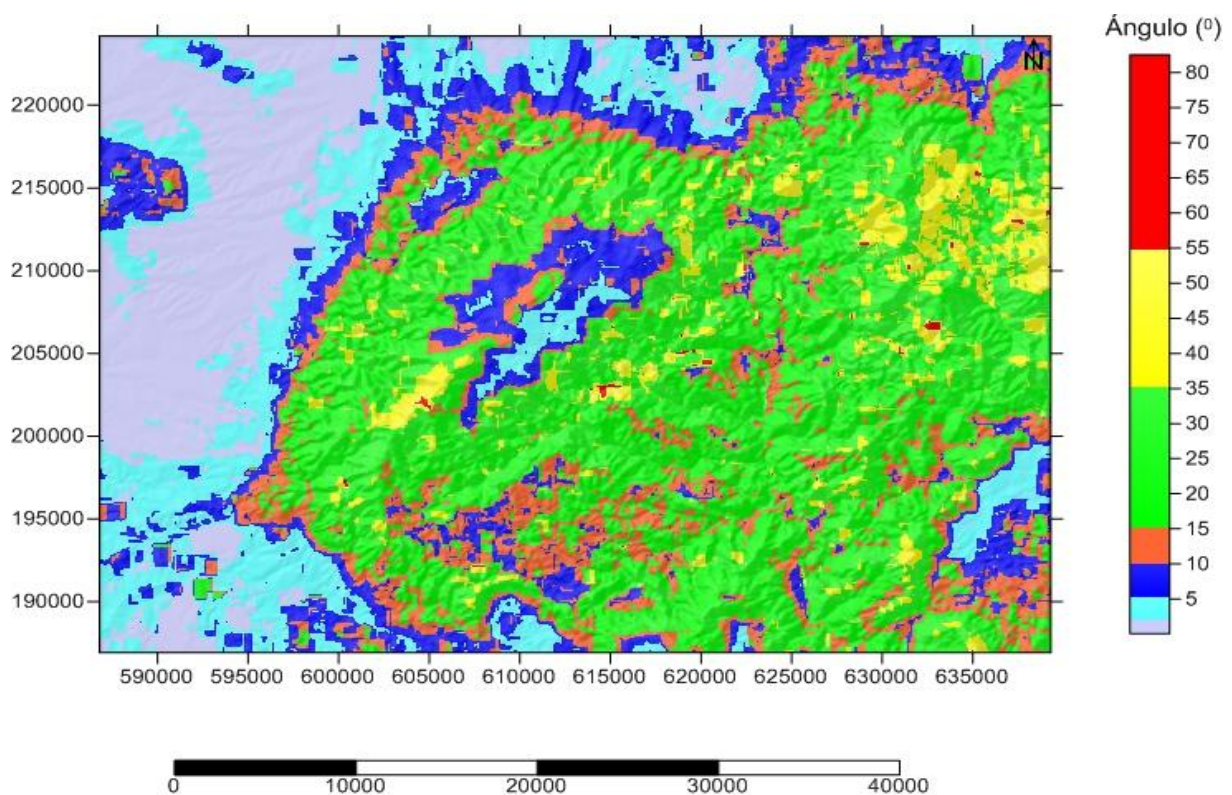


Figura 9. Mapa de Pendiente.

3.1.4 Mapa de Disección vertical

Este mapa tiene una amplia relación con el mapa de pendiente, por lo que en algunas zonas muestra resultados similares en cuanto al control tectónico de las morfoestructuras.

Los límites entre la zona de llanura y de montaña se observan nítidamente al igual que en el mapa de pendiente. La zona de llanura acaban donde estas se comportan como lomeríos y colinas fuertemente diseccionados.

En las llanuras el grado de disección vertical es muy variado, al norte y noroeste de la meseta bordeando los límites de esta, se observan franjas relativamente uniformes, según el grado de disección, con valores entre 15 y 60 m/km².

En la región central de las llanuras estas van de onduladas medianamente diseccionadas a onduladas fuertemente diseccionadas. Solo en sectores muy pequeños llegan a ser llanuras planas débilmente diseccionadas.

En la meseta Pinares de Mayarí prevalecen las áreas de montañas ligeramente diseccionadas, pero los flancos que circundan su parte superior están medianamente diseccionados (Fig.10), evidenciando posibles áreas de levantamiento. Los valores más elevados de profundidad de erosión se manifiestan en la vertiente noroeste de la loma de la Mensura.

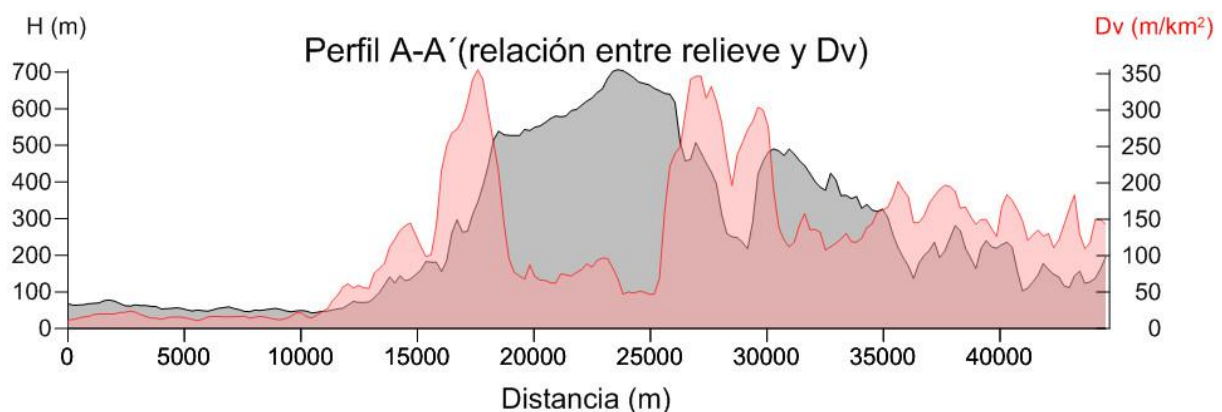


Figura 10. Perfil transversal (NW-SE) a la meseta Pinares de Mayarí.

Desde la loma de la Mensura hacia el sur se alinea una zona de montañas medianamente diseccionadas.

Al sur, sur-suroeste y suroeste de la meseta Pinares de Mayarí aparecen las mismas alineaciones que en el mapa de pendiente, en este caso por cambios relativamente brusco en el grado de desmembramiento vertical, lo que puede constituir una zona de levantamientos neotectónicos.

Las áreas con orientación perpendicular a la meseta, reflejadas en el mapa de pendiente, también son reveladas por la profundidad de erosión como lomeríos y colinas fuertemente diseccionadas, así como montañas ligeramente diseccionadas.

La superficie de nivelación de la meseta se comporta como una zona de lomeríos y colinas ligera y medianamente diseccionados al sureste y norte respectivamente. El sector que posee una orientación paralela a esta superficie, ubicado al noroeste de la misma, presenta valores similares de desmembramiento vertical, y mantiene al igual que en el mapa de pendiente una configuración geométrica parecida, en este caso según los rangos de erosión de fondo.

En la región situada al este del río Mayarí predominan las montañas ligeramente diseccionadas. Las medianamente diseccionadas se encuentran bordeando la divisoria principal, alcanzando valores un poco más elevados que en la meseta Pinares de Mayarí (Fig. 11).

El peniplano al sur de la morfoestructura principal se manifiesta como un área de llanuras colinosas medianamente diseccionadas, así como lomeríos y colinas ligeramente diseccionadas. Al noroeste y nor-noroeste de esta superficie se observa un aumento brusco de la profundidad de erosión, con valores de 250 a 500 m/km² en la porción nor-noroeste, los cuales están asociados a un cuerpo de gabros y serpentinitas. El peniplano mantiene según los rangos de desmembramiento vertical una dirección paralela a la meseta Pinares de Mayarí.

Al sur-suroeste de la divisoria principal aparece un área prácticamente rectangular según los valores de disección. En su centro presenta montañas ligeramente diseccionadas, y sus límites periféricos y flancos están dados por montañas medianamente diseccionadas. Su centro lo conforman rocas de las formaciones

Miranda, Puerto Boniato y La Picota, mientras que en su flanco norte la Formación Puerto Boniato entra en contacto con la Formación Miranda, y hacia el este con la Formación Mícaro. Esto evidencia que los valores de erosión de fondo tienen en esta área una estrecha relación con los cambios y contactos litológicos.

Las alturas del noroeste mantienen su alineación y en sus elevaciones centrales alcanzan valores entre 40 y 60 m/km².

En los flancos de las alturas ubicadas al oeste del área de estudio, predominan los valores entre 80 y 100 m/km², llegando a alcanzar una profundidad de disección superior a los 100 m/km² en su vertiente oeste.

Las alturas situadas al noroeste de la meseta Pinares de Mayarí presentan una disección vertical superior a los 100 m/km².

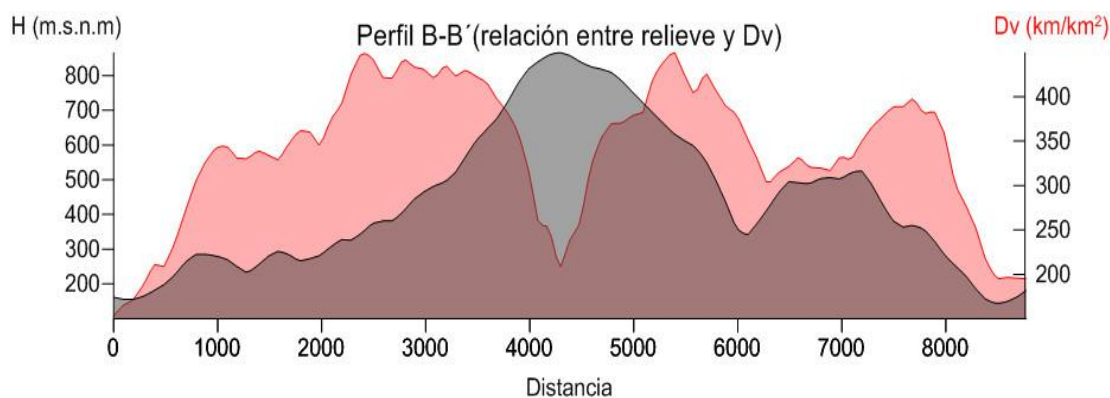


Figura 11. Perfil transversal (W-E) a la región ubicada entre los ríos Mayarí y Levisa.

El mapa (Fig. 12) muestra que en el territorio un papel muy activo en el modelado actual del relieve lo ejerce la erosión fluvial y principalmente la erosión de fondo; condicionada esta en gran medida por los levantamientos tectónicos de la región.

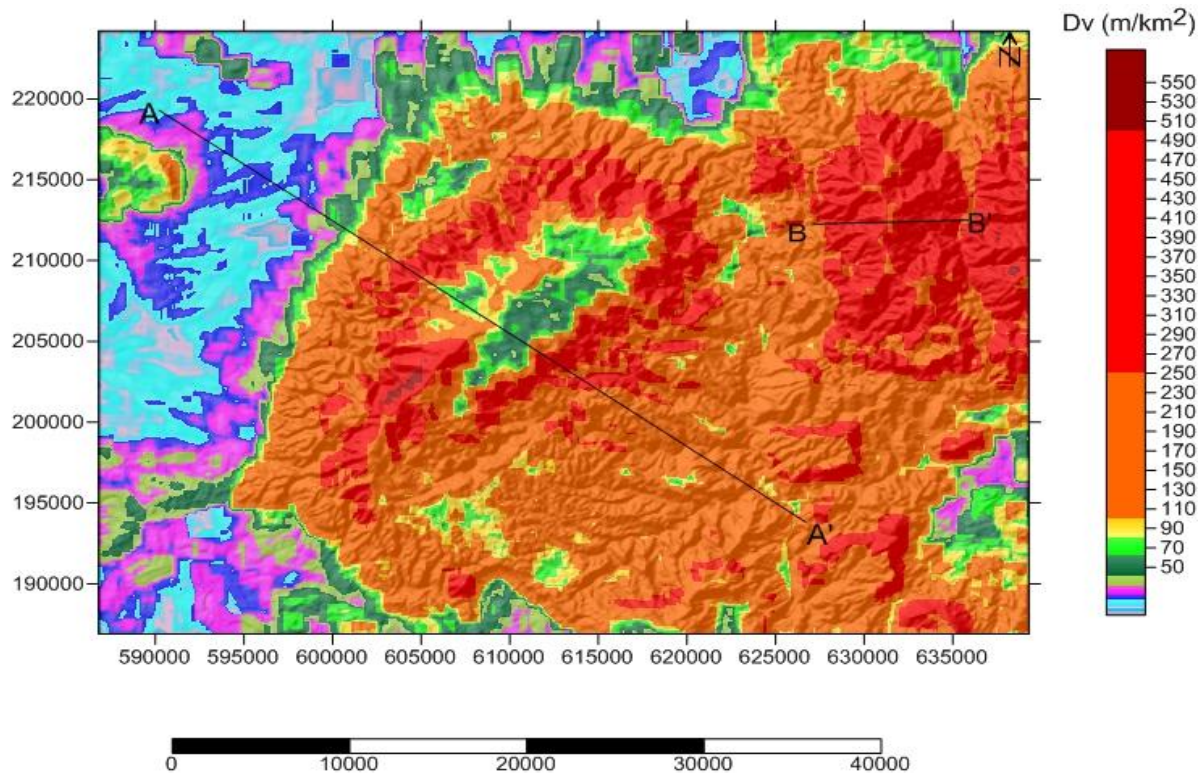
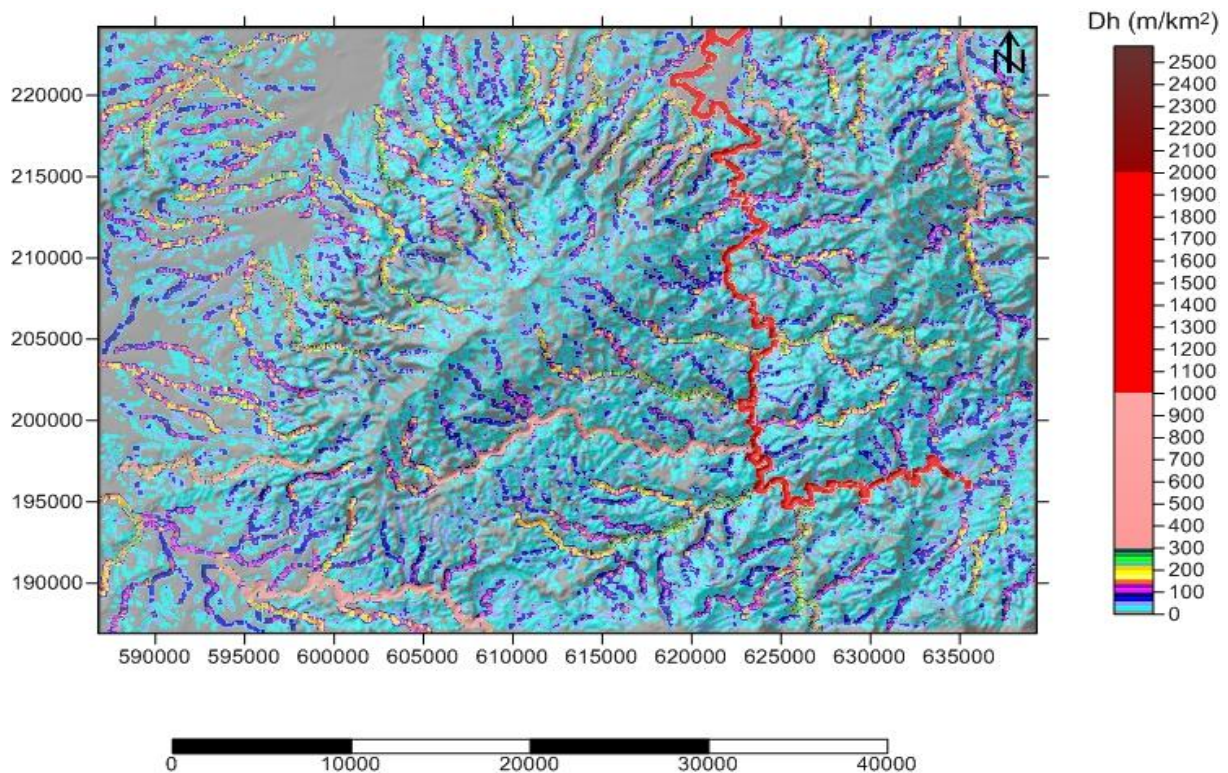


Figura 12. Mapa de Disección vertical.

3.1.5 Mapa de Disección horizontal

El área de estudio según la clasificación empleada es en su conjunto muy suavemente diseccionada; siendo suavemente diseccionada en los cauces de los ríos Naranjo, Jagua, Baragua, Ceiba y Levisa. Solo en el curso del río Mayarí la superficie está ligeramente diseccionada. El mapa confeccionado no ofrece criterios suficientes para determinar diferencias morfológicas o genéticas en el territorio, por ello fue necesario subdividir el nivel inferior a los 300 m/km² en intervalos de 20 m/km² (Fig. 13). El nuevo mapa obtenido tampoco refleja contrastes sustanciales entre las morfoestructuras identificadas en el territorio. En este la vertiente oeste del eje central de la meseta Pinares de Mayarí, refleja un ligero aumento de la erosión lateral con respecto a la vertiente este.

Se pueden distinguir pequeñas zonas en las que existe una disminución del escurrimiento superficial y dos áreas al noroeste con una disección inferior a 20 m/km² que constituyen embalses creados en el municipio.



3.1.6 Mapas de Isobasitas

Los mapas de isobasitas ofrecen entre otras características la evolución tectónica del relieve; de los tres mapas creados el de cuarto orden representa las irregularidades superficiales más antiguas.

Las isobasitas de cuarto orden (Fig. 14) reflejan un relieve tranquilo al norte y oeste del territorio, mientras que en la porción central, este y sur, se observan bloques bastante elevados con respecto a las demás áreas.

En la zona central se encuentra un bloque muy levantado de orientación NE-SW, perteneciente a la meseta Pinares de Mayarí, con dos estructuras de cierres; una de 600 m.s.n.m., hacia el centro y la otra al suroeste con 500 m.s.n.m. Al sureste de este bloque aparecen dos sectores perpendiculares a este, que empiezan a separarse, y un tercero más al sur de alineación paralela a la meseta; todos con cierres entre los 250 y 350 m.s.n.m. En la zona de manera general hay una tendencia a un levantamiento diferenciado.

En el bloque situado al este de la región se encuentra sectorizado por varias estructuras de cierres elevados, que evidencian un levantamiento tectónico más intenso en esos puntos.

Al sureste de territorio se manifiesta un área elevada dentro de la cual se diferencia un sector con cierres más altos, mientras que al sur se halla un bloque que comienza a dividirse en dos superficies positivas.

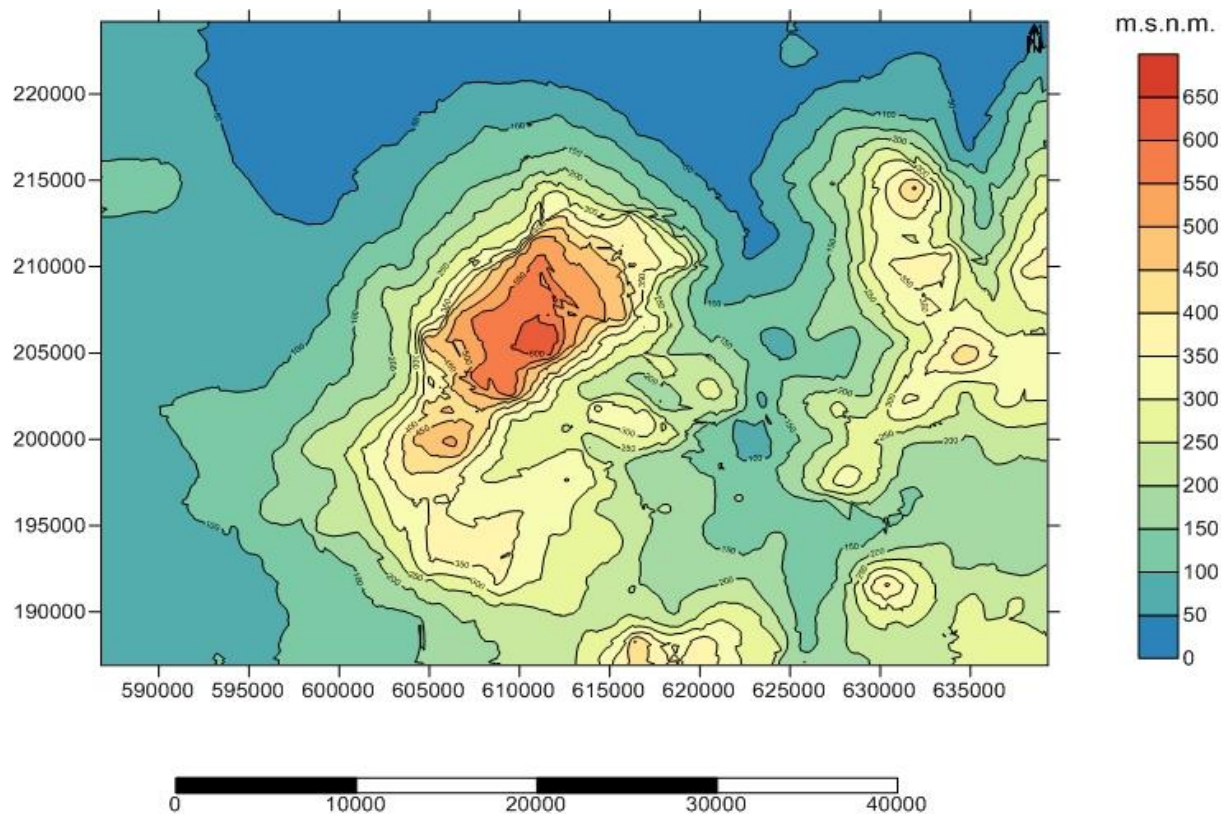


Figura 14. Mapa de Isobasitas de cuarto orden.

En el mapa de Isobasitas de tercer orden (Fig. 15) el bloque central mantiene su movimiento de ascenso, las isolíneas de sus flancos manifiestan un gradiente elevado, indicando movimiento tectónico reciente. El área de mayor cierre se ha desplazado hacia el suroeste. Al sur del eje central de este bloque aparece un área de cierre menos elevada, en donde la intensidad de los movimientos neotectónicos han sido un poco menor que en la zona central.

Las superficies situadas al sureste de la meseta continúan su proceso de levantamiento, empezando a delimitarse entre ellas por zonas deprimidas; y

diferenciándose de la meseta por un área en donde los movimientos de ascenso han tenido menor intensidad.

El bloque ubicado al este del área de estudio mantiene su levantamiento sectorizado, cobrando mayor intensidad estos movimientos en su zona central, donde el cierre es de 600 m.s.n.m.

En el sureste del territorio el sector de cierres más altos, permanece con sus movimientos de ascenso y se encuentra prácticamente aislado del bloque del que formaba parte.

En el bloque sur los levantamientos continúan, aunque en la porción que se halla ligeramente separa de este, al noreste, la intensidad ha disminuido.

Al oeste del territorio se presenta una pequeña región que ha sufrido un leve levantamiento.

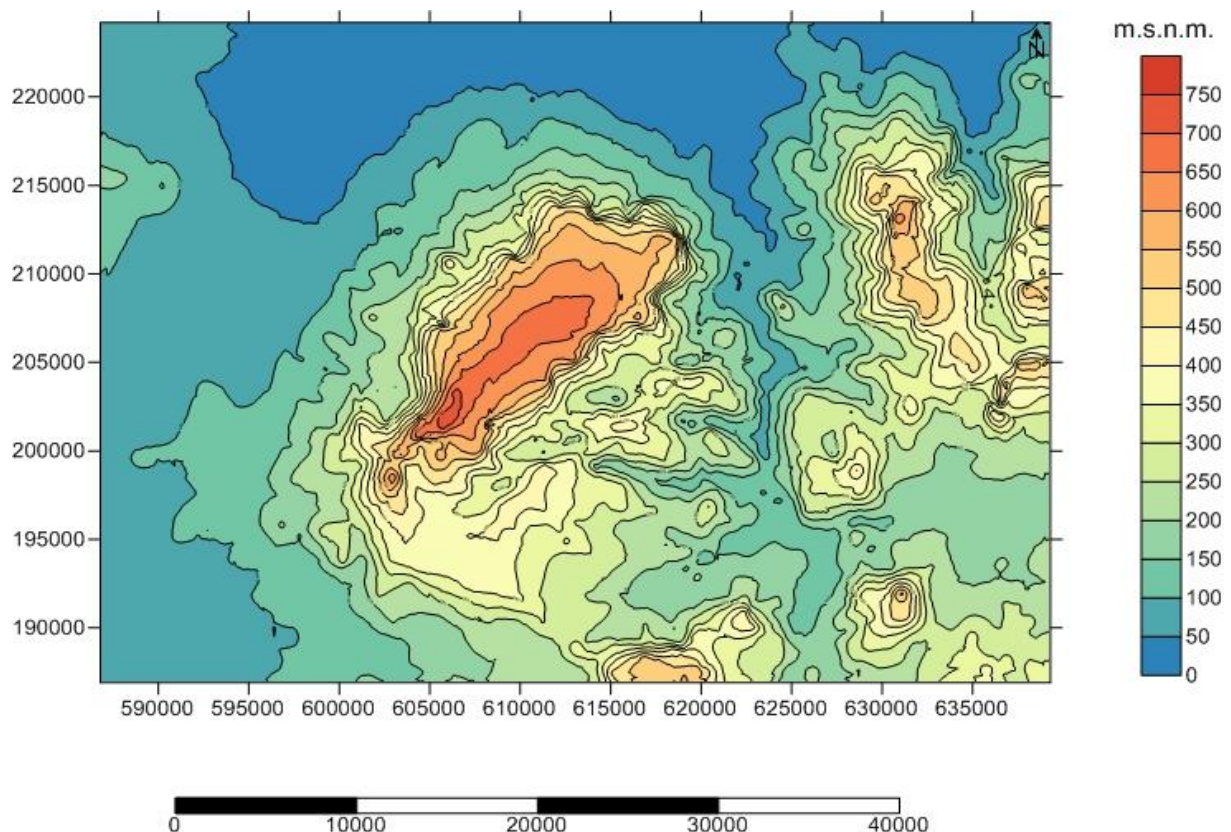


Figura 15. Mapa de Isobasitas de tercer orden.

En el mapa de Isobasitas de segundo orden (Fig. 16), que refleja las influencias tectónicas en el relieve más actual, el bloque central mantienen sus movimientos de

ascenso, en el mismo aparece hacia su centro una nueva zona de cierre de cota 700, evidenciando un aumento de los movimientos verticales en esta área. Sin embargo, la mayor intensidad de los levantamientos neotectónicos sigue hallándose en la porción suroeste, donde se observan cierres de 800 y 850 m.s.n.m.

El bloque situado al este permanece con desplazamientos verticales positivos, revelando en su sección norte una intensidad menor que en los sectores centro y sur, los cuales tienen una alineación predominantemente NE-SW. Al sur-suroeste de este bloque se manifiestan dos áreas que han mantenido un ascenso progresivo pero con una intensidad moderada de los esfuerzos tectónicos. Estos bloques manifiestan alineación con las zonas ubicadas al sureste de la meseta.

El bloque suroeste se presenta totalmente dividido en dos sectores. El que presentaba los cierres más elevados ahora constituye una zona de cierres más bajos con respecto al sector ubicado más al sur.

El bloque situado al sur mantiene el mismo patrón de levantamiento, al igual que la zona débilmente levantada al oeste del territorio.

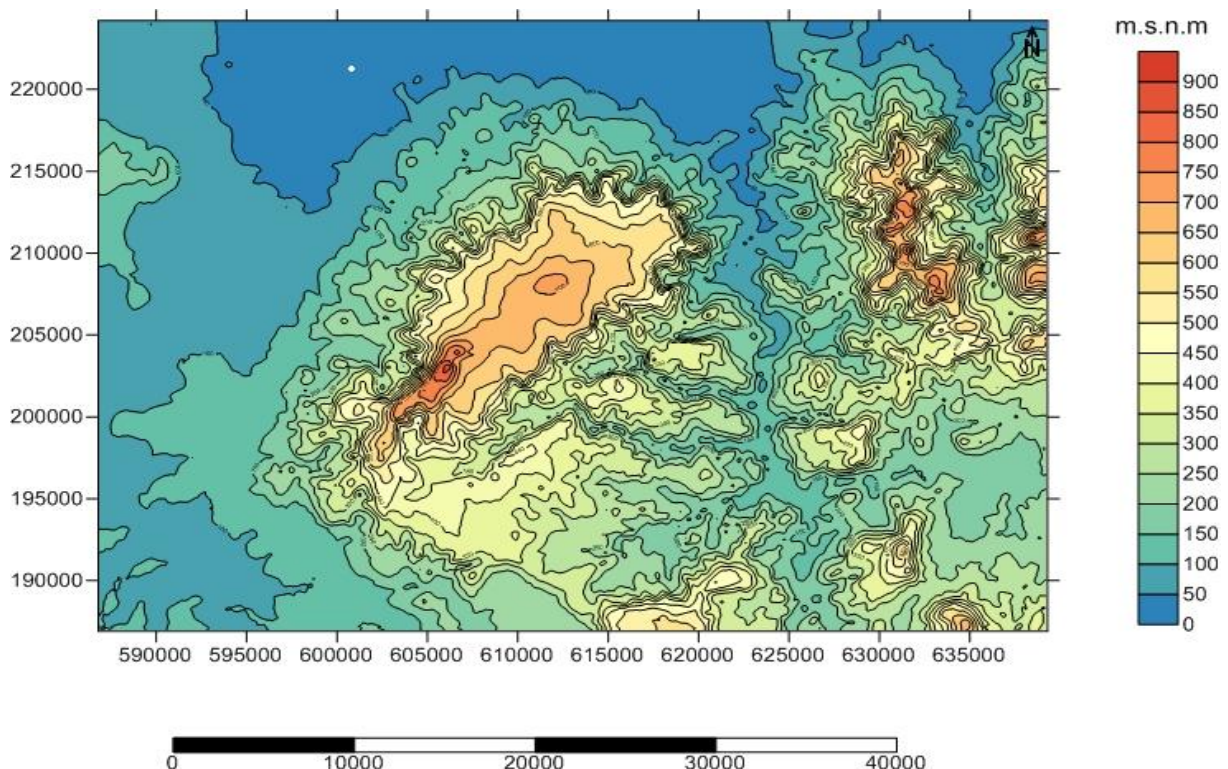


Figura 16. Mapa de Isobasitas de segundo orden.

En la figura 17, se muestra el mapa de diferencia de isobasitas 3 y 2, donde los menores valores corresponden con los sectores de máximo levantamiento, representados por la loma de la Mensura, los flancos de la meseta Pinares de Mayarí y las secciones más elevadas del bloque este.

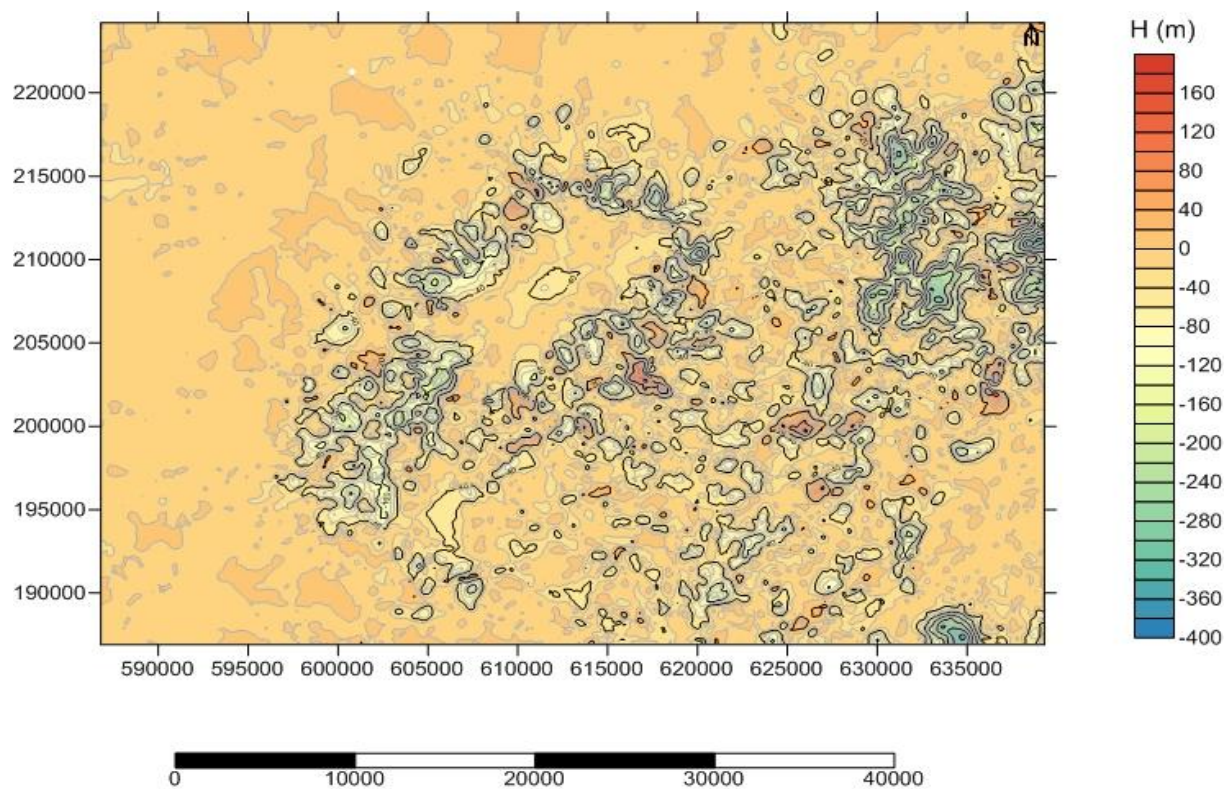


Figura 17. Mapa de Diferencia de isobasitas 3 y 2.

3.1.7 Mapa de la Red de drenaje superficial

La disposición y distribución de la red de drenaje está condicionada por varios factores como el clima, litología y estructura del terreno. El análisis de su configuración, alineaciones, distribución y densidad permite una interpretación geólogo-geomorfológica de una determinada superficie. En el área de estudio la red de drenaje se encuentra bien desarrollada (Fig. 18), representadas por ríos que llegan hasta el orden 8.

En la meseta Pinares de Mayarí la red fluvial es radial en su expresión general, debido a la morfología de la estructura; pero en toda su superficie se manifiestan varios tipos de drenaje como, paralela, enrejada y dendrítica. En su porción noroeste, en la franja de gabros la red es de tipo rectangular, las corrientes

principales y sus tributarios tienen curvaturas en ángulos rectos, lo cual es un reflejo del control ejercido por sistemas de grietas y fallas. En el límite noroeste de este sector, donde se halla una zona de alturas, se observan cursos largos, paralelo y subparalelos en dirección NW y cursos cortos hacia el SE, revelando la yacencia monoclinual de estas morfoestructuras hacia el NW.

En la zona de llanura prevalece el drenaje paralelo, subparalelo y dendrítico. En la porción noroeste de estas, donde se encuentra una zona de alturas, el escurrimiento superficial es radial en las elevaciones centrales de la misma.

La configuración del drenaje en el territorio es compleja, ya que es muy variable por sectores, donde pueden presentarse la combinación de dos y más tipos de drenaje. Un rasgo muy distintivo en la región es el cambio brusco de dirección en los cursos fluviales, fundamentalmente en ángulos rectos. Varios de estos cambios de dirección se hallan alineados, lo que constituye un criterio significativo en la determinación de morfoalineamientos y estructuras disyuntivas. La diversidad de los tipos de drenaje evidencia el fuerte control estructural y litológico, existente en el área de estudio.

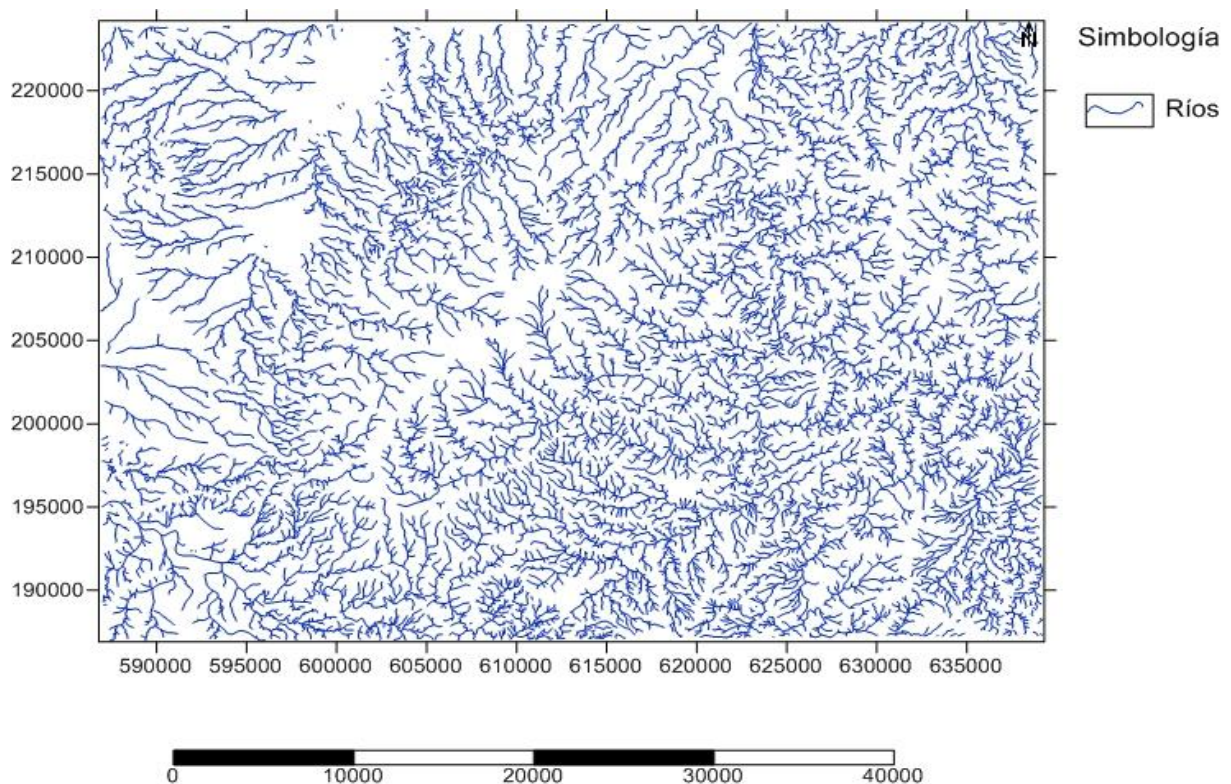


Figura 18. Mapa de la Red de drenaje superficial.

3.2 Representación de las morfoalineaciones

El análisis de las características, configuración, rangos y valores de las variables morfométricas estudiadas, permitió el trazado de las alineaciones que estas presentaban. A las alineaciones de cada parámetro morfométrico se le otorgó un color distintivo, todas fueron digitalizadas en el software Surfer versión 12.0.626, y guardadas como un fichero *.bln*, y posteriormente cargadas en este mismo software con el comando "Base Map". De esta forma quedó conformado el mapa de alineaciones (Fig. 19).

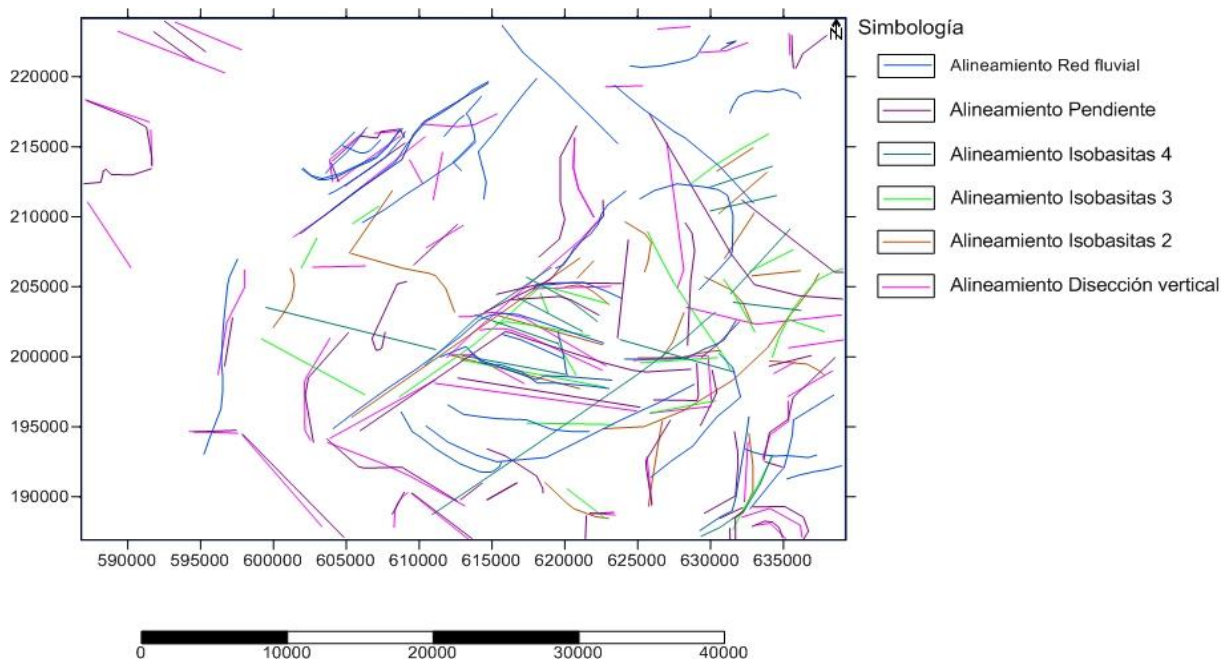


Figura 19. Mapa de Alineaciones.

Los patrones de alineaciones coincidentes (Fig. 20) son presentados en el mapa geomorfológico final como morfoalineamientos, estos pueden constituir estructuras disyuntivas si son corroboradas o corregidas por otros métodos de estudio geológico-geomorfológicos. Las morfoalineaciones que coinciden con las fallas del mapa geológico de la zona de estudio, no son presentadas por estar estas últimas comprobadas.

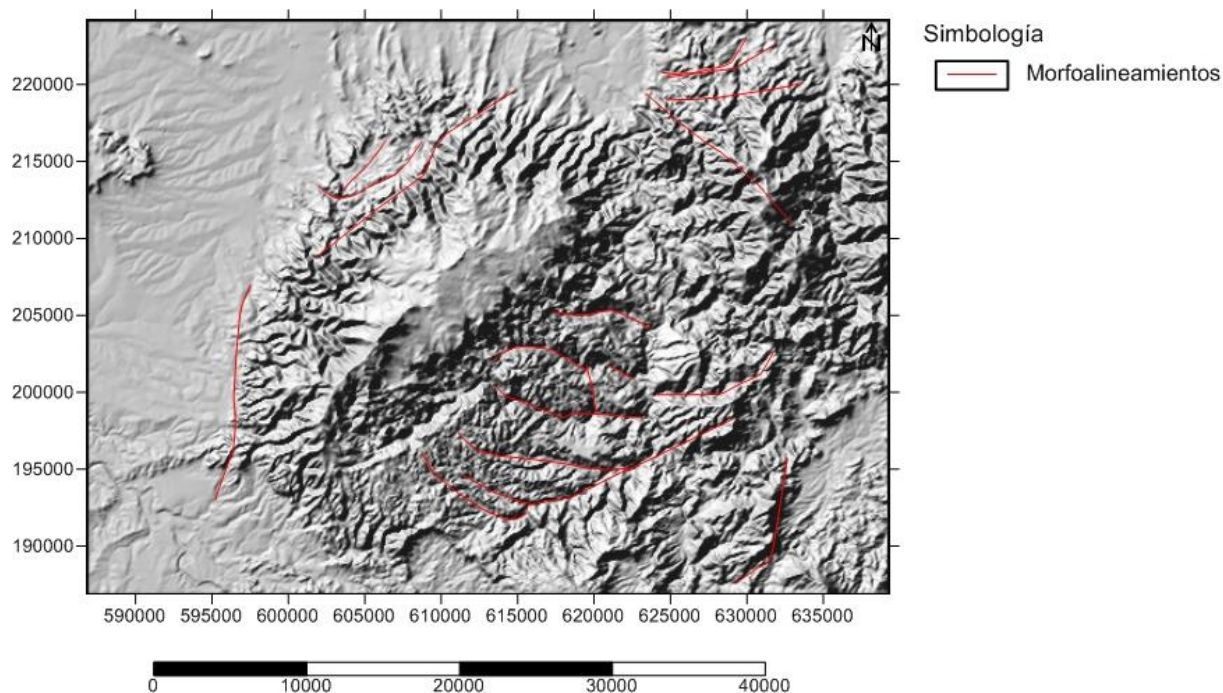


Figura 20. Mapa de los Morfoalineamientos

3.3 Determinación y caracterización de los tipos de relieve

La determinación de los tipos de relieve se basó en tres niveles jerárquicos. El primero, enmarcado en las tres categorías morfoestructurales principales: montañas, alturas y llanuras; según su nivel hipsométrico o relaciones espaciales con las estructuras circundantes. El segundo se estableció por la génesis del relieve según las clasificaciones empleadas por Díaz Díaz (1989). Las montañas y alturas se subdividen en tectónica-erosivas, cuando el papel genético fundamental es de carácter endógeno, pero han sido considerablemente transformadas por los procesos morfogénéticos; se originan principalmente sobre roca cristalina y masiva. Tectónico-litológicas cuando presentan las mismas características que las primeras, diferenciándose en que los tipos de rocas son más fáciles de erosionar, formando en las superficies varios surcos, cañadas y cárcavas; y por último en tectónico-estructurales cuando deben su origen a ascensos de poca amplitud y la expresión morfológica de su estructura interna pasiva o activa.

En el caso de las llanuras su génesis se presenta como: fluviales, marinas, deltaicas, lacustres o palustres.

En el tercer nivel de jerarquización se distinguieron los tipos de relieve según sus rasgos distintivos como morfología e intensidad de procesos geológicos.

Atendiendo a estos niveles se determinaron 10 sectores con características distintivas de relieve que serán descritos a continuación.

3.3.1 Montañas

Las montañas del territorio son bajas y en ellas aparecen representadas dos tipos genéticos de relieve, erosivo-tectónicas y tectónico-litológicas, los cuales reflejan las condiciones de su morfología actual. Las primeras son las de mayor distribución espacial, están compuestas por rocas ofiolíticas serpentinizadas y se subdividen en dos según la intensidad de la disección vertical; mientras que las tectónico-litológicas están compuestas por rocas de los complejos carbonatado, turbidítico-carbonatado-detrítico, piroclástico terrígeno y formaciones carbonatadas detríticas con olistostromas.

Montañas bajas tectónico-erosivas

Su morfoestructura es de horst y bloques en mantos de sobrecorrimientos, masivas; a esta categoría pertenece la meseta Pinares de Mayarí.

En la parte superior de la meseta aparece una antigua superficie de nivelación donde se ha desarrollado un intenso proceso de meteorización química, favoreciendo la formación de potentes cortezas ferroniquelíferas, las cuales fueron explotadas por minería a cielo abierto para el beneficio de níquel y cobalto.

La meseta, con una orientación NE-SW, está sometida a un fuerte control tectónico, manifestado principalmente en la superficie de sus flancos, donde las pendientes son superiores a los 15°. Asimismo la morfoestructura se ha mantenido en un constante ascenso vertical, evidenciado fundamentalmente por los sectores de máximo levantamiento ubicados en sus vertientes y en la loma de la Mensura. Estas características de la actividad tectónica han condicionado la existencia de varios sistemas de grietas y fallas, que controlan en gran medida la distribución y orientación de la amplia red de drenaje superficial; la cual labra en todas las laderas de la meseta valles en forma de V. La intensa dinámica erosiva de las corrientes

fluviales en combinación con la dinámica endógena de esta estructura, han determinado su elevada disección vertical.

Montañas bajas, tectónico-erosivas, muy diseccionadas

Están representadas por el bloque montañoso al este del río Mayarí. Posee características muy similares a las de la meseta Pinares. Al igual que esta constituyen horst y bloques en mantos de sobrecorrimientos, masivas; la diferencia principal con respecto a la meseta es el grado de disección vertical. En esta morfoestructura la profundidad de erosión es mayor (Fig. 11), pues los movimientos de levantamiento han sido más intensos, creando cuestas más abruptas que en la meseta. La fuerte actividad erosiva en conjunto con la tectónica ha determinado que su divisoria principal sea una cresta y no una peniplanicie como en la meseta Pinares de Mayarí. La orientación de esta morfoestructura es NNW-SSE y en sus superficies más elevadas también se han formado potentes cortezas de laterita ferroniquelíferas que han sido explotadas para la obtención de níquel y cobalto.

Montañas bajas, tectónico-litológicas

Estas montañas se encuentran al sur de las tectónico-erosivas, y presentan un nivel hipsométrico más bajo, pues los movimientos de levantamiento han tenido una intensidad menor. Su morfoestructura es de horst y bloques en plegamiento y monoclinales, presentado un amplio sistema de grietas, fallas y morfoalineamientos determinados por sus tectónica activa. La superficie de esta estructura esta compuesta por las formaciones: Yateras, Mucaral, Puerto Boniato, Mícara, La Picota, Miranda, Charco Redondo y Bucuey.

El comportamiento de las pendientes es similar al de los flancos de la meseta, de los cuales se halla delimitado por fallas establecidas en el mapa geológico del área, por lo que el contacto entre estas dos unidades morfoestructurales es tectónico.

Por el centro de estas montañas corre el río Mayarí, en cuyo curso superior en la porción oeste aparecen varios afluentes como el Naranjo, Piloto y Juan Mulato. Estos afluentes corren perpendicular al río Mayarí y delimitan bloques compuestos por las formaciones Puerto Boniato, Mucaral y Yateras, de orientación NNW-SSE y NW-SE. La Formación Yateras yace discordantemente por encima de la Formación

Mucaral con muy poca distribución, y se encuentra principalmente en las laderas y cimas de los bloques, por lo que puede constituir un relictos de la erosión luego del levantamiento que han sufrido las estructuras. Los bloques antes mencionados están alineados según los análisis morfométricos con dos bloques más pequeños al este del río Mayarí, compuestos por las mismas formaciones además de La Picota y Miranda.

3.3.2 Alturas

Esta categoría morfoestructural es la de menor distribución espacial en el área, las tres zonas identificadas poseen una génesis tectónico-estructural; pues deben su origen a ascensos de poca amplitud.

Las alturas de horst y bloques monoclinales se extienden en la porción noroeste de la meseta Pinares de Mayarí. Estas elevaciones buzanan hacia el noroeste y presentan una elevada disección vertical. En sus superficies no se determinaron morfoalineamientos, la red de drenaje es de tipo dendrita y subparalela con causes largos en su dirección de buzamientos, lo cual es un reflejo de su yacencia.

Las alturas de bloques monoclinales se encuentran al oeste del territorio. Están constituidas al igual que las primeras, por rocas de la Formación Camazán. Esta formación está cubierta concordantemente por la Formación Río Jagüeyes, que predomina en el área de las llanuras. Por ello se puede inferir que en las dos zonas de altura, la Formación Camazán aflora producto del levantamiento y posterior erosión de la Formación Río Jagüeyes.

En estas elevaciones la disección vertical llega a alcanzar valores superiores a los 100 m/km². En su porción sur se observan escarpes tectónicos.

Las alturas de bloques en plegamientos y monoclinales son el resultado de movimientos de levantamientos muy débiles. Estas pequeñas elevaciones se hallan al noroeste de la región de estudio y se alinean en esa misma dirección. La red de drenaje en su superficie es de tipo radial hacia las estructuras situadas más al noroeste y paralela en las otras. La red fluvial presenta en su descenso topográfico cambios bruscos en su dirección, lo que probablemente este asociado a zona fallas o grietas en el área.

3.3.3 Llanuras fluviales

Las llanuras que conforman el área de estudio son llanuras fluviales que se distinguen por su inclinación y por los procesos geológicos que tienen lugar en ellas en. Según estas características se determinaron cuatro tipos de llanura:

Colinosas denudativa. De este tipo de llanura aparecen dos zonas, una cubriendo los límites norte, oeste y sur de la meseta Pinares de Mayarí, y la otra lo constituye el peniplano ubicado al noroeste de la meseta, en contacto con una zona de altura. Las pendientes de ambas van desde ligeramente inclinadas hasta medianamente inclinadas, favoreciendo una profundidad de erosión con valores entre 20 y 60 m/km².

Onduladas, erosivos-acumulativas. Estas llanuras se sitúan principalmente al oeste y noroeste del territorio. Sus pendientes son planas, lo cual incide en que sus valores de disección vertical sean bajos con respecto a la zona montañosa, con rangos entre 5 y 20 m/km².

Aluviales. Estas llanuras poseen las mismas características morfométricas que las erosivo-acumulativas, pero se decidió que constituyeran un grupo aparte para poder representar las llanuras de inundación de los ríos Mayarí y Levisa.

Colinosa, alta y erosiva. Esta llanura representa el peniplano ubicado al sur de las montañas del este. Presenta los mismos rasgos morfométricos que las llanuras erosivo-acumulativa, pero su posición hipsométrica es mayor, así como los procesos erosivos, condicionados por la presencia de estructuras monoclinales, plegadas y escarpes de fallas en sus límites.

Con la representación de estos sectores distintivos de relieve y los diversos símbolos indicadores de características o procesos geológicos imperantes en las geoformas, quedó conformado el Mapa geomorfológico preliminar del municipio Mayarí a escala 1: 100 000 (Fig. 21).

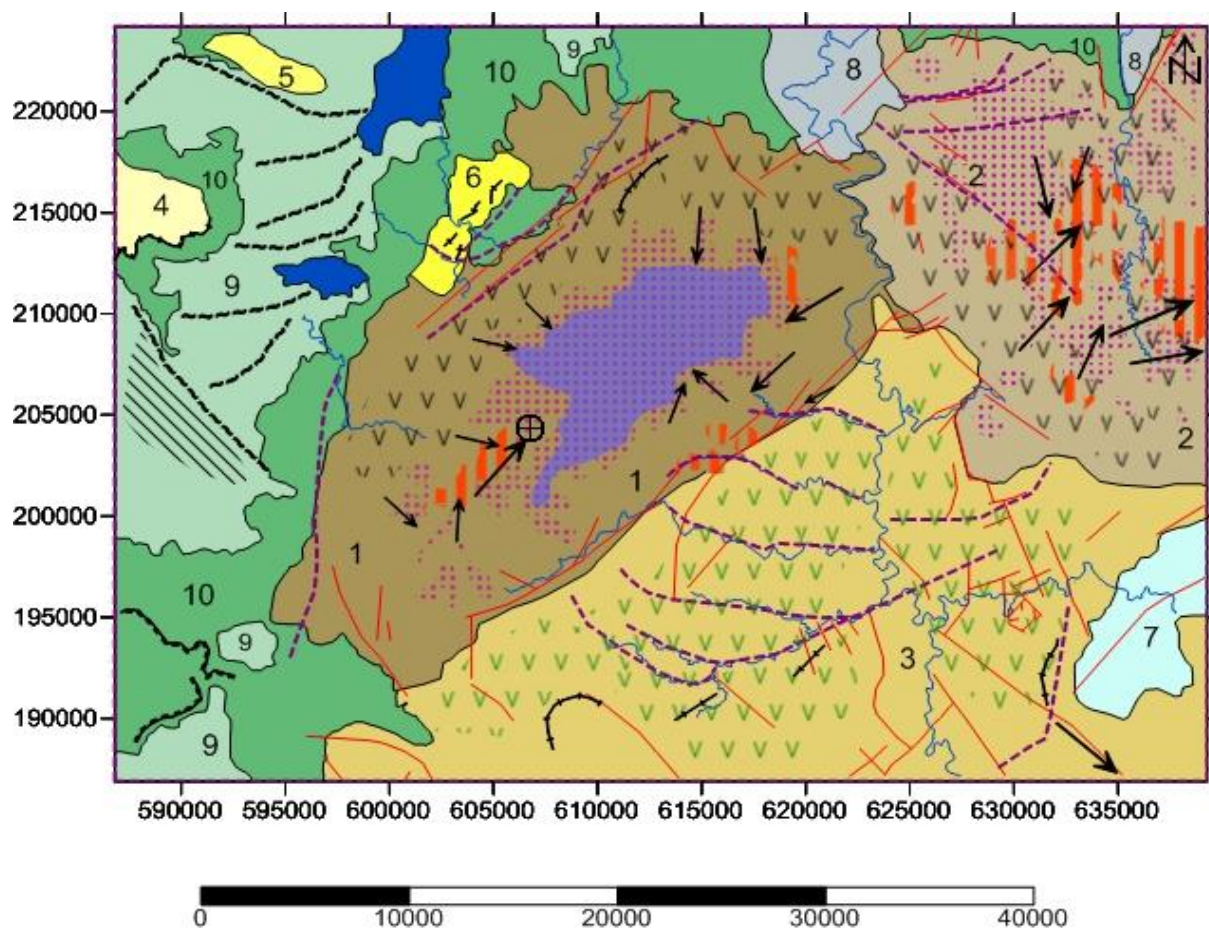


Figura 21. Mapa geomorfológico preliminar del municipio Mayarí a escala 1: 100 000.

Leyenda

Tipos de relieve

Montañas bajas
Tectónico-erosivas

- 1 Horst y bloques en mantos de sobrecoimientos, masivos
- 2 Horst y bloques en mantos de sobrecoimientos, masivos. Muy diseccionados

Tectónico-litológicas

- 3 Horst y bloques en plegamiento y monoclinales

Alturas
Tectónico-estructurales

- 4 Bloques monoclinales
- 5 Bloques en plegamiento y monoclinales
- 6 Horst y bloques monoclinales

Llanuras fluviales

- 7 Colinosa, alta y erosiva
- 8 Aluvial
- 9 Onduladas, erosivo-acumulativa
- 10 Colinosas denudativa

Simbología

-  Fallas
-  Escarpe tectónico
-  Morfoalineamientos
-  Zona de máximo levantamiento
-  Escarpe erosivo
-  Divisorias planas
-  Valles en forma de V
-  Cárcavas, surcos y cañadas
-  Embalse
-  Ríos principales
-  Cota máxima: loma de la Mensura, 995 m
-  Pendientes abruptas
-  Antigua superficie de nivelación
-  Zona con poco escurrimiento superficial
-  Cortezas de intemperismo

CONCLUSIONES

En el área están representadas las tres categorías morfoestructurales principales: montañas, alturas y llanuras, predominando las primeras.

Se determinaron 10 sectores con características distintivas de relieve, evidenciando la compleja constitución geomorfológica de la región, debido a la combinación de procesos endo y exogenéticos muy activos.

En el territorio aparecen 2 tipos genéticos de montañas bajas: tectónico-erosivas y tectónico-litológica. Un tipo genético de altura: tectónico-estructural, y un tipo genético de llanura: fluvial.

El relieve de la región se halla muy diseccionado, producto de la actividad tectónica, la cual es el principal controlador de las geoformas y de la red de drenaje superficial, mediante un amplio sistema de grietas, fallas y bloques en franco levantamiento.

RECOMENDACIONES

Después de culminada la investigación se recomienda:

Profundizar en el estudio geológico geomorfológico de la región, fundamentalmente en los procesos y fenómenos tectónicos que actúan en la misma.

Aplicar otros métodos de estudio geomorfológicos como los trabajos de campo e interpretaciones de imágenes aéreas, que permitan aumentar el conocimiento de las características de los sectores distintivos de relieve identificados y/o discernir nuevos tipos.

Llevar a cabo trabajos investigativos que corrijan o comprueben los morfoalineamientos presentados como nuevas estructuras disyuntivas.

Integran en un Sistema de Información Geográfica los resultados obtenidos.

BIBLIOGRAFÍA

- Confección de Mapas morfométricos. [en línea]. [Consultado: 6 may 2016]. Disponible en: <<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/672/confeccion.pdf>>.
- Geomorfología. [en línea]. [Consultado: 6 may 2016]. Disponible en: <<http://geologia.unsl.edu.ar/sitiodeinteres/atlasjk/pdf/7-Geomorfologia.pdf>>.
- Geomorfología Aplicada. [en línea]. [Consultado: 6 may 2016]. Disponible en: <http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/113/pdfs/TEMA%209-1%20geomorfologia.pdf>.
- Mapa de pendientes y disección de terreno. Práctica de laboratorio. [en línea]. [Consultado: 6 may 2016]. Disponible en: <http://www.uabcs.mx/geologia/geo_bajamx/geomorfologia/lab_08_08.pdf>.
- Metodología para hacer trabajos geológicos. GEOCUBA Oriente Norte, Taller IRSE.
- Morfometría de Cuencas Hidrológicas. Práctica de laboratorio. [en línea]. [Consultado: 6 may 2016]. Disponible en: <http://www.uabcs.mx/geologia/geo_bajamx/geomorfologia/lab_07_08.pdf>.
- Contribución a la geología de Cuba oriental. Instituto de Geología y Paleontología, 1983. 271 p.
- Estudio geomorfológico de la antigua provincia de Oriente. 1985.
- NC 622-2. Cartografía geológica — simbolización. Parte 2: Símbolos geológicos. Cuba, 2012.
- ADAMOVICH, A. y V.D. CHEJOVICH. Estructura geológica y minerales útiles de la región Nipe - Cristal, provincia de Oriente. O.N.R.M.: 1963.
- , Principales características de la geología y de los minerales útiles de la región nordeste de la provincia de Oriente. En: *Revista Tecnológica*. 1964, vol. 2, p. 14-20.
- , Sobre el relieve premaastrichtiano del norte de oriente y sus relaciones con la geomorfología contemporánea. [en línea]. 1965, [Consultado: 25 abr 2016]. Disponible en: <http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/1965_Adamovich,%20Relieve%20premaastrichtiano,%20Oriente.pdf>.

- ALFONSO OLIVERA, L. D. *Evaluación de riesgos por deslizamientos en taludes y laderas en el municipio Mayarí*. GUARDADO LACABA, C.R. y Y. VILTRES MILÁN (tutor). Trabajo de Diploma. ISMMM, Departamento de Geología, 2013.
- ALMAGUER, Y. *Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento Punta Gorda*. Tesis Doctoral. ISMMM, Departamento de Geología, 2005.
- ANDÓ, J.; M. KOZÁK y RÍOS. Caracterización general de la asociación ofiolítica de la zona Holguín-Moa, y el papel de las ofiolitas en el desarrollo estructural de Cuba. En: *Minería y Geología*. 1989, vol. 1, p. 15-33.
- BAREA PÉREZ, I.; M. BARRERA VEITÍA y A. RODRÍGUEZ INFANTE. Estudio morfotectónico del área enmarcada por las concesiones mineras La Delta, Cantarrana y Santa Teresita. En: *Minería y Geología*., 2010 vol. 26(1), p. 1-12.
- BATISTA RODRÍGUEZ, J.A. *Nuevas regularidades geológicas de la región Mayarí-Sagua-Moa a partir de la reinterpretación del levantamiento aerogeofísico 1:50 000*. RODRÍGUEZ PÉREZ, J.; et. al. (tutor). Tesis Doctoral. ISMMM, Departamento de Geología, 2002.
- BIOSCA AGUIERA, L.; et. al. Mapa Geomorfológico de la provincia de Pinar del Río, a escala 1: 250 000. La Habana, 1980.
- CAMPOS, M. Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de Holguín y Guantánamo. En: *Minería y Geología*. 1983, vol. 2, p. 51-76.
- CISAT. Diagnóstico ambiental de la cuenca del río Mayarí. Holguín, 2007. 151 p.
- COBIELLA REGUERA, J.L. Texto explicativo del mapa Tectónico de Cuba. En prensa: IGP.
- . *Estratigrafía y paleogeografía del Paleógeno de Cuba oriental*. Tesis Doctoral. ISMMM, 1978.
- DÍAZ DÍAZ, J.L. Relieve. IV.1.1. En: Nuevo Atlas Nacional de Cuba. 1989.
- DÍAZ GUANCHES, C.; et. al. Caracterización geológica y geomorfológica de la península de Guanahacabibes, Cuba. En: *Minería y Geología*. 2014, vol. 30(4), p. 21-37
- DÍAZ MARTÍNEZ, R. y J.A. PROENZA FERNÁNDEZ. Metalogenia asociada a las ofiolitas y al arco de islas del Cretácico del nordeste de Cuba. En: *Minería y Geología*. Cuba, 2005, vol. 21(1).

- DÍAZ RIVERO, N.; C.E. VALDÉS MOREIRA y K. ZUBIAUR CHAPMAN. Estudio Geólogo-Geomorfológico de un sector de la Provincia de Pinar del Río.
- DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ, L. *Morfotectónica del área comprendida entre el poblado de Yamanigüey y la ciudad de Baracoa con vista a la planificación turística*. RODRÍGUEZ INFANTE, A. (tutor). Tesis de Maestría. ISMMM, 2005.
- DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ, L.; et. al. Morfoalineamientos en la zona costera entre el poblado de Yamanigüey y la ciudad de Baracoa. En: *Minería y Geología*. 2007 vol. 23(3).
- FONSECA, E.; V.N. ZELEPUGIN y M. HEREDIA. Structure features of the ophiolite association of Cuba. En: *Geotectonic*. 1985, vol. 19(4), p. 321-329.
- FUENTES JUNCO, J.D.J.A. Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional pico de Tancitaro. [en línea]. 2004, [Consultado: 6 mar 2016]. Disponible en: <http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/morfometria_pico_tancitaro.pdf>.
- FURRAZOLA BERMÚDEZ, G. y K. NUÑÉZ CAMBRA. Estudios sobre Geología de Cuba. Ciudad de La Habana: IGP, 1997. 506 p.
- HERNÁNDEZ SANTANA, J.R.; A.R. MAGAZ GARCÍA y J.L. DÍAZ DÍAZ. Evolución morfoestructural del relieve de Cuba nororiental. En: IV Congreso de Geología y Minería. Memorias GEOMIN. La Habana, Cuba, 19-23 de marzo 2001.
- HUGGETT, R.J. Fundamentals of geomorphology. 2003.
- I.G.P. Mapa Geológico de las Provincias Orientales, a escala 1:100 000. Edición digital por el grupo CASIG-IGP. Cuba, 2001.
- . Léxico estratigráfico de Cuba, tercera versión. 2013
- ITURRALDE-VINENT, M.A. Geología de las ofiolitas. En: Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. 1996, p. 83. Disponible en:<http://www.redciencia.cu/cdorigen/arca/paper/1996_Iturralde_Editor_Ofiolitas%20y%20Arcos%20Volcanicos%20de%20Cuba_CompleteVolume.pdf>.
- . Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. En: *Acta Geológica Hispánica*. 1998 vol. 33(14), p. 9-56.
- ITURRALDE-VINENT, M.A.; et. al. Geología de Cuba para todos. La Habana, 2007. 112 p.

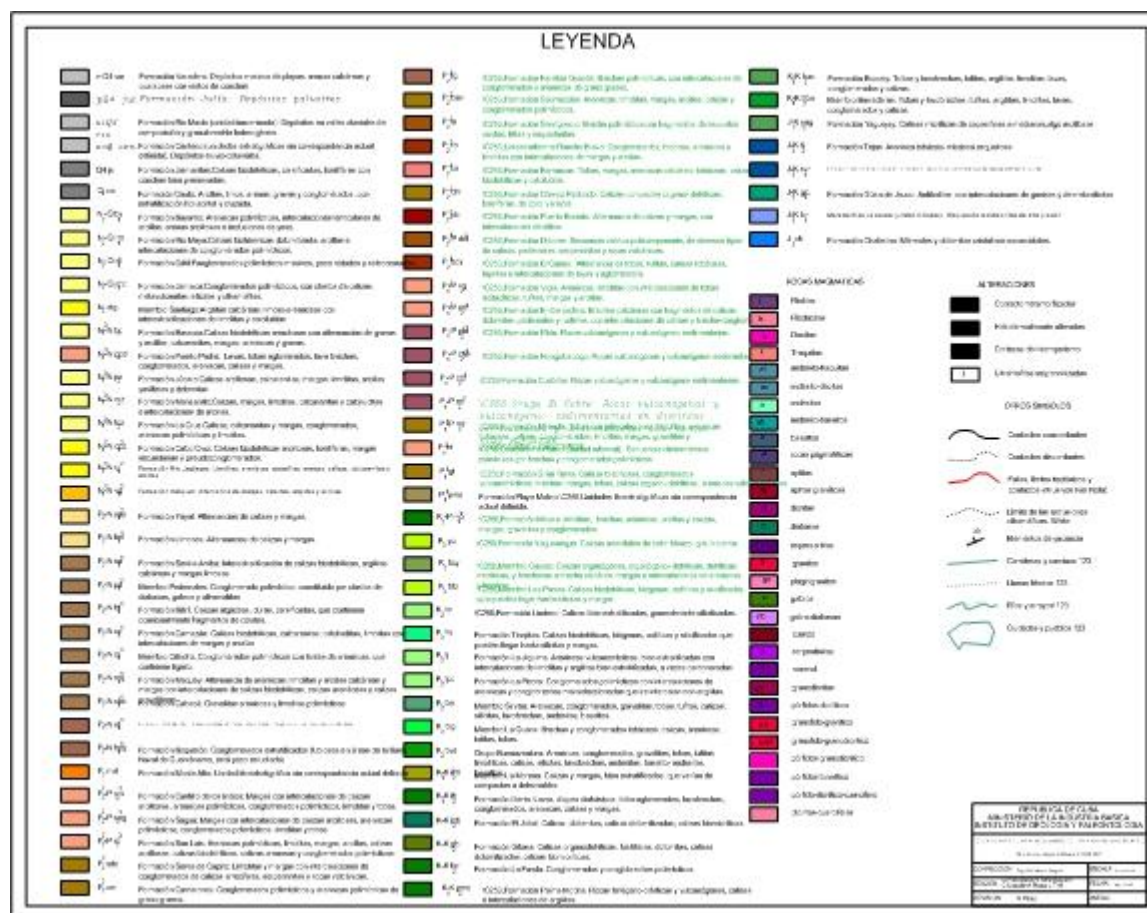
- KNIPPER, A. y R. CABRERA. Tectónica y geología histórica de la zona entre el mio y el eugeosinclinal de Cuba y el cinturón hiperbasítico de Cuba. En: Contribución a la geología de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba, 1974, p. 15-27.
- LILIENBERG, A. Algunos problemas de la formación del relieve del archipiélago cubano. En: *Serie Espeleológica y Carsológica*. La Habana: Academia de Ciencias de Cuba, 1973, vol. 48.
- LUGO HUBP, J. Elemento de geomorfología aplicada. Métodos cartográficos. México. UNAM. Instituto de Geografía, 1991.
- MONTOYA MONSALVE, J.J. Marco histórico y estado del arte de los modelos de evolución del paisaje y de erosión. En: *Ingenierías*. Universidad de Medellín, Colombia, 2009, vol. 8(15) p. 47-57
- NEKRASOV, G.Y.; et. al. Ophiolites of Eastern Cuba. En *Geotectonic*. 1989, vol. 23, p. 60-71.
- PÉREZ GÓMEZ, R. *Propuesta de normalización para la representación cartográfica en Internet. Aplicación a los mapas geomorfológicos*. MARTÍNEZ MARÍN, R. (tutor). Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos. Departamento de Ingeniería y Morfología del terreno, 2003.
- PÉREZ RIVAS, G. y A. HIDALGO MAYO. Regionalización climática de la provincia Holguín, según la norma climática 1981-2010. En prensa: CITMA.
- PROENZA FERNÁNDEZ, J.A. *Mineralización de las cromitas en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba): Ejemplos del yacimiento Mercedita*. Tesis Doctoral. ISMMM, 1997.
- QUINTAS, F. *Análisis estratigráfico y paleografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas*. Tesis Doctoral. ISMMM, 1989.
- RICARDO ADRIÁN, L.C. *Análisis geomorfológico de la DAO usando GIS*. Tesis. [en línea]. 2012, [Consultado: 6 mar 2016], 61 p. Disponible en: <<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2080/Tesis.pdf?sequence=1>>.
- RICARDO LABRADA, A.; et. al. Metodología y leyenda para la confección del Mapa Geomorfológico de la República de Cuba a escala 1:100 000: Guía para su elaboración. GEOCUBA Oriente Norte, 2016, 69 p.

RODRÍGUEZ INFANTE, A. Manual de Geomorfología. La Habana: Departamento de Ciencias Geológicas Básicas, ISMMM, 1991, 32 p.

----- Geomorfología. Moa: Departamento de Geología, ISMMM, 2000.

SECO, R. Geomorfología. La Habana, 1989, 349 p.

Anexo 1: Leyenda del Mapa geológico de Mayarí.



Anexo 2: Cartas topográficas digitalizadas para confeccionar el MDT de Mayarí.

Mayarí 5077-IA

Levisa 5077-IB

La Mina 5077-IC

Camarones 5077-ID

Arroyo Seco, 5077-IIA

Boca de Mícara 5077-IIB

Platanal 5077-IIC

Mayarí Arriba 5077-IID

Mangos de Baraguá 5077-IIIA

Loma de la Mensura 5077-IIIB

Julio Antonio Mella 5077-IIIC

Chamarreta 5077-IIID

Cueto 5077-IVA

Guaro Dos 5077-IVB

Marcané 5077-IVC

Guamuta 5077-IVD

Anexo 3: Mapa de Zonación Sísmica de la región Oriental.

