



ISMMM

INSTITUTO SUPERIOR MINERO

METALURGICO DE MOA

DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ

Facultad: Geología- Minería

Departamento de Geología.

Trabajo de Diploma

En opción al Título de

Ingeniero Geólogo

Título: Caracterización morfoestructural del sector
Mucaral, sureste de Mayarí

Autor: Adrian Urrutia Meriño

Tutor (es): Ing. Sergio Greenidge Moro

Dr. Alina Rodríguez Infante





DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: Adrian Urrutia Meriño autor de este trabajo de diploma, Sergio Greenidge Moro y Alina Rodríguez Infante tutores de la tesis, declaramos la propiedad intelectual de este trabajo al departamento de Geología y Minería del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa para que disponga de su uso cuando estime conveniente.

Adrian Urrutia Meriño

Ing. Sergio Greenidge Moro

Alina Rodríguez Infante



Dedicatoria

Este trabajo de diploma se lo dedico a mis padres por todo el amor, el cariño, la paciencia y la confianza que siempre depositaron en mi, ya que fueron un eslabón fundamental a lo largo de mi carrera. A mi hermanita que la quiero con todo mi corazón, a mi padrastro Rodolfito y a todas aquellas personas, que de una u otra forma contribuyeron para que mis sueños se hicieran posibles.

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que de una forma u otra contribuyeron a lo largo de mi carrera en mi formación y con la realización de este trabajo de diploma por todo el esfuerzo y por el apoyo que siempre me brindaron.

Agradecer desde el fondo de mi corazón a mis padres Adaín Urrutia Jiménez y Lilia Rosa Meriño Guilarte, por su amor, paciencia, comprensión, por darme apoyo incondicional y porque siempre creyeron en mi.

A mi padrastro Rodolfo Enry Dumoy por estar siempre en el momento que lo necesite, por su amor, ya que ha sabido ser como un padre y siempre me a dado Buenos consejos.

A mi hermanita que la quiero con el alma que siempre ha sido un pilar fundamental en mi vida.

A mi mejor amigo Diosmanis Castro por estar conmigo en los Buenos y malos momentos, por apoyarme cuando más lo necesité y porque ha sido una figura fundamental a lo largo de mi carrera.

A todo mi familia por el apoyo que siempre me brindaron, en especial a mi abuela Rafaela Guilarte Castañeda.

A mis compañeros del grupo, en especial a Wilfredo, Norges, Carlos Luís, Ernesto, Luís Alberto, Arián y Maidelín, que siempre compartieron conmigo en estos cinco años de sacrificio y alegría.

A mis tutores Sergio Greenidge Moro y Alina Rodríguez Infante, por ayudarme con la realización de este trabajo y por el apoyo que me han brindado, le agradezco, más que nada por ayudarme cuando más lo necesité

Y principal, agradezco a Dios por permitirme estar vivo para disfrutar de este momento, porque fue su voluntad que me graduara.



PENSAMIENTO

Que la enseñanza científica vaya como la savia en los árboles, de la raíz al tope de la educación publica.....

José Martí

Tanto si crees que puedes, como si crees que no puedes, estas en lo cierto.....

Henry Ford.

Persiste siempre, cuando menos lo esperes, te llegará la recompensa por tu esfuerzo.....

Rommel Hunter.

RESUMEN

La presente investigación titulada Caracterización geólogo estructural del sector Mucaral al sureste de Mayarí, tiene como objetivo caracterizar el relieve del sector Mucaral y las estructuras que lo condicionan, a partir de las mediciones de campo y análisis morfométrico de las formaciones, para aumentar su conocimiento geológico.

Para lograr el objetivo propuesto se utilizaron los métodos morfométricos, para determinar los rasgos distintivos del relieve, y las principales características morfoestructurales y morfotectónicas presentes en la región, así como el análisis minucioso de la red de drenaje. Estos fueron los únicos métodos geomorfológicos empleados. Cada índice morfométrico fue representado gráficamente en un mapa, permitiendo el análisis cualitativo y cuantitativo de las irregularidades del terreno. En la realización del trabajo de campo, se midieron las distintas familias de grietas y fallas, que permitieron identificar la dirección de los principales esfuerzos que actúan en el área de estudio, y de esta forma determinar las estructuras disyuntivas presentes en el sector. Donde se identificó una estructura plegada muy local, con una eje inclinado entre los 30° - 35° , y una dirección entre los 255° - 260° . La orientación principal de los planos de estratificación se encuantra al NW-SE 0° - 10° . Además el sistema de agrietamiento mostró dos direcciones principales entre las familias de grietas, una al NW-SE 40° - 50° y otra al NW-SE 80° - 90° , afectando a las formaciones Puerto Boniato y Sabaneta. Los resultados obtenidos demuestran que, en el área de estudio, la tectónica es el controlador principal de las morfoestructuras y procesos geológicos imperantes.

Abstract

The present research titled Structural geological characterization of the Mucaral sector to the southeast of Mayarí, aims to characterize the relief of the Mucaral sector and the structures that condition it, from the field measurements and morphometric analysis of the formations, to increase its geological knowledge.

To achieve the proposed objective, morphometric methods were used to determine the distinctive features of the relief, and the main morphothectonic and morphothectonic characteristics present in the region, as well as the detailed analysis of the drainage network. These were the only geomorphological methods employed. Each morphometric index was represented graphically on a map, allowing the qualitative and quantitative analysis of the irregularities of the terrain. In the field work, we measured the different families of cracks and faults, which allowed us to identify the direction of the main efforts in the study area, and to determine the disjunctive structures present in the sector. Where a very local folded structure was identified, with an inclined axis between 300-350, and an address between 2550-2600. The main orientation of the stratification plans is the NW-SE 00-100. In addition, the cracking system showed two main directions between cracking families, one at NW-SE 400-500 and one at NW-SE 800-900, affecting the Puerto Boniato and Sabaneta formations. The results obtained demonstrate that, in the study area, tectonics is the main controller of the prevailing geological morphostructures and processes.

ÍNDICE

RESUMEN	VI
Abstract	VII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICA FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS GENERALES DE LA REGIÓN DE ESTUDIO.	4
1.1 Características físico-geográficas del área de estudio.....	4
1.2 Caracterización geomorfológica de la región	8
1.3 Geología regional y local.....	9
1.4 Estado del Arte.....	19
CAPITULO II: METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS PROYECTADOS.....	21
2.1 Metodología de la investigación	21
2.2 Métodos utilizados y su procesamiento	25
2.2.1 Métodos morfométricos	25
2.2.2 Trabajo de campo.....	31
CAPITULO III: INTERPRETACIÓN Y REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	48
3.1 Interpretación de los mapas morfoestructurales	48
3.1.2 Morfoalineamientos	58
3.2 Procesamiento e interpretación de los datos de campo.....	60
3.2.1 Interpretación de la descripciones de los afloramientos	60
3.2.2 Interpretación de los diagramas resultantes del procesamiento de la información obtenida en los trabajos de campo.	62
3.2.3 Análisis de las orientaciones de las estructuras	68
3.3 Caracterización morfoestructural del sector Mucaral	70
CONCLUSIONES.....	71
RECOMENDACIONES	72
Bibliografía	73

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas el territorio cubano ha experimentado diversos cambios en su topografía, como consecuencia principalmente del desarrollo socioeconómico y demográfico. Estas modificaciones del relieve han influido directa e indirectamente en su dinámica, estos cambios han modificado en gran medida la topografía cubana, alterando la dinámica de la misma. Al ser transformada la dinámica del relieve los procesos geológicos que tienen lugar en el mismo, varían en intensidad, sentido, dirección y distribución. La cual necesita una evaluación profunda para un correcto aprovechamiento de las potencialidades topográficas, así como la identificación de escenarios de riesgos geológicos. A partir de esa problemática, se hace necesaria la profundización del conocimiento geológico geomorfológico del territorio cubano, el cual, pese a su alto grado de estudio, aun presenta incongruencias en la sistematización de sus características geológicas.

Es por ello que el gobierno cubano se ha planteado la tarea de elevar el conocimiento geológico del país, a través de varios proyectos como: el Levantamiento de Cuba a escala 1:50 000, el Mapa Tectónico de Cuba a escala 1:100 000 y el Mapa Geomorfológico de la República de Cuba a escala 1:100 000. El cual fue asignado al Taller IRSE de la empresa GEOCUBA Oriente Norte, en la confección de este mapa se hace imprescindible un estudio morfoestructural y morfotectónico del área de investigación, que permita identificar las principales estructuras geológicas, que condicionan el relieve a través de su dinámica.

Se pretende con la realización de este trabajo, estudiar el conocimiento tectónico del área, a partir de la determinación y caracterización de las principales estructuras tectónicas presentes en el sector Mucaral al sureste del municipio Mayarí, el cual posee importantes yacimientos de lateritas ferroniquelíferas, formados a partir de la meteorización química de rocas ultrabásicas, principalmente en la meseta de Pinares de Mayarí.

El beneficio de estos yacimientos ha generado toda una infraestructura minero-metalúrgica y un crecimiento urbano en toda su geografía. Este sector posee una gran complejidad geológica, debido a las estructuras tectónicas que se

encuentran en dicho territorio, las cuales han sido muy poco estudiadas. Además, la mayoría de estos estudios realizados se han centrado en la búsqueda de minerales ferroniquelíferos.

El estudio estructural del sector propuesto tributa, al enriquecimiento del grado de conocimiento geológico de los proyectos tales como: E levantamiento geológico de Cuba a escala 1:50 000, el mapa tectónico de Cuba 1: 100 000 y el mapa geomorfológico nacional escala 1: 100 000. Esto puede tener gran repercusión, a la hora de plantearse acciones para el desarrollo de la economía del país, para un mejor aprovechamiento de los recursos minerales, para perfeccionar el estudio de riesgos inducidos por fenómenos geológicos en el territorio, y ayudar a la realización de las obras ingenieriles que se llevan a cabo en el municipio.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, surge la presente investigación que se plantea como problema científico la **necesidad de una caracterización morfoestructural del sector Mucaral al sureste del municipio Mayarí para profundizar en el conocimiento geológico de la región.**

Objeto de estudio: Las estructuras geológicas presentes en el sector Mucaral al sureste del municipio Mayarí.

Objetivo general: Caracterizar el relieve del sector Mucaral y las estructuras que lo condicionan, a partir de las mediciones de campo y análisis morfométrico de las formaciones, para aumentar su conocimiento geológico.

Objetivos específicos:

1. Evaluar morfométricamente las estructuras que se reflejan en el relieve del sector Mucaral.
2. Aplicar los métodos del cartografiado geólogo-geomorfológico para conocer la posición espacial y dimensiones de las estructuras y las relaciones entre la tectónica y el relieve.
3. Determinar las principales direcciones de las estructuras presentes.



Hipótesis: Si se evalúan los parámetros morfométricos y se aplican los métodos de cartografiado geólogo-geomorfológico, que permitan determinar las principales direcciones de las estructuras; se podrá realizar la caracterización morfoestructural del sector Mucaral al sureste del municipio Mayarí, permitiendo elevar el conocimiento geológico del mismo.

CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICA FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS GENERALES DE LA REGIÓN DE ESTUDIO.

1.1 Características físico – geográfica del área de estudio

1.2 Caracterización geomorfológica de la región

1.3 Geología regional y local

1.4 Estado del Arte

1.1 Características físico-geográficas del área de estudio

El área de estudio se localiza en el municipio Segundo Frente al sureste del municipio Mayarí. La misma limita al norte con el municipio Mayarí, al sur con el río Mayarí, al este con la carretera Sabanilla-Yagausí y al oeste con el municipio San Luis. Su extensión territorial es 24.400 km² (Figura 1).

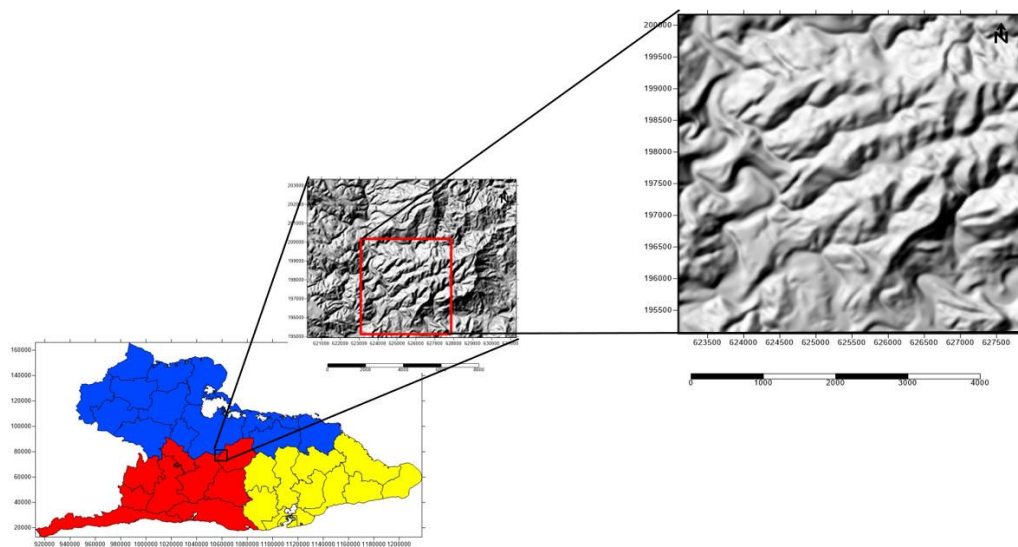


Figura 1. Mapa esquemático de ubicación geográfica del área de estudio.

Características socioeconómicas de la región

1. El municipio Segundo Frente está situado al noreste de la provincia Santiago de Cuba, con una extensión territorial de 535.96 Km², ocupando el 8.7 % de la superficie de la provincia Santiago de Cuba y el 14 % del área montañosa de la misma. El 78 % del territorio es montañoso y el 22 % está formado por llanuras onduladas y colinas. La altura máxima es el Pico Cristal, con 1240.7 m sobre el nivel del mar (m.s.n.m) y la mínima alcanza 180 m.s.n.m, en la parte que ocupa el valle de Mayarí Arriba. El municipio posee una población de 40 737 habitantes, de los que el 51.7 % son varones, distribuidos en 9 consejos populares que concentra en la zona rural, el 74.8 % de la población con 30 026 habitantes, el municipio representa el 2.6 % de la población de la provincia, con una densidad poblacional de 75.0 habitantes/km², en el cual predomina la población mestiza, aunque en Pan de Azúcar, La Isabelita y Pilon en el Consejo Popular (C/P) Rosario predominan los negros, esta regiones colindan con Guantánamo. Presenta un índice de mortalidad infantil de 16.8 %, en la parte de la educación, antes de 1959, en el territorio existían 4 escuelas primarias Loma Blanca, Sabanilla, Jagüeyes y Soledad, escuelas públicas atendidas por el gobierno en turno; después de la fundación del Frente se crearon más de 60 escuelas con un centro de preparación para maestros de tropas en Tumba Siete, llamada José Martí en la actualidad se alcanzan niveles superiores de calidad en la enseñanza. Cuenta el municipio con 66 escuelas Primarias, cinco de Enseñanza Media General, un Técnico y Profesional, dos escuelas Especiales, tres preuniversitarios, una enseñanza de adultos, dos Círculo Infantil, 4 Sedes Universitarias, además del Curso de Superación Integral para Jóvenes. Cuenta además con varios Joven Club de Computación, que a su vez implementan aulas ambulatorias para la enseñanza de la informática en las zonas rurales del municipio. (Tomado de:

file:///F:/Segundo%20Frente%20%E2%80%93%20Wikipedia.maff)

En la esfera cultural existen instituciones, proyectos y grupos artísticos de diferentes manifestaciones que ayudan a consolidar una cultura más integral. En el sector de la cultura 25 Salas de TV, 4 Salas de Videos, 2 Salas Museos, entre otras Instalaciones para elevar el desarrollo social del Municipio. El principal centro cultural de la zona lo constituye el poblado Mayarí Arriba, donde radica la dirección política y económica de la región de Segundo Frente “Frank País”.

Esta zona desde el triunfo de la revolución se halla en un constante auge de desarrollo y construcción. Los rasgos fundamentales de su economía, vienen dado por las plantaciones cafetaleras, el desarrollo de la ganadería y cultivos varios, existiendo una planta Benefactora de café y una fábrica de conservas, unido a las producciones de viandas y hortalizas. También cuenta con numerosos embalses que representa un potencial para la economía agrícola. El 49.7% de las tierras están dedicadas a frutales, 20.8 % cultivos agrícolas tiene 232.5 Km de carreteras, y en menor escala por la explotación de sus recursos maderables. El Municipio aporta el 3.0 % de la Producción Mercantil de la Provincia Santiago de Cuba. La Producción Mercantil acumulada hasta cierre del año 2009, alcanza valores por 54 384.1 de la media planificada (MP), sobrecumpliendo lo planificado en 0.2 % que representa 125.7 MP, con igual etapa del año anterior crece en 47.0 % que representa 17382.8 MP. La superficie existente de café es de 5543.8 ha, con una entrega a exportaciones de 187.6 t (ibíd.).

Particularidades climáticas de la región

Los regímenes de temperatura y precipitación son los elementos climáticos que por excelencia caracterizan el clima de una región. En el área de estudio la temperatura media anual es de 25°C, en julio y enero se registran valores de 26°C e inferiores a 20°C respectivamente, contrastando con precipitaciones de 1300 mm en las zonas elevadas y en las zonas colindantes con el municipio Songo La Maya, pueden ser inferiores a 1300 mm en los meses de mayor pluviosidad. Los vientos soplan de noreste y sureste, los gravitacionales que provienen de la Sierra Cristal y de la Sierra Maestra, provocan descensos de

las temperaturas en las horas de la noche y la madrugada. La densa neblina matutina está dada por los valles intramontañosos y la vegetación existente en la región.

Las características climáticas del paisaje están influenciadas fuertemente por el relieve. En la localidad del valle del río Mayarí, las temperaturas medias anuales están entre los 24.7°C y 26°C, pero hacia las montañas el gradiente vertical las hace disminuir hasta 15.1°C y 17.8°C. Este hecho se manifiesta también en las precipitaciones que como promedio alcanzan los 1200 mm y llegan hasta 2000 mm en la Sierra Cristal; las precipitaciones máximas se evidencian en los meses de mayo y octubre y las mínimas en marzo y julio; las lluvias disminuyen hacia el oeste y aumentan hacia el norte en el Pico Cristal.

Por las características cóncavas del territorio los vientos son de montañas y de poca velocidad, aunque en la zona que ocupa el valle se desarrollan los llamados vientos del valle. El territorio del municipio se ve afectado por una espesa neblina del tipo catabólica que influye negativamente en muchos cultivos.

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 (Pérez Rivas y Hidalgo Mayo).

Vegetación

La vegetación natural actual de la región se encuentra altamente afectada por la actividad antrópica. El resto de las áreas está ocupado por secundaria de bosques y matorrales secundarios con focos de cultivo, matorrales xeromorfos subespinosos y pinares sobre rocas serpentínicas. En las montañas se encuentran pisos altitudinales en la vegetación, perennifolios pluviales de baja altitud y bosques siempre verdes submontañoso, donde en el área de estudio los pinares ocupan las montañas pequeñas desde los 500 m de altura, bosques Tropicales Latifolios (Bosque siempre verde mesófilo de baja altitud): Se ubican principalmente en la zona de premontaña y montañas pequeñas sobre suelo

pardo sin carbonato. Bosque semideciduomesófilo (Matorral secundario con bosques y comunidades herbáceas).

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.

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

El relieve del área se encuentra solamente determinado por la categoría geomorfológica de montañas, estas son el resultado de ascensos neotectónicos moderados e intensos. Las irregularidades superficiales del territorio están condicionadas 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. Las montañas del área se caracterizan por presentar alturas medias a baja con pendientes superiores a los 20°. Este grupo de elevaciones montañosas se halla dividido por el cauce del río Mayarí en dos grandes bloques, uno ubicado al este, donde se enmarca el área de investigación, el otro ubicado al oeste. En el caso del bloque este, sus divisorias principales tienen una orientación perpendicular al cauce del río que corre en dirección norte, mientras que las divisorias del bloque oeste se orientan prácticamente de forma oblicua al curso del río. En la región que comprende el área de estudio pueden encontrarse los siguientes escalones morfoestructurales:

Montaña pequeña, de horst-bloque, aplanada, diseccionada, masiva, con una altura de 500 a 995 m.s.n.m. 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.).

Seboruco, con 106 m.s.n.m., Sabaneta, con 106 m.s.n.m., Colorado, con 100 m.s.n.m., entre otras, (Ibíd.).

1.3 Geología regional y local

En la constitución geológica de Cuba, se pueden reconocer dos niveles estructurales principales, a saber: el substrato plegado y el neoaútóctono. El substrato plegado está constituido por distintos tipos de terrenos, que constituyen fragmentos de las placas de Norteamérica, del Caribe y, probablemente, del Pacífico. Estos terrenos son tanto de naturaleza continental como oceánica (Fig. 2). El origen y evolución de los componentes del substrato plegado tuvo lugar fuera de los límites del territorio cubano actual. Así, la geología del substrato plegado de Cuba representa la de territorios paleogeográficos diversos. El neoaútóctono 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, ya formando parte del margen pasivo meridional de la placa de Norteamérica (Iturralde-Vinent, 1998).

En el área de investigación se hallan los dos niveles estructurales, representado el sustrato plegado por la Formación La Picota, y las unidades neoaútóctonas por las formaciones Sabaneta y Puerto Boniato.

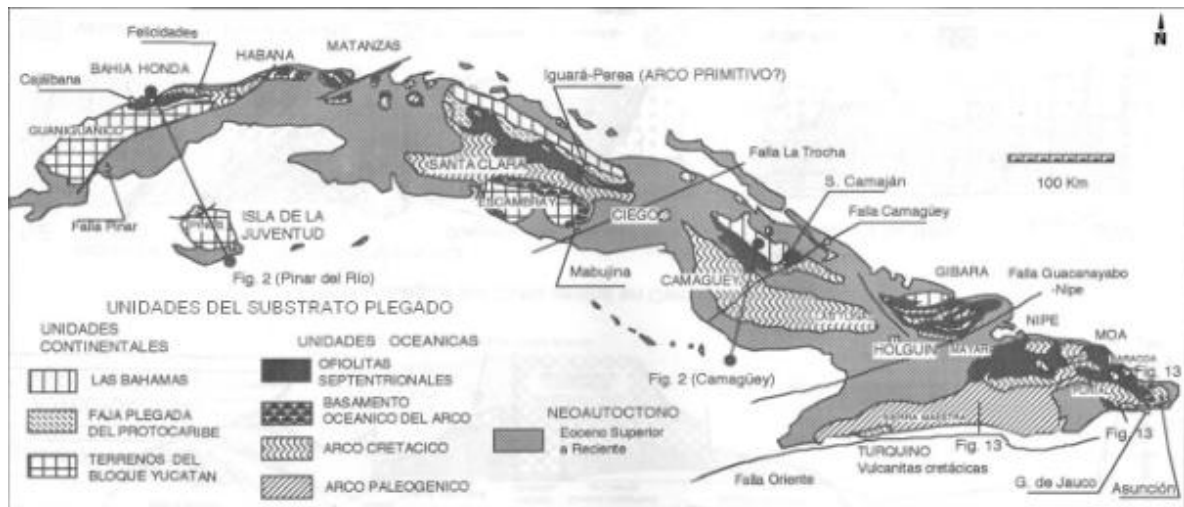


Figura 2. Esquema geológico generalizado con los niveles estructurales de Cuba. Tomado de (Iturralde-Vinent, 1998) y modificado por el autor.

En Segundo Frente la geología se describe según el Mapa geológico 1: 100 000 tomado del Instituto de Geología y Paleontología (IGP), el cual constituirá la base informativa geológica, para los trabajos realizados (Fig.3).

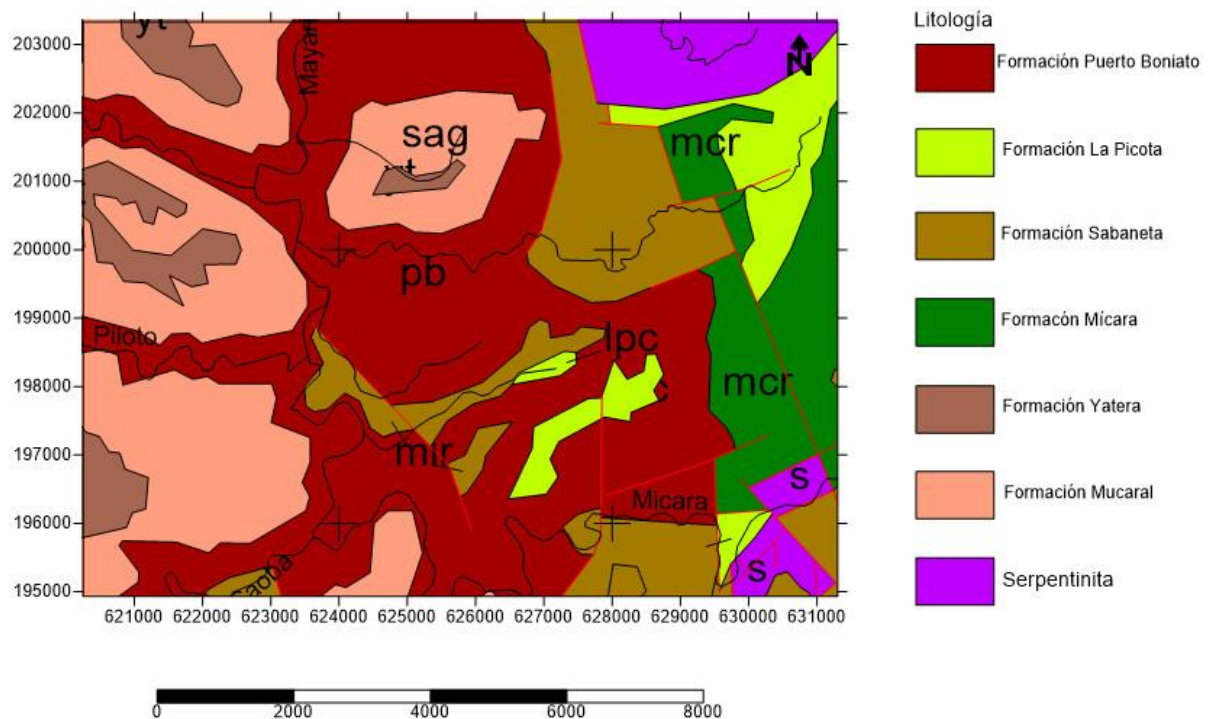


Figura 3. Mapa Geológico del área de estudio. Escala 1: 100 000.

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 Mucaral (Eoceno Medio parte alta-Eoceno Superior): Sinonimia del invalidado 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 neoplataforma (Léxico estratigráfico de Cuba, 2013).

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.

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.

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

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

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, Piloto, Naranjo y Caoba, ente otros. Existe en la zona una cantidad considerable de pequeños ríos, arroyos y cañadas, los cuales son tributarios de los ríos principales (Mayarí, Piloto y Naranjo). Los recursos hídricos están representados por dos cuencas superficiales: la del río Mayarí y la del río Jarahueca; dos subterráneas, la de

Farallón de Pan de Azúcar y la de Verdejo, El Macío; además ríos como Piloto y Naranjo, afluentes del río Mayarí.

El río más importante del territorio es el Mayarí, que da nombre al paisaje y es uno de los mayores de Cuba, desembocando en la costa Norte. El cual nace en las montañas Sagua-Baracoa, en la Sierra de Mico, teniendo muchos afluentes, cuyos nombres están relacionados con las condiciones locales, como es el caso del río Frío, término dado por el gravitacional del área el cual provoca temperaturas frías en las noches, y madrugadas, y otros como es el caso del Mícaro y Sabanilla denominados así por los nombres regionales. El río Mayarí desemboca en los vertientes norte, nace en el grupo Nipe Sagua Baracoa y está en los 20°10' latitud norte y 74°18' longitud oeste a 500 m de altitud, recorre 21.5 Km y el área de su cuenca es de 65.2 Km², tiene cinco afluentes y sus aguas se utilizan para el riego y drenaje. Existen otras corrientes superficiales que son caracterizadas como arroyos, entre los que se destacan El Cristal, Los Negros, Bumba, Yaguasí y Mícaro. Este último alimenta la micro presa que abastece de agua a Mayarí Arriba, pueblo cabecero del municipio Segundo Frente. En su mayoría los ríos del territorio se caracterizan por disminuir su caudal hasta desaparecer en la época de seca.

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 disecionadas. 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 Jarahueca.

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. (Alfonso Olivera, 2013)

Procesos y fenómenos geodinámicos

En la geografía 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. Las condiciones climáticas, geomorfológicas, tectónicas y características mineralógicas de las rocas existentes favorecieron los procesos de meteorización química del medio (Greenidge Moro, 2016). Este proceso geológico se manifiesta en la región a través de la disolución de las rocas carbonatadas, dando lugar a formación de un relieve cársico, evidenciado por la presencia de forma general de cavernas, sumideros, cauces subterráneos y lapies.

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: 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: Considerando que la región oriental es la de mayor peligro sísmico del territorio cubano, se presenta en detalle la sismicidad registrada en esta porción del país. La falla Oriente y la falla Norte de la Española, constituyen las principales fallas activas de primer orden, donde pueden ocurrir sismos fuertes que afecten el territorio oriental de Cuba. A estas estructuras se relaciona, la principal actividad sísmica registrada en esta región, tanto en magnitud como en frecuencia. En la (Fig. 4) se representa la sismicidad registrada instrumentalmente de 1967 a agosto de 2014 por 3 o más estaciones para la región Oriental de Cuba.

El comportamiento de la ocurrencia de terremotos de magnitud mayor a 5 en la escala Richter desde el año 1900 hasta la fecha en función del tiempo se puede observar en la (Fig.4.1), donde se señalan los sismos significativos.

En el municipio Mayarí Arriba cabecera del municipio Segundo Frente, 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 Trasvase, 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.

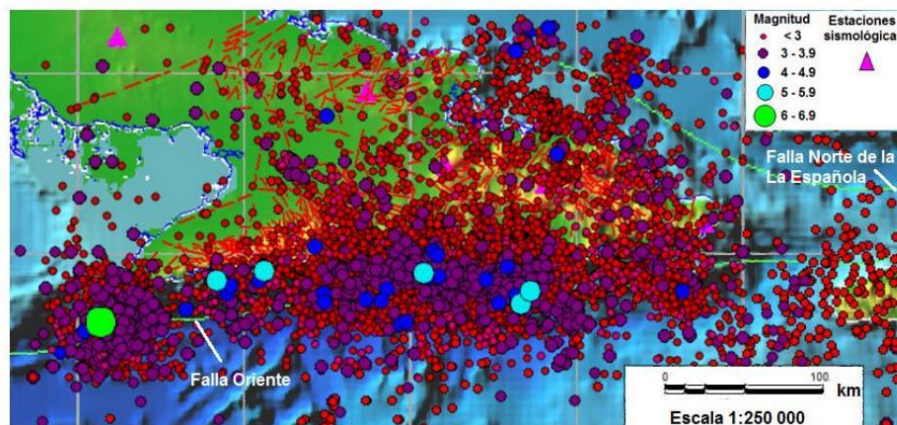


Figura 4. Terremotos registrados por el Servicio Sismológico Nacional de Cuba de 1967 a agosto del 2014 en la región oriental de Cuba. (CENAI, 2013)

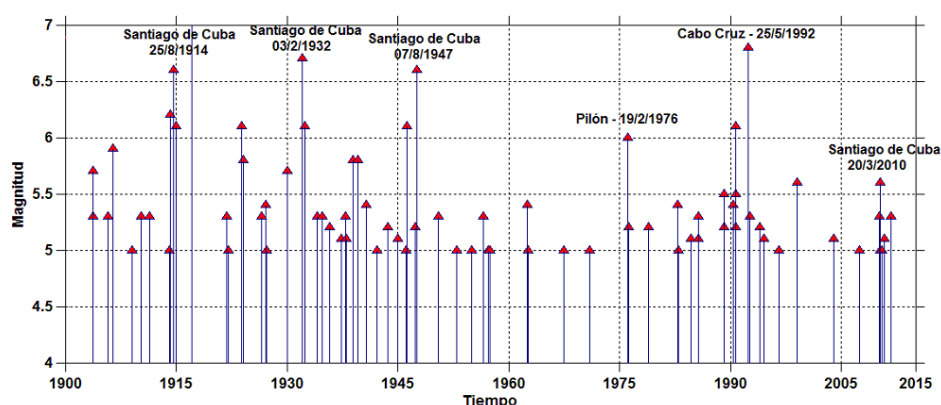


Figura 4.1. Ocurrencia de los terremotos de magnitud mayor a 5 reportados en la región suroriental de Cuba desde 1900. (CENAI, 2013)

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. Aunque no existen fuertes contaminantes en el municipio, sin embargo, las despulpadoras de café, traen como consecuencias afectaciones a las aguas. Sin embargo, para proteger la biodiversidad existen áreas protegidas, una en los Moreiros, donde existe una comunidad forestal, y la otra se encuentra en el Halcón. Además de la contaminación que pueden tener los suelos donde se desarrolla la agricultura, debido a los químicos que se les vierten a las plantaciones, por lo que pudiera afectar los ríos, que se encuentren en áreas cercanas a estas plantaciones.

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 3 grandes grupos:

1. Los asociados a la actividad agropecuaria
2. La construcción de viales y asentamientos urbanos
3. Los incendios espontáneos o provocados.
4. Pequeña minería (extracción de material arcillas)

1.4 Estado del Arte

La región en la que se enmarca el área de estudio, se caracteriza por presentar una gran complejidad geológico estructural, en la misma se manifiestan los dos niveles estructurales en los que se divide la geología cubana. Varias han sido las investigaciones realizadas en la zona para aclarar su evolución geológica, así como para determinar sus características superficiales, este conocimiento geológico no ha sido privativo del área investigada, sino se ha desarrollado conforme ha aumentado el saber geológico de la región oriental y del país. Las primeras investigaciones profundas de carácter regional se realizan en la década de los 60, 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.

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 serpentizadas 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 sobrempuje 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 período de 1972-1976, se realiza el levantamiento geomorfológico y estructural 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 (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.

CAPITULO II: METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS PROYECTADOS.

2.1 Metodología

2.2 Métodos utilizados y su procesamiento

2.1 Metodología de la investigación

En el presente trabajo se basó en tres etapas principales, según la evolución de los trabajos:

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

Etapas preliminar

En esta etapa se seleccionó el área de estudio, ubicada en el municipio de Segundo Frente al sureste del municipio Mayarí. Posteriormente se realizó una búsqueda y revisión de la información del área de investigación, y de trabajos relacionados con la temática, 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, el Léxico Estratigráfico de Cuba(tercera versión 2013), el Compendio de Geología de Cuba y en sitios web de INTERNET. La realización de esta búsqueda aportó un conocimiento básico de las características geólogo–geomorfológicas y estructurales fundamentales del área.

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 1) de escala 1: 25 000, de GEOCUBA I Edición digital 2005, utilizando 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 la digitalización de las cartas topográficas y la obtención del MDT en una escala de 1: 25 000 fue realizada por el Taller IRSE de la empresa GEOCUBA Oriente Norte.

Mapa geológico y otros mapas temáticos existentes: Los mapas que ofrecieron una información preliminar del área de estudio son: el Geológico que comprende el área de estudio, del IGP (2001), a escala 1:100 000; donde se identificaron las principales características litoestructurales del municipio (Segundo Frente); el mapa de Zonación Sísmica de la región Oriental (Anexo 2), 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 los mapas morfométricos y geomorfológicos del Nuevo Atlas Nacional de Cuba.

Etapas experimentales

Esta etapa constó de dos fases fundamentales:

1. Análisis morfométrico del área de estudio
2. Trabajos de campo

En la primera fase se realizó el análisis de la información disponible y el procesamiento del MDT obtenido, lo que permitió la determinación de varios índices morfométricos como: hipsometría, disección vertical, pendiente, análisis de la red de drenaje superficial, isobasitas de 2^{do}, 3^{ro} y 4^{to} orden, y mapas sombreados con acimut 135^o y 45^o. Cada parámetro morfométrico para una mejor visualización de los datos que ofrecen fueron representados gráficamente sus mapas correspondientes, la interpretación de los mismo posibilitó la identificación y delimitación de los principales rasgos del relieve presentes en la región.

En la segunda fase se ejecutaron los trabajos de campo, regidos por un mapeo por afloramiento; este es un estilo de mapeo detallado, donde la localización y el tamaño del afloramiento son reflejados. Es esencial para estudios estructurales detallados en áreas con deformaciones complejas. Es usado para establecer subáreas homogéneas estructuralmente y para establecer las relaciones de interferencia en áreas de plegamientos complejos. (MacClay, 1987). En el área de estudio se describieron un total de 20 afloramientos, en los cuales según la información que brindaban se tomaron varios parámetros como: descripción de la litología y las características geométricas de las mismas, mediciones de elementos estructurales, elementos de yacencia de las rocas, grietas y vetas. Todos los datos recopilados fueron analizados e interpretados posteriormente.

Para el procesamiento de toda la información obtenida se utilizaron un conjunto de softwares y programas como: Surfer v12 (Surface Mapping System, Copyright © 1993- 2002, Golden Software, Inc); Surfer v12.0.626 (Surface Mapping System, Copyright © 1993- 2014, Golden Software, Inc); Dips v5.1, Global Mapper v12.01; 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:

1. Análisis de la información previa. Revisión e interpretación del MDT a escala 1: 100 000. Lectura del mapa geológico. Estudio de los mapas temáticos
2. Localización morfoestructural preliminar
3. Determinación de los índices morfométricos
4. Trabajo de campo.

Etapas de interpretación y representación de los resultados

En esta etapa se ejecutó la descripción e interpretación de los mapas morfométricos generados, para determinar las principales características geomorfológicas del terreno. Partiendo de este análisis se definieron varias alineaciones en cada mapa según el aspecto del relieve que reflejara. Asimismo, se procesaron los datos de las mediciones realizadas en el campo, mediante las proyecciones estereográficas de Wulff y Schmidt, lo cual permitió la identificación de elementos estructurales como reflejo una actividad tectónica local. Con la descripción litológica de los afloramientos se estableció una comparación con la información geológica presente en el mapa geológico de referencia para esta investigación, con el objetivo de actualizar los contactos de las unidades litoestratigráficas en los casos que fuera necesario. Los resultados obtenidos fueron editados, y representados en la memoria escrita. Los trabajos ejecutados se pueden simplificar de la siguiente forma:

Interpretación de los datos obtenidos:

1. Descripción e interpretación de los mapas morfométricos
2. Determinación de los morfoalineamientos
3. Determinación de las principales direcciones de deformación y el esfuerzo que las originó
4. Actualización del mapa geológico del área de investigación

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. Dentro de los métodos de investigación geomorfológica solo llevaron a cabo 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. Para evitar que las estructuras del área de estudio se observaran cortadas o deformadas al aplicar los parámetros morfométricos se decidió extender los límites de esta hasta un área de 92 km² aproximadamente. 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). 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. Sombreado (acimut 135° y 45°)
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

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

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

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, donde se le dio 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 (1km²). 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 levantamiento 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.

Procesamiento: La confección de este mapa presenta el mismo procedimiento que el mapa anterior, solo que se utiliza el *grd*, generado para la disección vertical.

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

Tipos de relieve (descripción)	Grado de disección (m/km ²)
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

Mapa sombreado: Con los mapas de sombras se obtiene una representación del relieve según diferentes posiciones de la luz sobre este. La ubicación de la iluminación sobre la superficie consta de dos componentes, una vertical de 0° a 90°, y una horizontal (acimut) de 0° a 360° a partir del este y en sentido contrario a las manecillas del reloj.

Procesamiento: Se generaron dos mapas sombreados en el software Surfer 12 a partir del *.grd*, con la opción “New Shaded Relief Map”. El primero con una posición vertical de la luz de 45° y un acimut de 135°, la cual es la posición predeterminada estima el software. El segundo mapa se mantuvo fija la ubicación vertical y se rotó la horizontal hasta los 45°, pues Pain (2005) plantea que esta combinación permite identificar los rasgos geomorfológicos y visualizar los patrones estructurales del relieve.

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 geológico 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 Trabajo de campo

El mapeo llevado a cabo en el campo, se realizó siguiendo los afloramientos hallados en el mismo. En total se registraron 20 puntos con coordenadas y se describió un total de 21 afloramiento (Figura 5), a continuación se muestran las características descritas en cada uno de ellos.

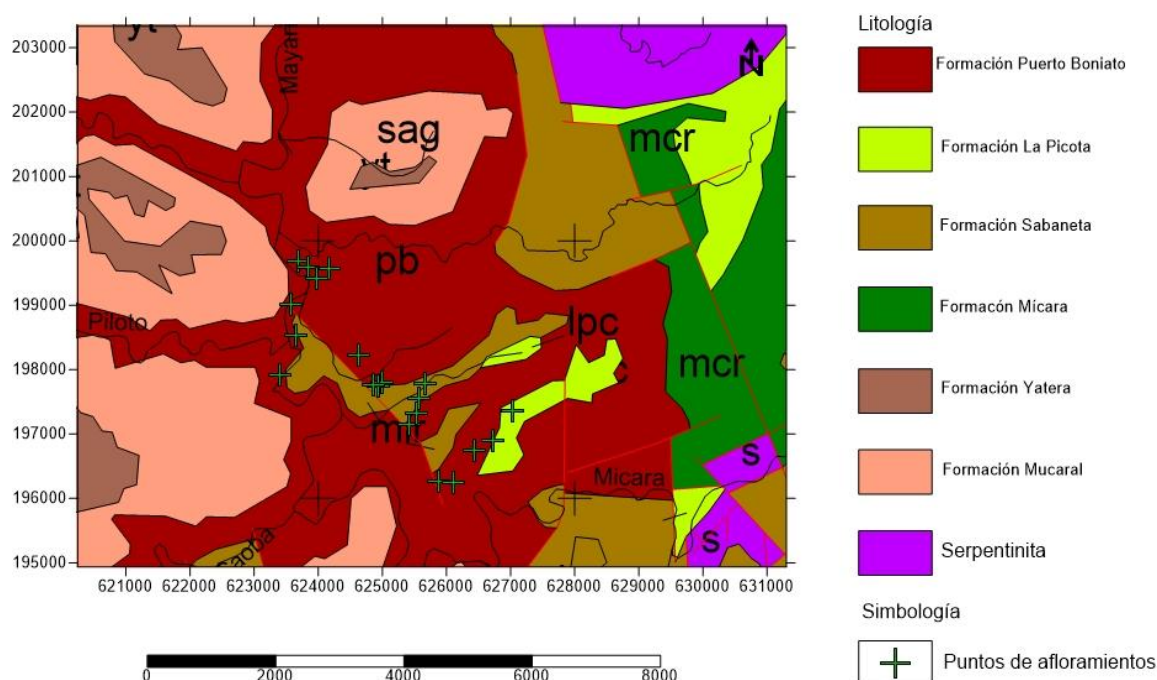


Figura 5. Mapa geológico con lo puntos de afloramientos.

Descripción de los afloramientos

Punto No 1 Coordenadas: X: 625875.269331436

Y: 196267.500655814

Afloramiento localizado en el camino hacia la Loma del Comején. Presenta una extensión de 5 m de largo por 3 m de ancho, constituido por calizas de color blanco y crema, las misma se encuentran muy agrietadas y alteradas. Intercaladas con las calizas aparecen finas capas de litología arcillosa. Debido al alto grado de meteorización del afloramiento no se tomaron mediciones de planos ni de líneas, para evitar mediciones erróneas.

Punto No 2 Coordenadas X: 627024.550

Y: 197356.743

Afloramiento situado en el piso del camino, de 1.80 m de largo y 1 m de ancho (Imagen 1 y 1.2). Constituido por tufitas de color gris oscuro cortado por algunos planos de grietas. Estas rocas se manifiestan muy alterada, producto de la meteorización, los procesos tectónicos que han condicionado el agrietamiento del afloramiento, así como la actividad antrópica a la que han estado sometidas

Rumbo de las estructuras disyuntivas:

N48°E N6°E

N30°E

N40°E



Imagen 1 y 1.2

Punto 2.1

El afloramiento se encuentra en un talud adyacente al camino en el punto 2, representado por un corte estratigráfico con una potencia superior a los 3 m y una extensión de 10 m. En la base del corte aparece una capa con un espesor de 27-30 cm, de granulometría arcillosa compacta y de color crema claro, muy agrietada. Sobre yaciendo a esta se extiende una capa de color rojizo y gris azulado, de composición silíceea, masiva, muy poco agrietada, con un espesor de 6-10 cm. Por encima de esta capa se presenta un estrato de caliza de consistencia dura, colores claros, masivos, poco agrietado, sobre yaciéndola, se repite la secuencia de la base, formando capas de 2-5 cm. En un punto más elevado se vuelve a observar, la alternancia de la arcilla con la caliza, siendo la primera de más espesor que la segunda, con estratos superiores a los 30 cm de forma masiva. La yacencia del corte es horizontal. La descripción del afloramiento coincide con las características litológicas de la formación Puerto Boniato (Imagen 2).



Imagen 2

Punto No 2.2

Afloramiento aproximadamente a 70 m al SW del punto anterior, siguiendo la extensión del afloramiento del punto anterior. En este punto el afloramiento tiene un espesor de 2.60 cm aproximadamente. En la base del corte se presenta un estrato de color gris claro de grano fino, muy alterado, masivo y con una potencia de 35 cm. La capa presenta varias grietas que lo cortan casi perpendicular con un rumbo predominante S38°E. Por encima de esta capa yace un material de coloración más clara (crema), y granulometría similar, muy agrietada, con una potencia de 25 cm, en el límite de su techo, en los 2 últimos centímetros de su potencia el grado de agrietamiento se comporta más intenso. Con un contacto neto se observa la transición de esta a otra capa de características similares, con un espesor de 23 cm y presencia de fósil macroscópico (Imagen 3). Esta capa se halla cortada por grietas que presentan el mismo rumbo que en la capa anterior S39°E. Con un cambio brusco, la capa transiciona a una roca calcárea con una potencia de 3 cm, que presenta una consistencia dura y color predominantemente crema (similar a las calizas duras del punto 2.1). Por encima de ella se repite la capa que le antecede a la caliza dura, esta vez con una potencia de 52 cm, las grietas que la cortan prácticamente de forma perpendicular presentan un rumbo de S38°E, la densidad del agrietamiento en esa capa es menor que a las capas infrayacentes. Sobreyaciendo a este estrato en un contacto neto, se observa

una capa de una potencia de 14 cm. Es un material gris oscuro de granulometría fina, los primeros 65 cm desde el piso se hallan muy agrietados, presentándose como micro bloques los primeros 4 cm, posteriormente presenta una forma masiva muy poco agrietada y en los últimos centímetros de potencia vuelve a presentar un alto grado de agrietamiento. Por encima de este aparece una capa de material arcilloso de colores blanco y crema con una potencia de 63 cm, agrietada en la base en los primeros 10 cm, luego se comporta de forma masiva con poco agrietamiento. El material se presenta muy meteorizado. Sobreyaciendo esa capa aparece una capa de sílice con características similares a las del punto 2.1. La misma posee una potencia de 10 cm, por encima de esta se repite la caliza de consistencia dura con una potencia de 40 cm.



Imagen 3

Punto No 3 Coordenadas: X: 626725.981

Y: 196904.679,

El afloramiento presenta un farallón de difícil acceso con un corte superior a los 15 m (Imagen 4). En el mismo se observan rocas carbonatadas con desarrollo de carso, intercaladas con litologías de menor resistencia a la erosión,

evidenciadas por una estructura de entrantes y salientes en el corte vertical del farallón.



Imagen 4

Punto No 4 Coordenadas X: 626436.507

Y: 196746.051

Afloramiento localizado al borde del camino, posee una potencia de 30 m de longitud y 6 m de extensión (Imagen 5). En él se puede observar una brecha caótica compuesta por un material cementante arcilloso, alterado de una coloración amarillenta. Los clastos son de varias dimensiones, distribuidos aleatoriamente, con diámetro promedio entre 2–25 cm. Los clastos pocos redondeados son caliza cristalina, de color crema y composición dura.



Imagen 5

Punto No 5 Coordenadas X: 626107.449

Y: 196250.043

Talud ubicado al este del camino El Pulpito-Mucaral, con una extensión de 2.7 m y una potencia 3.2 m. Se mantiene la brecha del punto 4, cubierta por mucha vegetación, los clastos de mayor tamaño no superan los 15 cm de diámetro. Las calizas presentan color blanco, y amarillo subordinadamente, reflejando un alto grado de meteorización, el cual ha fusionado prácticamente los clastos con el material cementante.

Punto No 6 Coordenadas X: 625421.866

Y: 197146.801,

Afloramiento ubicado en el piso del camino el Pulpito-Mucaral, en una pendiente de bajo grado, con una extensión de 25 m y un ancho de 7 m. Se observan rocas calizas de color blanco y crema, las cuales son masivas y se intercalan con la caliza, arcillas de color crema. Las litologías presentes muestran varias direcciones de yacencia, que varían según se asciende en el nivel hipsométrico, teniendo en cuenta esto las mediciones se dividieron en tres grupos principales, calizas bajas, medias y altas.

Calizas bajas

S₀:

272°/35°	263°/35°	263°/32°	271°/35°	260°/32°
271°/33°	263°/33°	260°/35°	260°/38°	263°/38°
271°/34°	262°/36°	270°/33°	270°/34°	

Calizas medias:

S₀:

242°/29°	240°/46°	235°/28°	237°/24°	240°/44°
236°/29°	234°/25°	235°/24°	244°/32°	242°/45°
244°/30°	236°/27°	238°/29°	241°/28°	

Calizas altas:

S₀:

298°/41°	318°/41°	320°/35°	144°/20°
292°/34°	310°/40°	300°/40°	141°/18°
323°/33°	292°/32°	142°/18°	141°/19°

S₁:

92°/52°	94°/52°
144°/58°	90°/53°
310°/40°	312°/40°

Punto No 7 Coordenadas X: 625527.490

Y: 197328.584

Afloramiento pequeño con una extensión de 1.6 m y un ancho de 2 m. constituido por calizas masivas, de consistencia dura, alteradas, de color crema y blanco.

S₀:

171°/10°	170°/12°	144°/20°
144°/18°	142°/18°	
178°/14°	176°/11°	

Punto No 8 Coordenadas X: 625579.927

Y: 197551.732

Afloramiento en el piso del camino El Pulpito-Mucaral, con una extensión de 7 m y un ancho de 4 m. Presenta calizas de color blanco-crema, masivas, intercaladas con areniscas de grano grueso, y material arcilloso de composición carbonatada. En las calizas se observan restos fósiles. El grado de agrietamiento es pobre, las grietas presentes parecen tener una génesis erosiva y no tectónica.

Punto No 9 Coordenadas X: 625675.578

Y: 197787.625,

Arrollo que corre de NE –SW, y corta el camino El Pulpito-Mucaral. Este punto se tomó con el objetivo de comprobar la exactitud del GPS utilizado; el error que presenta el mismo es despreciable. En el punto se observan calizas masivas de color blanco.

Punto No 10 Coordenadas X: 625000.961

Y: 197800.889

Afloramiento localizado al ENE de Mucaral (Imagen 6 y 6.1). Presenta una longitud de 10 m de largo con una potencia de 1.80 m. Desde la base, los primeros 46 cm aparece una capa de color gris oscuro de grano muy fino, piroclástico, masivo, poco pesado y muy agrietado; las grietas lo cortan predominantemente de forma perpendicular a la yacencia aparentemente horizontal. Sobreyaciendo esta capa con una transición brusca se observa un conglomerado muy alterado, con un material cementante de granulometría arcillosa y composición carbonatada. Esta capa posee una densidad de agrietamiento mucho menor que la capa infrayacente.



Imagen 6 y 6.1

Punto No 11 Coordenadas X: 624944.788

Y: 197752.871

Afloramiento ubicado aproximadamente a 70 m al SW del punto anterior. En el punto se observa una litología gris oscura, de grano muy fino, material piroclástico, con varias familias de grietas las cuales están rellenas con una mineralización de calcita (Imagen 7 y 7.1).

Rumbo de las estructuras disyuntivas:

N44W	N39W	N40W	N28E	N50W	S72W	S39W
S40W	S98W	N34W	N28E	N66W	S40W	S38W
S48W	S39W	N39W	N34E	N35W	S60W	N86W
N16W	S74W	N53W	N34E	S61W	S96W	S82W
N82W	N18W	N12W	N40E	S4E	S52W	S71W
S66W	N76W	N26E	N68W	S84W	S64W	N34W
S46W	N58W	N28E	N54W	S12E	S59W	S52W
N63E						



Imagen 7 y 7.1

Punto No 12 Coordenadas X: 624853.433

Y: 197758.100

Poblado de Mucaral.

Punto No 13 Coordenadas X: 624630.291

Y: 198227.678

Afloramiento ubicado al NE del camino Mucaral-El Macío, posee una extensión 3 m y un ancho 1.50 m. Presenta una litología gris oscura de grano fino, piroclástica, poco pesado, se encuentra muy alterada y agrietada, varias grietas se manifiestan rellenas de calcita. Esta litología se halla intercalada con capas de arcillas de color blanco y una capa de arenisca de una potencia de 5 cm. La arenisca presenta restos fósiles y los granos minerales que la conforman son gruesos (Imagen 8).

Rumbo de las estructuras disyuntivas:

N2W	S81W	N6W	N86W	N6E	N2E
N84W	N6E	N8W	N84W	N11W	

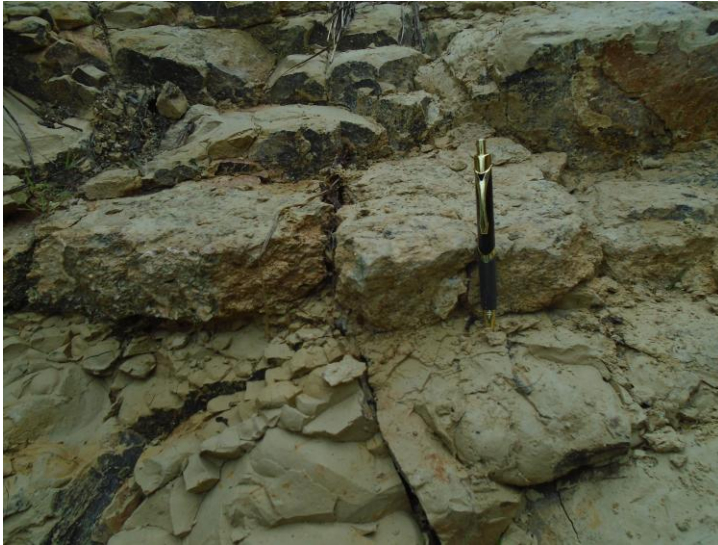


Imagen 8

Punto No 14 Coordenadas X: 624172.630

Y: 199560.309

Afloramiento en el piso del camino Mucaral-El Macío, con una extensión de 5 m y un ancho de 2.5 m. Constituido por areniscas de grano medio, de coloración blanca-crema muy agrietadas, formando pequeños bloques de diámetro entre 2-15 cm ancho.

Punto No 14.1

Este afloramiento se encuentra aproximadamente a 20 m al NW del punto anterior. Se puede apreciar una roca policromática donde predomina el color amarillo y blanco, en algunas se observa una gradación creciente, terminando en un material fino de color blanco (calcoarenitas), en la parte superior de la capa se presenta una pequeña lámina de cristales de cuarzo (Imagen 9).

So:

351°/34°	350°/37°
350°/20°	353°/30°
322°/34°	



Imagen 9

Punto No 15 Coordenadas X: 623694.482

Y: 199686.140

Afloramiento localizado al WNW del poblado El Macío, cercano al margen izquierdo aguas arriba del río Mayarí. Presenta un potente paquete de rocas con más de 40 m de espesor, y una extensión de 2,10 m. En la base aparece una capa de roca de color blanco, masiva, calcárea, con una potencia de 19 cm. Sobreyaciéndola se hallan 6 láminas finas de 0.2-0.5 cm de espesor, y granulometría arcillosa, de color blanco y composición carbonatada. Por encima de estas se observa una fina capa de sílice, de 2 cm potencia, y color gris azulado. La laminación de litología arcillosa vuelve a aparecer por encima de la sílice. Sobreyaciendo esas láminas se observa una alternancia cíclica de las litologías antes descritas, con variaciones en la potencia, la capa de sílice llega a alcanzar los 4 cm de espesor. En la parte superior del corte se observa desarrollo incipiente de carso. La yacencia del paquete rocoso es horizontal (Imagen 10 y 10.1).



Imagen 10 y 10.1

Punto No 16 Coordenadas X: 623843.265

Y: 199579.540

El afloramiento presenta una potencia superior a los 30 m, constituidos por rocas bien estratificadas. Se observan estratos de calizas de potencias entre 3-35 cm, intercaladas con estratos y láminas de arcillas, ambas de colores blanco y crema. Alternando con estas capas se presenta una capa de sílice de color gris azulado, de 3-4 cm de espesor. La yacencia de la estructura es horizontal (Imagen 11).

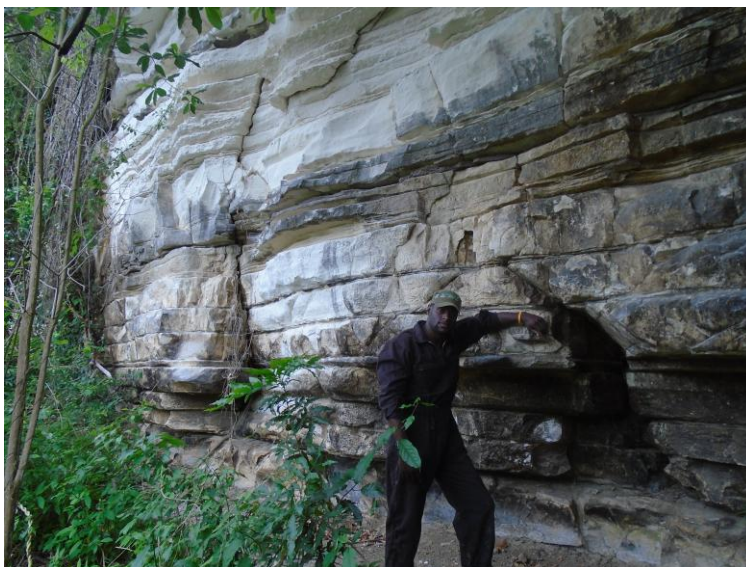


Imagen 11

Punto No 17 Coordenadas X: 623984.264

Y: 199419.994

Afloramiento pequeño con una longitud de 5 m de largo y 0,5 m de ancho, se encuentra en el margen izquierdo del río Mayarí, aguas arriba. Se pueden observar rocas carbonatadas masiva de color blanca–crema, se aprecian dos estratos, el inferior de 15 cm y el superior es 24.5 cm. Los estratos se presentan cortados por dos grietas (Imagen 12). Los estratos presentan yacencia horizontal.

Rumbo de las estructuras disyuntivas:

N50W

N30E



Imagen 12

Punto No 18 Coordenadas X: 623579.099

Y: 199007.057

El afloramiento se encuentra bordeando el margen izquierdo aguas arriba del río Mayarí. El corte estratigráfico del punto anterior mantiene una continuidad lateral hasta este punto; presentado una potencia superior a los 25 m (Imagen 13), y rocas bien estratificadas de colores claros que van desde el blanco al crema. Se observa la presencia de entrantes y salientes en el corte, evidencia de rocas de diferente resistencia a la erosión. La yacencia del afloramiento es horizontal.



Imagen 13

Punto No 19 Coordenadas X: 623645.412

Y: 198524.877

Afloramiento localizado serpenteando el margen izquierdo de río Mayarí, aguas arriba. Este corte es una continuidad lateral de las litologías del punto anterior, en el mismo se observa un mayor desarrollo de la meteorización, evidenciado por el desarrollo de suelo y estructuras cársticas, principalmente en la parte superior del corte. El afloramiento presenta una yacencia horizontal (Imagen 14).



Imagen 14

Punto No 20 Coordenadas X: 623394.115

Y: 197925.615

Afloramiento ubicado en el margen derecho del río Mayarí aguas arriba. Se observa un paquete de roca potente con más de 20 m de espesor. Se observan rocas calizas bien estratificadas intercaladas con arcillas de forma subordinada, ambas litologías presentan coloración predominantemente blanca y de forma secundaria crema y amarillo. Este corte presenta una alta similitud con las litologías localizadas en el margen izquierdo del río Mayarí, aguas arriba. El afloramiento presenta yacencia horizontal (Imagen 15).



Imagen 15

CAPITULO III: INTERPRETACIÓN Y REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

3.1 Interpretación de los mapas morfoestructurales

3.2 Procesamiento e interpretación de los datos de campo

3.3 Caracterización morfoestructural del sector Mucaral

3.1 Interpretación de los mapas morfoestructurales

Mapa Hipsométrico

De las tres categorías geomorfológicas principales: montañas, alturas y llanuras, en el área de estudio solo se encuentran las montañas. 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. En el área de estudio las montañas se subdividen en: montañas pequeñas y premontañas. El sector por su configuración morfoestructural constituye un sistema de horst y bloques, con litologías asociadas a las formaciones Miranda, La Picota y Puerto Boniato. Las montañas ubicadas en el área de estudio, son una morfoestructura con dirección NE-SW, que posee cimas que superan los 500 m.s.n.m. y constituyen su parteaguas principal. En el mapa hipsométrico (Figura 6) se observan superficies al este del río Mayarí, cuyas divisorias están orientadas perpendicularmente a este.

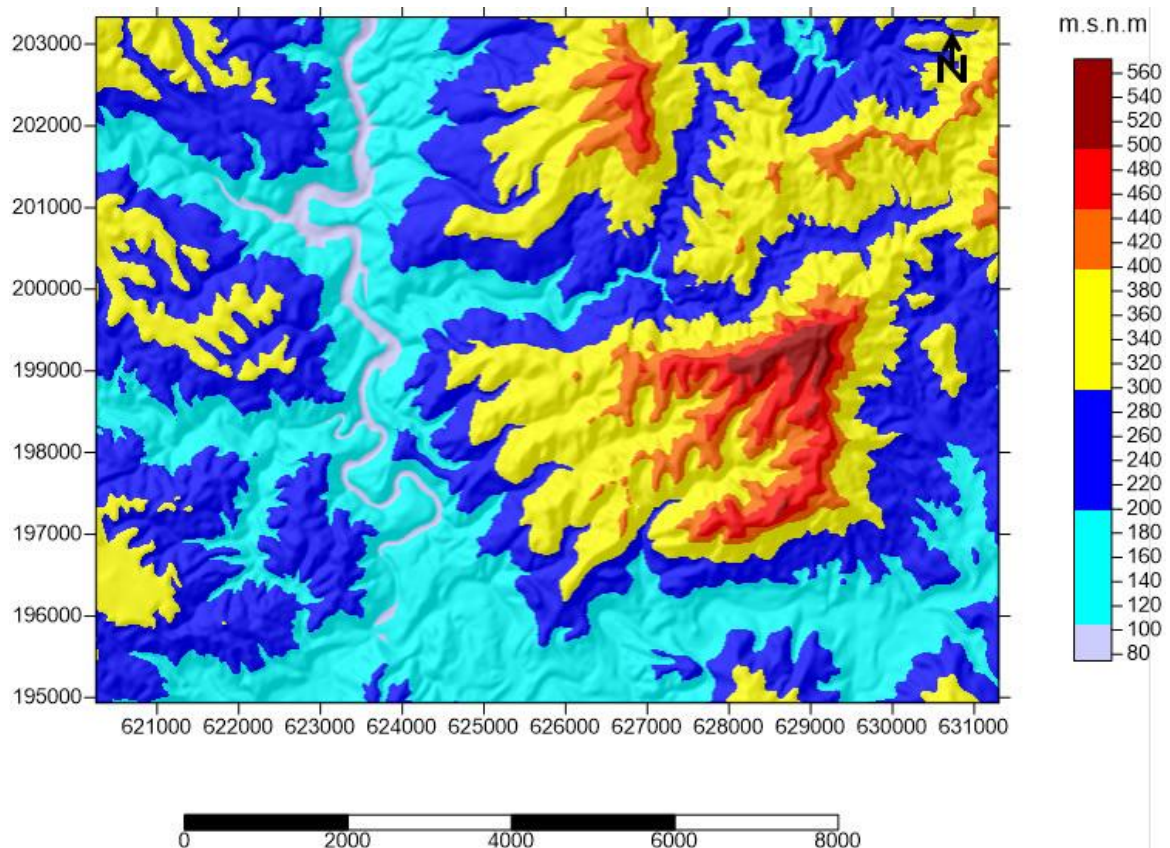


Figura 6. Mapa Hipsométrico.

Mapa de Pendientes

El índice de pendiente es uno de los más utilizados en los estudios geomorfológicos, el mapa refleja la inclinación de una porción de la superficie respecto a un plano horizontal. En la zona de montañas pequeñas y premontañas predominan las pendientes fuertemente inclinada, esto se debe a la tectónica presente en el área, la cual ha provocado que los bloques se hayan levantado. El grado de inclinación del territorio, debido a sus características morfoestructurales y genéticas, es muy variable (Fig.7), reflejando laderas por encima de los 20° , y en algunos sectores sobrepasan los 35° , llegando a alcanzar de forma puntual inclinaciones superiores a los 55° . En el área de investigación, en la estructura principal se puede observar que, sin llegar a ser una meseta, el grado de inclinación de la zona forma una especie de meseta, aunque la parte superior del área posee pendientes superiores a los 10° , la cual está delimitado por las pendientes que sobrepasan los 20° . Esta estructura

presenta pendientes fuertemente inclinadas, que son las que cobran mayor distribución. Las superficies con pendientes fuertemente inclinadas, abruptas y verticales, reflejan por el alto grado de inclinación, un control tectónico de sus estructuras.

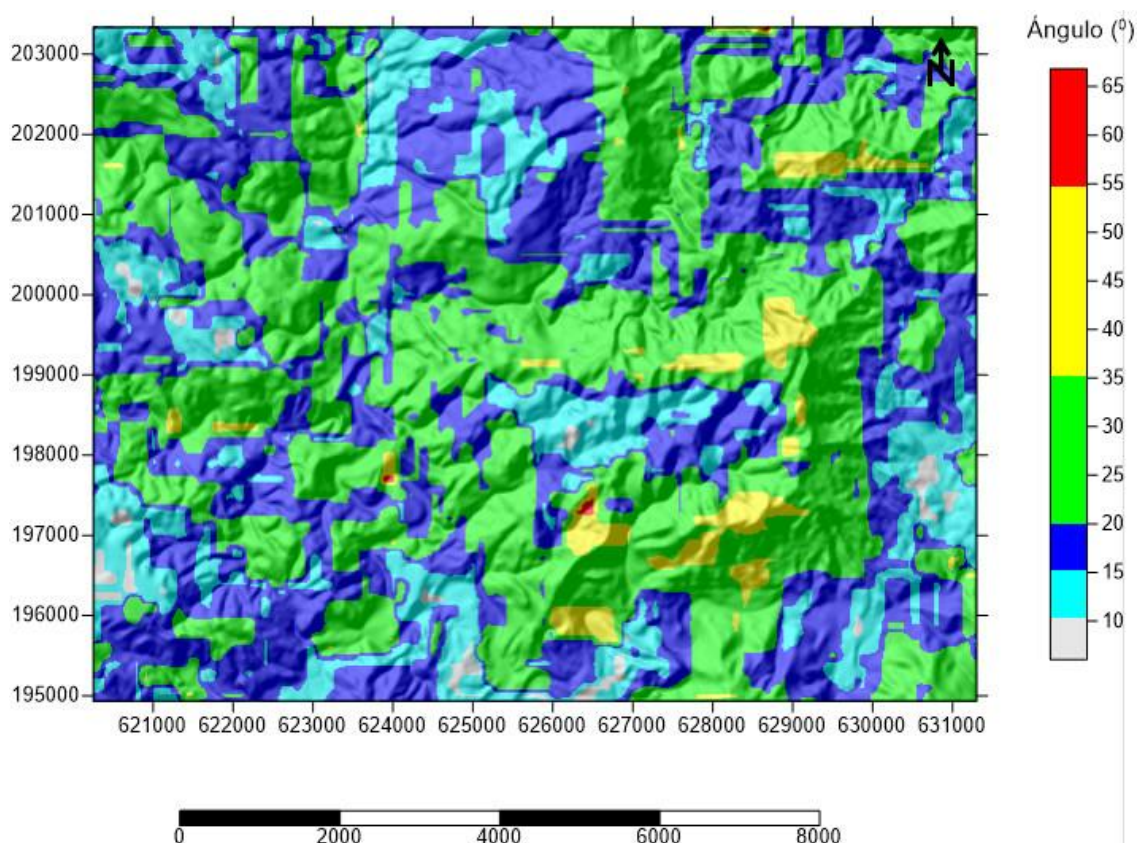


Figura 7. Mapa de Pendiente.

Mapa de Disección vertical

El mapa de disección vertical refleja el grado de la erosión de fondo del terreno y guarda 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.

En el área de estudio predominan las montañas ligeramente diseccionadas, y sus límites periféricos y flancos, están dados por montañas medianamente diseccionadas. Su centro lo conforman rocas de las formaciones Miranda (Sabaneta), Puerto Boniato y La Picota. La formación Puerto Boniato yace

discordantemente sobre la formación La Picota, y concordantemente sobre la formación Sabaneta, ambas están aflorando en una zona donde existe una disección vertical por encima de 160 m/Km^2 ; lo cual refleja un alto grado de erosión de fondo. La presencia superficial en esta área de las formaciones La Picota y Sabaneta, puede deberse a la erosión de la formación Puerto Boniato, ya que las, mismas se localizan en valles de río con elevados valores de disección vertical.

El mapa (Fig.8) 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.

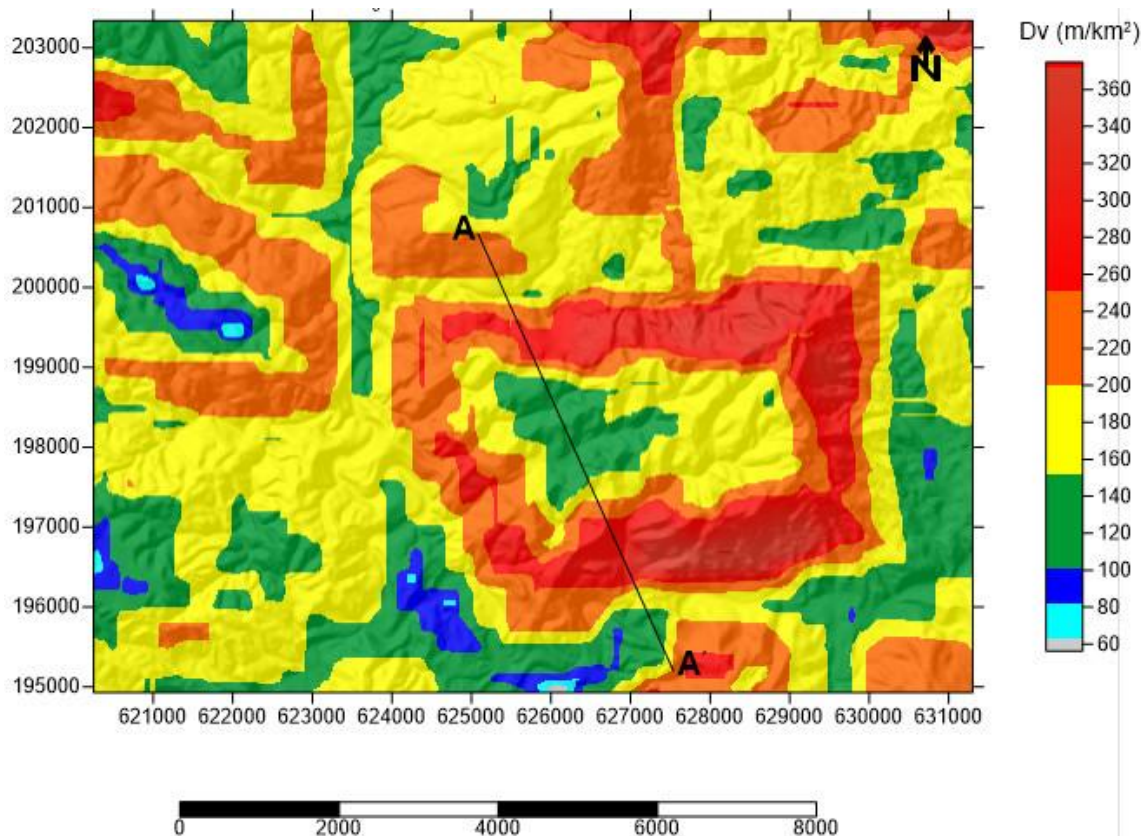


Figura 8. Mapa de Disección vertical.

En la zona de montaña se trazó un perfil en los bloques principales ubicados al este del río Mayarí en la zona que comprende el área de investigación. Donde se evidencia que la disección vertical en estas montañas es elevada, y guarda

una gran relación con la pendiente, lo que indica que mientras mayor sea la pendiente, mayor será la disección vertical, como se muestra en la gráfica de la (Fig.9) Asimismo, se puede observar que, en las zonas con menor grado de pendiente, la disección vertical se comporta con valores bajos.

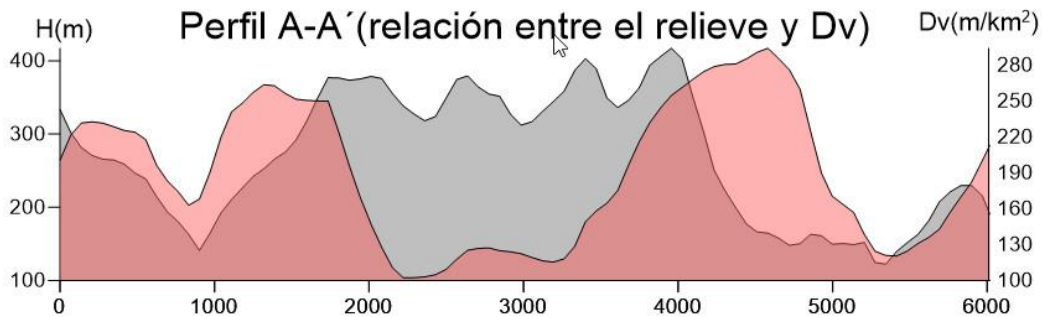


Figura 9. Perfil NW-SE del área de estudio.

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.10) reflejan un relieve tranquilo al SW del territorio, mientras que, en el sector de estudio, se observa que la zona más elevada presenta estructura de cierre alrededor de los 320 m.s.n.m. Además, hacia el norte de la estructura principal del área de estudio se observa otra estructura de cierre entre los 250 y 260 m.s.n.m, lo que nos puede indicar que esta estructura de cierre se puede separar de la estructura principal producto de los movimientos tectónicos presentes en el área de estudio.

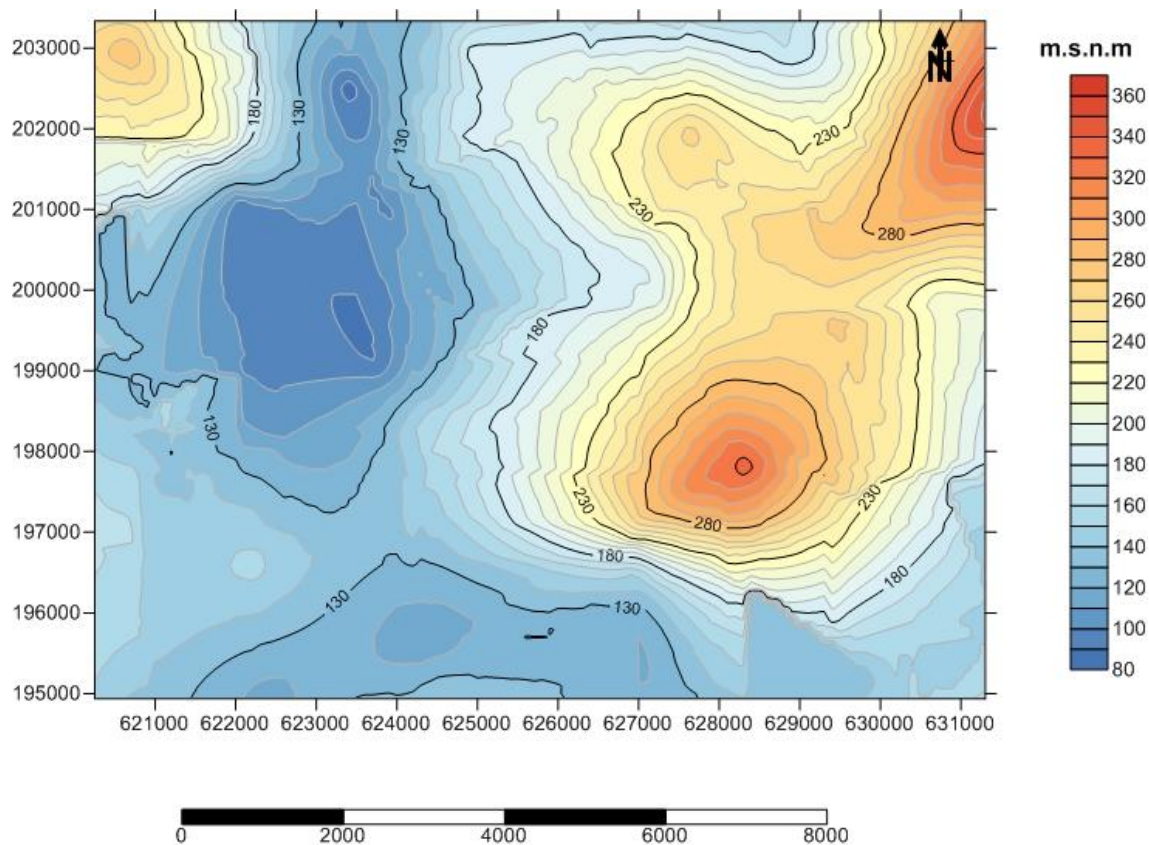


Figura 10. Mapa de Isobasitas de cuarto orden.

En el mapa de Isobasitas de tercer orden (Fig.11) observamos como la estructura de cierre continúa con su movimiento de ascenso, donde el bloque principal de la zona de investigación ubicado al este del río Mayarí, se ha desplazado un poco al norte, presentando estructuras de cierre del orden de 400 m.s.n.m a 480 m.s.n.m. Esta zona se presenta como una especie de subbloque, donde continúan los levantamientos neotectónicos. Al norte del territorio se observa una pequeña estructura, que ha comenzado a separarse de la estructura principal, y presenta un cierre de 280 m.s.n.m.

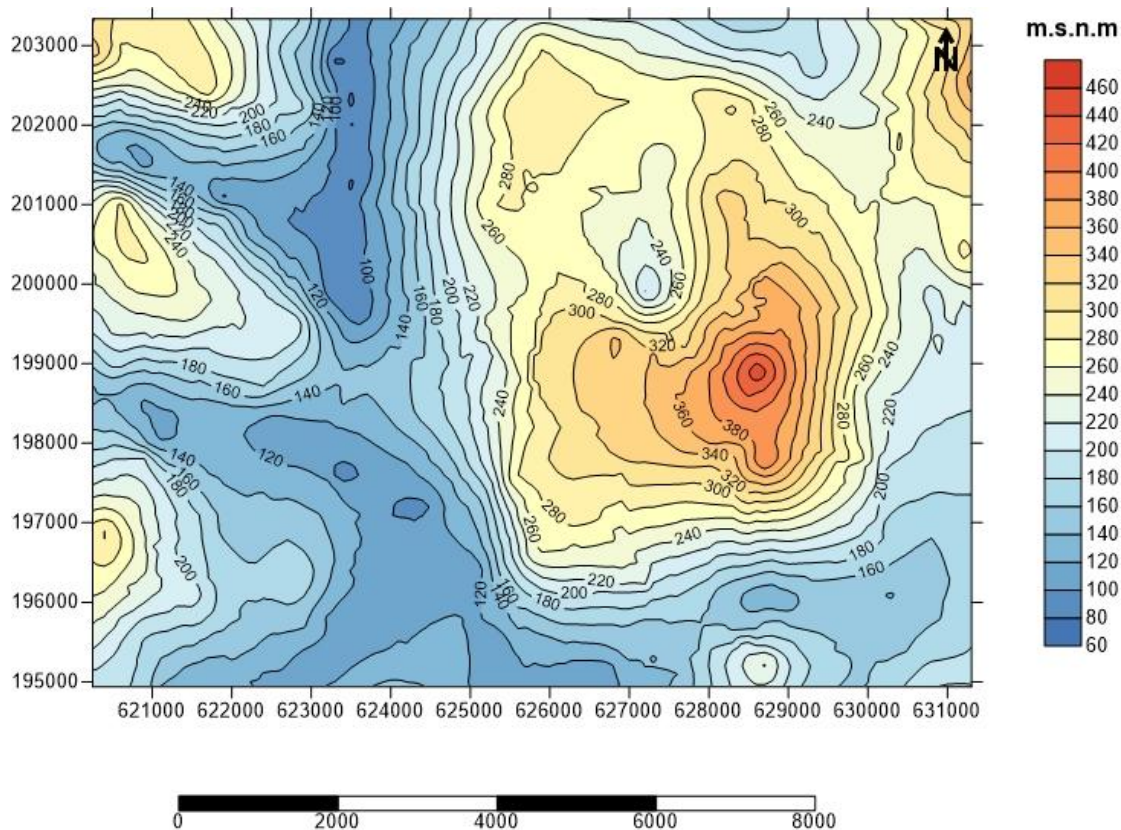


Figura 11. Mapa de Isobasitas de tercer orden.

En el mapa de Isobasitas de segundo orden (Fig.12), que refleja las influencias tectónicas en el relieve más actual, el bloque central mantiene sus movimientos de ascenso con un ligero desplazamiento en la horizontal hacia el noreste. En esta estructura se encuentra el punto de máximo levantamiento con un cierre de 480 m.s.n.m, reflejando un buzamiento prácticamente monoclinal hacia el suroeste. Al norte del territorio se ha formado un pequeño bloque independiente, que se ha separado de la estructura principal y se ha mantenido en constante levantamiento, con estructuras de cierres que superan los 380 m.s.n.m.

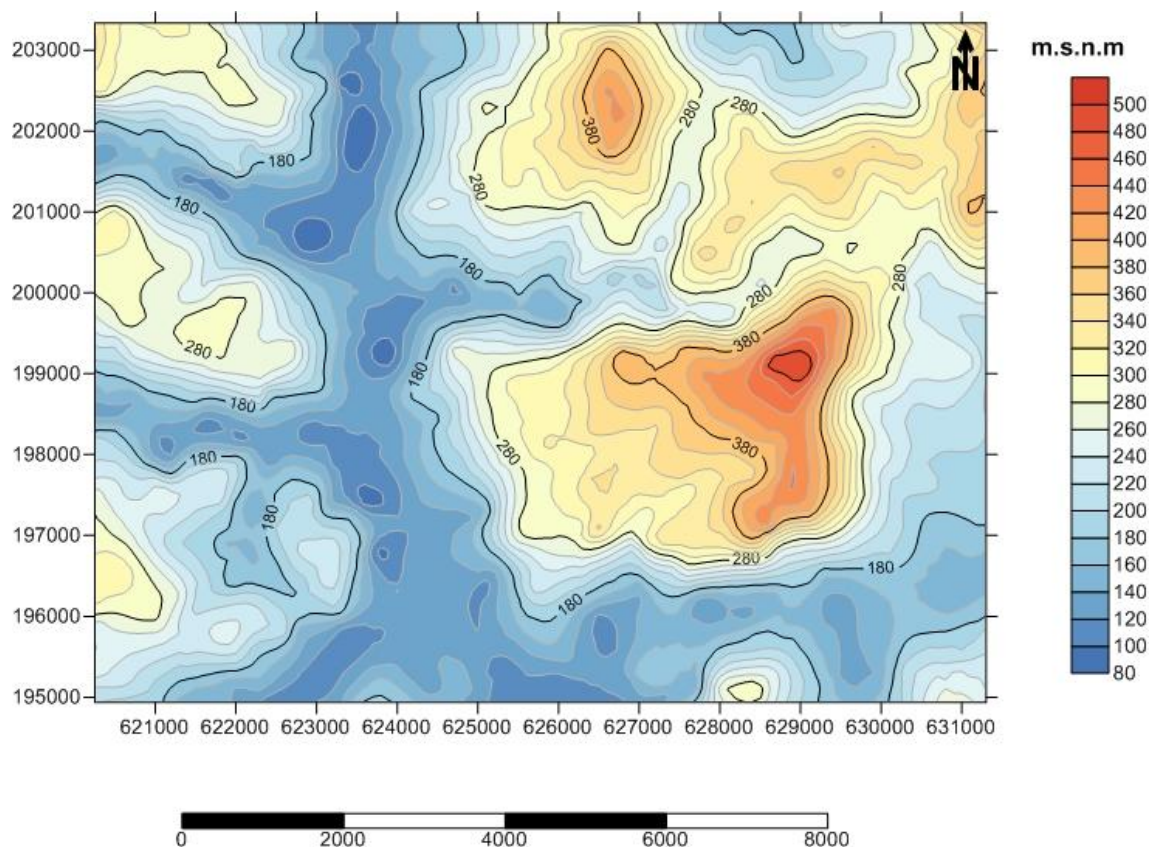


Figura 12. Mapa de Isobasitas de segundo orden.

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.13), representadas por ríos que llegan hasta el orden 7.

La red de drenaje es variada, reflejada por cuatro tipos de drenaje: rectangular, dendrítico, radial y con menor distribución paralelo. En la región predomina las de redes de configuración dendrítica, radial, y las variantes de la red rectangular, evidenciando un fuerte control litoestructural.

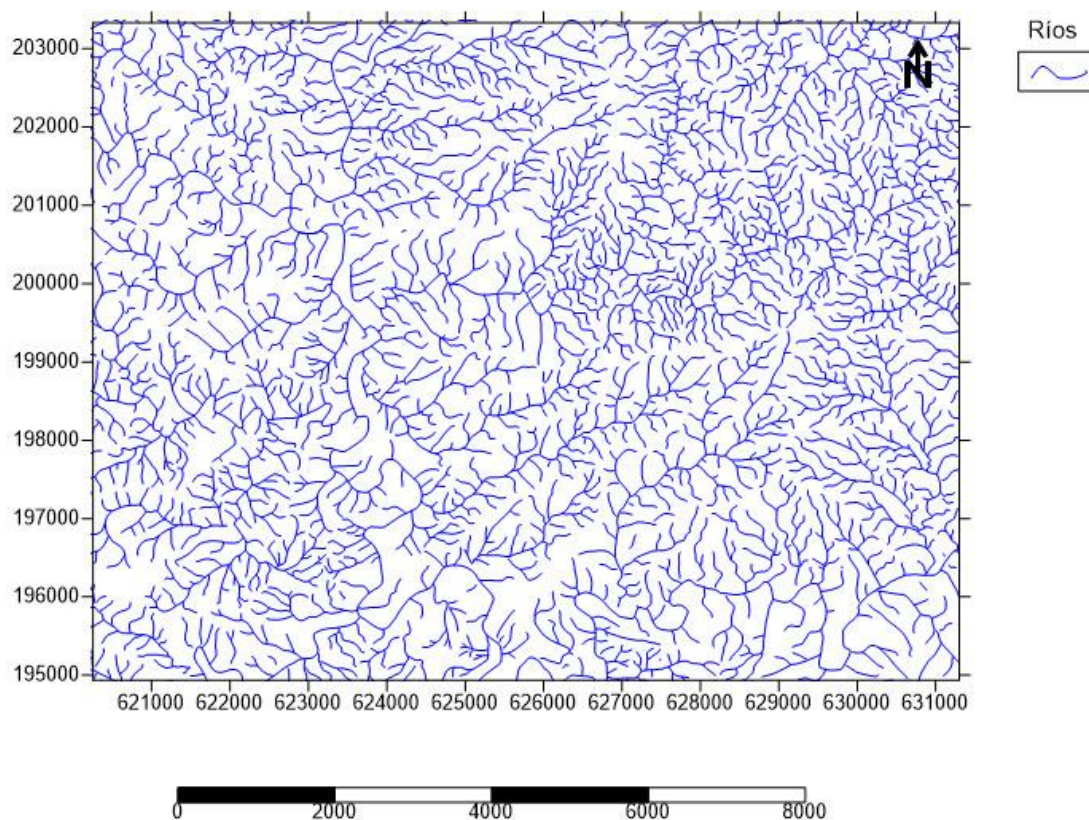
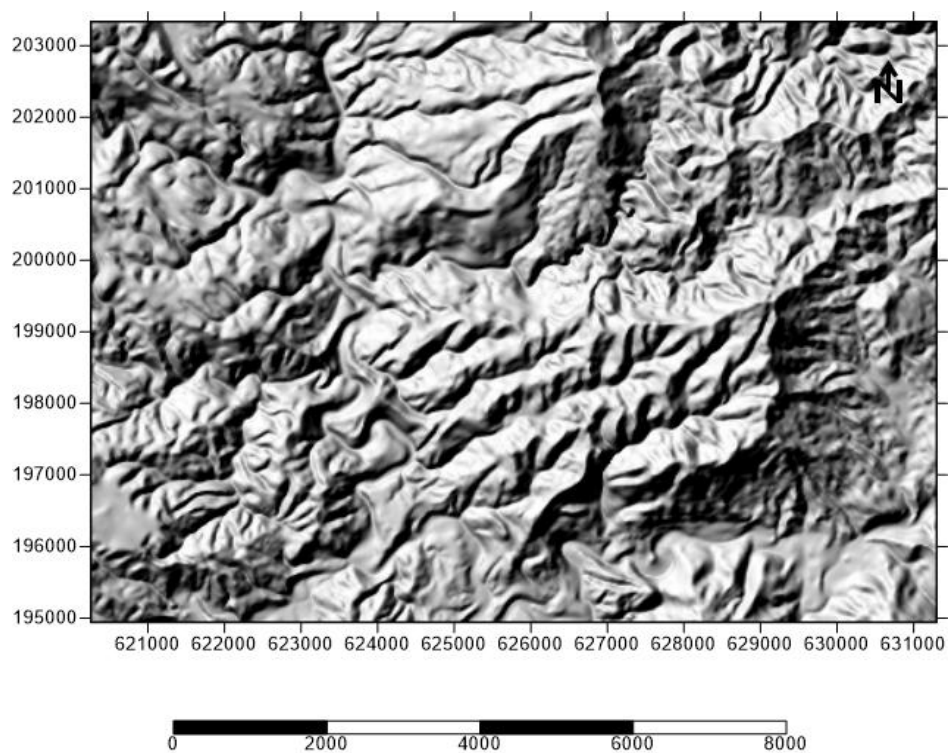
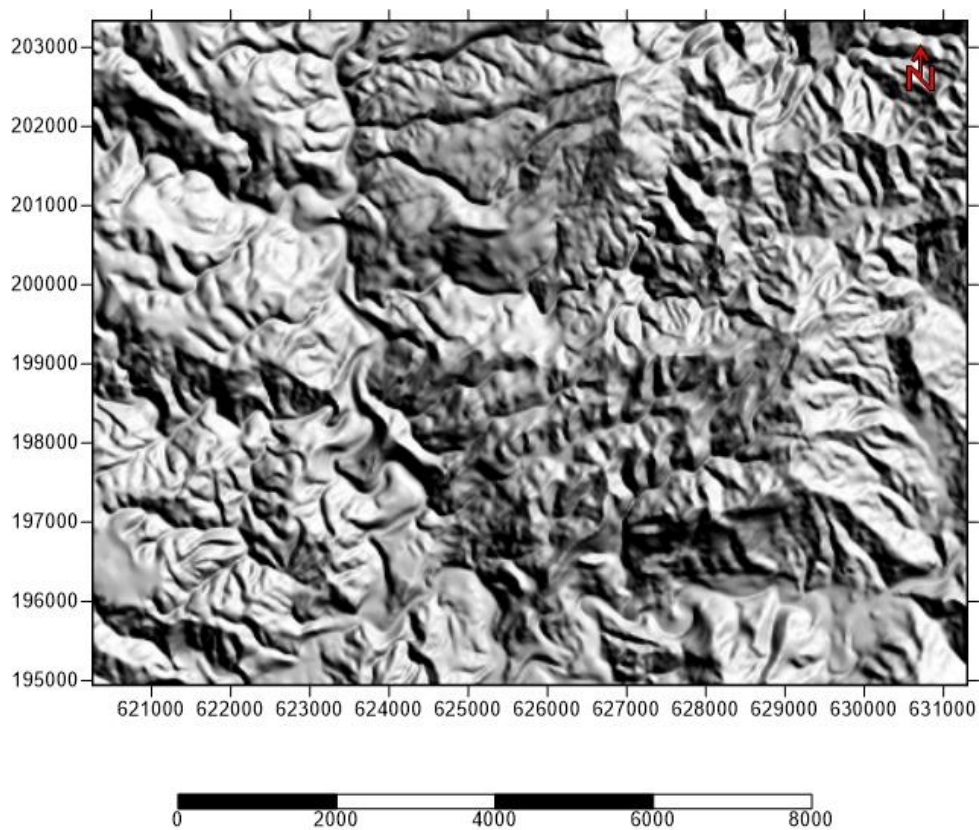


Figura 13. Mapa de la Red de drenaje superficial.

Mapas Sombreados

En las Figuras 14 y 15, se presentan los mapas sombreados con 135° y 45° de acimut respectivamente, manteniendo fija la posición vertical con 45° . Estos mapas fueron confeccionados principalmente, para trazar según la información del terreno que brindan, morfoalineamientos que permitieran establecer o asociar estructuras disyuntivas con desplazamientos en el área de estudio. Estas alineaciones fueron correspondientemente delineadas.

Figura 14. Mapa sombreado con 135° Figura 15. Mapa sombreado con 45°

3.1.2 Morfoalineamientos

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. 16).

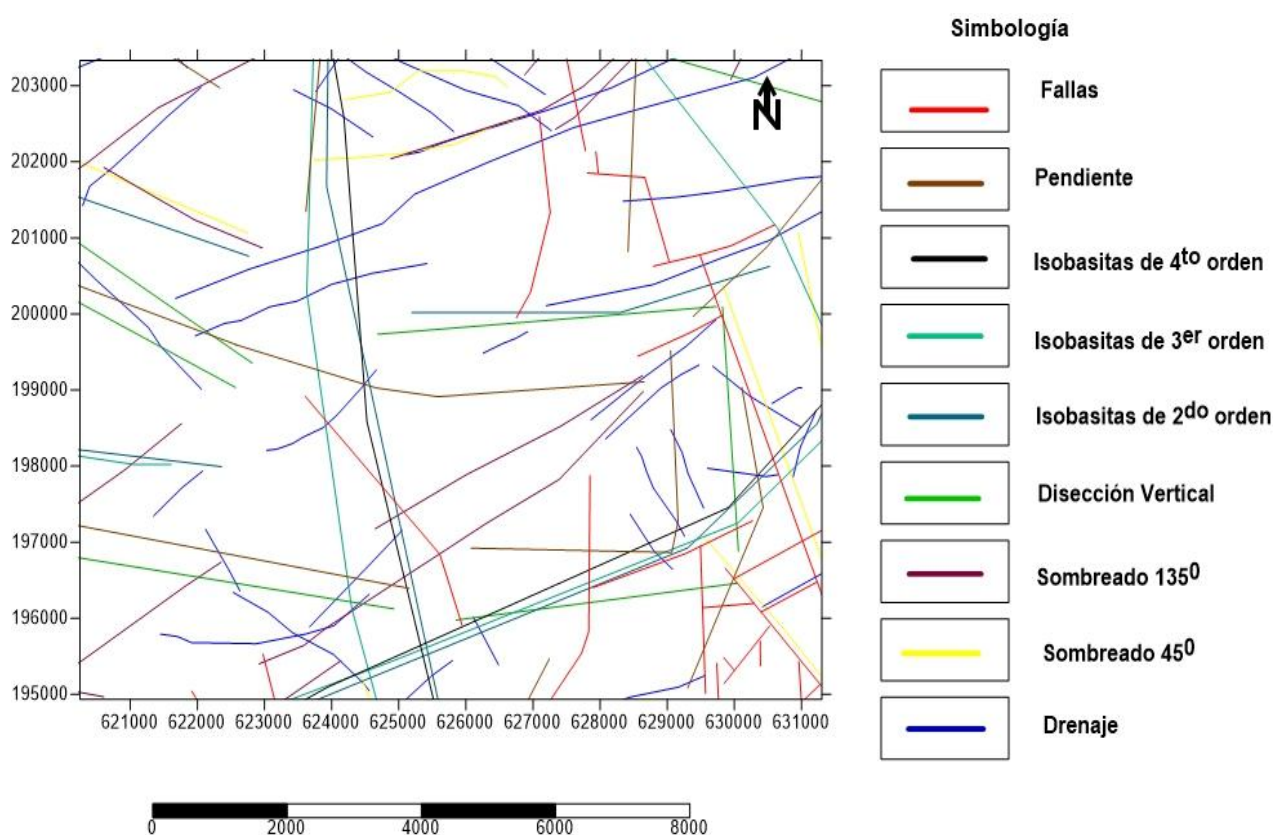


Figura 16. Mapa de Alineaciones.

Los patrones de alineaciones superpuestos en una misma dirección son representados como posibles estructuras disyuntivas (Fig.17) con desplazamientos, que deben ser corroboradas o descartadas por otros métodos de investigación geológica. Aquellos morfoalineamientos que coinciden con fallas comprobadas no son plasmados en el mapa de morfoalineamientos.

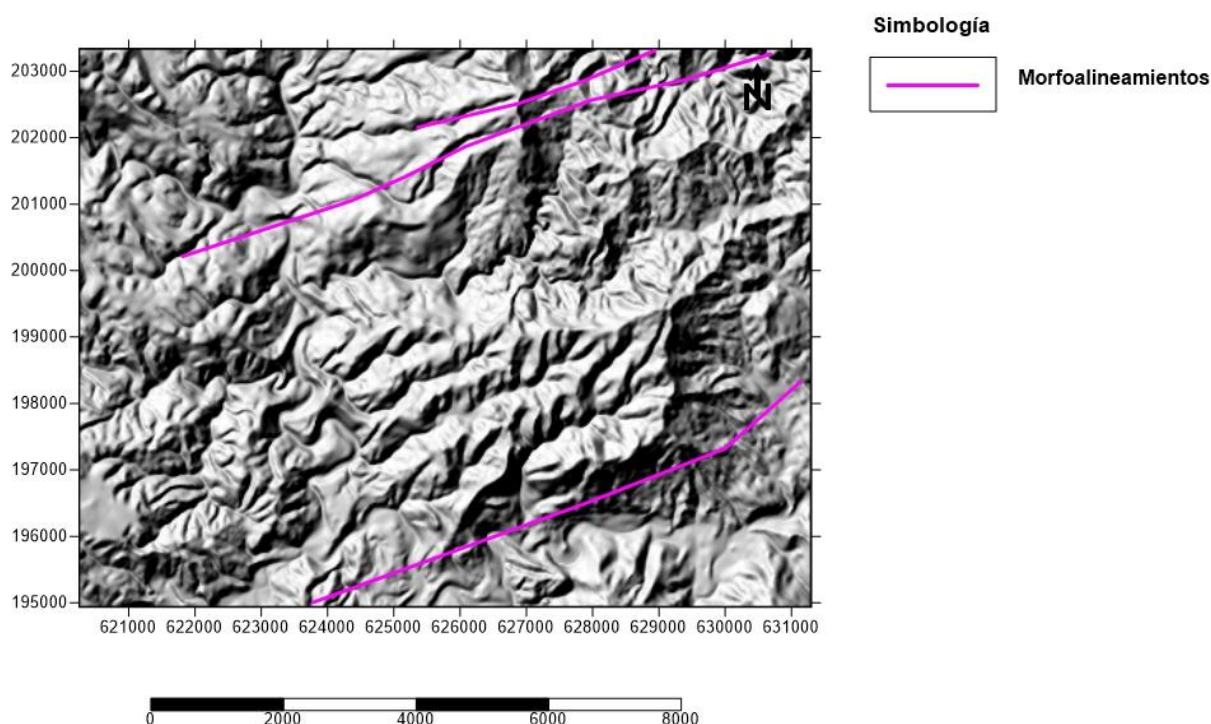


Figura 17. Mapa de los Morfoalineamientos

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 morfogenéticos; 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 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 podemos clasificar el relieve del área de estudio de la siguiente forma:

Montañas

Montañas pequeñas y premontañas de génesis tectónico-litológicas (Díaz Díaz, 1989)., en horst y monoclinal muy diseccionada, compuestas por rocas de los complejos carbonatado, turbidítico-carbonatado-detrítico, piroclástico terrígeno y formaciones carbonatadas detríticas. En esta morfoestructura han primado los movimientos de ascenso vertical, condicionados por la tectónica regional post-eocénica.

3.2 Procesamiento e interpretación de los datos de campo

3.2.1 Interpretación de la descripciones de los afloramientos

En los trabajos de campo se describieron 21 afloramientos en total, representados por las formaciones La Picota, Sabaneta y Puerto Boniato, siendo esta última la de mayor distribución en el área de estudio. De los 21 afloramientos descritos, solo en tres la formación que debe aflorar según el mapa Geológico del IGP, que comprende la región de investigación, a escala 1:100 000, no coincide con las formaciones aflorantes.

La descripción del Punto No 2 (Fig.18), corresponde con el corte estratigráfico perteneciente a la formación Puerto Boniato con yacencia horizontal, potentes estratos de coloración blanca-crema predominantemente, y composición

calcárea intercalada con capas de arcilla y sílice. Esta descripción muestra una diferencia con el mapa geológico de referencia, el cual indica que en este punto aflora la formación La Picota.

En los puntos 4 y 5, afloran estructuras de conglomerados y brechas, de forma caótica, con clastos de variables dimensiones, mal seleccionados. Los clastos son de composición carbonatada al igual que el material cementante que los engloba. Las características litológicas y geométricas antes descritas coinciden con la formación La Picota y Puerto Boniato como muestra el mapa geológico de referencia.

Durante los trabajos de campo no se identificaron los puntos de contacto de las unidades litoestratigráficas presentes en el territorio, pero una vez analizados las descripciones realizadas, fundamentalmente en los puntos 2, 4 y 5; se infiere que los contactos entre estas unidades deben corregirse para lograr una mayor precisión en la información brindada en el mapa geológico.

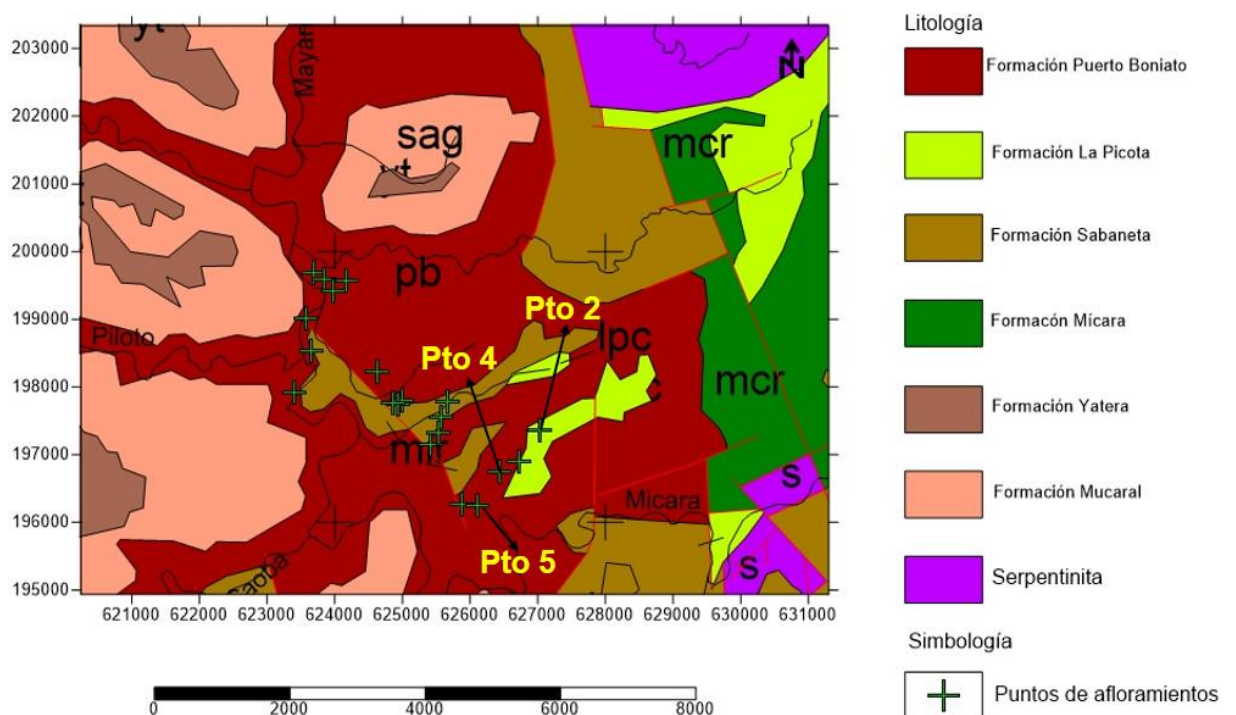


Figura 18. Mapa geológico con los puntos de afloramientos

3.2.2 Interpretación de los diagramas resultantes del procesamiento de la información obtenida en los trabajos de campo.

La proyección estereográfica proporciona una herramienta fundamental en el campo de la geología estructural. Su principal interés estriba en el hecho de que con ella podemos representar orientaciones (dirección) e inclinación (buzamiento o inmersión) preferentes de elementos que en la naturaleza no se presentan con desarrollos geométricos perfectos, como es el caso de un estrato, donde el plano de techo y de muro presentan irregularidades puntuales, aunque con una tendencia general. Además, este tipo de representación permite medir los ángulos de forma directa.

Entre sus aplicaciones más importantes se encuentra el reconocimiento de juegos de diaclasas en un afloramiento rocoso, la determinación de la dirección y el buzamiento de un estrato, la determinación del tipo de rotura en un movimiento de ladera (Tomás Jover y otros, 2002), y la identificación de los principales esfuerzos que causan las deformaciones en las rocas.

Existen dos formas principales de representación estereográfica, en dependencia de los datos que se quieran representar: la falsilla de Wulff y Schmidt. La primera se utiliza para resolver relaciones angulares, particularmente en construcciones geométricas hechas en la falsilla; mientras que la segunda se utiliza para resolver relaciones angulares y evaluar estadísticamente la orientación de datos usando proyecciones estereográficas de contorno (MacClay, 1987). En la presente investigación se emplearon ambas proyecciones, siendo la Wulff la de mayor utilidad, pues no se obtuvieron un gran número de mediciones de campo que creara la necesidad de establecer un análisis estadístico de contorno.

De los 21 afloramientos descritos se hicieron mediciones de los elementos de yacencia en 6 de ellos. Estos puntos son el 2; 6; 7; 11; 13; 14.1.

Punto No. 2

En el punto 2 se identificaron estructuras disyuntivas, las cuales, según su diagrama de rosa, muestra una dirección preferencial NW-SE 40° - 50° (Fig.19). Estas grietas se encuentran cerradas y afectan secuencias de material piroclástico, de coloración gris oscuro.

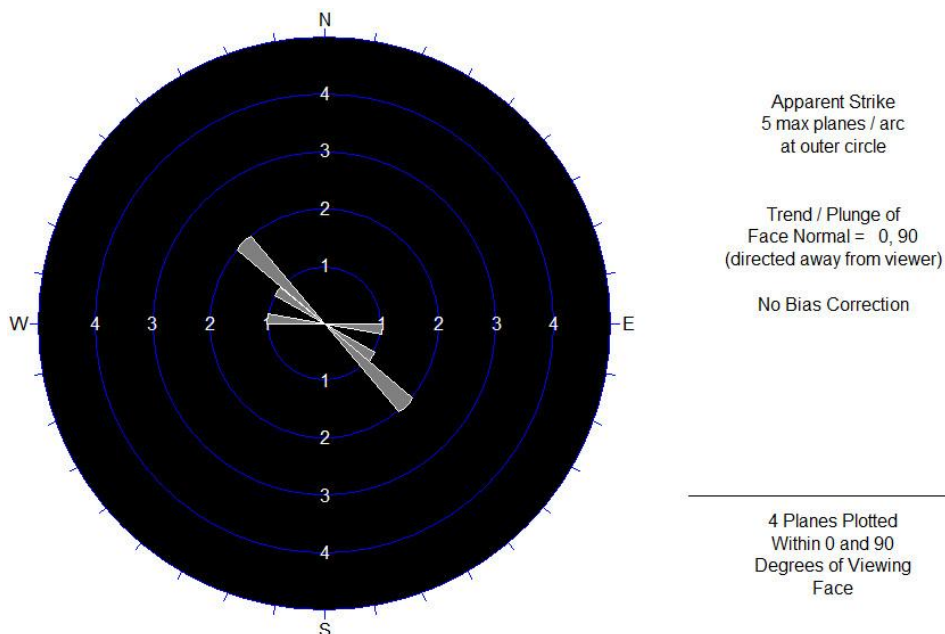


Figura 19. Diagrama de rosa

Puntos No. 6 y 7

Por la relación espacial que presentan en el campo, las mediciones de los planos de estratificación y las direcciones de roseta de los puntos 6 y 7, fueron representados al unísono en la proyección estereográfica de Wulff (Fig.20). Estos planos de estratificación presentan una orientación principal (Fig.21) NW-SE 0° - 10° y una de NE-SW 50° - 60° , y como orientación secundaria principal NW-SE 20° - 40° . El buzamiento de estas capas está dirigido en las direcciones NW y SW fundamentalmente. Esta zona deformada dentro del área de estudio está representada por rocas de la formación Puerto Boniato, la cual se manifiesta en la región de forma general con una yacencia predominantemente horizontal, poco deformada.

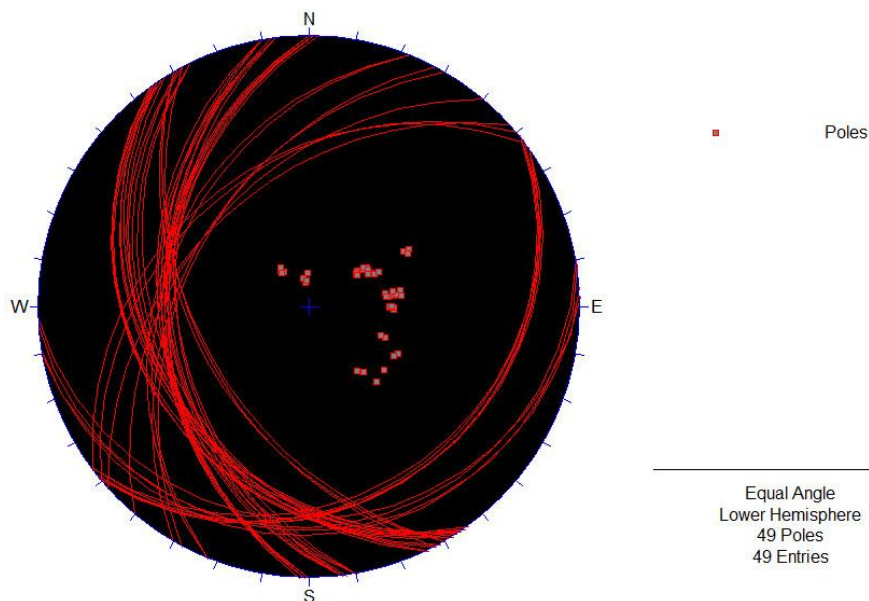


Figura 20. Diagrama de planos

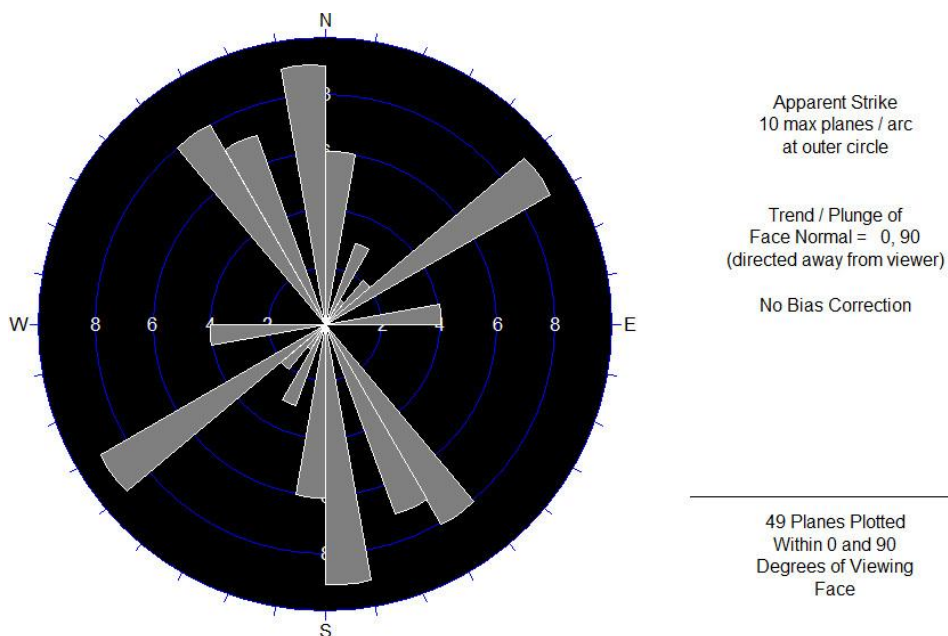


Figura 21. Diagrama de rosa

Punto No. 11

En este punto se midieron varias familias de estructuras disyuntivas, rellenas la mayoría con calcita. Estas grietas tienen un carácter sistemático y una relación geométrica y angular de tipo ortogonal. Los diagramas de rosetas creados muestran que las mismas tienen una dirección principal al NW-SE 40^0 - 50^0 , y

otra al NW-SE 80° - 90° , manteniendo al NE-SW 30° - 40° , la principal orientación secundaria (Fig.22).

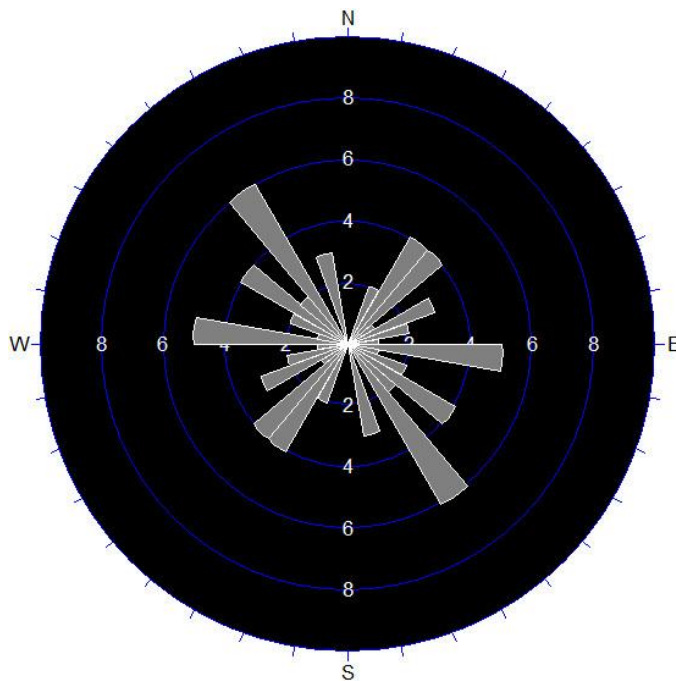


Figura 22. Diagrama de rosa

Punto No 13

El agrietamiento en este punto, está definido prácticamente por dos familias de grietas, una al NW-SE 0° - 10° , la cual constituye la dirección principal, y otra al NW-SE 80° - 90° . (Fig. 23) algunas de las grietas presentes en afloramiento se encuentran rellenas con mineralización de calcita, las cuales representa pequeñas vetas de mineralización.

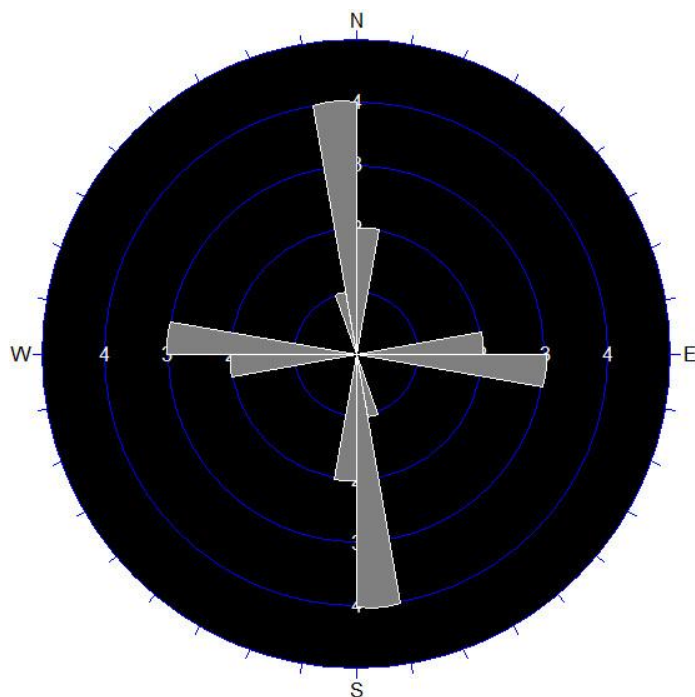


Figura 23. Diagrama de rosa

Punto No. 14.1

En el punto se realizaron mediciones de planos de estratificación, mostrando el diagrama de arco que las capas tienen un buzamiento predominantemente NNW (Fig.24), con una dirección principal NE-SW 80° - 90° (Fig.25). Estas rocas deformadas pertenecen a la formación Puerto Boniato.

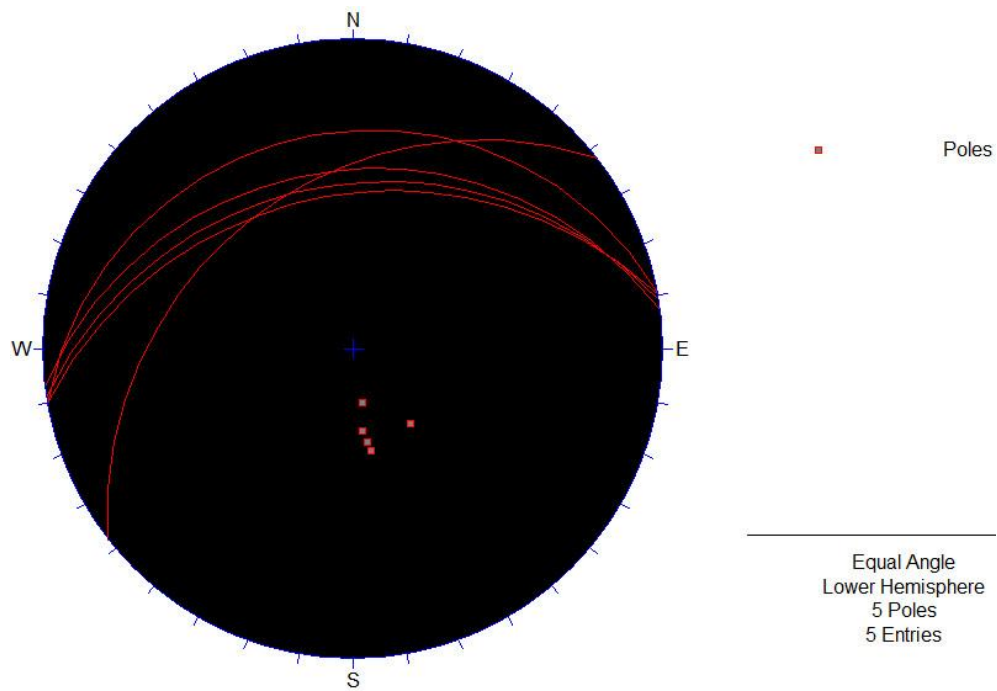


Figura 24. Diagrama de planos y polos

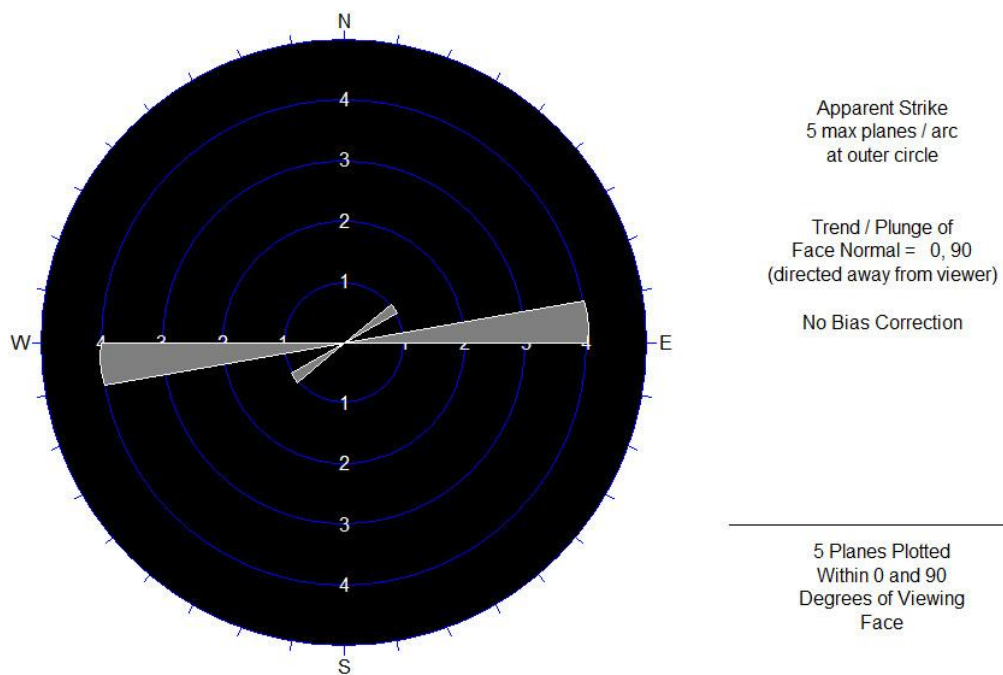


Figura 25. Diagrama de rosa

3.2.3 Análisis de las orientaciones de las estructuras

En el territorio, las principales direcciones de agrietamiento están orientadas al NW-SE 40° - 50° y al NW-SE 80° - 90° . Estas orientaciones de las estructuras disyuntivas, corresponden a grietas que presentan de forma general un carácter ortogonal, afectando principalmente a secuencias de material piroclástico. El Punto No 11 constituye el más relevante para la interpretación de estas orientaciones, el mismo es el de mayor densidad de agrietamiento; y se encuentra cercano a la zona de contacto entre la formación Sabaneta, y la formación Puerto Boniato, la cual yace concordantemente sobre la primera. En los puntos 2 y 13, pertenecientes a la formación Puerto Boniato, aunque el grado de agrietamiento es menor se mantienen las direcciones principales del mismo.

El diagrama de arco de los puntos 6 y 7 muestra la presencia de una estructura plegada, principalmente por las mediciones realizadas en el punto 6. Los polos de estratificación del punto 6 se alinean en un arco mayor (Fig.26), lo cual muestra la identificación de una estructura plegada, que no fue caracterizada como tal durante los trabajos de campo. El eje de dicha estructura está determinado, por la intersección de todos los planos de estratificación del pliegue (Fig.27), y se representa en la proyección estereográfica como una línea, el mismo yace con 274° - 276° / 31° - 33° .

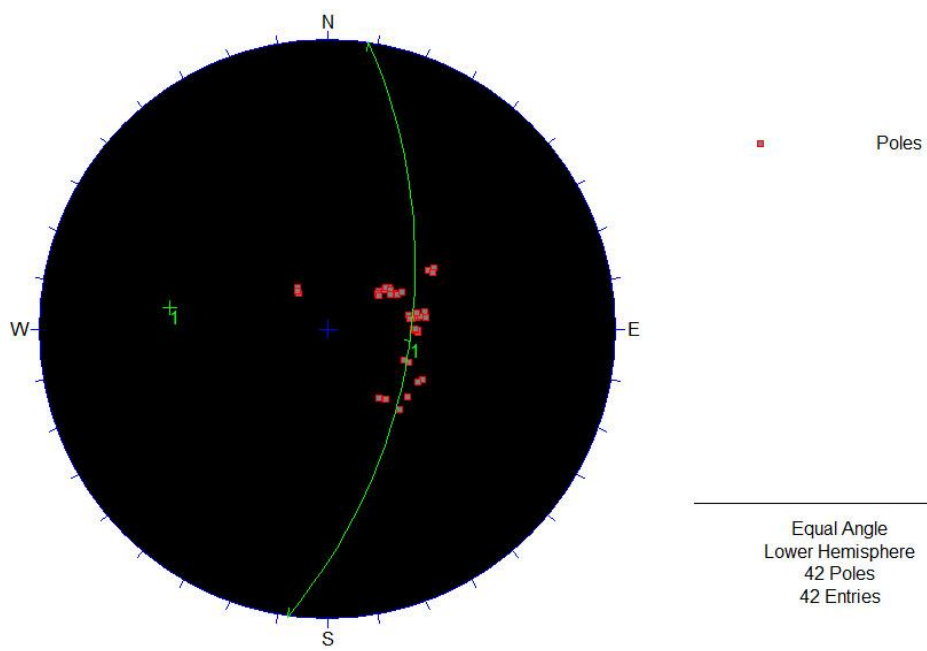


Figura 26. Diagrama de arco

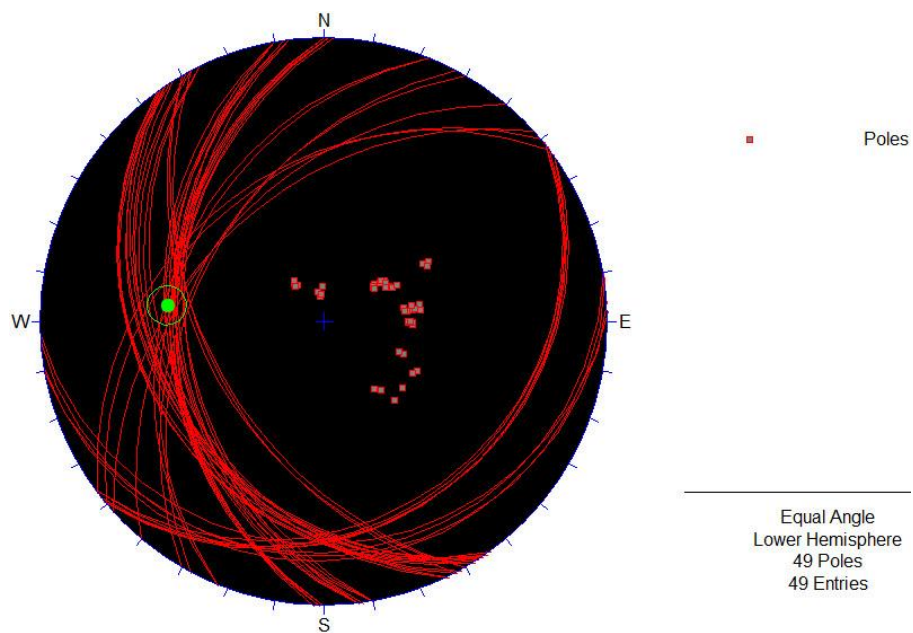


Figura 27. Diagrama de planos

3.3 Caracterización morfoestructural del sector Mucaral

En el sector Mucaral ubicado en el municipio Segundo Frente al sureste del municipio Mayarí, se encuentra determinado por una categoría morfoestructural: las montañas. Estas 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. En el área de estudio las montañas se caracterizan en: montañas pequeñas y premontañas, y predominan las pendientes fuertemente inclinadas, esto se debe a la tectónica presente en el área, la cual ha provocado que los bloques se hayan levantado. Estas se hallan muy diseccionadas y conforman una estructura de bloque monoclinal, con buzamiento suroeste y génesis tectónico-litológica. El sector por su configuración morfoestructural constituye un sistema de horst y bloques, con litologías asociadas a las formaciones Miranda, La Picota y Puerto Boniato. El desarrollo del relieve actual del territorio, ha sido condicionado principalmente por los movimientos tectónicos verticales, y en menor proporción por los movimientos horizontales, que han provocado un leve desplazamiento de la morfoestructura principal hacia el norte. El grado de inclinación del territorio, debido a sus características morfoestructurales y genéticas, es muy variable, reflejando laderas por encima de los 20° , y en algunos sectores sobrepasan los 35° , llegando a alcanzar de forma puntual inclinaciones superiores a los 55° . Las estructuras disyuntivas y plicativas identificadas en el área de investigación, presentan un carácter local, definidas por la presencia de fallas locales que afectan las unidades litoestratigráficas del territorio.

CONCLUSIONES

1. El relieve del área de estudio se encuentra determinado por las categorías morfoestructurales montañas pequeñas y premontañas; las cuales están muy diseccionadas y conforman una estructura de bloque monoclinial, con buzamiento suroeste y génesis tectónico-litológica.
2. El relieve actual del territorio, está condicionado fundamentalmente por movimientos tectónicos verticales, y en menor proporción por los movimientos horizontales, que han provocado un leve desplazamiento de la morfoestructura principal hacia el norte.
3. Las estructuras disyuntivas y plicativas identificadas en el área de investigación, presentan un carácter local, definidas por la presencia de fallas locales que afectan las unidades litoestratigráficas del territorio.
4. El sistema de agrietamiento muestra una relación ortogonal entre las familias de grietas, con dos direcciones principales, una al NW-SE 40° - 50° y otra al NW-SE 80° - 90° , afectando a las formaciones Puerto Boniato y Sabaneta.
5. Se identificó una estructura plegada muy local, con una eje inclinado entre los 31° - 33° , y una dirección entre los 274° - 276° . La orientación principal de los planos de estratificación se encuentra al NW-SE 0° - 10° .

RECOMENDACIONES

1. Profundizar el estudio geólogo-estructural del territorio, haciendo énfasis en los procesos tectónicos que tienen lugar en el mismo.
2. Realizar otros estudios que abarquen una mayor área, para demostrar con mayor claridad las estructuras tectónicas y los pliegues presentes en el área actualmente investigada.
3. Llevar a cabo trabajos investigativos que corrijan los límites de las formaciones La Picota y Puerto Boniato.
4. Realizar trabajos investigativos que corrijan o comprueben, los morfoalineamientos presentados, como nuevas estructuras disyuntivas.

Bibliografía

1. ADAMOVICH, A. y V.D. CHEJOVICH. *Estructura geológica y minerales útiles de la región Nipe - Cristal, provincia de Oriente*. O.N.R.M.: 1963.
2. 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.
3. 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.
4. *Análisis de la evolución tectónica y paleogeografía de la cuenca central, Cuba* (en línea), Consultado: 6-05-17. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos39/evolucion-tectonica-Cuba/evolucion-tectonica-cuba2.shtml>.
5. 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.
6. 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.
7. Batista Rodríguez, J.A. *Nuevas regularidades geológicas de la región Mayarí-Sagua-Moa a partir de la interpretación del levantamiento aereogeofísico 1:50 000*(Resumen de tesis doctoral/ 2002). (en línea), consultado: 16-05-17). Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/2235/223517653004/index.html>
8. 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.

9. BATISTA-RODRÍGUEZ José Alberto. (BATISTA-RODRÍGUEZ 2002)2002 (en línea), (consultado 19-06-17). Disponible en: http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2006_Batista_Resumen%20tesis%20MyG.pdf
10. 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.
11. CISAT. *Diagnóstico ambiental de la cuenca del río Mayarí. Holguín, 2007*. 151 p.
12. 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.
13. Confección de Mapas morfométricos. [en línea]. [Consultado: 6 mayo 2017]. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/672/confeccion.pdf>.
14. Contribución a la geología de Cuba oriental. Instituto de Geología y Paleontología, 1983. 271 p.
15. DÍAZ DÍAZ, J.L. Relieve. IV.1.1. En: Nuevo Atlas Nacional de Cuba. 1989.
16. 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.
17. 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).
18. DÍAZ RIVERO, N.; C.E. VALDÉS MOREIRA y K. ZUBIAUR CHAPMAN. *Estudio Geólogo-Geomorfológico de un sector de la Provincia de Pinar del Río*.
19. 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.

20. 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).
21. Estudio geomorfológico de la antigua provincia de Oriente. 1985.
22. 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.
23. FURRAZOLA BERMÚDEZ, G. y K. NUÑEZ CAMBRA. *Estudios sobre Geología de Cuba*. Ciudad de La Habana: IGP, 1997. 506 p.
24. GREENIDGE MORO, S. *Mapa geomorfológico preliminar del municipio Mayarí a escala 1: 100 000*. Dra. Alina Rodríguez Infante (tutor). Tesis de ingeniería. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2016. 76h.
25. 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.
26. HUGGETT, R.J. *Fundamentals of geomorphology*. 2003.
27. I.G.P. *Mapa Geológico de las Provincias Orientales, a escala 1:100 000*. Edición digital por el grupo CASIG-IGP. Cuba, 2001.
28. ITURRALDE VINENT. *Estudios sobre la estructura tectónica de Cuba oriental*, En línea), Consultado: 6-06-17, Disponible en: <https://www.google.com/search?q=Iturralde-Vinent.+Estudios+sobre+la+estructura+tectonica+de+cuba+oriental&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:es-ES:official&client=firefox-a&channel=fflb>
29. 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_Ofiolias%20y%20Arcos%20Volcanicos%20de%20Cuba_CompleteVolume.pdf>.

30. ITURRALDE-VINENT, M.A.; et. al. *Geología de Cuba para todos*. La Habana, 2007. 112 p.
31. ITURRALDE-VINENT, Manuel A. *Sinopsis de la constitución geológica de Cuba*. Acta geológica hispánica, 1998, vol. 33, no 1, p. 9-56.
32. KNIPPER, A. y R. CABRERA. *Tectónica y geología histórica de la zona entre el río 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.
33. *Léxico Estratigráfico de Cuba*. Tercera versión, 2013.
34. 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.
35. LUGO HUBP, J. *Elemento de geomorfología aplicada. Métodos cartográficos*.
36. MACCLAY, K.R. *The Mapping of geological structures*. En., 1987. 161 p.
37. Mapa de pendientes y disección de terreno. Práctica de laboratorio. [en línea]. [Consultado: 6 mayo 2017]. Disponible en: <http://www.uabcs.mx/geologia/geo_bajamx/geomorfologia/lab_08_08.pdf>.
38. MONTROYA 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.
39. NEKRASOV, G.Y.; et. al. *Ophiolites of Eastern Cuba*. En Geotectonic. 1989, vol. 23, p. 60-71.
40. OROSA, Israel Cruz; MORENO, Jesús Blanco; TASET, Y. M. *Análisis de la evolución tectónica y paleogeografía de la cuenca central*. Cuba. 2008.
41. Pain, C.F., Size does matter: relationships between image pixel size and landscape process scales. In: Zerger, A., Argent, R. M. (Eds.), MODSIM. International Congress of Modelling and Simulation. Modelling and

- Simulation Society of Australia and New Zealand Inc., 1430-1436. Canberra, 2005.
42. PÉREZ RIVAS, G. y A. HIDALGO MAYO. *Regionalización climática de la provincia Holguín, según la norma climática 1981-2010*. En prensa: CITMA.
43. PROENZA FERNÁNDEZ, J.A. *Mineralización de las cromitas en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba): Ejemplos del yacimiento Mercedita*. Tesis Doctoral. ISMMM, 1997.
44. QUINTAS, F. *Análisis estratigráfico y paleografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas*. Tesis Doctoral. ISMMM, 1989.
45. Rodríguez Infante. *Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes* (Resumen de tesis doctoral / 1998) (en línea), Consultado: 20-05-17), Disponible en:
<https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/download/185/182>
46. SECO, R. Geomorfología. La Habana, 1989, 349 p.
47. Segundo Frente (en línea), (consultado: 19-06-17). Disponible en:
<file:///F:/Segundo%20Frente%20%E2%80%93%20Wikipedia.maff>
48. Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. En: Acta Geológica Hispánica. 1998 vol. 33(14), p. 9-56.
49. TOMÁS, Roberto, et al. *Aplicaciones de la proyección estereográfica en ingeniería geológica*. 2002.

ANEXOS

Anexo 1: 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 2: Mapa de Zonación Sísmica de la región Oriental.

