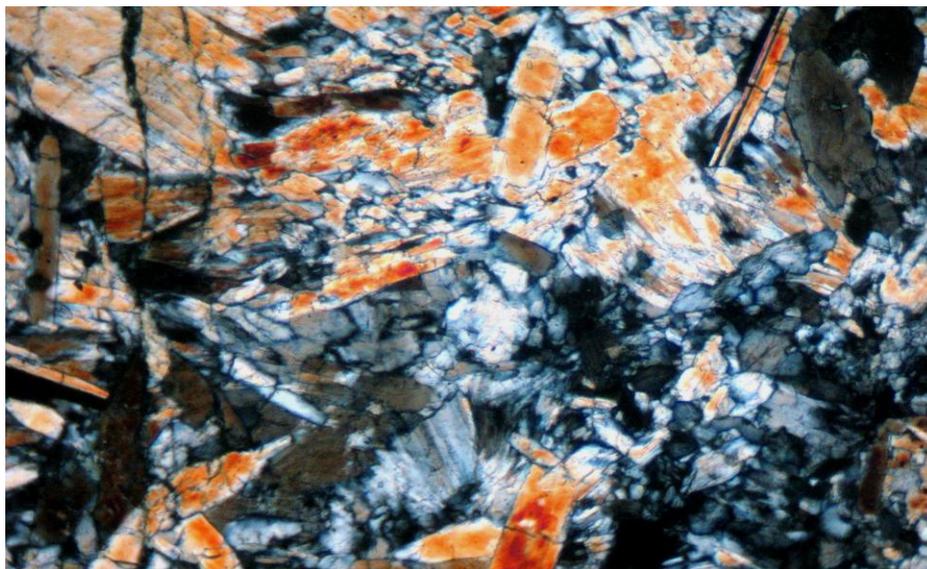




REI IBA
MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
“Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO

**TÍTULO: CARACTERIZACIÓN PETROLÓGICA DE LAS ROCAS
ANFIBOLÍTIZADAS DEL SECTOR ESTE DE LA PRESA NUEVO
MUNDO, COMPLEJO OFIOLITICO MOA-BARACOA**



Autor: René Yasmany Cobas Torres

Tutores: Dra.C Maria Margarita Hernández Sarlabous

Dr.C Gerardo Orozco Melgar

Moa, 2012

PENSAMIENTO

La sabiduría habita en los hombres de buen criterio, la estupidez se encuentra entre los insensatos.

Prov: 14:33

El hombre con experiencia no habla demasiado, el inteligente se toma su tiempo antes de hablar.

Prov: 16:27

Dios atrapa a los sabios en su propia sabiduría.

Cor: 3:18

DEDICATORIA

A mis familiares y seres queridos en especial a mis padres Nenis Torres y René Cobas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por haberme dado la dicha de poder ver concluidos mis estudios y brindarme las fuerzas necesarias para seguir adelante.

Agradecer a mi familia en especial a mis padres por brindarme apoyo, amor y cariño durante mi vida como estudiante.

Agradecer a mis tutores Maria Margarita Hernández y Gerardo Orozco Melgar, así como a los profesores del departamento de Geología en especial a: Yurisley Valdéz, Iván Barea y Jesús Blanco por su ayuda incondicional en todo momento.

Agradecer a la profe Mercedes por dedicarme parte de su tiempo libre.

Agradecer a todos mis compañeros de aula y de cubículo por el haber compartido todos estos 5 años de estudios juntos.

Agradecer a mis amistades Marie, Rafael, Nuria y Nacho por brindarme su apoyo de una forma u otra en estos años de universidad.

En fin agradecer de forma general a todas las personas que de una forma u otra han contribuido en mi formación como persona y como profesional. A todos muchísimas gracias.

RESUMEN

El presente trabajo investigativo titulado: **Caracterización Petroológica de las rocas anfibolitizadas del sector este de la presa Nuevo Mundo, complejo ofiolítico Moa - Baracoa** se basa en el estudio de las propiedades ópticas y mineralógicas de las muestras de rocas anfibolitizadas tomadas durante el levantamiento geológico realizado en el sector este de la presa Nuevo Mundo con el fin de caracterizarlas desde el punto de vista petrológico. Para su estudio se analizó la información geológica de varios trabajos ejecutados anteriormente en la región de estudio así como el empleo de diferentes técnicas analíticas tales como el análisis petrográfico y los métodos de difracción de Rayos-X. Obteniéndose como resultados de la investigación la clasificación petrográfica de las rocas, así como sus posibles protolitos.

ABSTRACT

The present titled investigative work: Petrological characterization of the amphibolitized rocks of the eastern sector of the dam Nuevo Mundo, ofiolítico complex Moa - Baracoa is based on the study of the optic and mineralogical properties of the samples of amphibolitized rocks taken during the geologic survey carried out in the eastern sector of the dam Nuevo Mundo with the purpose of characterizing them from the petrologic point of view. For their study was analyzed the geological information of several works executed previously in the area of study as well as the employment of different technical analytic such as the petrographic analysis and the diffractometry methods and fluorescence of Ray-X. Obtaining as results of the investigation the classification of the petrographic rocks, as well as their possible protolites.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN..... | 10 |
| CAPÍTULO 1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS REGIONALES Y PARTICULARIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO..... | 15 |
| 1.1 Introducción..... | 15 |
| 1.2 Ubicación del área de estudio..... | 15 |
| 1.3 Relieve..... | 17 |
| 1.4 Hidrografía..... | 18 |
| 1.5 Clima..... | 18 |
| 1.6 Vegetación..... | 19 |
| 1.7 Economía..... | 20 |
| 1.8 Características Geológicas Regionales..... | 20 |
| 1.9 Geología del área de estudio | 31 |
| CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS..... | 34 |
| 2.1 Introducción..... | 34 |
| 2.2 Etapa preliminar..... | 34 |
| 2.3 Trabajos de campo | 35 |
| 2.4 Trabajos de laboratorio..... | 35 |
| 2.4.1 Análisis petrográfico..... | 35 |
| 2.4.2 Método de fluorescencia de rayos x..... | 36 |
| 2.4.3 Difractometría de rayos x..... | 37 |
| 2.5 Trabajos de gabinete..... | 37 |
| CAPÍTULO 3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS..... | 39 |
| 3.1 Introducción..... | 39 |
| 3.2 Petrografía..... | 40 |

| | |
|---|----|
| 3.2.1 Anfibolitas gneisicas..... | 41 |
| 3.2.2 Granofels anfibolíticos..... | 43 |
| 3.3 Interpretación de los análisis de difracción de rayos-X..... | 50 |
| 3.4 Interpretación de los análisis de fluorescencia de rayos-X..... | 53 |
| 3.4 Consideraciones finales..... | 54 |
| 3.5 Conclusiones..... | 56 |
| Recomendaciones..... | 57 |
| Bibliografía..... | 58 |
| Anexos..... | 65 |

Capitulo I

INTRODUCCIÓN

El sector este de la presa Nuevo Mundo constituye una de las áreas menos estudiadas dentro de la geología de Cuba Oriental, el mismo se encuentra ubicado en el municipio Moa, provincia de Holguín, formando parte del macizo ofiolítico Moa-Baracoa. En el año 2010 se llevó a cabo un proyecto de exploración geológica en dicha área. Durante los trabajos de levantamiento geológico realizados en las etapas preliminares del proyecto, se documentaron en determinados puntos de afloramiento bloques dispersos de variados tamaños de rocas anfibolitizadas que no se habían reportado con anterioridad en este sector del complejo ofiolítico Moa-Baracoa, en las mismas se identificaron rasgos estructurales, texturales y mineralógicos que le confieren un carácter exótico con respecto a las demás litologías que conforman el área.

El estudio de estos tipos de rocas no solo permitirá caracterizarlas petrológicamente, sino que brindará información relacionada con la evolución geológica de este sector de la región Oriental de Cuba. Es por ello que el presente trabajo investigativo responde a la problemática planteada que es la necesidad de caracterizar desde el punto de vista petrológico las rocas anfibolitizadas del complejo ofiolítico Moa-Baracoa en el sector este de la presa Nuevo Mundo, a partir de la identificación de las principales fases minerales y texturas con vistas a clasificarlas desde el punto de vista petrográfico así como conocer su procedencia. Tomando como objeto de estudio las rocas anfibolitizadas que conforman el sector este de la presa Nuevo Mundo. El objetivo general de la investigación es la caracterización petrológica de las rocas anfibolitizadas presentes en el sector este de la presa Nuevo Mundo, por ello se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Clasificar desde el punto de vista petrográfico las rocas anfibolitizadas presentes en el sector de estudio a partir de la Identificación de las principales fases minerales y texturas existentes en las mismas.
- Conocer sus posibles protolitos.

Por lo que se parte de la hipótesis de que si se determinan los principales rasgos petrológicos de las rocas anfibolitizadas que conforman el sector este de la presa Nuevo Mundo a partir de la identificación de las principales fases minerales y texturas, entonces se podrá clasificarlas petrográficamente, conocer sus posibles protolitos y de este modo realizar una adecuada caracterización petrológica de las mismas.

La presente memoria escrita se encuentra ordenada en tres capítulos, el primero dedicado a la parte general y los dos últimos a la parte especial de la investigación. Cuenta con un total de 56 páginas, 5 gráficos, 7 mapas, 18 fotos. Durante la investigación fueron utilizados los siguientes software informáticos: Surfer 9 y 10, Microsoft Excel, Scope-Shop y el Sigma Plot (versión 12.0).

Novedad científica

La novedad científica del presente trabajo investigativo esta dada en que apartir de la caracterización petrológica realizada a las rocas analizadas se ha establecido por primera vez, la existencia de rocas metamórficas de grado medio en el complejo ofiolítico Moa-Baracoa.

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

En la región de Moa – Baracoa los primeros trabajos geológicos a pequeña escala se comenzaron a realizar a principios del siglo pasado, a partir de los cuales se reportó por primera vez la existencia de menas de hierro y cromo en la región nororiental del territorio cubano. Varios trabajos de exploración sobre las menas lateríticas cubanas se llevaron a cabo por numerosos geólogos norteamericanos entre ellos: Spencer, 1907, Kemp, 1910, Cox, 1911, Hayes, 1911 – 1915 y Leite, 1915. Ya en el año 1918, investigadores tales como Burch y Burchard realizaron trabajos de carácter evaluativo para el pronóstico de los yacimientos minerales de la antigua provincia de Oriente, entre ellos se pueden citar , las menas lateríticas, cromitas y minerales de manganeso, (Burch, A., and Burchard, E. F., 1919).

En el año 1962 se destacó el trabajo realizado por los geólogos soviéticos Adamovich y Chejovich, que consistió en un levantamiento geológico regional a escala 1:50 000 del nordeste de Cuba oriental. Las investigaciones fueron ejecutadas con un bajo número de perforaciones de mapeo; no obstante, sirvió de documento geológico primario para futuros proyectos y campañas de prospección. Los trabajos de prospección acompañantes permitieron ofrecer un pronóstico de los recursos minerales de las lateritas, (Adamovich, A. Chejovich, V, 1962).

En el año 1972 se comienzan las investigaciones de carácter regional en el territorio oriental cubano por especialistas del Departamento de Geología de la Universidad de Oriente, luego el Instituto Superior Minero Metalúrgico, estableció en 1976 que la tectónica de sobreempuje afecta también a las secuencias sedimentarias fuertemente dislocadas, detectándose en numerosas localidades la presencia de mantos alóctonos constituidos por rocas terrígenas y volcánicas del cretácico superior sobre yaciendo las secuencias terrígenas del Maestrichtiano-Paleoceno Superior y planteando además el carácter alóctono de los conglomerados-brechas de la formación la Picota, demostrándose en investigaciones posteriores (Cobiella, J. y Rodríguez, J., 1978) el carácter predominantemente autóctono de estas secuencias formadas en las secuencias superpuestas del arco volcánico del cretácico. Con estos nuevos elementos se reinterpreta la geología del territorio y se esclarecen aspectos de vital importancia para la acertada valoración de las reservas minerales. Como resultado de estos trabajos, (Cobiella, 1978 a) propone un esquema tectónico que resume

una nueva interpretación estratigráfica y paleogeográfica de Cuba Oriental delimitando cinco zonas estructuro faciales.

Entre los años 1973 y 1976, se realizaron los trabajos de exploración orientativa y el cálculo de reservas en los yacimientos Camarioca Norte y Camarioca Sur dirigidos por V. Sitnikov, en los cuales se recoge una detallada información geológica, que incluye, la geología, tectónica y petrología del yacimiento, además fue posible valorar las reservas de ambos yacimientos lateríticos (Stinikov, 1976). Es importante destacar en este periodo el trabajo de levantamiento geológico a escala 1: 250 000 realizado en la antigua provincia de Oriente por la Brigada Cubano - Húngara de la Academia de Ciencias de Cuba, siendo el primer trabajo que generaliza la geología de Cuba Oriental. En este trabajo la región oriental se divide en cinco unidades estructuro faciales y tres cuencas superpuestas como se muestra en la figura 1.

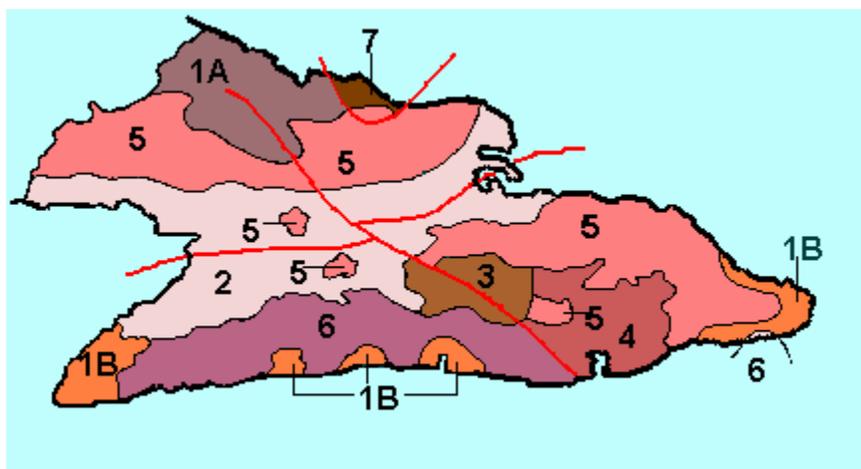


Figura 1. Esquema tectónico según E. Nagy, 1976

1A- Margen Norte; 1B- Margen Sur; 2- Cuenca Guacanayabo - Guantánamo; 3- Sinclorium Central; 4- Cuenca de Guantánamo; 5-Zonas pre-cubanas; 6- Zona Caimán y 7- Zona Remedios.

Al mismo tiempo se desarrollan trabajos fotogeológicos sobre diferentes áreas del territorio por especialistas del Centro de Investigaciones Geológicas, entre los que se encuentran la caracterización de la corteza de intemperismo del sector occidental de las hojas cartográficas de Moa y Palenque desarrollados por Teleguin V. , quien realiza una clasificación de las fracturas que afectan al substrato serpentinitico y el levantamiento fotogeológico de Farallones a escala 1: 50 000 desarrollado por Pérez R. (1976), donde se realizó un estudio detallado de las distintas formaciones geológicas del área.

En el periodo 1980-1985 el departamento de geomorfología de la Empresa Geológica de Oriente en la búsqueda y categorización de las reservas lateríticas, en colaboración con la Facultad de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, desarrolló el tema de investigación “Análisis estructural del Macizo Mayarí –Baracoa” donde se realizó por primera vez de forma integral para todo el nordeste de Holguín, el grado más o menos perspectivo para la prospección de cortezas de intemperismo ferro-niquelíferas en dependencia de las condiciones geólogo geomorfológicas.

En 1989, Quintas F., en su tesis doctoral realizó el estudio estratigráfico de Cuba Oriental donde propone las Asociaciones Estructuro Formacionales (AEF) que constituyen el territorio así como las formaciones que lo integran, realizando la reconstrucción del cretácico al paleógeno, intervalo cronológico de mayor complejidad para la geología de la región oriental. En 1990 se concluye el levantamiento geológico a escala 1:50 000 en el polígono CAME Guantánamo por especialistas cubanos y húngaros, el cual constituye uno de los trabajos más integrales que sobre la geología de la región se hayan realizado, al abordar todas las vertientes del trabajo geológico con un gran volumen de información textual y gráfica.

En los últimos años los trabajos realizados en el sector de estudio han estado encaminados fundamentalmente al esclarecimiento e identificación de las principales fases minerales portadoras de los componentes útiles: hierro, níquel y cobalto. (Rojas Purón, L.A. et. al., 1994); (Almaguer, A, 1995) (Brand, N. W.1998); (Muñoz J. N. 2004); (Galí, S. et.al, 2006). Entre los trabajos más reciente se encuentra el proyecto de exploración del sector este de la presa Nuevo Mundo llevado a cabo por especialista de CIH, Geominera Oriente y Moa Níquel S.A, los trabajos se iniciaron en agosto del 2010 y finalizaron en enero del 2012, a partir del cual, surge la propuesta de realizar el presente trabajo investigativo motivado por el descubrimiento de tipos de rocas metamórficas no reportadas anteriormente en dicho sector, el mismo constituye el primer trabajo de estudio petrológico acerca de estos tipos de rocas en el sector este de la presa Nuevo Mundo.

CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS REGIONALES Y PARTICULARES DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.1 Introducción

1.2 Ubicación del área de estudio

1.3 Relieve

1.4 Hidrografía

1.5 Clima

1.6 Vegetación

1.7 Economía

1.8 Características Geológicas Regionales

1.9 Geología del área de estudio

1.1 Introducción

En el presente capítulo se describen los principales rasgos geomorfológicos, tectónicos, hidrogeológicos, climáticos y geológicos del sector analizado así como también las características de la vegetación y la economía, lo cual permitirá tener una panorámica general acerca del área de estudio.

1.2 Características geográficas del área de estudio

Ubicación geográfica

El área de estudio se encuentra ubicada geográficamente en el extremo nororiental del territorio cubano específicamente en el municipio Moa, provincia Holguín y al este de la presa Nuevo Mundo (figura 1.2). Según el sistema de coordenadas Lambert el sector de estudio se encuentra delimitado por los siguientes puntos:

X: 693 900 – 700 900

Y: 213 200 – 205 400

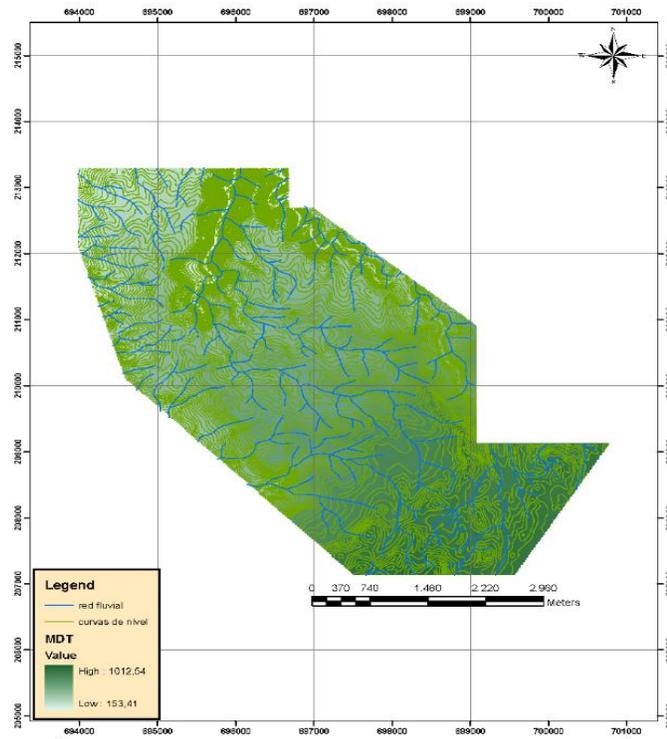


Figura 1.1 Foto del mapa de ubicación geográfica del área de estudio.

1.3 Relieve

El relieve del territorio se caracteriza por el predominio del relieve de montaña, las que se manifiestan de forma continua hacia la parte centro sur, con predominio de las cimas aplanadas y vertientes abruptas hacia los cursos de aguas principales, destacándose como cota máxima la elevación El Toldo con 1 174,6 metros sobre el nivel del mar. Geomorfológicamente el territorio está clasificado genéticamente dentro del tipo de Horst y bloques que corresponde a los cuerpos de rocas ultrabásicas elevados en la etapa geotectónica (Oliva, 1989). Para la región se han determinado dos zonas geomorfológicas: llanuras y montañas (Rodríguez, 1998).

Las llanuras fluviales, acumulativas y abrasivo – acumulativas presentan un desarrollo limitado a algunas cuencas fluviales de la zona. Por su parte, la llanura litoral que se dispone como una estrecha franja paralela a la costa, es de tipo acumulativa marina, apareciendo ligeramente diseccionada con alturas que pueden alcanzar hasta los 20 – 25 metros. Hacia la parte sur predominan las montañas bajas y premontañas de cimas aplanadas o ligeramente diseccionadas.

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

1.4 Hidrografía

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

1.5 Clima

El clima de la zona es del tipo tropical húmedo, el cual se ve influenciado por la orografía, ya que las montañas del grupo Sagua-Baracoa sirven de barrera a los vientos alisios del NE, los cuales descargan toda su humedad en forma de abundantes precipitaciones en la parte norte de la región. En la misma se distinguen de acuerdo a la distribución de las precipitaciones dos períodos de lluvia (Mayo-Junio) y (Octubre-Enero) y dos períodos de seca (Febrero-Abril) y (Junio-Septiembre). Según análisis estadístico de 21 años (1989–2009), referente al comportamiento de las precipitaciones en Moa, el total anual varía entre 767 - 3560 mm. La cantidad de días con lluvias anuales que se registran en la serie analizada para cada pluviómetro, manifiestan una regularidad cada cuatro años, en que existe un ascenso en la cantidad de días lluviosos. Por tanto este comportamiento corrobora la existencia de períodos húmedos comprendidos entre los meses octubre - enero con un promedio de lluvia que oscila entre 155 - 336 mm y el mes de mayo con un promedio de 169.7 mm; y períodos secos que se dividen entre los meses febrero, marzo, abril con un promedio de lluvia entre 113 - 151 mm y el que abarca los meses junio, julio, agosto con un acumulado promedio entre 120 - 122 mm de precipitaciones. La temperatura media anual oscila entre 22.26 y 30.5 °C, siendo los meses más calurosos desde julio hasta septiembre y

los más fríos enero y febrero, siendo los meses más lluviosos noviembre y diciembre y los meses más secos marzo, julio y agosto.

1.6 Vegetación

La flora del municipio Moa es muy variada en toda su magnitud, por eso se destaca tanto por su endemismo genérico, como específico. También hay especies significativas por considerarse relictos de eras pasadas. La vegetación presente forma parte de 5 formaciones vegetales:

Pinares: Es un bosque siempre verde, con hojas en forma de agujas, generalmente con un solo estrato arbóreo dominante (*Pinus Cubensis*), con altura de 20-30m y una cobertura entre 80 y 90% de la superficie pudiendo llegar en ocasiones hasta el 100%. Especies más representativas *Pinus Cubensis*, Framboyán azul, Guao y Copey.

Pluvisilvas: Es la formación vegetal más vigorosa y puede alcanzar hasta 40m de altura. Especies más representativas: Majagual azul, Ocuje colorado, Roble y Yagruma.

Carrascales: Son formaciones de bosques siempre verde o matorrales bajos siempre verde. Alcanzan una altura de 6 y 8 m. Especie más representativa Jaracanda arbórea.

Bosques de galería: Se desarrollan en las laderas de los ríos, arroyos, cañadas y diferentes cursos de agua. Pueden alcanzar hasta 20 m de altura o más. Especie representativa: Ocuje colorado y diferentes tipos de helechos.

Manglares: Son bosques siempre verde que pueden oscilar desde 5 a 15 m y en ocasiones hasta 25 de acuerdo a las condiciones ecológicas de las zonas. Se localizan en zonas costeras bajas, fangosas, parcial o totalmente inundadas por agua salada, con acción directa del agua de mar.

Especies características: Mangle Rojo, Mangle Prieto, Patabán, Yana. Esta formación vegetal resulta extremadamente importante no solo económica y biológicamente sino desde el punto de vista ecológico ya que funciona como la barrera principal en la interacción de todos los acontecimientos entre los ecosistemas marinos y terrestres

1.7 Economía

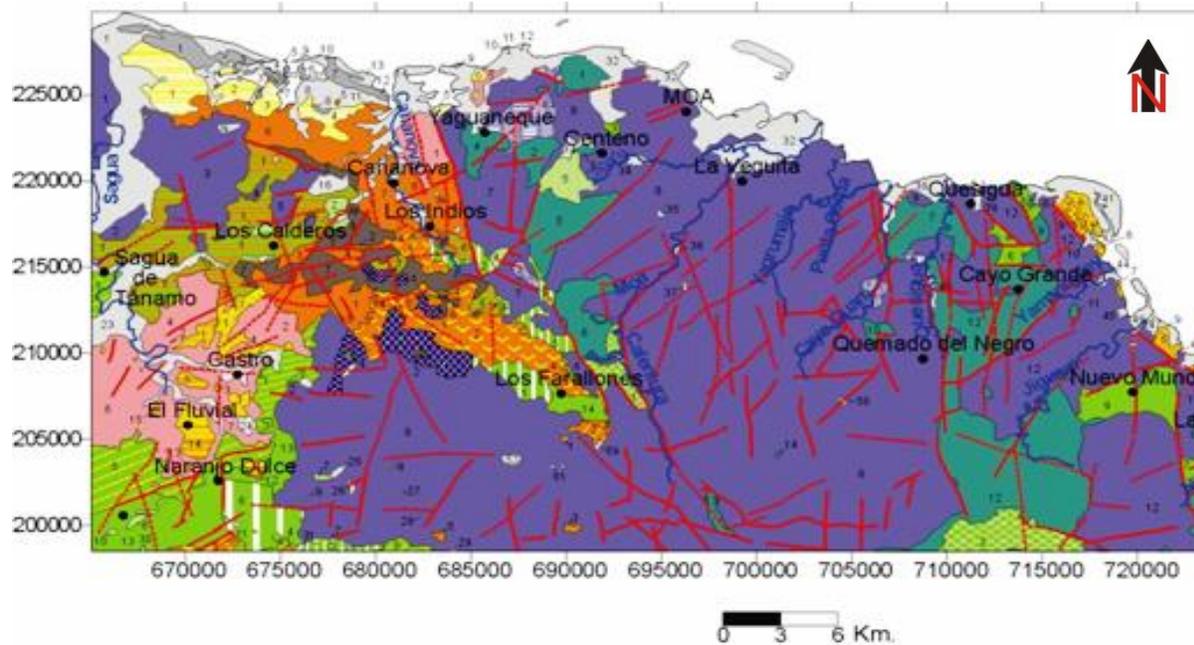
Las principales actividades económicas de la región son: el desarrollo de la industria minera y el procesamiento de las menas níquelíferas, trayendo como consecuencia que sea una de las zonas más industrializadas de nuestro país, debido a que cuenta con plantas procesadoras de níquel como: La Comandante Pedro Soto Alba y la Comandante Ernesto Che Guevara.

Además existen otras industrias y empresas relacionadas con la actividad minero metalúrgica tales como: La Empresa Mecánica del Níquel, Las Camariocas (en construcción), la Empresa Constructora y Reparadora de la Industria del Níquel (ECRIN) y el Centro de Proyecto del Níquel (CEPRONIQUEL) y otros organismos de los cuales depende la economía de la región como son: Empresa Geólogo-Minera, la EMA y diferentes instalaciones de apoyo social, tales como: la presa Nuevo Mundo (la más profunda del país), el Tejar de Centeno, y el Combinado Lácteo.

En la región se explotan también los recursos forestales por la Empresa Municipal Agroforestal (EMA), al constituir los recursos forestales un eslabón importante de la economía de la región.

1.8 Características geológicas regionales

El sector de estudio se encuentra enmarcado dentro de la región oriental de Cuba, la cual desde el punto de vista geológico se caracteriza por la presencia de las secuencias del cinturón plegado cubano y las rocas del neoaútctono (Iturralde-Vinent, 1996 a, 1996 b, 1998).(Fig.1.2). En el macizo montañoso Sagua-Moa afloran principalmente unidades oceánicas correspondientes a las ofiolitas septentrionales y a los arcos de islas volcánicas del Cretácico y el Paleógeno (Cobiella, 1988, 1997, 2000; Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999c). A continuación se hace una breve descripción de las principales unidades estructuro-formacionales mencionadas anteriormente.



LEYENDA

| | |
|--|--|
|  Sedimentos Cuaternarios |  Fm. La Picota |
|  Fm. Jaimanitas |  Melange Serpentinítico |
|  Fm. Río Maya |  Complejo Cerrajón |
|  Fm. Júcaro |  Fm. Santo Domingo |
|  Fm. Cabacú |  Fm. Sierra del Purial |
|  Fm. Yateras |  Basaltos |
|  Fm. Mucaral |  Gabros |
|  Fm. Cilindro |  Dunitas |
|  Fm. Sierra de Capiro |  Piroxenitas |
|  Fm. Charco Redondo |  Rocas ultrabásicas serpentinizadas |
|  Fm. Sabaneta |  Fallas probadas |
|  Fm. Castillo de los Indios |  Fallas supuestas |
|  Fm. Gran Tierra |  Números de áreas de afloramientos |
|  Fm. Mícara | |

Figura 1.2 Mapa Geológico de la región Sagua-Moa (modificado de Gyarmat y Leyé O'Connor, 1990)

Ofiolitas Septentrionales

Estas rocas afloran como una serie de cuerpos alargados en la mitad septentrional de la isla de Cuba a lo largo de una franja discontinua de más de 1000 km de largo y hasta 30 km de ancho, entre la localidad de Cajálbana al oeste y Baracoa al este, ocupando una extensión areal superior a los 6500km² (Figura 1.3). Desde el piso hasta el techo estos complejos rocosos se encuentran divididos estratigráficamente en las siguientes zonas fundamentales: a) una zona de harzburgitas con textura de tectonitas; b) una zona de harzburgita que contiene principalmente cuerpos de dunitas, peridotitas “impregnadas” (con plagioclasa y clinopiroxeno), sills y diques de gabros y pegmatoides gabroicos, así como cuerpos de cromititas. Esta zona correspondería a la denominada Zona de Transición de Moho (MTZ- siglas en inglés); c) una zona de gabros, y d) el complejo volcano-sedimentario. La zona correspondiente al complejo de diques paralelos de diabasas aun no ha sido identificada en este macizo.

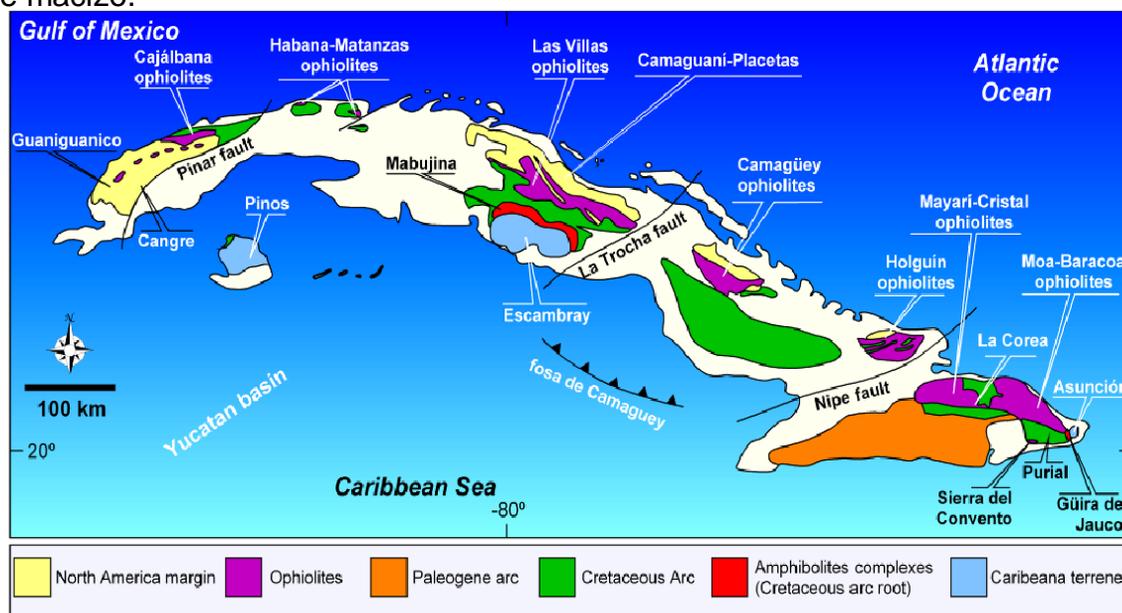


Figura 1.3 Mapa esquemático que muestra la extensión superficial del Cinturón ofiolítico cubano. (Blanco-Quintero, 2010) en informe preliminar Fase 1, 2011.

El Complejo Peridotítico (tectonitas), se caracteriza por presentar harzburgitas, en menor grado websteritas y lherzolitas, con bolsones aislados de dunitas, todas serpentizadas (Iturralde, 1998). La zona de gabros forma grandes cuerpos incluidos en el complejo de tectonitas. Las dimensiones de estos cuerpos oscilan entre 1 y 3 km. de ancho, por 10 a 15 km de longitud (Fonseca, et al., 1985). El contacto entre el complejo de tectonitas y el de gabros es mayoritariamente tectónico.

La parte inferior del complejo de gabros se caracteriza por presentar un marcado bandeamiento, mientras que la parte superior es isótropa. En este macizo también existen numerosos cuerpos de cromititas y sills de gabros, así como diques de gabros y de pegmatoides gabroicos (Fonseca et al., 1985; Proenza, et al., 1998). Los sills de gabros y las cromititas se localizan en la parte más alta de la secuencia mantélica, en la zona de transición entre las peridotitas con texturas de tectonitas y los gabros bandeados.

El Complejo Transicional (MTZ) se constituye principalmente de harzburgitas, lherzolitas y websteritas con bolsones y bandas duníticas, todas serpentinizadas, a veces con cromititas podiformes, diques de gabroides y diques aislados de plagiogranitos. En ocasiones se observan complejos de haces entrecruzados de diques zonados de plagioclasitas, gabroides y pegmatitas, impregnando una masa de serpentinitas brechosas, probables representantes de antiguas cámaras magmáticas colapsadas. (Iturralde, 1998).

El complejo cumulativo se caracteriza por presentar cúmulos máficos de gabros olivínicos, noritas, y anortositas y ultramáficos como lherzolitas, websteritas, harzburgitas y raras dunitas, todos serpentinizados. Existen ocasionales cuerpos podiformes y venas de cromititas. Además de los diques gabroides, plagioclasitas y plagiogranitos, en la parte superior de la sección pueden aparecer cuerpos potentes de gabros isotrópicos. (Iturralde, 1998).

El complejo de diques paralelos de diabasas no ha sido reconocido en todo el complejo ofiolítico Moa-Baracoa y aunque su presencia ha sido invocada en el extremo noroeste de la Meseta Pinares de Mayarí, los últimos resultados obtenidos indican que estos cuerpos de diabasas poseen rasgos geoquímicos propios de arcos de islas. (Díaz y Proenza, 2005).

El complejo vulcanógeno-sedimentario contacta tectónicamente con los demás complejos de la secuencia ofiolítica. Está compuesto por basaltos amigdaloidales y porfíricos (algunas veces con estructura de almohadillas), con intercalaciones de hialoclastitas, tobas, capas de cherts y calizas. Estas litologías afloran en Morel, La Melba, Cañete, Quesigua y Centeno. (Díaz y Proenza, 2005).

Arco de islas volcánicas del Cretácico (Paleoarco)

El arco se compone de depósitos volcánicos que datan desde el Aptiense hasta el Campaniense Medio, estas rocas volcánicas están situadas mediante contacto tectónico bajo las ofiolitas del cinturón septentrional. Según Iturralde Vinent (1994, 1996a), el basamento

del arco volcánico es una corteza oceánica de edad pre- Aptiense. Las rocas volcánicas y vulcanógeno-sedimentarias del arco Cretácico están ampliamente desarrolladas en la región de estudio y representadas por las rocas de las formaciones Quibiján, Téneme, Santo Domingo y el Complejo Cerrajón.

La Fm Quibiján según Quintas, (1989), se puede dividir en tres secuencias: inferior, media y superior. La secuencia inferior tiene un espesor de 550 m y está compuesta por basaltos, la media es parecida a la inferior, pero predominan las lavas-brechas y las tobas lapilíticas de grano grueso a fino, litoclásticas y litocristaloclásticas con estratificación gradacional y laminar. La secuencia superior no está bien aflorada y las rocas se presentan con agrietamientos intensos y metamorfizadas, aunque se puede observar diversos mantos de lavas basálticas microfaneríticas porfiríticas, a veces amigdaloidales con algunas intercalaciones andesito-basálticas porfiríticas de color verde oscuro.

La Fm. Téneme (Cretácico Superior-Inferior), está compuesta principalmente por flujos de basaltos, andesitas basálticas, tobas y brechas (Proenza y Carralero, 1994; Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Gyarmati y otros, 1997). Se encuentra en las cuencas de los ríos, Cabonico y Téneme y en la región de Moa. Aunque se han aportado pocos datos geoquímicos de estas rocas, algunos autores consideran que la Formación Téneme pudiera ser parte de un antiguo arco de isla tipo PIA (Torres y Fonseca, 1990; Lebron y Perfit, 1994).

La Fm. Santo Domingo (Albiense -Turonense) está compuesta por tobas y lavabrechas andesíticas, dacitas, tufitas, argilitas, lutitas volcanomícticas, lavas basálticas, liparitodacíticas, conglomerados y calizas. También aparecen pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas (Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Proenza y Carralero, 1994; Gyarmati y otros, 1997), se incluyen en esta formación las calizas pizarrosas finamente estratificadas y muy plegadas de color grisáceo, que afloran en la localidad de Centeno. Aflora además hacia la parte centro occidental (al norte y sur de la Sierra Cristal), en la parte alta de la cuenca del río Sagua y en la región de Farallones-Calentura. Los materiales de la Fm. Santo Domingo se encuentran imbricados tectónicamente con las ofiolitas de la Faja Mayarí-Baracoa. Muchas veces los contactos coinciden con zonas que presentan una mezcla de bloques de vulcanitas pertenecientes al arco y de ofiolitas (Iturralde-Vinent, 1996).

El complejo Cerrajón (Aptiense-Turoniense) está compuesto por diques subparalelos de diabasas y gabrodiabasas (Gyarmati y Leyé O'Connor, 1990; Gyarmati y otros, 1997). La actividad volcánica se extendió desde el Aptiense al Campaniense Medio (Iturralde-Vinent, 1996) y fue el resultado de una subducción intraoceánica. Restos de este basamento ofiolítico del arco afloran actualmente y están representados por las anfibolitas de la Formación Güira de Jauco, al sur de la región de estudio (Millán, 1996; Iturralde-Vinent, 1996).

En la zona de contacto de estas rocas cretácicas con las ofiolitas, las mismas se encuentran deformadas, generalmente trituradas hasta brechas. En ocasiones los contactos coinciden con zonas muy fisuradas y foliadas, o con masas caóticas que contienen mezcla de bloques de ofiolitas y vulcanitas cretácicas (Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Cobiella, 2000).

Cuencas de "piggy back" del Campaniense Tardío-Daniense

Estas cuencas, se desarrollaron sobre las rocas pertenecientes al arco de isla volcánico y están representadas en la región por las Fm. Micara, La Picota y Gran Tierra. Todas con un gran componente terrígeno, con clastos de la asociación ofiolítica y rocas pertenecientes al arco.

La Fm. Micara de edad Maestrichtiense-Paleoceno, está compuesta por fragmentos y bloques procedentes de la secuencia ofiolítica y de las rocas volcánicas cretácicas. La secuencia inferior es de tipo molásica y la superior de tipo flysch. El límite inferior no se ha observado, pero se supone discordante sobre la formación Santo Domingo (Cobiella et al., 1977; Quintas, 1989, 1996; Gyarmati y Leyé O'Connor, 1990).

La Formación Picota de edad Maestrichtiense es una secuencia típicamente olistostrómica. Posee una composición muy variable en cortas distancias, a veces con apariencia brechosa y en ocasiones conglomerática, presentando en proporciones variables la matriz y el cemento, este último carbonatado. De acuerdo a las características de esta formación se estima que la misma se acumuló a finales del Cretácico e incluso en el Paleoceno inicial, asociada al emplazamiento de las ofiolitas, que constituyeron su principal fuente de suministro. Aflora en los flancos meridionales de la Sierra del Cristal, cuenca de Sagua de Tánamo, la base de la Sierra del Maquey y en la meseta de Caimanes.

La Formación Gran Tierra, se compone de calizas brechosas, conglomerados volcanomícticos, brechas, margas, tobas, calizas organo-detríticas, areniscas volcanomícticas con cemento calcáreo, lutitas y tufitas (Cobiella, 1978; Quintas, 1989). En algunas localidades los depósitos Maestrichtiense-Daniense de tipo olistostrómico-flyschoide (formaciones Mícara y La Picota) transicionan a la secuencia del Daniense-Eoceno Superior (formaciones Gran Tierra, Sabaneta, Charco Redondo y San Luis) (Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Cobiella, 2000). La formación Gran Tierra es una secuencia terrígeno-carbonatada que aflora en los flancos meridionales de la Sierra Cristal. En las rocas arcillosas y margosas de esta formación se han registrado los primeros vestigios del vulcanismo paleogénico en forma de tobas.

En consecuencia, estas formaciones constituyen un registro temporal del proceso de emplazamiento tectónico (obducción) de las ofiolitas, el cual estuvo enmarcado en el tiempo de desarrollo de estas cuencas.

Arco volcánico (Arco volcánico terciario)

Entre el Paleoceno y el Eoceno Medio-Inferior, se desarrolló otro régimen geodinámico de arco de islas volcánicas en Cuba. Esta actividad volcánica estuvo restringida fundamentalmente a la parte oriental de la isla, y en nuestra zona se considera como materiales distales del vulcanismo paleogénico. Estas secuencias están compuestas por tobas vitroclásticas, litovitroclásticas, cristalovitroclásticas con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados tobáceos, lutitas, margas, gravelitas, conglomerados volcanomícticos y algunos cuerpos de basaltos, andesitas y andesitas-basálticas, los cuales alcanzan hasta 60m de espesor (Formación Sabaneta) (Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Cobiella, 1997; Proenza y Carralero, 1994) la cual yace sobre una secuencia de transición que contiene finas intercalaciones de tufitas (Fm. Gran Tierra) (Iturralde-Vinent, 1976) o descansa discordantemente sobre las formaciones Mícara y La Picota, y sobre las ofiolitas y vulcanitas Cretácicas (Nagy y otros, 1983). Esta formación aflora en los flancos septentrional y meridional de la Sierra Cristal, en la cuenca de Sagua de Tanámo, en un área extensa de la región de Cananova hasta Farallones y en un pequeño bloque en Yamanigüey.

Cuencas Postvolcánicas

Estas cuencas desarrolladas hasta el Eoceno Superior están formadas en sus inicios por rocas carbonatadas de mares profundos, las que van transicionando a rocas terrígenas. Las secuencias estratigráficas del Eoceno Medio-Oligoceno están representadas por las formaciones Puerto Boniato, Charco Redondo, Sagua, Sierra de Capiro, Cilindro, Mucaral, y Maquey.

La Fm. Puerto Boniato (Eoceno Medio), se compone principalmente de calizas organodetríticas,aporcelanadas, algáceas y margas (Nagy y otros, 1976).

La Fm. Sagua está compuesta por margas y calizas (Albear y otros, 1988; Quintas, 1989, 1996).

La Fm. Charco Redondo (Eoceno Medio) está compuesta por calizas compactas organodetríticas, fosilíferas, de color variable. En la parte inferior del corte son frecuentes las brechas. En esta parte predomina la estratificación gruesa, mientras que en la superior la fina (Cobiella, 1978; Quintas, 1989,1996; Gyarmati y Leyé O’Conor, 1990).

La Fm. Sierra de Capiro pertenece al Eoceno Superior y se compone de lutitas y margas con intercalaciones de lutitas y conglomerados con fragmentos de calizas arrecifales, serpentinitas y rocas volcánicas (Cobiella, 1988; Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O’Conor, 1990). Aflora en la región de Yamanigüey formando una franja a lo largo de toda la costa.

La Fm. Cilindro, perteneciente al Eoceno Medio-Superior se conforma de conglomerados polimícticos con estratificación enticular y a veces cruzadas, débilmente cementada con lentes de areniscas que contienen lignito. La matriz es arenítica polimíctica, conteniendo carbonato (Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O’Conor, 1990; Crespo, 1996).

La Fm. Mucaral de edad Eoceno Medio-Oligoceno Inferior está compuesta por margas con intercalaciones de calizas arcillosas, areniscas polimícticas, conglomerados polimícticos, lutitas y tobas (Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O’Conor, 1990).

La Fm. Maquey de edad Oligoceno-Mioceno Inferior está compuesta fundamentalmente por alternancia de lutitas, areniscas, arcillas calcáreas y espesor variable de calizas biodetríticas (Cobiella, 1988; Quintas, 1989; Crespo, 1996).

Neoautóctono

El "neoautóctono" está constituido por formaciones sedimentarias depositadas en régimen de plataforma continental que yacen discordantemente sobre las unidades del cinturón plegado. Las rocas del neoautóctono constituyen una secuencia terrígeno-carbonatada poco deformada que aflora en las cercanías de la costa formando una franja que cubre discordantemente los complejos más antiguos y que estructuralmente se caracterizan por su yacencia monoclinal suave u horizontal (Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1994, 1996; Rodríguez, 1998). Son representativas de esta secuencia las formaciones Cabacú, Yateras, Jagüeyes, Majimiana, Júcaro, Río Maya y Jaimanitas.

La Fm. Cabacú (Oligoceno Medio-Mioceno Inferior) está compuesta por gravelitas, areniscas y lutitas polimícticas (proveniente principalmente de ultramafitas y vulcanitas) de cemento débilmente arcilloso-calcáreo y a veces algunos lentes de margas arcillosas en la parte inferior (Nagy y otros, 1976; Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990).

La Fm. Yateras (Mioceno Inferior) se compone de alternancia de calizas biodetríticas y detríticas y calizas biogénicas de granos finos a gruesos, duras, de porosidad variable y a veces aporcelanadas (Iturralde-Vinent, 1976; Nagy y otros, 1976; Cobiella, 1978; Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990; Manso, 1995; Crespo, 1996).

La Fm. Jagüeyes (Mioceno Medio Temprano) se compone de lutitas, areniscas, gravelitas polimícticas de matriz arenácea y arcillosa, con escaso cemento carbonático y margas arcillosas y arenáceas. Esta formación, se caracteriza por ser fosilífera, en la cual alternan calizas biodetríticas, biohémicas, calcarenitas y arcillas. Las arcillas y lutitas, pueden ser yesíferas (Nagy y otros, 1976; Albear y otros, 1988; Manso, 1995).

La Fm. Júcaro (Mioceno Superior-Plioceno) está compuesta por calizas generalmente arcillosas, calcarenitas, margas, lutitas, a veces con gravas polimícticas y arcillas yesíferas

(Nagy y otros, 1976; Gyarmati y Leyé O'Connor, 1990). Esta formación aflora por toda la costa en la región de Cananova y Yamanigüey.

La Formación Majimiana está constituida por calizas organodetríticas típicas de complejos arrecifales y bancos carbonatados con intercalaciones de margas. Las secuencias de esta formación, presentan bruscos cambios faciales en cortas distancias, conteniendo una abundante fauna de foraminíferos bentónicos y planctónicos, lo que ha permitido asignarle una edad Oligoceno Superior hasta el Mioceno, aflora en la región de Yamanigüey, formando una franja por toda la costa. Se presenta en forma de franja paralela al litoral, con un relieve poco accidentado representado por pequeñas colinas onduladas de poca pendiente.

La Fm. Río Maya (Plioceno Superior-Pleistoceno Inferior) se conforma de calizas biohémicas algáceas y coralinas muy duras, de matriz micrítica, frecuentemente aporcelanadas, conteniendo corales en posición de crecimiento, así como subordinadamente moldes y valvas de moluscos, todas muy recristalizadas, las calizas frecuentemente están dolomitizadas. El contenido de arcillas, es muy variable (Nagy y otros, 1976; Gyarmati y Leyé O'Connor, 1990).

La Fm. Jaimanitas (Pleistoceno Medio-Superior) se compone de calizas biodetríticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas, contiene conchas bien preservadas y corales de especies actuales y ocasionalmente biohermas (Gyarmati y Leyé O'Connor, 1990).

Tectónica regional

Desde el punto de vista tectónico, el área analizada se ubica dentro del denominado Bloque Oriental Cubano, el mismo constituye el más oriental de los tres grandes bloques tectónicos en que ha sido subdividida la estructura geológica del territorio cubano. Sus límites se encuentran definidos por los siguientes sistemas de fallas regionales:

- Sistema de fallas Cauto-Nipe.
- Sistema de fallas rumbo-deslizantes Bartlett-Caimán.
- Falla de sobrecorrimiento Sabana.

El Bloque Oriental Cubano se encuentra muy cerca del límite de contacto entre las placas norteamericana y Caribe (Figura 1.4), lo cual lo hace muy vulnerable a los movimientos sísmicos.

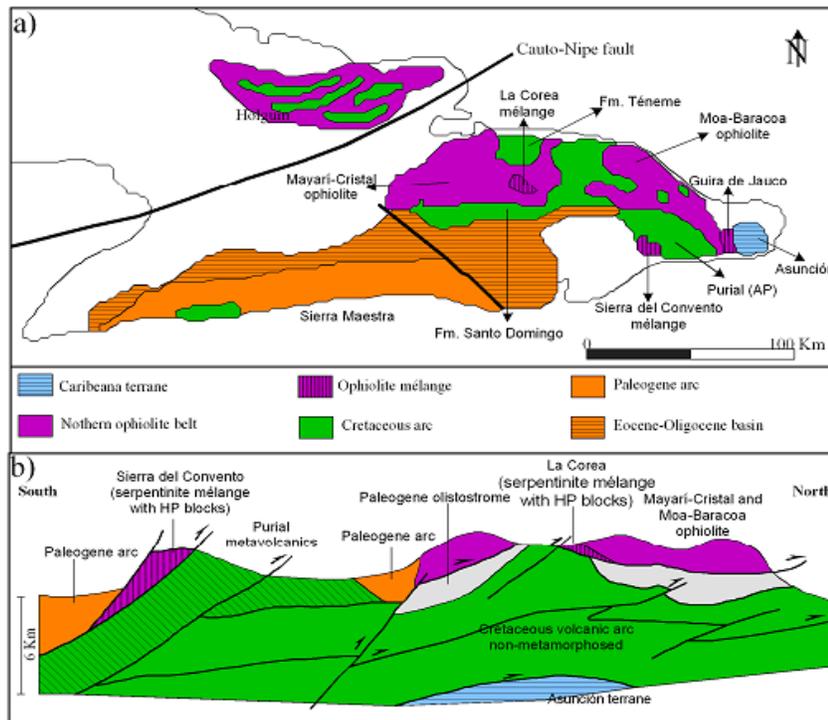


Figura 1.4 a) Foto de mapa geológico esquemático que muestra las principales unidades geológicas, **b)** perfil esquemático generalizado del Oriente de Cuba (después de Iturralde-Vinent, 1998) mostrando las relaciones entre los principales complejos geológicos en la región.

Este bloque se caracteriza por el amplio desarrollo de la tectónica de cabalgamiento que afecta las secuencias más antiguas, (Campos, 1983). Localmente esta complejidad se pone de manifiesto a través de estructuras fundamentalmente de tipo disyuntivas con dirección noreste y noroeste, que se cortan y desplazan entre sí, formando un enrejado de bloques y microbloques con movimientos verticales diferenciales, que se desplazan también en la componente horizontal y en ocasiones llegan a rotar por acción de las fuerzas tangenciales que los afecta como resultado de la compresión (Campos, 1983, 1990), también se observan dislocaciones de plegamientos complejos, sobre todo en la cercanía de los contactos tectónicos (Campos, 1983, 1990). En las secuencias más antiguas (rocas metamórficas y volcánicas), de edad mesozoica, existen tres direcciones fundamentales de plegamientos: noreste-suroeste; noroeste-sureste y norte-sur, esta última, característica para las vulcanitas

de la parte central del área. Las deformaciones más complejas, se observan en las rocas metamórficas, en la cual en algunas zonas aparecen fases superpuestas de plegamientos (Campos, 1983, 1990). A fines del Campaniano Superior – Maestrichtiano ocurre la extinción del Arco Volcánico Cretácico Cubano, iniciándose la compresión de sur a norte que origina, a través de un proceso de acreción, el emplazamiento del complejo ofiolítico, según un sistema de escamas de sobrecorrimientos con mantos tectónicos altamente dislocados, de espesor variable y composición heterogénea. Los movimientos de compresión hacia el norte culminaron con la probable colisión y obducción de las paleounidades tectónicas del Bloque Oriental Cubano sobre el borde pasivo de la Plataforma de Bahamas. En las rocas Paleogénicas y Eocénicas la dirección de plegamiento es este-oeste, mientras que las secuencias del Neógeno poseen yacencia monoclinal u horizontal (Campos, 1983, 1990). Los movimientos verticales son los responsables de la formación del sistema de horts y grabens que caracterizan los movimientos tectónicos recientes, pero hay que tener en cuenta la influencia que tienen sobre Cuba Oriental los desplazamientos horizontales que ocurren a través de la falla Oriente (Bartlett-Caimán) desde el Eoceno Medio-Superior, que limita la Placa Norteamericana con la Placa del Caribe, generándose un campo de esfuerzos de empuje con componentes fundamentales en las direcciones norte y noreste, que a su vez provocan desplazamientos horizontales de reajuste en todo el Bloque Oriental Cubano.

1.9 Geología del área de estudio

Las características geológicas del área de estudio son complejas como se observa en la figura 1.5, ya que existe una distribución heterogénea de los diferentes tipos de litologías y las mismas presentan génesis diferentes. Las litologías predominantes en la zona son rocas ultramáficas del complejo inferior de la asociación ofiolítica que están metamorfizadas, tales como harzburgitas y dunitas todas ellas afectadas en mayor o menor grado por procesos metamórficos tales como serpentización, cloritización, talcización, antigoritización, anfibolitización y carbonatización. Este complejo de rocas se encuentra muy tectonizado formando parte de un conjunto de mantos de cabalgamiento que constituyen fragmentos del manto superior y corteza oceánica, que han sido emplazados tectónicamente por encima de las secuencias de rocas pertenecientes al antiguo arco de islas volcánicas del Cretácico en el Maestrichtiano-Campaniano (Iturralde Vinent et al., 2006). Petrologicamente este sector se caracteriza por la presencia de dunitas, harzburgitas, lertzholitas, peridotitas plagioclásicas,

serpentinitas, esquistos antigóríticos, esquistos cloríticos, rocas anfibolitizadas y diques de trondhjemitas metamorizadas. Encima de estas litologías se desarrollan diferentes espesores de cortezas de intemperismo ferroniquelíferas las cuales ocupan una gran extensión superficial del área estudiada.

En muchos afloramientos aparecen abundantes fragmentos de cuarzo criptocristalino relacionados con lineaciones tectónicas, estos materiales están relacionados con eventos hidrotermales de baja temperatura posteriores al emplazamiento de los mantos ofiolíticos. El sector analizado se encuentra en el límite occidental de un bloque de máximo ascenso tectónico de la región, el cual es afectado por estructuras disyuntivas de diferentes períodos de la evolución geotectónica, lo que determina el alto grado de complejidad del mismo. Las fallas más antiguas que aparecen en el área corresponden al período de compresión hacia el norte que culminaron con la probable colisión y obducción de las paleounidades tectónicas del Bloque Oriental Cubano sobre el borde pasivo de la Plataforma de Bahamas, que según Lewis J. F et al, Morris A. E. et al. y Pindell J. L., y Barret (1990) ocurrió en el Eoceno Medio, mientras que otros investigadores como Iturralde (1996) y Proenza (1998) consideran que este proceso sólo se alcanzó hasta el Paleoceno Inferior.

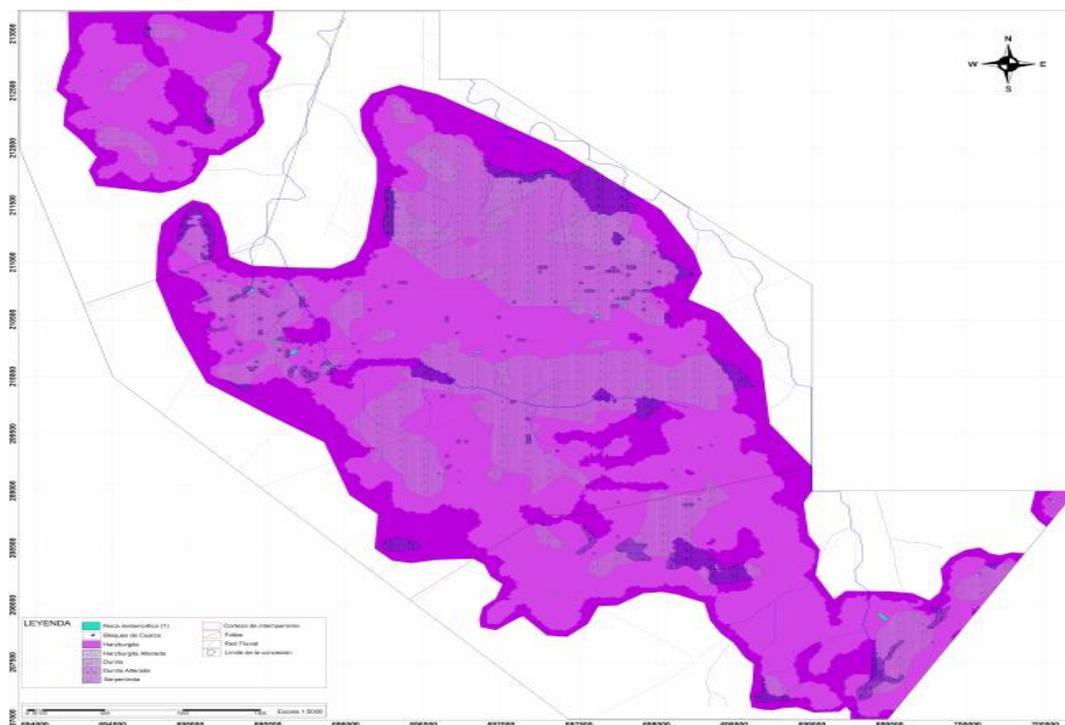


Figura 1.5 Foto del mapa geológico del área de estudio, escala original 1:3500.

Capítulo 2

Capítulo 2. Metodología y volúmenes de los trabajos realizados

2.1 Introducción

2.2 Etapa preliminar

2.3 Etapa de campo

2.4 Etapa de laboratorio

2.4.1 *Análisis petrográfico*

2.4.1 *Método de fluorescencia de rayos-X (FRX)*

2.4.2 *Método de difracción de rayos-X*

2.5 Etapa de gabinete

2.1 Introducción

En el presente capítulo se abordan las diferentes etapas en que fue concebida la investigación, centrándose en las diferentes técnicas analíticas utilizadas durante el desarrollo de la misma. El trabajo durante su desarrollo se subdividió en cuatro etapas fundamentales, según el siguiente orden:

- Etapa 1: Recopilación y procesamiento de la información preexistente
- Etapa 2: Trabajos de campo
- Etapa 3: Trabajos de laboratorio
- Etapa 4: Trabajos de gabinete

Por ello a continuación se hace una descripción de los trabajos realizados en cada una de las etapas mencionadas anteriormente.

2.2 Etapa preliminar

Durante esta primera etapa de la investigación, se hizo una búsqueda de información bibliográfica, a través de la revisión de una serie de artículos científicos, trabajos de diploma, revistas y otros documentos relacionados con la temática a tratar. Para ello se utilizó la base de datos con que cuenta el Centro de información del ISMMM, así como información suministrada por el fondo geológico y sitios web de la INTERNET especializados en el tema. Luego de haber desarrollado la búsqueda bibliográfica de dicha información, se comenzó a procesar e interpretar los datos obtenidos previamente para posteriormente ser llevados a formato digital como parte de la memoria escrita del trabajo y también como documentos gráficos incluidos.

2.3 Trabajos de campo

Las muestras de rocas seleccionadas para el presente trabajo investigativo fueron tomadas previamente en el campo durante los itinerarios geológicos de levantamiento a escala 1: 5000 ejecutados por comisiones geológicas, según perfiles coincidentes con las líneas de perforación E – W correspondientes a la red de 33.33 x 33.33 m, con el objetivo de documentar afloramientos y tomar muestras de las litologías principales que afloran en el área de estudio.

2.4 Trabajos de laboratorio

Para el análisis de las muestras de rocas seleccionadas en la presente investigación fue necesario realizar trabajos de laboratorio que estuvieron dirigidos hacia la petrografía microscópica, y las técnicas analíticas de difracción de rayos-X y fluorescencia de rayos-X para una mayor precisión en las determinaciones mineralógicas de las muestras y determinar la composición química total de las rocas respectivamente.

2.4.1 Análisis petrográfico

Para la realización de los análisis petrográficos se confeccionaron a partir de las muestras una serie de secciones delgadas en el taller de preparación de muestras de rocas del ISMMM, para luego ser analizadas bajo el microscopio petrográfico de luz polarizada, modelo NP-400B, marca NOVEL de procedencia China en el laboratorio de petrografía de la misma institución (Figura 2.1). Las descripciones petrográficas se realizaron tanto con nicols cruzados como paralelos, objetivo 10X, foco 17.13mm y una distancia de trabajo aproximada de 7.316mm. Para dicho análisis se tuvieron en cuenta la determinación de los siguientes parámetros ópticos: color, forma, pleocroísmo, birrefringencia, ángulo de extinción, clase óptica (figura de interferencia), signo óptico, exfoliación, granulometría de los granos, índices de refracción(n). Además de los parámetros ópticos anteriormente expuestos se realizó la cuantificación porcentual de los minerales por el método de estimación visual y se determinaron los principales tipos de texturas presentes en las rocas; para lo cual las descripciones fueron apoyadas con el uso de bibliografías tales como: MINERALOGÍA ÓPTICA de Paul F. Kerr, ATLAS DE ASOCIACIONES MINERALES EN LÁMINAS DELGADA de Joan Charles Melgarejo, METAMORFIC TEXTURE de A. Spray, entre otras.

Las microfotografías fueron tomadas por medio de la inserción al microscopio de la cámara fotográfica digital, modelo Power Shot A360, de 8.0 megapíxel con zoom óptico de aproximación 4x, con ocular especial diseñado para cámaras Canon de 52 mm y de la videocámara digital, modelo MDCE-5A con cable USB 2.0



Figura 2.1 Microscopio de luz polarizada modelo NP-400B, marca NOVEL.

2.4.2 Método de fluorescencia de rayos X (FRX)

Para determinar la composición química total de las muestras se hizo necesario enviarlas a la universidad de CLAUSTHAL en Alemania para realizarles análisis de la composición química cualitativa y cuantitativa utilizando el equipo de fluorescencia de rayos-X (FRX) marca Axios (Figura 2.2). El método consiste en hacer incidir un haz de rayos-X con energía suficiente para excitar los diferentes elementos que componen la muestra. Los átomos excitados al pasar al estado normal emiten radiaciones X, cuya longitud de onda va a ser característica de cada elemento, y la intensidad de su fluorescencia es proporcional al contenido de dicho elemento en la muestra. El espectrómetro es capaz de separar las diferentes longitudes de onda y determinar su intensidad. Mediante la resolución de un sistema de ecuaciones se calcularon los contenidos de los diferentes elementos, a través de la correspondencia con una serie de muestras patrones con las que se calibra el equipo.



Figura 2.2 Equipo de fluorescencia de rayos-X, marca Axios.

2.4.3 Método de difracción de rayos-X (DRX)

Debido a la granulometría tan fina de muchas de las muestras analizadas fue difícil determinar algunos minerales bajo el microscopio, por lo que fueron estudiadas con ayuda del método de difracción de rayos-X. El cual consiste en hacer incidir un haz de rayos-X de radiación monocromática sobre la muestra de roca finamente pulverizada la cual se extiende por la superficie de un vidrio porta usando una pequeña cantidad de aglomerante adhesivo. El instrumento está construido de tal manera que el porta, cuando se sitúa en posición, gira sobre un brazo hasta registrar los rayos X reflejados. Las variaciones de intensidad en los rayos reflejados se obtienen gráficamente en un registro denominado difractograma en el cual se ven manifestados los diferentes picos de reflexión provenientes de la muestra. La altura de los mismos son directamente proporcionales a las intensidades de las reflexiones que las provocaron.

2.5 Etapa de gabinete

Después de obtenidos los datos de los análisis realizados durante la ejecución del trabajo, los mismos fueron procesados con la ayuda de programas informáticos tales como *Microsoft Excel 2003* y el *Sigma Plot (versión 12.0)* para luego ser interpretados por medio de tablas y gráficos que forman parte de la memoria escrita.

Capítulo 3

Capítulo 3. Análisis e interpretación de los resultados obtenidos.

3.1 Introducción

3.2 Petrografía

3.2.1 *Anfibolitas gneisicas*

3.2.2 *Granofels anfibolíticos*

3.3 Interpretación de los análisis de difracción de rayos-X

3.4 Interpretación de los análisis de fluorescencia rayos-X

3.5 Consideraciones finales

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

3.1 Introducción

El siguiente capítulo tiene como objetivo presentar las principales características petrográficas y mineralógicas de las muestras seleccionadas para la investigación, así como la interpretación realizada a partir de los resultados obtenidos de las técnicas analíticas empleadas. A continuación se presenta el mapa de ubicación de las muestras en el área de estudio (Figura 3.1).

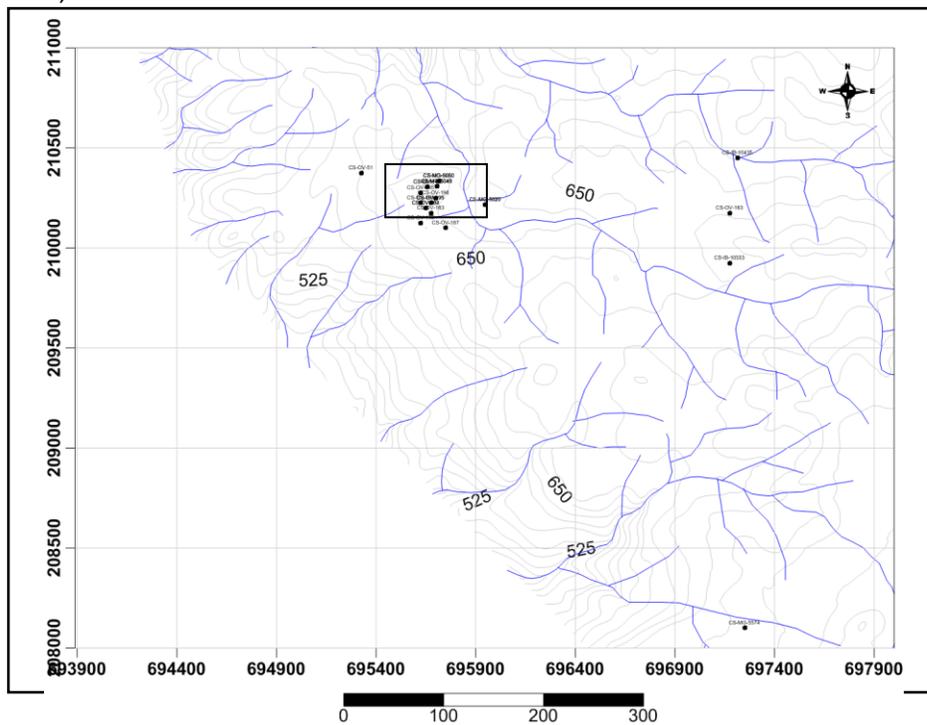


Figura 3.1 Mapa de ubicación de las muestras, escala 1:250 000.

3.2 Petrografía

Macroscópicamente estas rocas se caracterizan por presentar una granulometría de fina a media que dificulta la correcta identificación de los minerales constituyentes. Es típico en ellas una coloración oscura debido al predominio de minerales máficos (anfíboles), y la elevada densidad. Se caracterizan además por presentar dos tipos principales de estructuras: masiva y gnéisica (ver figuras 3.2 y 3.3). En la estructura masiva, los granos minerales se encuentran distribuidos de forma homogénea sin ningún signo de orientación preferente, mientras que en la gnéisica se observa una alternancia de bandas claras y oscuras que provocan cierto alineamiento de los minerales, paralelamente a los planos de bandeamiento.



Figura 3.2 Estructura gnéisica en anfibolita gnéisica.



Figura 3.3 Estructura masiva en granofels anfibolítico.

Las rocas anfibolitizadas del sector este de la presa Nuevo Mundo petrográficamente se clasifican según la SCMR (2007) en dos tipos litológicos fundamentales:

- Anfibolitas gneisicas u ortogneis anfibolíticos.
- Granofels anfibolíticos.

3.2.1. *Anfibolitas gneísicas*

Se caracterizan por presentar una textura granonematoblástica (gnéisica) en la cual se observa una alternancia de niveles ricos en anfíboles cálcicos (edenita, pargasita) y niveles constituidos por plagioclasa y feldespatos potásicos (ver Figura 3.4). Los anfíboles presentan forma prismática, mostrando cierto grado de orientación en una dirección determinada, mientras los cristales de plagioclasa su composición oscila desde andesina a oligoclasa, se presentan en forma subidiomórfica y con maclas polisintéticas y en cuña producto a los esfuerzos desviatorios. Los feldespatos potásicos son anhedrales y su tamaño de grano es de aproximadamente 0,2 mm.

No Muestra: M1**Coordenadas:** X: 699425 Y: 207925**Tipo de laboreo:** Levantamiento geológico **Estructura:** Gnéisica**Nombre de la roca:** Anfibolita gnéisica**Textura:** Granonematoblástica (gnéisica)**Color:** Presenta alternaciones de bandas claras y oscuras**Composición general:** edenita, pargasita, plagioclasa (oligoclasa-andesina), feldespato potásico y clorita

DESCRIPCION DE DETALLE.

La muestra está constituida por un 64% de anfíboles (edenita y pargasita, según DRX), 24% de plagioclasa, 6% de feldespato potásico y clorita. Presenta una fábrica lineal o planolineal muy marcada definida por la alternancia de niveles ricos en cristales de anfíboles y de minerales félsicos tales como plagioclasa y feldespato potásico (figuras 3.4 y 3.5). Los granos de anfíboles tienen formas prismáticas alargadas, coloración parda, relieve alto y los colores de interferencia varían desde el amarillo-naranja de primer orden y algunos llegan hasta el azul de 2do orden. Los cristales de plagioclasa (oligoclasa-andesina) son xenomórficos y subidiomórficos, incoloros, baja birrefringencia y maclas polisintéticas en forma de cuña producto a la deformación. Los feldespatos potásicos presentan características similares a las plagioclasa pero no presentan maclas y tienen un mayor grado de agrietamiento. La roca presenta grietas muy finas rellenas por un material de baja birrefringencia al parecer de clorita.

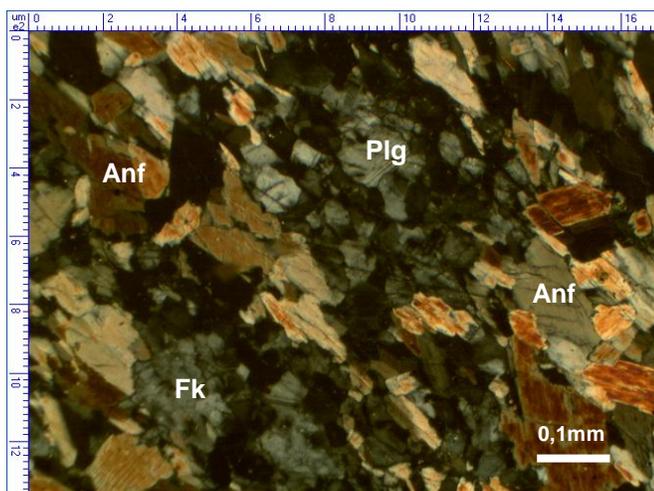


Figura 3.4. Microfotografía muestra M1. Constituida por anfíboles (Anf) y minerales de baja birrefringencia tales como plagioclasa (Plg) y feldespatos potásicos (Fk). (Nicoles cruzados). 10x.

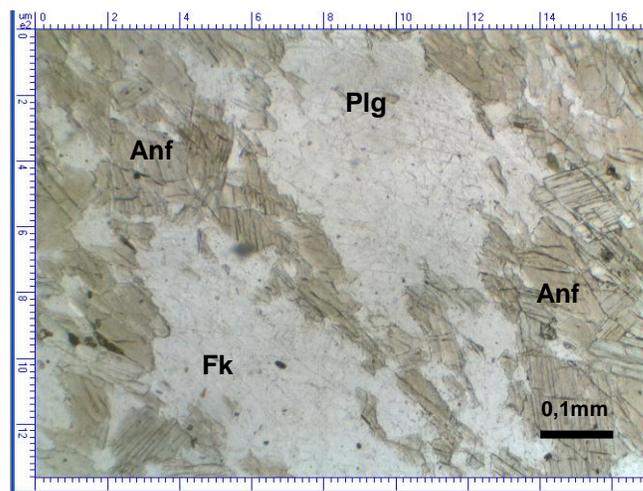


Figura 3.5. Microfotografía muestra M1. Igual a la foto anterior, se destacan los anfíboles por su coloración parda y el elevado relieve. (Nicoles paralelos). 10x.

3.2.2 Granofels anfibolíticos (Muestras M2, M3, M5, M6, M8, M9)

Se caracterizan por ser rocas con estructura masiva (Figura 3.2), en la cual a diferencia de la anterior no presentan orientación preferente de sus minerales constituyentes definiendo una textura granoblástica decusada (diablástica) y su variedad fibroblástica (ver muestra M8, figuras 3.16 y 3.17). La textura porfidoblástica es otra clase textural presente en dichas rocas, la cual puede observarse en la muestra M5, (Figuras 3.10 y 3.11). Desde el punto de vista mineralógico se caracterizan por el predominio de anfíboles hornblenda y minerales de bajo grado metamórfico tales como la clorita y minerales del grupo de la serpentina. Los anfíboles presentan hábito prismático largo, acicular, fibroso, mientras la clorita y los minerales de la serpentina son tabulares. Es importante destacar la ausencia de plagioclasas que presentan estos tipos de rocas.

No. Muestra: M2**Coordenadas:** X: 695675 Y: 210175**Tipo de laboreo:** Levantamiento geológico **Estructura:** masiva**Nombre de la roca:** Granofels con edenita y oxihornblenda**Textura:** Granoblástica decusada**Color:** Oscuro**Composición general:** edenita, oxihornblenda**DESCRIPCION DE DETALLE.**

La muestra está constituida totalmente por minerales del grupo de los anfíboles. Los anfíboles se presentan en dos generaciones diferentes, unos con colores de interferencia que varían del amarillo-naranja de primer orden hasta el azul de segundo orden con un ángulo de extinción de 21° y otros que se caracterizan por bajos colores de interferencia (gris-amarillo pálido de primer orden) y ángulos de extinción que varían aproximadamente desde 3° - 12° , el color natural de estos minerales varía desde el azul-verdoso pálido hasta el amarillo. Al parecer por sus características ópticas cada uno de estos grupos de anfíboles se corresponden respectivamente con las variedades de hornblenda: Edenita y Oxihornblenda. En algunos cristales se presenta un cierto zonado evidenciado por el contraste de tonalidad del color de interferencia, existente entre la parte central y periférica de los minerales, lo cual pudiera estar dado por un cambio composicional a lo largo de su estructura cristalina.

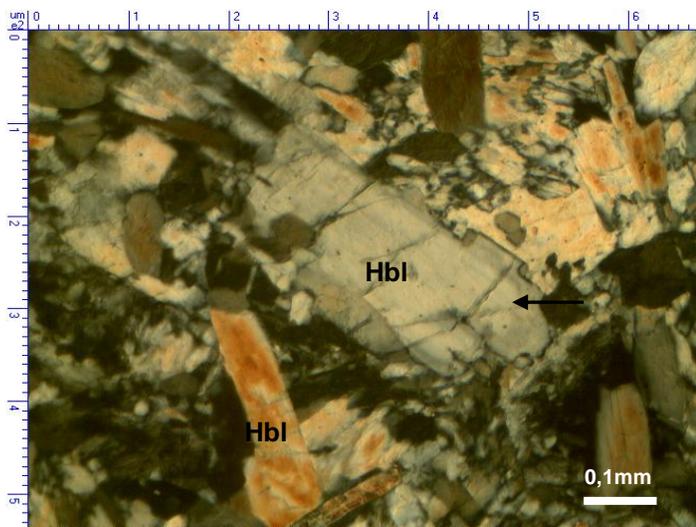


Figura 3.6. Microfotografía muestra M2. Cristales prismáticos de anfíboles hornblenda (Hbl) formando una típica textura granoblástica decusada. Obsérvese el zonado (ver flecha) que presenta el mineral del centro. (Nicoles paralelos).10 x.

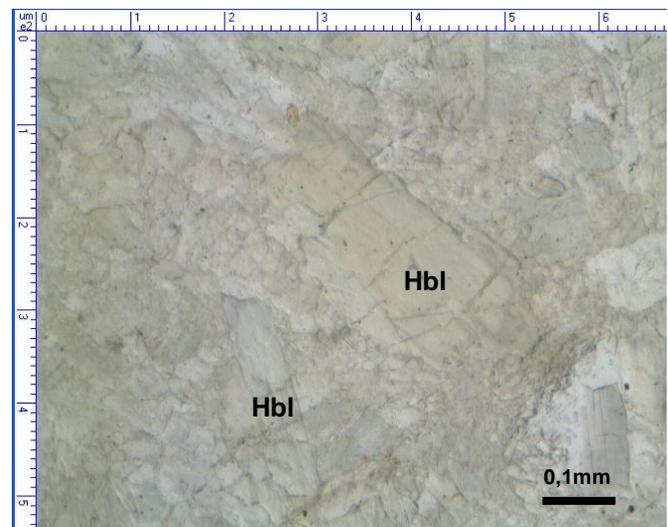


Figura 3.7. Microfotografía muestra M2. Igual a la foto anterior. (Nicoles paralelos).10 x.

Figura 3.6. Microfotografía muestra M2. Cristales prismáticos de anfíboles hornblenda (Hbl) formando una típica textura granoblástica decusada. Obsérvese el zonado (ver flecha) que presenta el mineral del centro. (Nicoles paralelos).10 x.

No. Muestra: M3

Coordenadas: X: 694800 Y: 212450

Tipo de laboreo: Levantamiento geológico **Estructura:** masiva

Nombre de la roca: Granofels con magnesio-hornblenda, clorita y serpentina

Textura: Granoblástica decusada.

Color: Verde claro.

Composición general: Magnesio-hornblenda, clorita y serpentina.

DESCRIPCION DE DETALLE.

Roca de grano fino cuyo tamaño de grano varían entre 0,01mm y 0,5mm aproximadamente. Está constituida por un 57% de magnesio-hornblenda, 26% de clorita y 18% de serpentina. Presenta una textura granoblástica decusada en la cual se destacan bandas o vetillas de cristales de clorita en una masa de anfíboles y clorita de granulometría más fina. Los cristales de magnesio-hornblenda son prismáticos largo con colores de interferencia que llegan hasta el azul de segundo orden, su coloración varía desde incolora a amarillo pálido, presentando un relieve elevado. Por su parte los granos de clorita y serpentina son muy similares, solo se han podido diferenciar por medio de los análisis químicos realizados. Se caracterizan por presentar bajos colores de interferencia hasta el gris de primer orden, incoloros, forma alargada, muy bajo relieve y extinción recta.

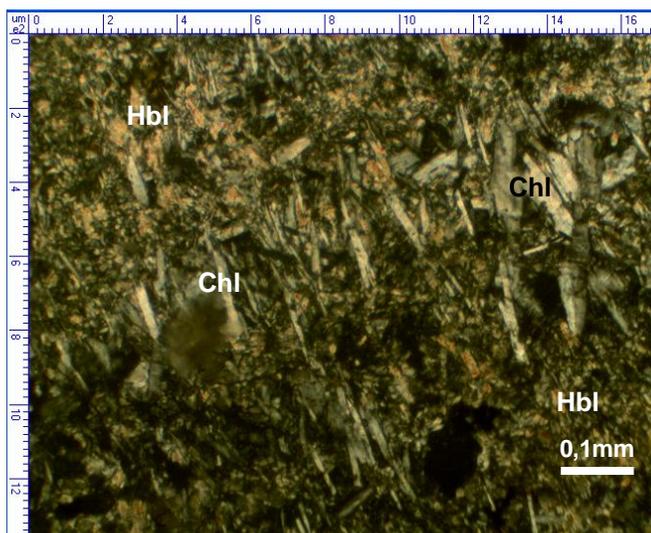


Figura 3.8. Microfotografía muestra M3. Se observan los cristales alargados de clorita (Chl) formando una banda, en una matriz constituida por hornblenda (Hbl) y clorita de granulometría muy fina. (Nicoles cruzados, aumento 4x).

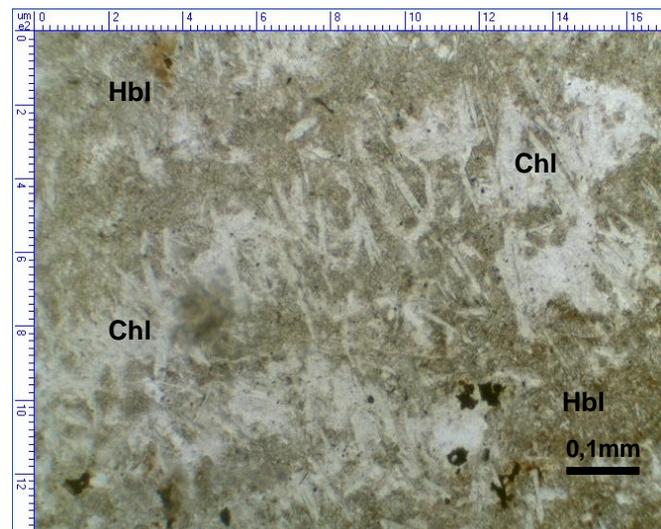


Figura 3.9. Microfotografía muestra M3. Igual a la foto anterior. (Nicoles cruzados). 4x.

No. Muestra: M5

Coordenadas: X: 695625 Y: 210225

Tipo de laboreo: Levantamiento geológico.

Estructura: Porfidoblástica.

Nombre de la roca: Granofels con pargasita y clinocloro.

Textura: Porfidoblástica.

Color: Verde oscuro.

Composición general: pargasita y clinocloro

DESCRIPCION DE DETALLE.

La muestra está constituida por una matriz anfíbolítico-clorítica de grano fino, la cual engloba porfidoblastos de clinocloro (variedad de clorita) cuyas dimensiones superan los 2,0mm (ver figuras 3.10 y 3.11). Los anfíboles por sus características ópticas se corresponden con minerales del grupo de la hornblenda (pargasita), presentan colores de interferencia que alcanzan el azul de segundo orden, coloración verde-pálido a incolora y los ángulos de extinción oscilan entre 16° y 24° . Por su parte los cristales de clorita presentan bajos colores de interferencia (gris de primer orden), incoloros, y extinción recta, presentan además forma tabular a diferencia de los anfíboles que son prismáticos. En los porfidoblastos de clorita se observan maclas las cuales en determinados puntos del mineral se encuentran deformadas producto a la acción de débiles esfuerzos tectónicos.

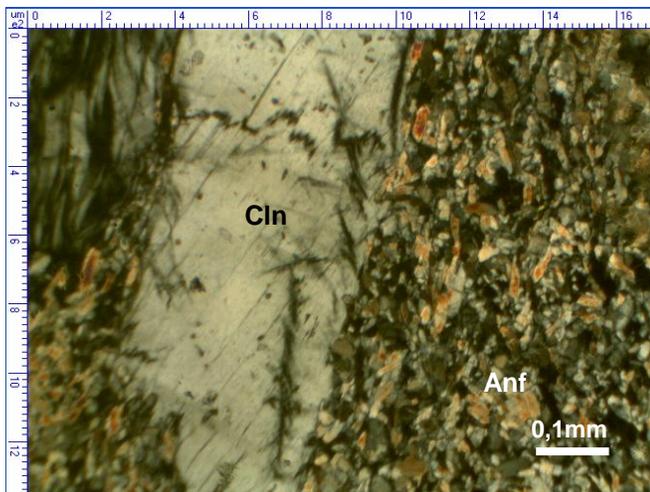


Figura 3.10. Microfotografía muestra M5. Porfidoblastos de clinocloro (Cln) en matriz constituida por anfíboles (Anf) y cristales de clinocloro de menor tamaño. Nombre de la roca: granofels anfíbolito-clorítico con textura porfidoblástica (Nizoles cruzados, aumento 10 x).

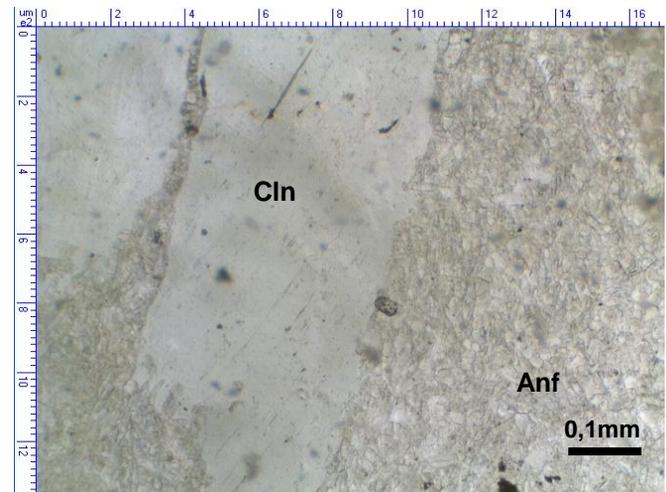


Figura 3.11. Microfotografía muestra M5. Igual a la foto anterior. (Nicoles paralelos). 10x.

No. Muestra: M9

Coordenadas: X: 697175 Y: 209925

Tipo de laboreo: Levantamiento geológico. **Estructura:** masiva

Nombre de la roca: Granofels con actinolita y clorita.

Textura: Granoblástica decusada.

Color: Verde oscuro.

Composición general: actinolita, clorita.

DESCRIPCION DE DETALLE

La muestra esta constituida por un 64% de clorita y 36% de anfíboles, Los anfíboles se caracterizan por ser prismáticos alargados y aciculares, así como elevados colores de interferencia que varían desde el amarillo de 1º orden hasta el azul-verdoso de 2º orden, coloración amarillo-verdoso pálido y ángulos de extinción que oscilan entre 10º y 15º lo cual se corresponde con el anfíbol actinolita. Los cristales de clorita se caracterizan por presentar forma tabular, birrefringencia muy baja alcanzando solamente los gris claro de 1º orden, incoloros y extinción recta.

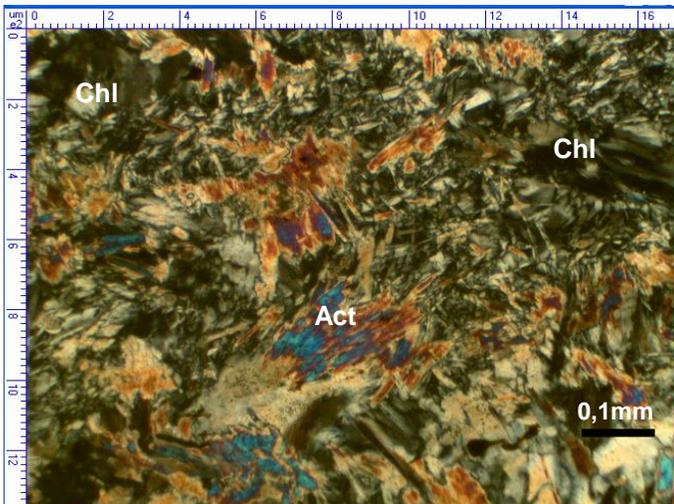


Figura 3.12. Microfotografía muestra M9. Granofels constituido fundamentalmente por actinolita (Act), clorita (Chl). (Nicoles cruzados). 10x.

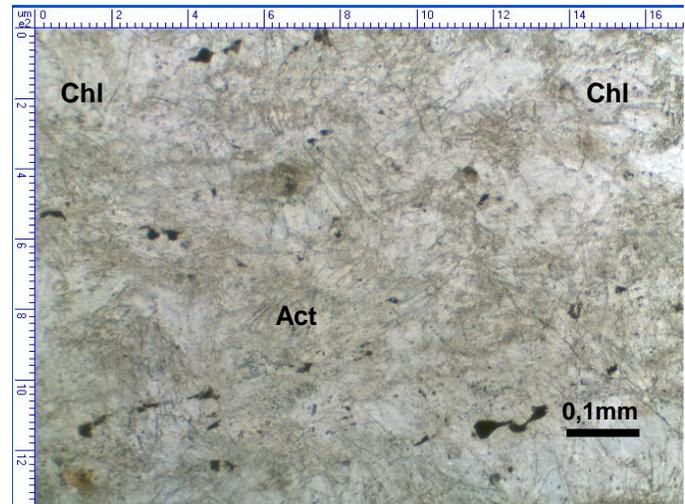


Figura 3.13. Microfotografía muestra M9. Igual a la foto anterior. Obsérvese el elevado relieve de los anfíboles. (Nicoles cruzados). 10x.

No. Muestra: M6

Coordenadas: X: 695949 Y: 210216

Tipo de laboreo: Levantamiento geológico. **Estructura:** masiva

Nombre de la roca: Granofels con pargasita y tremolita.

Textura: Granoblástica decusada.

Color: Verde oscuro.

Composición general: pargasita y tremolita.

DESCRIPCION DE DETALLE.

Muestra constituida totalmente por los anfíboles pargasita y tremolita (según DRX). Presenta una granulometría fina a media, donde el tamaño de los granos minerales oscila entre 0,06 y 0,2 mm. Los cristales de anfíboles son prismáticos alargados y presentan colores de interferencia que varían desde el gris claro de primer orden a el azul de segundo orden, su color natural es amarillo pálido a incoloro, su relieve es elevado y sus ángulos de extinción son muy variables oscilando entre 8° y 27° .

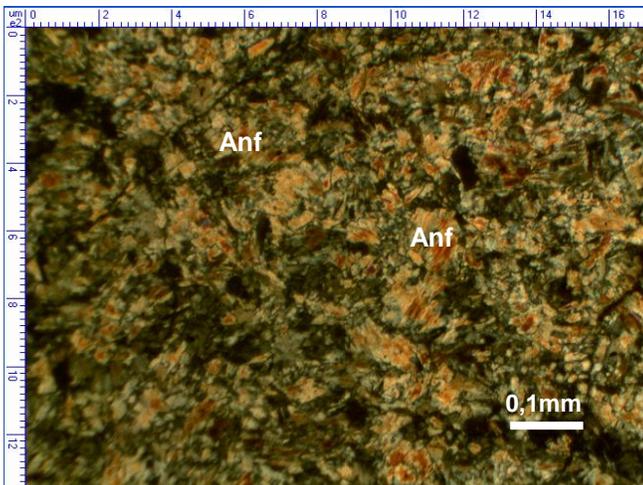


Figura 3.14. Microfotografía muestra M6. Granofels constituido fundamentalmente por hornblenda (Hbl). (Nicoles cruzados). 10x.

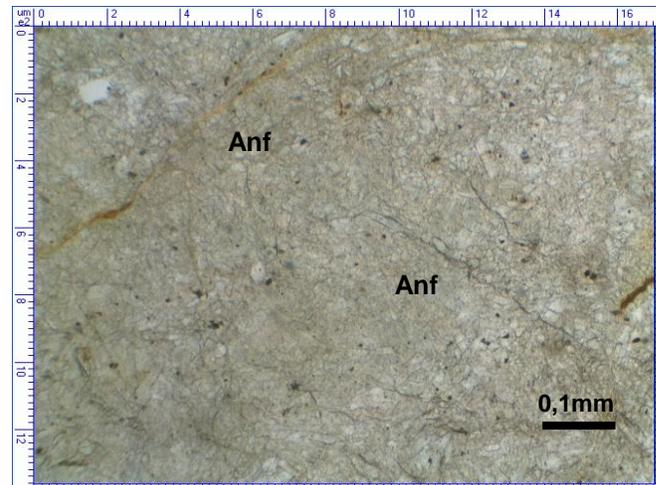


Figura 3.15. Microfotografía muestra M6. Igual a la foto anterior. (Nicoles cruzados). 10x.

No. Muestra: M8**Coordenadas:** X: 695675 Y: 210225**Tipo de laboreo:** Levantamiento geológico. **Estructura:** masiva**Nombre de la roca:** Granofels con hornblenda, tremolita y clorita**Textura:** Granoblástica decusada (variedad fibroblástica).**Color:** Verde oscuro.**Composición general:** hornblenda, tremolita, clorita y minerales accesorios.**DESCRIPCION DE DETALLE.**

La muestra está constituida por un 45% de hornblenda (pargasita), 37% de tremolita y un 14% de clorita (nimita), el resto está representado por minerales accesorios. La hornblenda se presenta de forma prismática alargada mientras la tremolita presenta forma acicular, formando generalmente grupos radiales de cristales que se han desarrollado a partir de un centro común a manera de *fibrolitas* (figuras 3.16 y 3.17), el color natural de los mismos varía de verde muy pálido a incoloro, sus colores de interferencia llegan hasta el azul verdoso de segundo orden, su relieve es elevado y los ángulos de extinción se encuentran en el rango de 15° - 23° . La clorita se presenta en agregados de cristales microcristalinos de muy baja birrefringencia e incoloros.

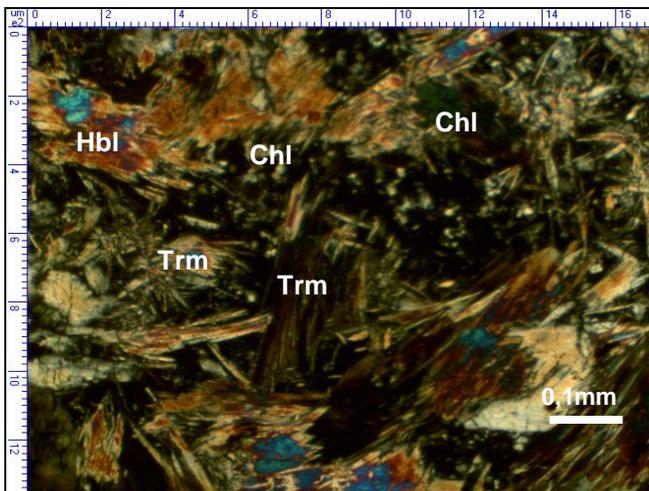


Figura 3.16. Microfotografía muestra M8. Granofels constituido fundamentalmente por hornblenda (Hbl), clorita (Chl) y tremolita (Tr) con textura fibroblástica. (Nicoles cruzados). 10x.

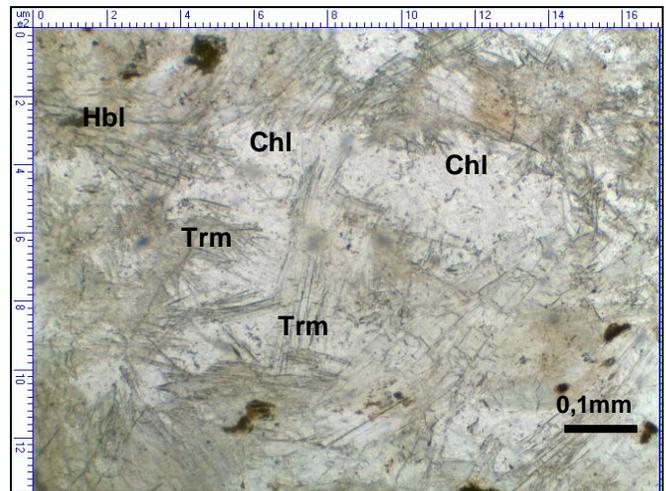


Figura 3.17. Microfotografía muestra M8. Igual a la foto anterior. (Nicoles cruzados). 10x.

3.3 Interpretación de los análisis de difracción de rayos-X

A partir de los análisis de difracción de rayos-x realizados, se obtuvieron 4 gráficos difractométricos correspondientes a las muestras M1, M8, M6 y M5 (ver Figuras 3.18, 3.19, 3.20 y 3.21 respectivamente), en los cuales se muestran los picos difractométricos correspondientes a las fases minerales presentes en dichas muestras. El difractograma de la muestra M1 (Figura 3.18) indica la presencia de dos fases minerales principales correspondientes a los picos de mayor intensidad: **pargasita** ($\text{Na Ca}_2 \text{Mg}_4 \text{Al}_3 \text{Si}_6 \text{O}_{22} (\text{OH})_2$) y **edenita** ($\text{Na Ca}_2 \text{Mg}_5 \text{Al Si}_7 \text{O}_{22} (\text{OH})_2$). En la muestra M8 se encuentran como fases minerales principales: pargasita, **tremolita** ($\text{Ca}_2 \text{Mg}_5 \text{O}_{22} (\text{OH})_2$) y en menor medida la **nimita** ($(\text{Ni, Mg, Al})_6 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_8 (\text{OH})_8$) (grupo de la clorita). En las dos últimas muestras se siguen presentando los anfíboles cálcicos pargasita y tremolita excepto en la muestra M5 donde en lugar de la tremolita se encuentra el **clinocloro** ($\text{Mg}_5 \text{Al} (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$).

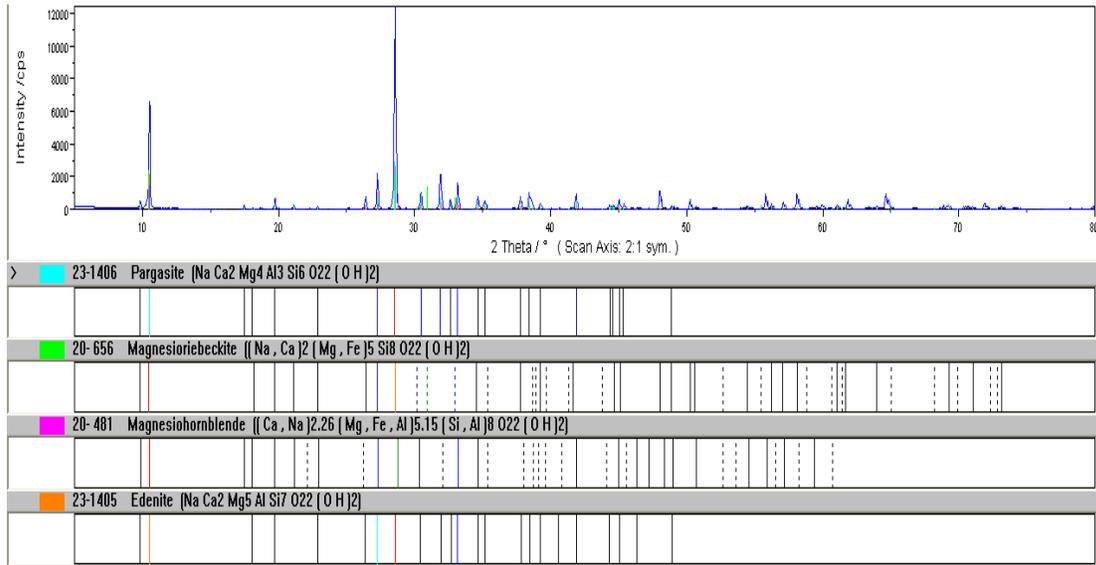


Figura 3.18 Difractograma de fases minerales en la muestra M1.

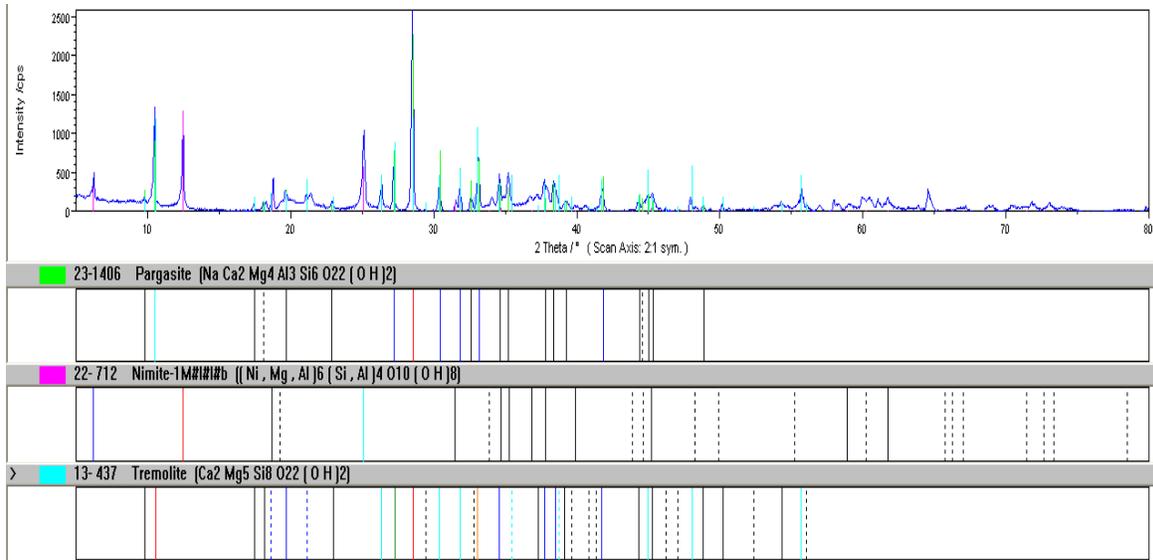


Figura 3.19 Difractograma de fases minerales en la muestra M8.

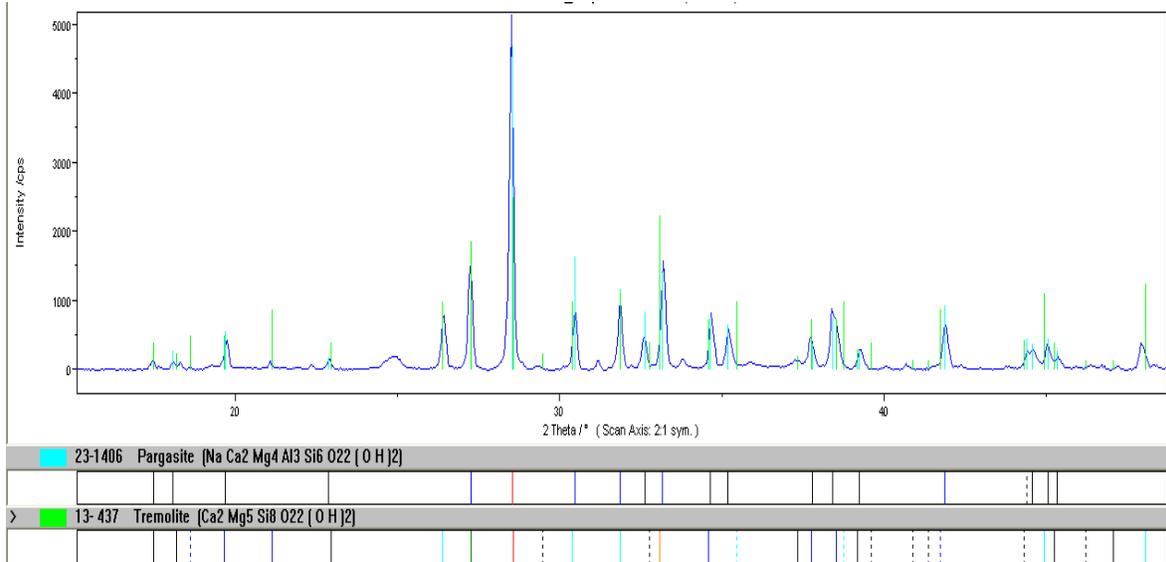


Figura 3.20 Difractograma de fases minerales en la muestra M6.

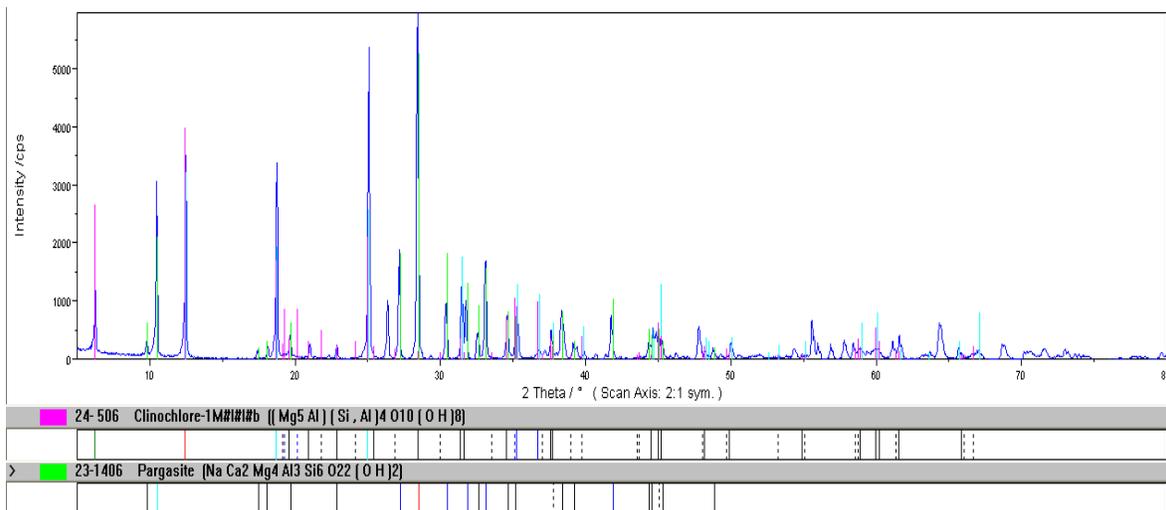


Figura 3.21 Difractograma de fases minerales en la muestra M5.

3.5 Interpretación de los análisis de fluorescencia de rayos-X

Por los análisis de fluorescencia de rayos-X realizados al total de muestras, se obtuvieron los datos de porcentajes en óxidos del contenido de elementos mayores presentes en las mismas (ver Anexo 1), a partir de los cuales se confeccionó el diagrama de clasificación TAS (total álcalis vs. sílice) para rocas volcánicas, de Le Maitre et al (1989) (Figura 3.24), con el objetivo de determinar el tipo de protolito. La mayoría de las muestras ploteadas caen dentro de un campo composicional correspondiente a rocas tipo basaltos, picrobasalto y en menor medida tefritas o basanitas.

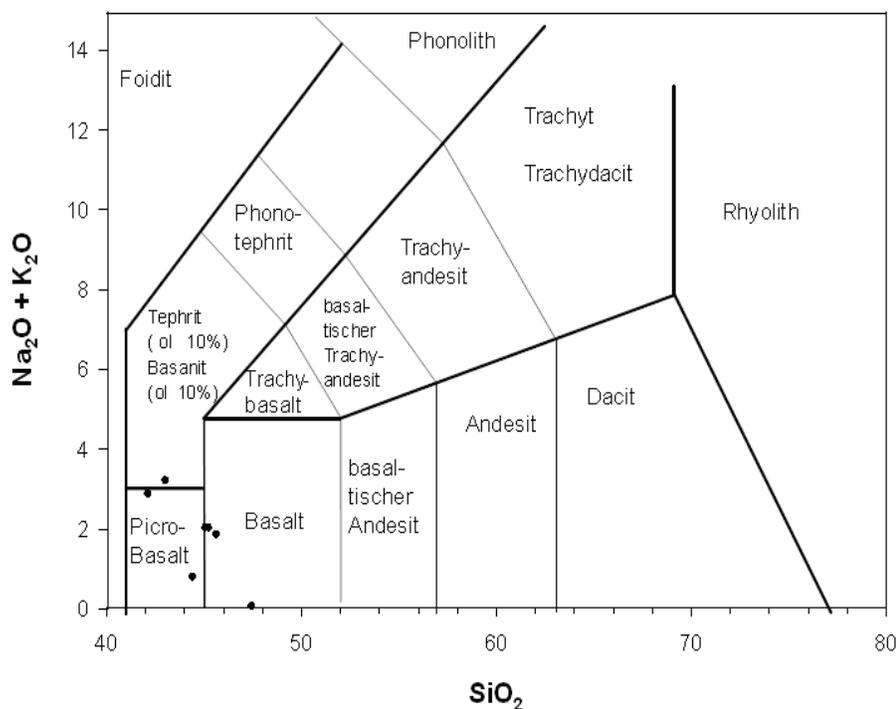


Figura 3.22 Diagrama de clasificación TAS (total álcalis vs. sílice) para rocas volcánicas, de Le Maitre et al (1989), mostrando los puntos de ploteo de las muestras analizadas.

3.4 Consideraciones finales

A partir de los análisis petrográficos realizados y los resultados obtenidos a partir de las técnicas analíticas de difracción y fluorescencia de rayos X, se ha llegado a establecer que las rocas anfibolitizadas del sector este de la presa Nuevo Mundo constituyen rocas metamórficas de grado medio-bajo, clasificadas de acuerdo con su estructura y mineralogía dominante en anfibolitas gnéicas y granofels anfibolíticos según la SCMR (ver anexo2), caracterizadas por presentar una granulometría de fina a media, elevada densidad y muy bajo grado de recristalización.

Las fases minerales identificadas en las mismas son predominantemente minerales del grupo de los anfíboles hornblenda tales como pargasita y edenita, según los análisis de difracción de rayos-X (DRX), además de otros minerales tales como tremolita, magnesiohornblenda, oxihornblenda, minerales del grupo de la clorita (clinocloro, nimita) y de la serpentina, y en menor medida plagioclasa (oligoclasa-andesina) y feldespatos potásicos.

Es interesante destacar la ausencia de plagioclasa en la mayoría de las muestras, solo en algunas muestras tales como la M1 (figuras 3.4 y 3.5), se advierte la presencia de las mismas. Este hecho está en correspondencia con la composición mineralógica de sus protolitos, los cuales según el diagrama de TAS (total álcalis vs. sílice) de Le Maitre et al (1989), confeccionado partir del ploteo de los datos geoquímicos obtenidos por fluorescencia de rayos-X, se corresponden con rocas tipo picrobasalto y basaltos fundamentalmente y en menor medida tefritas o basanitas (ver Figura 3.22).

Es característico en las mismas el desarrollo de una textura granoblástica decusada consistente en un mosaico de cristales hipidiomorfos inequidimensionales (prismáticos o tabulares) dispuestos aleatoriamente; solo en algunas muestras se observan texturas granonematoblástica (gnéica) y porfidoblástica (ver figuras 3.1 y 3.10).

En estas litologías se observan determinados rasgos petrográficos que implican la ocurrencia de un metamorfismo de baja presión correspondiente a la parte inferior de la facies anfibolita, tales rasgos son los siguientes: la ausencia de minerales de

alta presión tales como glaucofana, granate, etc.; el predominio de estructuras sin foliación (masiva) lo cual es un indicativo de que durante su formación los esfuerzos desviatorios no fueron de gran intensidad y la presencia de clorita primaria, tremolita y serpentina. Por las características petrológicas expuestas anteriormente y su forma de yacencia en el campo, se considera que las rocas anfibolitizadas del sector estudiado constituyen fragmentos de una antigua corteza oceánica sometida a metamorfismo de grado medio-bajo.

3.5 Conclusiones

1. En función de las fases minerales identificadas y de los rasgos texturales, las rocas anfibolitizadas del sector de estudio se clasifican según la SCMR en dos grupos litológicos principales: anfibolitas gneisicas y granofels anfibolíticos.

2. Las paragénesis minerales determinadas son las siguientes:

- hornblenda(Hbl) + tremolita(Trm) + clorita(Chl)
- magnesio-hornblenda + clorita(Chl) + (minerales del grupo de la Sp)
- pargasita(Prg) + clinocloro(Cln)
- actinolita(Act) + clorita(Chl)
- pargasita(Prg) + tremolita(Trm)
- hornblenda (Hbl) + pargasita (Prg)+ edenita (Edn) + plagioclasa (oligoclasa-andesina) + feldesp. potásico(Fk)

3. Los protolitos de dichas rocas tienen composición de picro-basalto y basaltos principalmente y en menor medida tefritas o basanitas, según el diagrama de TAS (total álcalis vs. sílice) de Le Maitre et al (1989).

4. Estas litologías constituyen fragmentos de una antigua corteza oceánica sometida a metamorfismo de grado medio-bajo correspondiente a la parte inferior de la facies anfibolita.

Recomendaciones

Profundizar en el estudio de estos tipos de litologías para conocer la trayectoria de P-T definida por las mismas durante el metamorfismo y definir con mayor exactitud el ambiente geotectónico de formación mediante el uso de elementos trazas.

Confeccionar diagramas de paragénesis mineral para conocer los tipos de reacciones químicas ocurridas entre las fases minerales en el proceso metamórfico.

Bibliografía

1. Adamovich A.; Chejovich. 1962: Principales características de la geología y minerales útiles de la región norte de la provincia de oriente. *Revista Tecnológica*. Universidad de Oriente.
2. Albear, J.; I. Boyanov; K. Brezsnianszky; R. Cabrera; V. Chejovich; B. Echevarría; R. Flores; F. Formell; G. Franco; I. Haydutov; M. Iturralde-Vinent; I. Kantchev; I. Kartashov; V. Kostadinov; G. Millán; R. Myczynski; E. Nagy; J. Oro; L. Peñalver; K. Piotrowska; A. Pszczolkowski; J. Radoczj; Rudnicki; M.L. Somín. 1988: Mapa geológico de Cuba. Escala 1:250 000.
3. Nuevo Atlas Nacional de Cuba. OLIVA G. Instituto de Geografía, ACC, 1989.
4. Almaguer F. A. 1995: Composición de las pulpas limoníticas de la planta Pedro Soto Alba, parte II, Periodo de crisis de sedimentación. *Revista Minería y Geología* (No 2).
5. Burch, A. and Burchard, EF. 1919: Chrome and manganese ore in Cuba: Dirección de Montes y Minas. *Boletín de Minas*, no.5, pp.57-70.
6. Brand N. W., Butt C. R. M., Elias M., 1998: Nickel laterites: Classification and features. *AGSO Journal of Australian. Geology and Geophysics* 17, 81-88
7. Blanco Quintero, I 2003: Nuevos Datos Petroquímicos y Petrográficos de las Magmatitas y Metamorfitas de algunos sectores del Bloque Oriental Cubano Sectores Moa-Baracoa y Sierra del Convento. Trabajo de diploma. ISMM.
8. Cobiella, J.L. 1978: Estratigrafía y paleogeografía del Paleógeno de Cuba oriental. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMM.

9. Cobiella J.; Rodríguez J. 1978: Algunos rasgos de la geología de Cuba oriental. Ciencias Técnicas, *Serie Geodesia y Geofísica* No.3
10. Cobiella, J.L. 1988: El vulcanismo paleogénico cubano. Apuntes para un nuevo enfoque. Revista tecnológica. Universidad de Oriente.
11. Cobiella, J.L. 1997: Zonación estructural facial del corte Paleoceno Eoceno Medio de Cuba. *Minería y Geología*, 14(1): 3-12.
12. Cobiella, J. L. 2000: Jurassic and Cretaceous geological history of Cuba. *International Geology Review*, 42: 594-616.
13. Crespo, E. 1996: Análisis estratigráfico del Oligoceno en Cuba oriental. Tesis de Maestría. ISMMM, 79 p.
14. Campos, M. 1983: Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de Holguín y Guantánamo. *Minería y Geología*, 2: 51-76.
15. Campos, M. 1990: Tectónica y minerales útiles de la asociación ofiolítica y de los complejos vulcanógenos del arco insular Cretácico de Cuba oriental. Inédito.
16. Díaz-Martínez, R. y Proenza-Fernández, J. 2005: Metalogenia asociada a las ofiolitas y al arco de islas del cretácico del nordeste de Cuba. *Minería y Geología* Vol. 21 No. 1.
17. Fonseca, E.; V.N. Zelepugin; M. Heredia. 1985: Structure of the ophiolite association of Cuba. *Geotectonic*, 19: 321-329.

18. Gyarmati, P. y J. Leyé O`Conor. 1990: Informe final sobre los trabajos de levantamiento geológico en escala 1:50 000 y búsqueda acompañante en el polígono CAME V, Guantánamo. O. N. R. M.

19. Gyarmati, P.; I. Méndez; M. Lay. 1997: Caracterización de las rocas del arco de islas Cretácico en la Zona Estructuro – Facial Nipe – Cristal – Baracoa. En: G. F.

20. Galí, S., Proenza, J.A., Labrador, M. Melgarejo, J.C., Tauler, E., Muñoz, N., Rojas-Purón, A., Orozco-Melgar, O. 2006: Caracterización mineralógica de los perfiles lateríticos tipo óxido: yacimiento Punta Gorda (Cuba Oriental). /Macla/a, 6, 197-199.

21. Iturralde-Vinent, M. A. 1976: Estratigrafía de la zona Calabazas-Achotal, Mayarí Arriba. Oriente. La Minería en Cuba, 5: 9-23.

22. Iturralde-Vinent, M. A. 1994: Geología de las ofiolitas. En: Iturralde-Vinent, M. (ed.) *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*. IUGS/UNESCO. International Geological Correlation Program. Project 364. Ciudad de la Habana. pp. 83-120.

23. Iturralde-Vinent, M. A. 1996: Geología de las ofiolitas de Cuba. En: Iturralde-Vinent, M. (ed.). *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*. IGCP project 364. Special contribution n.1, p. 83-120.

24. _____. 1996a: Evidencias de un arco Primitivo (Cretácico Inferior) en Cuba. In Iturralde-Vinent, M. A., ed. *Cuban ophiolites and volcanic arcs*. Miami, Int. Geol. Correlation Prog. 364:227–230.

- 25.———. 1996*b*: Introduction to Cuban geology and geophysics. *In* Iturralde-Vinent, M. A., ed. Cuban ophiolites and volcanic arcs. Miami, Int. Geol. Correlation Prog. 364:83–120.
- 26.Iturralde-Vinent, M. A. 1998: Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. *Acta Geológica Hispana*, 33(1-4): 9-56.
- 27.Iturralde-Vinent MA, Díaz Otero C, Rodríguez Vega A, Díaz Martínez R (2006) Tectonic implications of paleontologic dating of Cretaceous–Danian sections of Eastern Cuba. *Geol Acta* 4:89–102
- 28.Joan-Charles Melgarejo, Coordinador. Atlas de asociaciones minerales en láminas delgadas.
- 29.Lebbron, M.C. y M.R. Perfit. 1994: Petrochemistry and tectonic significance of Cretaceous island-arc rock, Cordillera Oriental, Dominican Republic. *Tectonophysics*, 229: 69-100.
- 30.Miyashiro A. (1973). *Metamorphism and Metamorphic Belts*. London. George Allen & Unwin; 492 pp.
- 31.Morris, A. E. L., Taner, I., Meyerhoff, H. A., y., Meyerhoff, A. A.1990: Tectonic of the Caribbean region; alternative hypothesis. En: Dengo, G. y Case, J. E. (eds.), *The Caribbean Region: Geology of North America*, vol. H, Boulder, Colorado, Geol. Soc. América, 433-457.
- 32.Manso, A. 1995: Estudio generalizado del Oligo-Mioceno en el sector Frank País. Trabajo de Diploma. Centro de Información. ISMMM, 73p.
- 33.Muñoz, J.N. 2004: Geología y Mineralogía de los yacimientos residuales de menas lateríticas de Fe-Ni-Co.PDF-Files.ICT.ISMMM, 22p.

34. Nagy, E.; K. Brezsnyszky; A. Brito; D.P. Coutin; F. Formell; GAL. Franco; P. Gyarmati; P. Jakus; GI. Radocz. 1976: Texto explicativo del mapa geológico de la provincia de Oriente a escala 1:250 000. Academia de Ciencias de Cuba
35. Nagy, E.; K. Brezsnyszky; A. Brito; D.P. Coutin; F. Formell; GAL. Franco; P. Gyarmati; P. Jakus; GI. Radocz. 1983: Contribución a la geología de Cuba oriental. La Habana, Editorial Científico Técnica, 273 p.
36. Paul F. Kerr, PH.D. (1984). MINERALOGÍA ÓPTICA
37. Proenza, J. y N.M. Carralero. 1994: Un nuevo enfoque sobre la geología de la parte sur de la cuenca de Sagua de Tánamo. *Minería y Geología*, 11: 3-10
38. Proenza J. 1997: Mineralización de cromita en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba). Ejemplo del yacimiento merceditas. Tesis Doctoral, ISMM.
39. Proenza, J. and J. C. Melgarejo, 1998: Una introducción a la metalogenia de Cuba bajo la perspectiva de la tectónica de placas. *Acta Geol. Hispan.*, 33, 1–4, 89–131.
40. Proenza, J.; F. Gervilla; J.C. Melgarejo; J.L. Bodinier. 1999: Al- and Cr-rich chromitites from the Mayarí-Baracoa ophiolitic belt (Eastern Cuba): Consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotites in suprasubduction mantle. *Economic Geology*, 94: 547-566.
41. Pindell, J. L., and Barrett, S. F. 1990: Geological evolution of the Caribbean region: a plate tectonic perspective. *In* Dengo, G., and Case, J. E, eds. *The Caribbean region (Geology of North America, Vol. H)*. Boulder, Colo., Geol. Soc. Am., p. 405–432.

42. Pérez R.: Levantamiento Geológico de Farallones escala 1: 50 000, 1976.
43. Quintas F. 1989: Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. Tesis doctoral, Departamento de Geología, I.S.M.M.
44. Quintas, F. 1996: Bioestratigrafía del corte Meso-Cenozoico del extremo oriental de Cuba. *Minería y Geología*, 13(1): 3-8. Reed, M.H. 1997: Hydrothermal Alteration and Its Relationship to Ore Fluid Composition. En: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, Tercera Edición, Hubert L. Barnes (ed.), John Wiley and Sons Inc. Publication, 303-366.
45. Radoczj; Rudnicki; M.L. Somín. 1988: Mapa geológico de Cuba. Escala 1:250 000.
46. Rodríguez Infante A., 1998 Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación del riesgo de génesis tectónicas. Tesis doctoral, Academia de Ciencias de Cuba. Departamento de Geología, ISMMM, Moa.
47. Spry, A., 1969. *Metamorphic textures*. Pergamon Press.
48. Sitnikov, V, 1976: Informe sobre la exploración orientativa del yacimiento
49. Camarioca con el cálculo de reservas. ONRM. La Habana, Cuba.
50. Somín, M., Millán, G., 1981. *Geology of the Metamorphic Complex of Cuba (in Russian)*. Anoka, Moscow, 219 pp.

51. Torres, M. y E. Fonseca. 1990: Características geólogo – petrológicas del contacto entre la asociación ofiolítica y el arco volcánico en Moa – Baracoa. Boletín de Geociencias, 4: 18-32.
52. Winkler, Helmut G.F. (1979). *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. New York, EUA: Springer-Verlag; 348 pp.

ANEXOSAnexo 1.

Tabla 1. Contenido expresado en por ciento en óxidos de los elementos mayores en las muestras de rocas seleccionadas.

| Muestras | M1 | M2 | M3 | M5 | M6 | M8 | M9 |
|--------------------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| SiO ₂ | 42.99 | 45.59 | 44.37 | 45.04 | 42.09 | 39.83 | 45.76 |
| Al ₂ O ₃ | 17.44 | 13.73 | 14.56 | 12.22 | 16.45 | 22.36 | 0.97 |
| MnO | 0.16 | 0.17 | 0.14 | 0.09 | 0.16 | 0.12 | 0.12 |
| MgO | 13.24 | 17.95 | 27.30 | 23.56 | 15.66 | 16.09 | 43.46 |
| Na ₂ O | 3.02 | 1.80 | 0.74 | 1.98 | 2.78 | 1.06 | 0.10 |
| CaO | 11.04 | 9.00 | 4.33 | 8.30 | 10.79 | 5.50 | 0.48 |
| TiO ₂ | 1.01 | 0.37 | 0.32 | 0.47 | 0.57 | 1.15 | 0.01 |
| P ₂ O ₅ | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 |
| K ₂ O | 0.20 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.12 | 0.05 | 0.0 |
| Fe ₂ O ₃ | 10.69 | 11.29 | 8.17 | 7.87 | 10.88 | 13.82 | 9.09 |
| FeO | 3.3137 | 3.50 | 2.53 | | 3.3724 | 4.285 | 2.8188 |

Anexo 2.

Diagrama de flujo para la denominación de rocas metamórficas según la subcomisión sobre la Sistemática de las rocas metamórficas (2007).

Nombre de las rocas metamórficas según la SCMR

