

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA

“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Geólogo

Título

**CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LAS VULCANITAS CRETÁICAS DEL
NORESTE DE CUBA**

Diplomante:

Lilietta Cardoso Velázquez

Tutor :

Roberto Díaz Martínez

Julio de 2005

Trabajo de diploma

Lilietta Cardoso Velázquez

A mi mamá, mi hermano y mi abuela.

A los amigos que me ayudaron.

Aquellos que no tienen el valor de sacrificarse deben, al menos, tener el pudor de callarse antes de los que se sacrifican.

José Martí

A mis enemigos les deseo salud, suerte y larga vida, así logran ver el resultado de mi trabajo.

José Martí

No pierdas nunca la posibilidad de realizar todo esfuerzo posible, si los fines que persigues son justos.

Anónimo.

Nadie alcanza la meta con un solo intento, ni perfecciona la vida con una sola rectificación, ni alcanza altura con un solo vuelo.

Anónimo

Agradecimientos

A mi mamá quien me hizo ser todo lo que soy y que sin ella no estaría ahora aquí.

A mi hermano, papá y mi abuela que me dieron de su amor cuando los necesite.

A mi tutor Roberto por amigo y por el apoyo que me ha brindado.

A Alexander, Yanquiel, Marabih, Homero por su compañía, su protección durante estos 5 años.

A Armando por haber llegado tan a tiempo y mantenerse a pesar de haber soplado el viento en contra.

A Julio y Yavelis que me han aconsejado cuando los he necesitado.

A Juan y demás compañeros de grupo que de una forma u otra convivieron conmigo y me ayudaron con la persona cotidiana que ahora soy.

A Arturo Rojas, Jesús Blanco, Antonio Rodríguez, Orozco, Amparo y Ortelio que en estos 5 años me han tratado de guiar por el camino correcto.

A Betty y a Yurisdell porque se mantuvieron al tanto de mis avances y siempre trataron de darme aliento para continuar.

Al departamento de geología en general que me ha ayudado con mi formación profesional.

Al personal que trabaja en el laboratorio de GEOMIN, que aunque me han hecho pasar trabajo permitieron que llegara al feliz termino mi trabajo.

Indice

Capitulo I	Características físico-geográficas y geológicas de la región de estudio
	1.1 <i>Ubicación geográfica del área de estudio</i>
	1.1.2 Clima
	1.1.3 LLuvías
	1.1.4 Vientos
	1.1.5 Temperatura
	1.1.6 Humedad relativa
	1.1.7 Vegetación
	1.1.8 Economía
	1.2 Características Geológicas Regionales.
	1.2.1 Introducción
	1.2.2Tectónica
	1.2.3 Geología regional
Capitulo II	Metodología y volumen de los trabajos realizados
	2.1 Búsqueda y Análisis de la Información
	2. 2 Obtención de los datos geoquímicos
	2.3 Preparación de las bases de datos geoquímicos.
	2.4 Matrices de correlación
	2.5 Normalización de datos a NMORB
	2.6 Construcción de los diagramas de tierras raras y Spider
	2.7 Reconstrucción del modelo geológico
Capitulo III	Interpretación de los resultados
	3.1 Introducción
	3.2 Estadios magmáticos evolutivos del arco volcánico del cretácico en el noreste de Cuba.
	3.3

Resumen

RESUMEN

La presente tesis de grado titulada “CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LAS VULCANITAS CRETÁICAS DEL NORESTE DE CUBA” es el resultado de culminación de los estudios universitarios en el Instituto Superior Minero metalúrgico Dr. Antonio Núñez Jiménez. Clasificar las rocas volcánicas a partir del estudio de los elementos trazas, evaluar el origen del magma y determinar el ambiente geotectónico de formación desde la perspectiva de la tectónica de placas han sido los principales objetivos de la investigación presentada. Para ello se consultaron numerosas fuentes bibliográficas primarias permitiendo en primera instancia la actualización en el tema tratado y en segundo lugar la comprensión de tan compleja investigación. Además se contó con los resultados analíticos de elementos trazas haciendo énfasis en los diagramas de tierras raras normalizados a N-MORB y los diagramas discriminantes a partir de los elementos raros y dispersos. Como resultado de la investigación se logró establecer que las rocas volcánicas de la Formación Téneme típicas toleítas de arco de isla (IAT) bajas en Ti con afinidad boninítica; las rocas de la Formación Quibiján son toleítas de arco oceánico, mientras que los volcánicos de Morel, La Melba y Centeno son toleítas de cuencas de back arc y en sentido general las rocas volcánicas del noreste de Cuba provienen de un manto empobrecido tipo N-MORB con algún aporte de magmas provenientes de E-MORB.

Trabajo de diploma

Lilietta Cardoso Velázquez

AbstraeT

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

En el noreste de Cuba, formando parte de la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa (FOMB), afloran rocas volcánicas y vulcanógeno-sedimentarias pertenecientes al sistema de arcos circum-caribeño y rocas efusivo-sedimentarias de edad Cretácico propias de las secuencias ofiolíticas.

Diversas opiniones muy controversiales se han vertido en torno a la existencia de uno o varios arcos de islas en el Caribe. Pindell y Barrett (1990) defienden la idea de un gran arco volcánico como una entidad única e indivisible, sin embargo Kerr et al. (1999) hablan de un arco boninitico en Cuba. Por último, Perfil y Lebront (1993) aseguran la existencia de tres estadios composicionales en la formación del arco circum-caribeño. El primer estadio de desarrollo del arco se caracteriza por basaltos de dorsales centro-oceánicos; un segundo estadio se relaciona con las series PIA, mientras que el tercero y último, más avanzado y maduro es de tipo calco-alcalino. Estos autores sugieren que la formación Téneme, localizada en la parte norte de Cuba Oriental, también puede pertenecer a las series tipo PIA.

Entre las rocas efusivo-sedimentarias vinculadas a las ofiolitas se han descrito diabasas, basaltos afíricos, subafíricos y variolíticos, a menudo con almohadillas, intercalados con capas de hialoclastitas, silicitas, radiolaritas, lutitas tufíticas y raras calizas (Iturralde-Vinent, 1998). La datación de estas rocas a partir de radiolaritas se hace un tanto difícil por el grado de recristalización que poseen las mismas. Estas rocas se consideraban como un conjunto único de toleritas abisales oceánicas, sin embargo Kerr et al (1999) plantean que entre estas rocas hay varios complejos independientes, incluyendo boninitas de arco, toleititas de retroarco y basitas de planicies oceánicas.

Ninguno de los autores antes mencionados aportan evidencias geoquímicas claras que confirmen la existencia de uno o varios arcos en el noreste Cuba Oriental. Partiendo de estas premisas surge el problema de la investigación, el cual queda planteado de la siguiente manera:

Problema

La necesidad de caracterizar correctamente las rocas volcánicas del noreste de Cuba Oriental a partir del estudio de la distribución y concentración de los elementos trazas con vistas a clasificarlas desde el punto de vista geoquímica, conocer su procedencia y ambiente tectónico de generación y las implicaciones en la tectónica de placas.

Hipótesis

Si se conocen los principales rasgos geoquímicos de las vulcanitas cretácicas en el noreste de Cuba a partir del estudio de los elementos trazas, entonces es posible clasificarlas, evaluar la fuente del magma, el ambiente tectónico e formación y las implicaciones en la tectónica de placas.

Objetivos del trabajo

La presente tesis de grado tiene entre sus objetivos principales los siguientes:

1. Clasificar desde el punto de vista geoquímica a partir de elementos trazas relativamente inmóviles (HFSE and REE) las rocas volcánicas del noreste de Cuba.
2. Evaluar el origen del magma fuente.
3. Determinar el ambiente tectónico de formación desde la perspectiva de la tectónica de placas.

Objeto del trabajo:

El objeto de estudio de la presente investigación lo constituye las rocas volcánicas del Cretácico en el nordeste de Cuba.

CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO.

1.1 INTRODUCCIÓN

El macizo Mayarí-Baracoa representa un importante elemento de la geografía cubana, con un endemismo de su flora y fauna digno de considerar y parques naturales que constituyen patrimonio de la humanidad como es el parque de Humboldt. Los rasgos geológicos están marcados por el predominio de las rocas del complejo ofiolítico y rocas volcánicas que datan del Cretácico al Eoceno. La exhaustiva revisión y análisis de la bibliografía existente ha permitido recoger, en síntesis apretada, los principales elementos físico-geográficos y geológicos de la región de estudio.

1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

1.2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

Geográficamente el área de estudio se encuentra ubicada hacia el extremo oriental de la Isla de Cuba, ocupando parte de las provincias de Holguín y Guantánamo (Anexo 1). Dentro de esta área se le prestará una atención especial a dos grandes sectores, en los que se han llevado a cabo la mayoría de las investigaciones, atendiendo a que los mismos son los que despiertan el mayor interés desde el punto de vista geológico para la investigación que se desea realizar. El más grande e importante de estos sectores ocupa la región comprendida entre Moa y Baracoa, en las provincias de Holguín y Guantánamo, limitada por las siguientes coordenadas planas:

X: 525000-750000

Y: 185000-227750

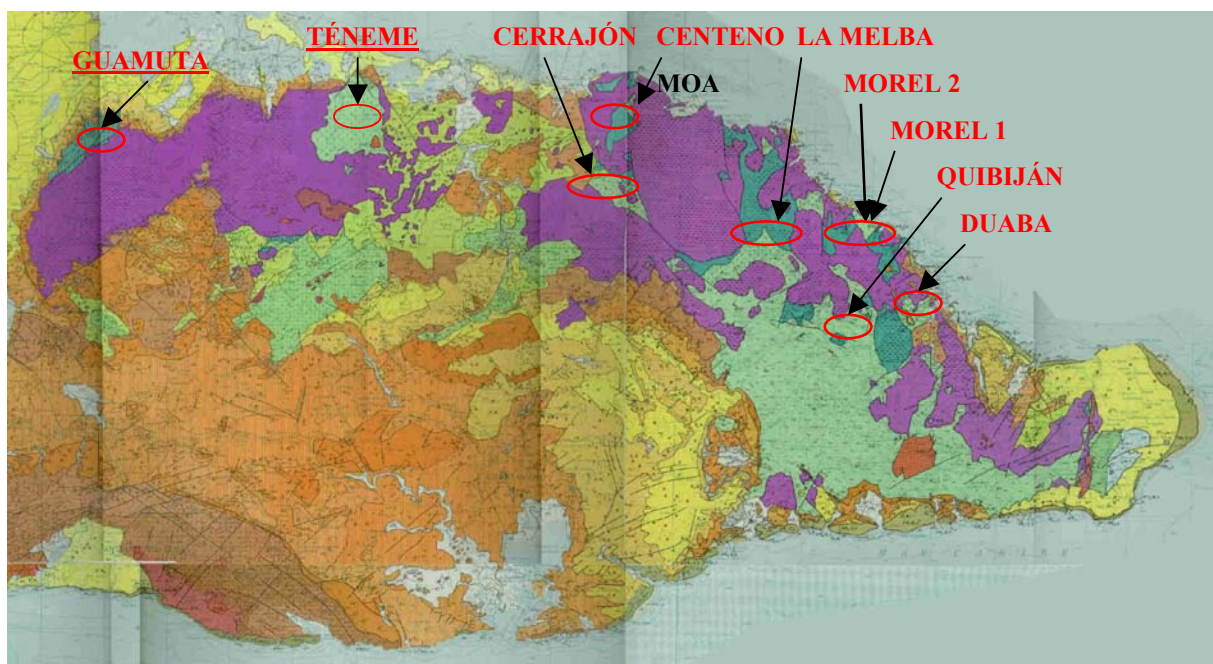


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica de las áreas de estudio.

1.2.2 Clima

El clima es tropical, este se ve influenciado por la orografía. Las barreras montañosas del grupo Sagua – Baracoa sirven de pantalla a los alisios del noreste, los cuales hacen descargas de abundantes lluvias en la parte norte del municipio.

1.2.3 LLuvias

En cuanto a las lluvias los mayores promedios anuales se reportan de noviembre - febrero considerado para Cuba como período seco, siendo en Moa la época de mayores precipitaciones con valores de 2300 - 2600 mm y más. En el período lluvioso cubano ocurre lo contrario, en el territorio es considerada etapa de seca con 1600 - 1800 mm de lluvia. Las precipitaciones son abundantes todo el año, alcanzando de 2000 - 2400 mm. En general se puede plantear que existen dos máximas, una principal en los meses de octubre a enero y una secundaria en el mes de mayo. Para las mínimas, la principal ocurre en el período de marzo a abril y la secundaria de junio a septiembre.

1.2.4 Vientos

El régimen de este factor meteorológico en la región esta conformado por vientos de moderada intensidad, casi todo el año soplan los vientos alisios provenientes de la periferia del anticiclón subtropical oceánico de Los Azores - Bermudas, provocando que el mismo en superficie tenga una dirección noreste – este fundamentalmente. La distribución frecuencial anual de la dirección e intensidad del viento durante el año muestra que la sur es la más notable, con un 37.41 %, seguido de los vientos de sentido norte - este con 32.52 %, mientras que el resto de las direcciones poseen una frecuencia inferior al 10 %, siendo la dirección oeste la de menor ocurrencia, con un 0.41 %.

1.2.5 Temperatura

La temperatura media anual del aire es aproximadamente 27 °C, en el verano se alcanzan valores de 30 °C hasta 32 °C y en el invierno de 22 °C a 26 °C.

1.2.6 Humedad relativa

La humedad relativa de la zona es alta debido a la exposición marítima del territorio, influyendo en este aspecto las precipitaciones, las que son abundantes todo el año. Los meses que poseen los mayores valores se ubican de noviembre - abril, alcanzándose las máximas de diciembre a enero, lo cual se debe al ascenso orográfico o forzado del viento que favorece las altas precipitaciones al inicio y final del período de transición verano - invierno.

1.2.7 Vegetación

En la región se desarrollan siete formaciones vegetales naturales que ocupan alrededor del 90 % del área de estudio, entre las cuales podemos destacar el bosque tropical ambrofilo submontano, bosque tropical ambrofilode de árboles latifolios y aciculifolios, bosque tropical ambrofilo aluvial, sempeavirente tropical xeromorfo espinoso, matorral tropical xenomorfo subespinoso, entre otros.

1.2.8 Economía

Es una parte del área en que se cultiva el café y el cacao, que se conocen la importancia que tienen estos en el desarrollo del país. También se cultiva el coco entre otras.

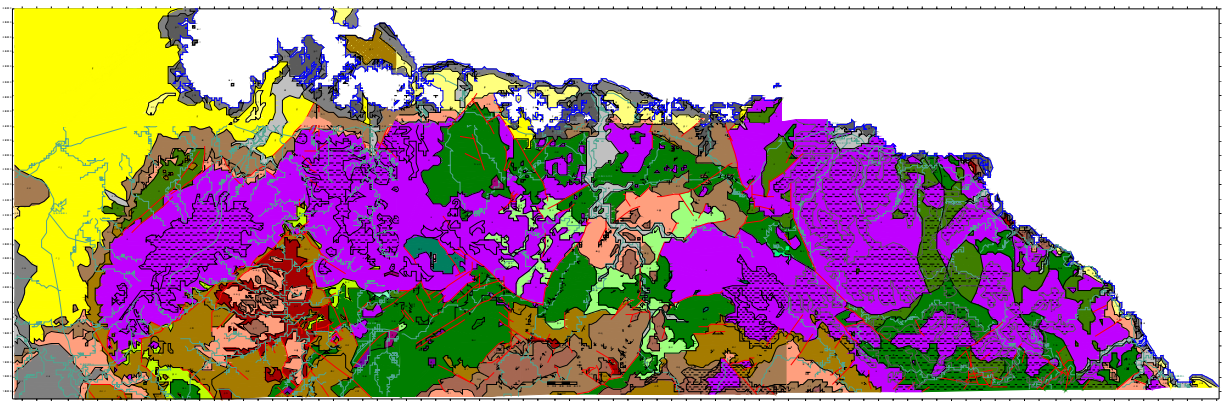
En la región de Moa se encuentra dentro de las más desarrolladas en el país desde el punto de vista industrial, debido a que cuenta con las plantas procesadoras de níquel Comandante Pedro Soto Alba y Ernesto Che Guevara respectivamente que impulsan el desarrollo de la rama minero - metalúrgica. Además existen otras entidades tales como: La Empresa Mecánica del Níquel, Las Camariocas (actualmente en construcción), la Empresa Constructora y Reparadora de Industrias del Níquel (ECRIN) y el Centro de Proyecto del Níquel (CEPRONIQUEL), todas en apoyo al desarrollo de este renglón económico.

En esta región existen yacimientos de cromo refractarios, clasificados como los mayores de su tipo en el territorio nacional, los cuales se encuentran distribuidos en las cuencas de los ríos Cayo Guam y Yamanigüey respectivamente, donde una parte del mineral extraído se procesa en la planta de beneficio de Cayo Guam. Los gabros y ultrabasitas, típicos del complejo ofiolítico, pueden ser empleados como áridos en la industria de Materiales de la Construcción. En Cayo Moa Grande se encuentra una barrera de arrecifes cuyos corales son extraídos y utilizados como materia prima en el proceso tecnológico de la planta Comandante Pedro Soto.

Alba. Además existen otras empresas de las cuales depende la economía de la región como son: Empresa geólogo – minera, la EMA y diferentes instalaciones de apoyo social, entre las cuales están enmarcadas la Presa de Nuevo Mundo, el Tejar, el Combinado Lácteo, entre otras. Al sur del área se desarrolla la ganadería y se lleva a cabo la explotación de recursos forestales que son abundantes en la zona, siendo un eslabón importante para la economía de nuestro país. La población ha crecido considerablemente alcanzando valores de aproximadamente 76 000 habitantes; cuenta con dos hospitales, dos hoteles, instituciones para la enseñanza primaria, media y universitaria, un aeropuerto nacional, terminal de ómnibus y un puerto para el embarque

de los productos obtenidos en las empresas de níquel y las plantas beneficiadoras de cromo.

ANEXO 1 MAPA GEOLÓGICO REGIONAL



1.3 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS REGIONALES

1.3.1 Introducción

Durante la ejecución de la investigación se consultaron diferentes trabajos que para la región oriental y en particular del territorio Mayarí-Moa-Baracoa se han desarrollado, orientados algunos a la evaluación geólogo-económica de las grandes reservas minerales asociadas al cinturón ofiolítico del noreste holguinero y otros a la profundización del conocimiento geológico regional, constituyendo todos una valiosa información.

A pesar de existir numerosas investigaciones y reportes sobre la geología de la zona realizados antes del triunfo de la revolución no es hasta la década del sesenta que se

desarrollan investigaciones profundas de carácter regional, haciéndose imprescindible mencionar los trabajos de los especialistas rusos, que constituyeron un paso de avance fundamental en el conocimiento geológico del territorio oriental, esencialmente para las zonas de desarrollo de cortezas de intemperismo ferroniquelíferas. La concepción inicial de estos trabajos ha sufrido importantes cambios con el aporte de investigaciones más recientes.

Adamovich y Chejovich, elaboraron un mapa geológico a escala 1: 250 000 sobre la base de interpretaciones fotogeológicas y marchas de reconocimiento geológico en el cual fueron limitadas las zonas de cortezas de intemperismo para el territorio Mayarí - Baracoa, establecieron la secuencia estratigráfica regional y respecto a la estructura geológica, consideraron la existencia de un anticlinal con un núcleo de rocas antiguas - zócalo metamórfico - y rocas más jóvenes en sus flancos, estando cortada toda la estructura por fallas normales que la dividen en bloques. De igual forma ellos realizaron reconstrucciones paleogeográficas que le permitieron caracterizar el relieve pre Maestrichtiano de la región al mismo tiempo que clasificaron el relieve actual.

Las investigaciones posteriores demostraron que la estructura del territorio oriental cubano estaba muy lejos de tener el estilo sencillo que ellos concibieron, resultando esclarecidos algunos elementos referidos a la existencia de fuertes movimientos tectónicos tangenciales que provocaban la aparición de secuencias alóctonas y autóctonas intercaladas en el corte geológico, así como el emplazamiento de cuerpos serpentínicos en forma de mantos tectónicos alóctonos sobre las secuencias del Cretácico Superior lo cual complica extraordinariamente la interpretación tectono - estratigráfica.

De igual forma se estableció que el origen y posición geólogo-estructural de los conglomerados y brechas de composición serpentínica que Adamovich y Chejovich asignan al periodo Maestrichtiano, tienen un carácter esencialmente sinorogénico relacionado con los movimientos tectónicos de emplazamiento de los cuerpos serpentínicos.

Luego debido a una constante acumulación de información, se ha originado un salto cualitativo en el grado de conocimiento geológico expresado en los elementos citados anteriormente.

En 1972 se inician investigaciones de carácter regional del territorio oriental cubano por el Departamento de Geología de la Universidad de Oriente y luego en el ISMM. En 1976 establecieron que la tectónica de sobrepuye afecta también a las secuencias sedimentarias dislocadas fuertemente, detectando en numerosas localidades la presencia de mantos alóctonos constituidos por rocas terrígenas y volcánicas del Cretácico Superior, yaciendo sobre secuencias terrígenas del Maestrichtiano - Paleoceno Superior, planteando además el carácter alóctono de los conglomerados - brechas de la formación La Picota, demostrándose en investigaciones posteriores el carácter predominantemente autóctono de estas secuencias formadas en las cuencas superpuestas al 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 se propone un esquema tectónico que resume una nueva interpretación estratigráfica y paleogeográfica de Cuba Oriental delimitando cinco zonas estructuro faciales.

1.3.2 Características geológicas del noreste de Cuba.

Quintas, f. (1989), realiza la clasificación geológica regional según ocho asociaciones estructuro-formacionales, de las cuales seis se encuentran representadas en el área de investigación. El se basó en la teoría que explica el origen y evolución de los arcos insulares, así como la formación de las plataformas, las etapas evolutivas y los conjuntos litológicos faciales típicos de cada estadio.

Iturralde-Vinent (1996) reconoce en la constitución geológica del archipiélago cubano dos elementos estructurales principales: el cinturón plegado y el neoautóctono.

El cinturón plegado está constituido por terrenos oceánicos y continentales deformados y metamorizado de edad pre-Eoceno Medio, que ocupan en la actualidad una posición muy diferente a la original, representando las unidades geológicas que lo integran grandes entidades paleogeográficas que marcaron la evolución del Caribe Noroccidental (fig. 2)

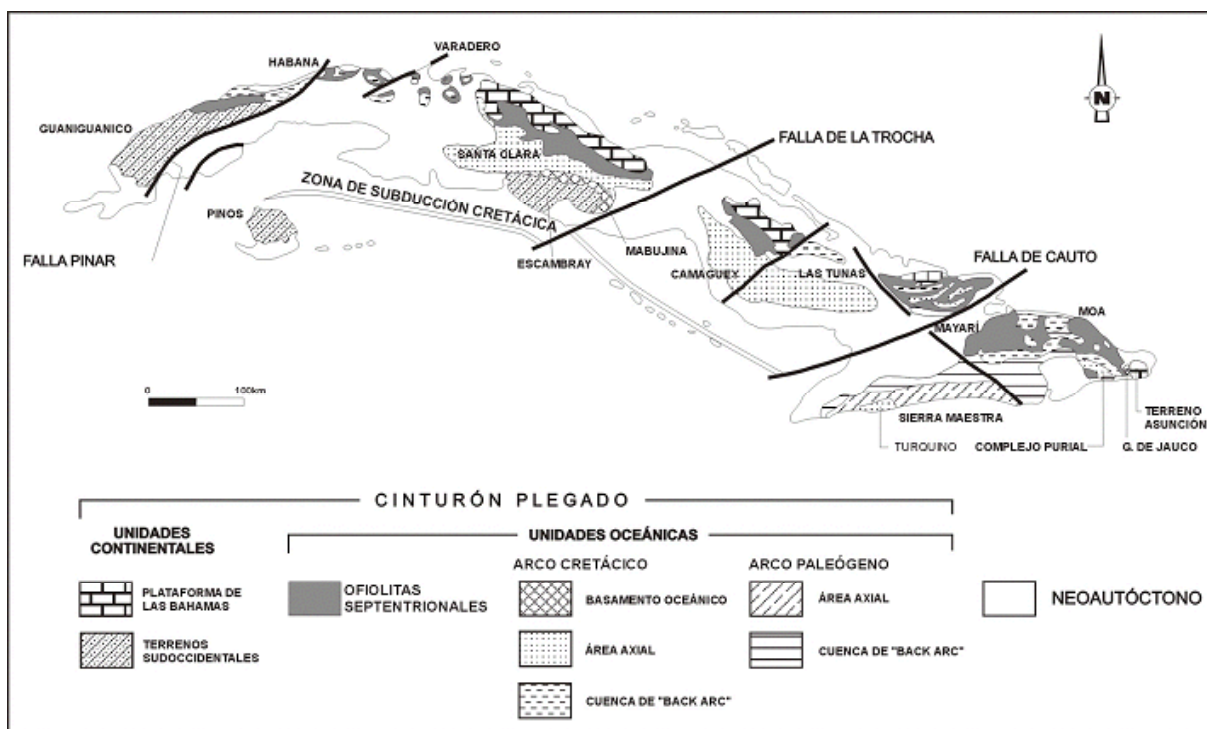


Figura 2 Mapa geológico Esquemático de Cuba mostrando los afloramientos del cinturón plegado y del neotectónico (adaptado de Iturralde-Vinent, 1996a).

En Cuba Oriental las unidades continentales están representadas por el Terreno Asunción, compuesto por dos unidades litoestratigráficas bien diferenciadas, la Fm. Sierra Verde compuesta por cuarcitas, esquistos cuarcíticos, esquistos grafiticos y calizas marmorizadas y la Fm. La Asunción, constituidas por materiales metaterrígenos y metacarbonatados respectivamente; estas fueron metamorizadas en condiciones de altas presiones y bajas temperaturas (Millán y Somin, 1985). La edad es del Jurásico Superior-Cretácico Inferior, las cuales no aparecen representadas en el área de estas investigaciones, aunque este terreno se considera parte del paleotálud mesozoico de la

plataforma de Bahamas, correlacionable con las rocas presentes en la Española (Iturralde-Vinent, (1994, 1996); Lewis y Drapper, (1990).

Las unidades oceánicas están constituidas por las ofiolitas septentrionales, las rocas del arco de islas volcánicas del Cretácico (Paleoarco), las secuencias de las cuencas de piggy back del Campaniano Tardío-Daniano, el arco de islas volcánico del Paleógeno y las rocas de las cuencas de piggy back del Eoceno Medio-Oligoceno. El neoaútóctono está constituido por materiales terrígenos carbonatados poco deformados del Eoceno Superior Tardío al Cuaternario que cubren discordantemente las rocas del cinturón plegado.

La sistemática asumida por cada uno de los trabajos antes referidos de forma sintetizada se representa en la tabla I.

Tabla 1 Litologías presentes en el área de estudio según Quintas F., 1989 e Iturralde-Vinent, 1996. (Tomada de la tesis doctoral de Alina Rodríguez Infante).

Litología	Asociaciones Estructuro Formacionales (F. Quintas, 1989)	Elementos estructurales (Iturralde-Vinent, 1996)		
Rocas ultrabásicas serpentinizadas y complejo básico	AEF de la antigua corteza oceánica	Ofiolitas septentrionales	U N I D. O C E Á	C I N T. P L E G
Fm. Quibiján	AEF del arco volcánico del Cretácico	Arco volcánico Cretácico		
Fm. Santo Domingo				
Fm. La Picota	AEF Cuencas superpuestas al arco volcánico del Cretácico	Cuencas piggy-back 1ra generación		
Fm. Mícara				
Fm. Sabaneta	Arco volcánico del Paleógeno	Arco de islas volcánico del paleógeno		
Fm Capiro	Cuenca superpuesta de la etapa de plataforma	Cuencas de piggy-back segunda generación		
Fm Majimiana	Secuencias terrígeno-carbonatadas de la etapa de			

Fm. Júcaro Depósitos cuaternarios	desarrollo neoplatafórmico	NEO AUTÓCTONO
--------------------------------------	----------------------------	---------------

- Ofiolitas septentrionales

Las rocas típicas de la secuencia ofiolítica están ampliamente representadas en toda la región de estudio (Anexo 1), formando parte del Macizo ultrabásico; este se ubica en el extremo oriental de la faja Mayarí-Baracoa, y constituyen restos de una litosfera oceánica tectónicamente interpretadas como parte de un sistema de cuenca de Back arc de mar marginal ubicado paleogeográficamente entre el margen Cretácico de la plataforma de Bahamas y el arco volcánico de las antillas mayores (Iturralde – Vinent, 1996, 1998).

Los principales afloramientos de la faja ofiolítica de Mayarí – Baracoa están representadas:

- a) Macizo Mayarí – Cristal.
- b) Macizo Moa – Baracoa.
- c) Macizo Sierra – Cristal.

Macizo Mayarí – Cristal

El macizo Mayarí – cristal se localiza en la parte occidental de la faja Mayarí – Baracoa ocupando un área de 1200 Km² según Fonseca (1985), tiene morfología tabular con un espesor de 1 - 1.5 Km². En el mismo se han descrito principalmente los complejos de tectonitas y el de diques de diabasas, en cambio, la existencia del complejo de gabro es polemica y el vulcano – sedimentario no ha sido identificado. Ver columna estratigráfica.

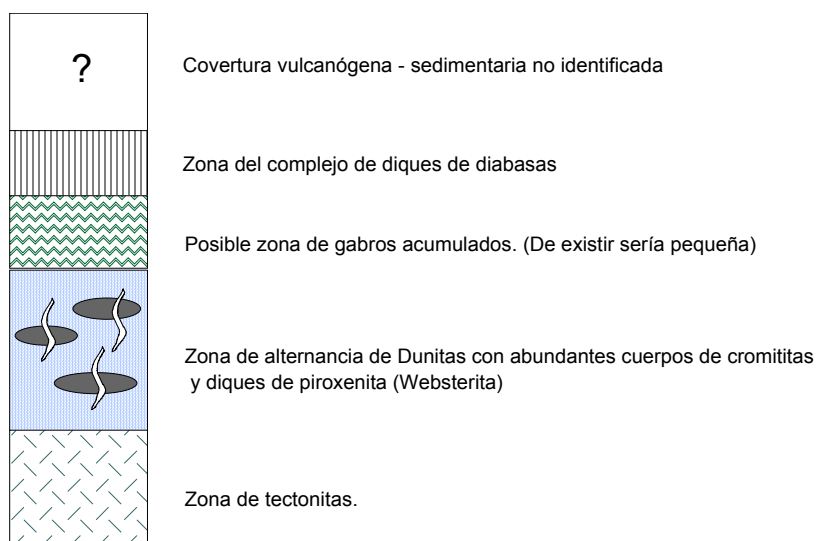


Figura 3 Columna geológica idealizada a través del macizo Mayarí-Cristal (Según Proenza et al. 1998).

Macizo Moa – Baracoa

El mismo ocupa un área aproximada de 1500 Km² y presenta un desarrollo considerable de los complejos ultramáfico, de gabros y Vulcano-sedimentario (Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999, 2000). Según Fonseca y otros (1985) el espesor aproximado del complejo ultramáfico es de 1000 metros y el de gabros de 500 metros. Quintas (1989) estima un espesor de 1200 metros para el complejo vulcano-sedimentario.

El complejo ultramáfico desde el punto de vista petrológico se caracteriza por un predominio de harzburgitas, y en menor grado dunitas; también se han descrito dunitas plagioclásicas, wehrlitas, lherzolitas, y piroxenitas (Ríos y Cobiella, 1984; Fonseca y otros, 1985, 1992, Torres, 1987; Andó y otros, 1989; García y Fonseca, 1994; Proenza y otros, 1999).

Estas rocas se caracterizan por presentar un grado de serpentización variable, lo cual ha sido objeto de contradicción y explicado de modo diferente por varios investigadores, llegando incluso a considerarse el proceso como una manifestación de autometamorfismo de las intrusiones. Sin embargo, ha predominado el criterio de

procesos dinamo-metamórficos durante la elevación y emplazamiento de las grandes masas peridotíticas a la superficie en presencia de agua, ya que la serpentización, como se ha señalado en diversas investigaciones se desarrolla más intensamente hacia los bordes de los macizos sobre todo, en los límites tectónicos de sobrecorrimentos de estos sobre las rocas autóctonas, en las zonas de fallas interiores de los macizos y en las zonas de contacto con las rocas básicas.

Los cumulos de gabros forman grandes cuerpos con dimensiones entre 1 y 3 Km de ancho, por 10 a 15 Km de longitud. El contacto entre los gabros y el complejo ultramáfico generalmente es tectónico. Los principales tipos petrológicos descritos son: gabros olivínicos, gabronorita, gabros, anortositas y noritas (Ríos y Cobiella, 1984; Fonseca y otros, 1985; Torres, 1987; Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999; Rodríguez, R. 2000). En el área de estudio el más común es el gabro bandeado o modalmente transicional, cuyas bandas tienen una foliación concordante con el complejo de tectonitas. Las bandas son de color oscuro algo verdoso con textura masiva o fluidal.

Los gabros isotrópicos al parecer no se desarrollan o están muy mal representados. En la región de estudio los gabros afloran siempre asociados a las serpentinitas, apareciendo en forma de bloques en las zonas de Quesigua-Cayo Guam-Mercedita, Centeno-Miraflores y Farallones-Caimanes.

El complejo de diques de diabasas está muy mal representado, razón por la cual puede inferirse una expansión (spreading) lenta de la corteza oceánica. Las diabasas descritas en la región aparecen principalmente en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del complejo cumulativo (Torres, 1987).

El complejo vulcano-sedimentario contacta tectónicamente con los demás complejos del corte ofiolítico (Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999 y 2000). Está representado por la Fm. Quibiján (Iturralde-Vinent, 1996, 1998) la cual incluye basaltos amigdaloides y porfíricos (algunas veces con estructura de almohadilla), con intercalaciones de hialoclastitas, tobas, capas de *cherts* y calizas (Quintas, 1989). Datos de trazas (REE,

LILE) de esta formación, publicados por Keer y otros (1999) demuestran su carácter de *Island-arc tholeiite* (IAT). Este complejo aflora en la región de Farallones, al sur de Yamanigüey y en un pequeño bloque en Cupey.

Según Quintas la formación de Quibijan se puede dividir en tres secuencias: inferior, media y superior:

La primera (secuencia inferior) tiene un espesor de 550 m, la media es parecida a la inferior, pero predominan las lavas-brechas y las tobas lapillíticas de grano grueso a fino, litoclásticas y litocristaloclásticas con estratificación gradacional y laminar. La composición de las lavas y las tobas basáltica (qué cosa). El espesor es de unos 350m.

La secuencia superior no esta bien aflorada y las rocas se presentan con agrietamientos intensos y metamorfizadas; pero en los que se puede observar diversos mantos de lavas basálticas microfaneríticas porfiríticas, a veces amigdaloidales con algunas intercalaciones porfiríticas andesito-basálticas de color verde oscuro caracterizándose los mantos por ser muy gruesos a masivos, en ocasiones presentando una esquistosidad incipiente y cloritización. El espesor probable de este corte es de 300m.

En general, las vulcanitas se presentan muy diaclasadas y hasta esquistosas y milonitizadas en la proximidad de las grandes fallas, donde incluso en ocasiones las vulcanitas budín hadas son rodeadas por una fina milonita esquistosa.

El limite de la Fm de Quibiján no ha sido observado pero la parte superiores evidente tectónico, yaciendo indistintamente sobre esta formación las serpentinitas o las metamórficas.

- *Arco de islas volcánicas del Cretácico (Paleoarco)*

El arco se compone de depósitos volcánicos del Aptiense al Campaniense medio, estas rocas volcánicas están situadas mediante contacto tectónico sobre

las ofiolitas del cinturón septentrional; aunque en determinadas regiones, mantos tectónicos de ofiolitas son los que cabalgan a las rocas volcánicas. Según Iturralde Vinent (1994, 1996), el basamento del arco volcánico es una corteza oceánica de edad pre – aptiense, la cual ha sido reconocido en Cuba Oriental (anfíbolitas de Güira de Jauco).

Se considera que la zona de subducción sobre la que se desarrolló el arco del Cretácico tenía inclinación al norte. Esta unidad está ampliamente desarrollada en la región, representada por las rocas de las formaciones Téneme, Santo Domingo, así como del Complejo Cerrajón.

Los materiales de la formación Santo Domingo y los complejos Cerrajón (Purial ¿?) se encuentran imbricados tectónicamente con las ofiolitas de la faja de Mayarí – Baracoa. Muchas veces los contactos coinciden con las zonas que presentan una mezcla de bloques de vulcanitas pertenecientes al arco y de ofiolitas, Iturralde Vinent, (1996).

La Fm. Téneme (Cretácico Superior-Inferior), está localizada al oeste de la región de Sagua de Tanamo, de acuerdo con el mapa geológico de Cuba 1:500000 (Linares et al, 1985) fue incluido en la formación Santo Domingo. Más tarde fue independizada como una unidad litoestratigráfica. Está compuesta fundamentalmente 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). Tiene un área de 40 Km² y se encuentra tectónicamente por encima de las rocas ultramáficas.

La secuencia volcánica de Téneme fue estudiada en detalle a lo largo del río Grande por Adamovich et al. (1963) y Knipper and Cabrera (1974), quienes la dividieron en 3

secciones. La sección más joven está representada por basaltos andesíticos, con unos 500 m de espesor; la parte intermedia está representada por basaltos, basaltos andesíticos y espilitas con 1200 m de espesor, finalmente la parte superior compuesta de una secuencia de lavas de 300 m de espesor, intercaladas con capas de tufitas y arenas tufíticas.

La Fm. Santo Domingo (Albiense-Turonense) está compuesta por tobas y lavobrechas andesíticas, dacitas, tufitas, argilitas, lutitas volcanomícticas, lavas basálticas, liparito-dacíticas, 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-Turonense) está compuesto de diques subparalelos de diabasas y gabrodiabasas (Gyarmati y Leyé O'Connor, 1990; Gyarmati y otros, 1997). La actividad volcánica se extendió desde el Aptiano 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*

En el Campaniense medio, culminó la actividad volcánica y comenzaron los procesos de cabalgamiento de las secuencias volcánicas generadas y de las ofiolitas del mar marginal (obducción) sobre el borde meridional de la Plataforma de Las Bahamas. En estas condiciones de inestabilidad tectónica se desarrollaron una serie de cuencas, que se comportaron como cuencas de *"piggy back"* (también denominadas "cuencas superpuestas de primera generación"; Quintas, 1989). De este estadio son representativas las formaciones sedimentarias Mícara, La Picota y Gran Tierra.

Dentro de las mismas se encuentran secuencias típicamente olistostrómicas como es el caso de la Fm. La Picota (Maestrichtiano) tiene 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. Existen dudas en algunas regiones donde afloran brechas muy cataclastizadas formando parte de los melanges acerca de su pertenencia a esta formación o si son brechas tectónicas.

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.

La Fm. Mícara (Maestrichtiano-Paleoceno), las cuales están compuestas 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, 1978, 2000; Quintas, 1989, 1996; Gyarmati y Leyé O'Connor, 1990).

Por otro lado, la Fm. Gran Tierra (Paleoceno) se compone de calizas brechosas, conglomerados volcanomícticos, brechas, margas, tobas, calizas organo-detriticas, areniscas volcanomícticas de cemento calcáreo, lutitas y tufitas (Cobiella, 1978; Quintas, 1989). En algunas localidades los depósitos Maastrichtiense-Daniano de tipo olistostrómico-flyschoides (formaciones Mícará y La Picota) transicionan a la secuencia del Daniano-Eoceno Superior (formaciones Gran Tierra, Sabaneta, Charco Redondo y San Luis) (Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Cobiella, 2000).

El área de afloramiento de la formación Mícará es muy diversa, aflorando en los flancos meridionales de la sierra del Cristal, cuenca de Sagua de Tánamo, Mayarí Arriba, Sector de Los Indios de Cananova y borde suroeste del cerro de Miraflores.

La formación La Picota 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 es una secuencia terrígeno-carbonatada que aflora en los flancos meridionales de la sierra de 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.

- Cuencas de "*piggy back*" del Eoceno Medio-Oligoceno

En el Eoceno Medio Inferior concluyó la actividad volcánica paleógena. A partir de este momento y hasta el Oligoceno se desarrolló un segundo estadio de cuencas de *piggy back* (Quintas y Blanco, 1993) en las cuales se depositaron espesores considerables de

materiales terrígenos y carbonatados. 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 organo-detriticas, aporcelanadas, algaceas y margas (Nagy y otros, 1976), mientras que 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 organo-detriticas, 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 (Eoceno Superior) se compone de lutitas y margas con intercalaciones de lutitas y conglomerados con fragmentos de calizas arrecifales, serpentinitas y rocas volcánicas (Cobiella, 1978; 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 (Eoceno Medio-Superior) se conforma de conglomerados polimícticos con estratificación lenticular 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 (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 (Oligoceno-Mioceno Inferior) está conformada fundamentalmente por alternancia de lutitas, areniscas, arcillas calcáreas y espesor variable de calizas biodetríticas (Cobiella, 1978; Quintas, 1989; Crespo, 1996).

- El "Neoautóctono" (Materiales post-Eoceno)

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 las costas 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; Crespo, 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'Connor, 1990; Crespo, 1996).

La Fm. Yateras (Mioceno Inferior) se compone de alternancia de calizas biodetríticas y detríticas y calizas biógenas de granos finos a gruesos, duras, de porosidad variable y a vecesaporcelanadas (Iturralde-Vinent, 1976; Nagy y otros, 1976; Cobiella, 1978; Gyarmati y Leyé O'Connor, 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, biohérticas, calcarenitas y arcillas. Las arcillas y lutitas pueden ser yesíferas (Nagy y otros, 1976; Albear y otros, 1988; Manso, 1995).

La Formación Majimiana está constituida por calizas organo-detríticas 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. 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; Manso, 1995). Esta formación aflora por toda la costa en la región de Cananova y Yamanigüey.

La Fm. Río Maya (Plioceno Superior-Pleistoceno Inferior) se conforma de calizas biohérticas 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).

1.4 Tectónica

Desde el punto de vista geológico el área se encuentra dentro de los límites del denominado Bloque Oriental Cubano, el cual es el más oriental de los tres grandes bloques que constituyen la estructura geológica cubana, con límites muy bien definidos por los siguientes sistemas de fallas regionales:

- Sistema de fallas Cauto-Nipe. (oeste-noroeste.)
- Falla transformante de Bartlet. (sur).
- Falla de Sobrecorrimento Sabana (norte).

Estas fallas se cortan formando un triángulo. Además el Bloque Oriental Cubano esta muy cerca del limite entre las Placas Norte Americana y Caribe; posición esta que lo hace muy vulnerable a movimientos sísmicos.

El Bloque Oriental Cubano presenta características geológicas muy particulares dentro del marco de la estructura geológica. Dentro de las principales investigaciones encaminadas al estudio de la estructura geológica cubana en general y del Bloque Oriental Cubano en particular se destacan las realizadas por los siguientes geólogos extranjeros (desde principio del siglo XX hasta finales de la década del 80):

Hayes, C. W.; Vaughan, T. W. Y Spencer, A. C. fueron los primeros geólogos norteamericanos que realizaron estudios geológicos en la parte oriental de la Isla de Cuba. Publicaron en el 1901 su “Informe sobre investigaciones geológicas en Cuba”, donde tratan las diferentes estructuras geológicas de la antigua provincia de Oriente.

A inicios de la década del treinta fueron publicados varios trabajos de Taber, S. quien realizó la división tectónica de la región de la Sierra Maestra y sus áreas aledañas.

En los 25 últimos años numerosos geólogos cubanos han encaminado sus investigaciones hacia la profundización del conocimiento de las particularidades geológicas de este bloque, destacándose las siguientes:

Cobiella, J. L., (1978) realizó su tesis doctoral relacionada con la estratigrafía y paleogeografía del Paleógeno de Cuba Oriental, al igual que Quintas, F. (1989) pero en áreas pertenecientes al Bloque Oriental Cubano, en este caso fue un análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. Mediante esta investigación planteo el concepto de AEF, enunciándolo de la siguiente forma “conjunto rocoso de características estructurales y estratigráficas ligadas generalmente a una unidad tectónica dada y que son representativos del desarrollo de la corteza terrestre en una región determinada”. Hay que destacar que el mismo tiene cierta relación con el de formación utilizados por los geólogos rusos.

Blanco, J y Proenza, J. (1994) desarrollaron una investigación en todo el Bloque oriental Cubano, dividiendo a este en terrenos tectono-estratigráficos.

Iturralde-Vinent, M. realizó en 1996 una nueva sistematización para toda Cuba, incluyendo el Bloque Oriental Cubano, esta división es la más reciente e integral de todas las desarrolladas hasta el momento.

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

Este bloque se caracteriza por el amplio desarrollo de la tectónica de cabalgamiento que afecta las secuencias más antiguas. (Campos, 1983).

Localmente esta complejidad en la región de estudio se pone de manifiesto a través de estructuras fundamentalmente de tipo disyuntivas con dirección noreste y noroeste, que se cortan y desplazan entre sí, formando un enrejado de bloques y

microbloques con movimientos verticales diferenciales, que se desplazan también en la componente horizontal y en ocasiones llegan a rotar por acción de las fuerzas tangenciales que los afecta como resultado de la compresión (Campos, 1983, 1990; Rodríguez, A. 1998a, 1998b). 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 - Maastrichtiense 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 (Rodríguez, A, 1998b), que a su vez provocan desplazamientos horizontales de reajuste en todo el Bloque Oriental Cubano.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.

2.1 Introducción

La presente tesis de grado tiene entre sus objetivos realizar una clasificación geoquímica de las rocas volcánicas del noreste de Cuba a partir de elementos trazas relativamente inmóviles (HFSE y REE), la evaluación del magma fuente y ambiente tectónico y las implicaciones en la tectónica de placa. Para poder

comprender estos aspectos es necesario pasar revista a los conceptos y definiciones modernas de la Geoquímica de elementos trazas y sus implicaciones en la modelación de procesos geológicos, así como la metodología que permita el análisis confiable de los datos geoquímicos.

Para caracterizar la región fuente del manto de las lavas basálticas los geoquímicos usan una variedad de trazadores geoquímicos. Tales trazadores suelen ser los elementos trazas (elementos móviles, inmóviles y tierras raras).

En 1970 los geoquímicos desarrollaron la idea de un manto químicamente estratificado, con una capa superior agotada y una capa más profunda no agotada (denominada también primitiva), a partir de las diferencias existentes entre los basaltos de dorsales centro oceánicas (MORB-siglas en inglés), los cuales provienen de regiones del manto que están agotadas en todos los elementos incompatibles, y los basaltos de islas oceánicas (OIB-siglas en inglés) que están menos agotadas o algo enriquecidas.

Las islas oceánicas a menudo forman alineamientos de volcanes de edad progresivamente crecientes, que son creadas por un aparente estacionamiento de fuertes calientes (“*hotspot*”) bajo una placa en movimiento (Hofmann, A.W., 1997) [En: Hofmann, A. W. (1997). *Natura*. Vol 385, 16, Januari]

Los rasgos geoquímicos de los basaltos tipo MORB y los tipo OIB difieren notablemente de los basaltos de arcos de islas toleíticos (IAT-siglas en inglés). Estos últimos se vinculan a zonas de subducción como resultado de la convergencia de dos placas oceánicas. Estos aspectos tienen gran importancia para la región de estudio ya que hasta la presente investigación no se tenían sólidos criterios geoquímicos para diferenciar las diferentes rocas volcánicas que afloran en el macizo Mayarí-Baracoa. De ahí el hecho de que los basaltos de la Formación Quibiján, descrita por Quintas (1989) hayan sido considerados y

tratados indistintamente como basaltos de fondos oceánicos y como toleitas de arcos de isla.

Para poder comenzar el desarrollo de la presente tesis de grado ha sido imprescindible consultar una gran cantidad de bibliografía en idioma inglés ya que todos los aspectos geoquímicos tratados por la autora han sido muy novedosos y de gran actualidad para la formación profesional.

En el organigrama representado en la figura 4 se muestran las diferentes etapas en que transcurrió la investigación desde el mismo momento en que se decidió su realización bajo la tutoría del Dr. Roberto Díaz Martínez.

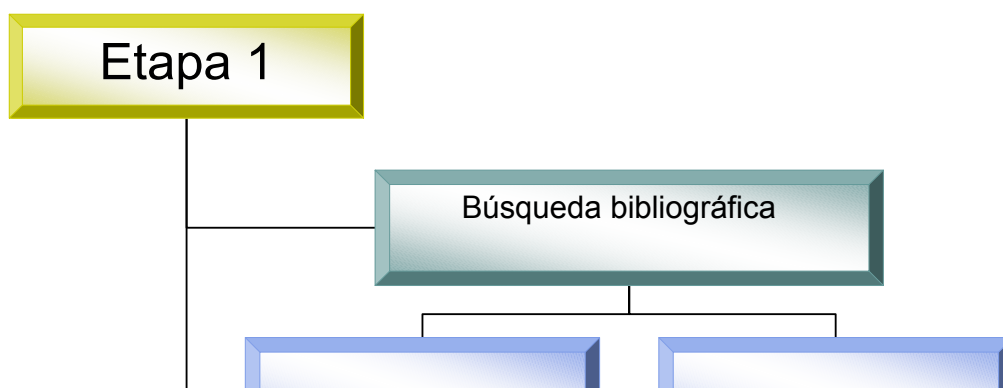
A continuación se procederá a explicar brevemente las diferentes etapas de la investigación conforme la figura 4.

2.2 METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS

2.2.1 Etapa I: Búsqueda y análisis de la bibliografía

Durante la primera etapa se realizó una exhaustiva búsqueda bibliográfica tanto en el fondo geológico del Departamento de Geología como en el Centro de Información Científico Técnico del ISMM de Moa. Primeramente se procedió a la revisión de la literatura sobre el tema y la misma consistió en detectar, obtener y consultar la bibliografía y otros materiales útiles para los propósitos del estudio.

Una vez detectada y obtenida la información se procedió a su consulta. Se consultaron solamente las fuentes primarias, tales como libros, revistas científicas, artículos de publicaciones periódicas, CD-ROM de los últimos tres congresos de Geología, tesis doctorales y tesis de maestrías realizadas por docentes del Departamento de Geología.



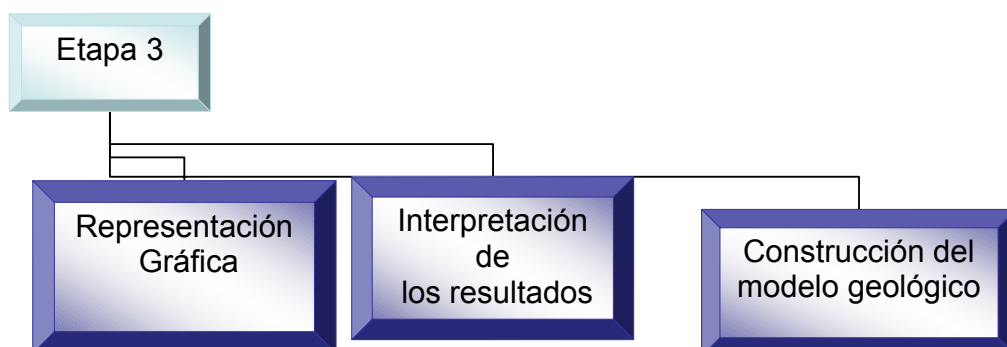
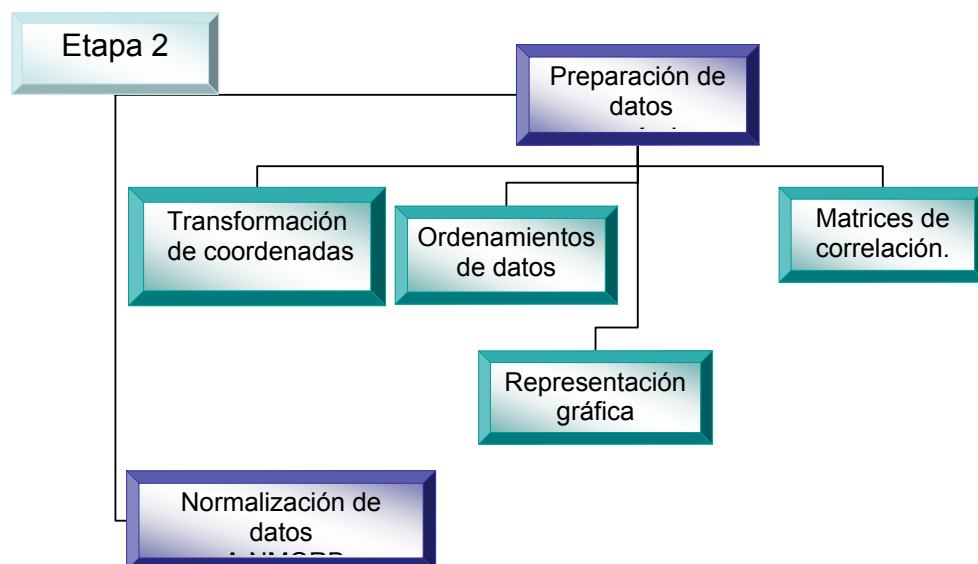


Figura 4. Cronograma de los trabajos realizados.

La última operación realizada durante esta primera etapa fue la obtención de los datos geoquímicos. Las muestras fueron tomadas en diferentes áreas del macizo Mayarí-Baracoa (ver fig. 1) en el mes del enero del 2004 por docentes del Departamento de Geología de la Facultad de Geología y Minería y docentes del Departamento de Cristalografía y Yacimientos minerales de la Universidad de Barcelona. Se tomaron 48 muestras de rocas y posteriormente fueron analizadas en el laboratorio de ICP de Washington, en los Estados Unidos de Norteamérica por el método ICP-MS. Los resultados analíticos se obtuvieron en el mes de diciembre del 2004 y enviados al Departamento de Geología en febrero del 2005, fecha en que debía comenzar la realización de la presente tesis de grado.

2.2.2. Etapa 2: Preparación de los datos analíticos para su representación, análisis e interpretación.

El empleo de los elementos trazas ha devenido componente vital de la petrología moderna y tienen mayor posibilidad de discriminar los diferentes procesos petrológicos que los elementos mayores (Rollison, 1997)

Los elementos trazas son aquellos elementos que están presentes en niveles inferiores a 0,1 % (1000 ppm) y sus concentraciones se expresan en partes por millón o más raramente en partes por billón (ppb; 1 billón= 10^9).

Algunos elementos en un grupo de rocas se comportan como elemento mayores y en otro grupo como elementos trazas. Un ejemplo es el potasio, que es un constituyente

principal de las riolitas, alcanzando más del 4 % en peso de la roca y esta presente en la ortoza y la biotita. Sin embargo, en algunos basaltos las concentraciones de K son muy bajas y no forman fases minerales independientes; en este caso el K deviene un elemento traza.

Los elementos trazas se clasifican según su posición en la tabla periódica y según su comportamiento en los sistemas magmáticos. Según su posición en la tabla tenemos:

- 1) **Elementos de las Tierras Raras o Lantánidos.** Aquellos elementos con números atómicos desde el 57 hasta el 71; ellos son: La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu.
- 2) **Metales de transición.** Aquellos elementos con números atómicos del 21 al 30; ellos son: Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn.
- 3) **Elementos del grupo del platino.** Se subdividen en dos grupos, los pesados con números atómicos del 44 al 46 (Ru, Rh, Pd) y los ligeros con números del 76 al 79 (Os, Ir, Pt).
- 4) **Los metales nobles.** Cuando a los elementos del grupo del platino se le añade el oro.

Según su comportamiento en los sistemas magmáticos tenemos los grupos siguientes:

- 1) **Elementos compatibles.** Prefieren la fase mineral.
- 2) **Elementos incompatibles o higromagmáticos.** Permanecen en el fundido.

Los elementos incompatibles se subdividen en función del potencial iónico (P_i) (relación carga/radio iónico) en:

- 1) Cationes con carga electrostática alta (HFSE-siglas en inglés: High Field Strength Elements). El P_i es mayor que 2. En este grupo entran: Zr, Nb, Ta, Th y U.
- 2) Cationes con baja carga electrostática (LFSE- siglas en inglés: Low Field Strength Elements). Estos incompatibles también se les conoce como LILE, que son elementos litófilos de grandes iones. En este grupo entran: K, Rb, Cs, Sr y Ba.

Los elementos de las tierras raras (REE-siglas en inglés) también se subdividen en ligeras (LREE-siglas en inglés) y pesadas (HREE-siglas en inglés). Las ligeras están representadas por los siguientes elementos: La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu y Gd, mientras que las pesadas son: Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu.

Las concentraciones de elementos de las tierras raras en las rocas usualmente son normalizadas en relación a un estándar de referencia, que comúnmente incluye los valores de los meteoritos condriticos. Los meteoritos condriticos fueron seleccionados debido a que ellos constituyen muestras relativamente no fraccionadas del sistema solar. Las concentraciones de las REE en el sistema solar son muy variables debido a las diferentes estabilidades de los núcleos atómicos. Las REE con números atómicos pares son más estables (y por tanto más abundantes) que las tierras raras con números atómicos impares, produciendo un modelo de zig-zag en los diagramas composición-abundancia.

Estos modelos de abundancia también se observan en muestras naturales. Por tanto, la normalización condritica tiene dos importantes funciones. Primeramente se eliminan las variaciones de abundancia entre los elementos con números atómicos pares e impares y en segundo lugar permite cualquier fraccionamiento del grupo de las REE en relación con los meteoritos condriticos que son identificados. Los valores normalizados y relaciones de valores normalizados son anotados con N, por ejemplo Ce_N , $(La/Ce)_N$. Los valores condriticos utilizados en la normalización se dan en la tabla 2.

Tabla 2. Valores condriticos (en ppm) utilizados en la normalización de los elementos de las tierras raras.

	Wakita	Haskin	Masuda	Nakamura	Evensen	Boynton	T& M	Manto primitivo
Método analítico	NAA	NAA	IDMS	IDMS	IDMS	IDMS	IDMA	
Condrito(s) analizado:	Compósito	Compósito	Leede	Compósito	Prom.CI	Prom. CI	Prom. CI	
(Ref):	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
La	0.340	0.330	0.3780	0.3290	0.244 60	0.3100	0.3670	0.7080
Ce	0.910	0.880	0.9760	0.8650	0.637 90	0.8080	0.9570	1.8330
Pr	0.121	0.112			0.096 37	0.1220	0.1370	0.2780

Nd	0.640	0.600	0.7160	0.6300	0.473 80	0.6000	0.7110	1.3660
Sm	0.195	0.181	0.2300	0.2030	0.154 00	0.1950	0.2310	0.4440
Eu	0.073	0.069	0.0866	0.0770	0.058 02	0.0735	0.0870	0.1680
Gd	0.260	0.249	0.3110	0.2760	0.204 30	0.2590	0.3060	0.5950
Tb	0.047	0.047			0.037 45	0.0474	0.0580	0.1080
Dy	0.300		0.3900	0.3430	0.254 10	0.3220	0.3810	0.7370
Ho	0.078	0.070			0.056 70	0.0718	0.0851	0.1630
Er	0.200	0.200	0.2550	0.2250	0.166 00	0.2100	0.2490	0.4790
Tm	0.032	0.030			0.025 61	0.0324	0.0356	0.0740
Yb	0.220	0.200	0.2490	0.2200	0.165 10	0.2090	0.2480	0.4800
Lu	0.034	0.034	0.0387	0.0339	0.025 39	0.0322	0.0381	0.0737
Y							2.1000	

- (1) Wakira et al. (1971): compósitos de 12 condritos.
- (2) Haskin et al. (1968): compósitos de 9 condritos.
- (3) Masuda et al. (1973): Condrito Leedeey.
- (4) Nakamura (1974).
- (5) Evensen et al. (1978): promedio de los condritos CI.
- (6) Boynton (1984).
- (7) Taylor and McLennan (1985): 1.5 x el valor de Evenson [columna (5)].
- (8) McDonough et al. (1991).

Este mismo procedimiento se sigue para la normalización al N-MORB. En la tabla 3 se dan los valores utilizados en la normalización de las tierras raras.

Tabla 3. Valores utilizados en la normalización de las tierras raras al N-MORB (ppm).

Nombre del elemento	Símbolo	Valores N-MORB
Lantano	La	2,5
Cerio	Ce	7,5
Praseodimio	Pr	1,32
Neodimio	Nd	7,3
Samario	Sm	2,63
Europio	Eu	1,02
Gadolinio	Gd	3,68
Terbio	Tb	0,67
Dysprosio	Dy	4,55
Holmio	Ho	1,01
Erbio	Er	2,97
Tulio	Tm	0,456
Iterbio	Yb	3,05
Lutecio	Lu	0,455

Los diagramas multi-elementos normalizados o diagramas de elementos incompatibles (Spider diagram) permiten conocer la composición de las rocas ígneas y su relación con el manto, la corteza o cualquier ambiente tectonomagmático. Para ello es necesario conocer los contenidos en un N-MORB usados en la normalización de las tierras raras. En la tabla 4 se representan los contenidos de las condritas utilizados en la normalización de los elementos de las tierras raras, según diversos autores.

Tabla 4. Valores utilizados en los “*spider diagrams*” normalizados al N-MORB (ppm).

Nombre del elemento	Símbolo	N-MORB
Rubidio	Rb	0,56
Bario	Ba	6,3
Torio	Th	0,12
Uranio	U	0,047
Niobio	Nb	2,33
Tántalo	Ta	0,132
Potasio	K	600
Lantano	La	2,5
Cerio	Ce	7,5
Praseodimio	Pr	1,32
Estroncio	Sr	90
Fósforo	P	510
Neodimio	Nd	7,3
Samario	Sm	2,63
Circonio	Zr	74
Hafmio	Hf	2,05
Europio	Eu	1,02
Titania	Ti	7600
Terbio	Tb	0,67
Dysprocio	Dy	4,55
Yterbio	Y	28
Holmio	Ho	1,01
Erbio	Er	2,97
Telmio	Tm	0,456
Yterbio	Yb	3,05
Lutecio	Lu	0,455

2.2.3. Representación e interpretación de os resultados obtenidos.

La representación de los datos se realizó en diagramas bivariados y diagramas triangulares. Para ello se empleó el Grapher y el Excel. El mapa geológico regional se elaboró a partir del mapa digital de Cuba, adquirido recientemente por el Departamento de geología del ISMM de Moa. Se emplearon las hojas de Mayarí, Sagua de Tánamo, Barredera, Moa y Baracoa. Los mapas fueron elaborados en Autocad Map versión 2000. Cada hoja fue exportada a ficheros DXF y abiertos en Surfer versión 8 mediante la opción Base Map; posteriormente fueron superpuestos con la opción Overlie.

CAPÍTULO III. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

3.1. INTRODUCCIÓN

Una vez consultadas y analizadas todas las fuentes bibliográficas, consistentes fundamentalmente en artículos científicos relacionados con la temática y que datan desde 1986 hasta la actualidad, así como resúmenes de trabajos presentados en congresos y otros eventos nacionales e internacionales se ha podido conformar un cuadro geológico más realista conforme las relaciones de campo entre las diferentes formaciones volcánicas, sus relaciones con las rocas de la asociación ofiolitas, las cuales no pueden ser desestimadas y las nuevas concepciones acerca de la teoría de la tectónica de placas.

Por otro lado, el procesamiento, representación e interpretación de los datos geoquímicos han permitido caracterizar geoquímicamente las vulcanitas del Cretácico del noreste de Cuba, establecer el origen del magma fuente y el ambiente tectonomagmático de formación.

En los siguientes acápites se recogen los principales resultados obtenidos en la presente investigación.

3.2. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LAS VULCANITAS CRETÁICAS DEL NORESTE DE CUBA.

Las rocas pertenecientes al arco de isla de Cuba forman parte del arco de isla de Las Antillas mayores, el cual constituye un segmento de arco que se extiende desde Cuba

por el oeste hasta Islas Vírgenes por el este en Puerto Rico (Fig.) y en términos vulcanológico ha estado inactivo desde el Eoceno en que ocurrió la colisión con la plataforma carbonatada de Las Bahamas.

Las rocas PIA han sido estudiadas principalmente en Puerto Rico e Islas Vírgenes. En Cuba Central se ha descrito la geoquímica de la sección Cretácica (Díaz de Villavilla (1988) y Stanek y Cabrera (1991). Según estos investigadores existe una sección volcánica antigua pre-Aptiense toleítica y una sección que sobreyace a la anterior pos-Albiense calcoalcalina a shoshonítica. La falta de datos geoquímicos de elementos trazas no permiten corroborar lo antes expuesto y por tanto dichas afirmaciones carecen de fundamentación científica. En la figura 5 aparece la distribución de las rocas PIA en el área de Las Antillas Mayores.

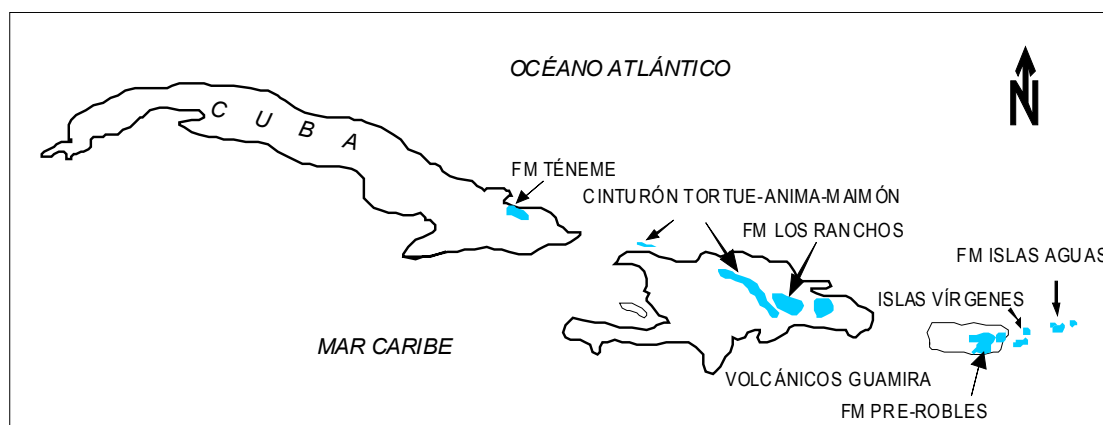


Figura 5. Afloramientos de rocas del arco de isla volcánico primitivo de las Antillas Mayores (mapa modificado a partir de Donnelly et al. 1990).

3.2.1. Características geológicas de las Vulcanitas Cretácicas de la Formación Quibiján.

La sección Vulcano-sedimentaria relacionada con los cuerpos máfico-ultramáficos en el macizo Moa-Baracoa ha sido denominada Formación Quibiján por Quintas (1988). Esta formación tiene su sección tipo a lo largo de la cuenca del río Quibiján (Fig. 5). El subdividió la unidad en tres partes, aunque predominan los basaltos y rocas relacionadas. Según este autor, la secuencia volcánica tiene más de 500 metros de espesor, y está constituida de basaltos porfíricos y amigdaloidales y rocas tobáceas.

La edad de estas rocas en base a estudios paleontológicos (microfósiles planctónicos) es Albiense?- Coniaciense? : 113 – 87.5 Ma.



Figura 5. Afloramientos de la Formación Quibiján a la largo del río del mismo nombre.

3.2.2. Características geológicas de los volcánicos Morel, La Melba y Centeno.

En la localidad de Morel las rocas volcánicas consisten de una secuencia de pillow basalts con intercalaciones de chert y hialoclastitas. Kerr et al. (1999) analizaron dos muestras de esta secuencia exhibiendo afinidad toleíticas de arco de isla y han sido interpretadas como formadas en una cuenca de Back arc.

La misma situación se observa en Duaba aunque la diferencia es en el grado de meteorización y fracturación a que han sido sometidas estas rocas volcánicas.

3.2.3. Características geológicas de las Vulcanitas cretácicas de La Melba

En la zona de La Melba, a unos 200 metros antes de llegar a la Mina Merceditas afloran rocas volcánicas de edad Cretácico. Estas rocas están compuestas por basaltos y diabasas de grano fino, muy agrietadas

3.2.4. Características geológicas de las Vulcanitas Cretácicas de la Formación Téneme.

La Formación Téneme se localiza en el macizo Mayarí-Cristal, al oeste de la ciudad de Sagua de Tánamo (Anexo 1). Estas rocas volcánicas, según el mapa geológico de Cuba (Linares et al., 1985), fueron incluidas dentro de la Formación Santo Domingo. Más tarde, los volcánicos de Téneme fueron formalizados como una unidad litoestratigráfica independiente (Formación Téneme, ver mapa geológico de la República de Cuba 1: 250 000; Pushcharovski et al. (1988).

Según Iturralde-Vinent et al. (2005), la edad de la Formación Téneme es Cretácico superior (Turonense o Coniacense inferior).

Las rocas pertenecientes a la Formación Téneme han sido consideradas pertenecientes al arco PIA circum-caribeño de las Antillas Mayores; sin embargo no existen datos

geoquímicos suficientes que apoyen esta idealizada falta de datos geoquímicos un PIA, correlacionable con la Formación Los Pasos en Cuba Central y la Formación Los Ranchos en República Dominicana. Estas

En la región de estudio la Formación Téneme ocupa un área de aproximadamente 40 km² (Fig. 6), y tectónicamente es sobreyacida por las ultramafitas del macizo ofiolítico Mayarí-Cristal (Fig.7).

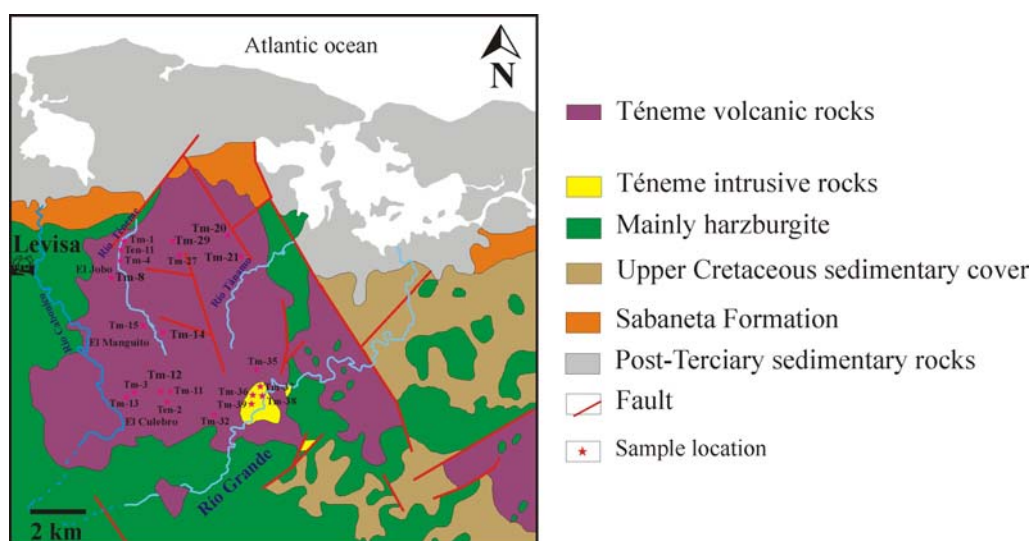


Figura 6. Esquema geológico de la zona de desarrollo de los volcánicos de la Formación Téneme. (tomado del mapa 1: 250 000 de la República de Cuba).

Hacia el norte del área de estudio, los volcánicos de Téneme son sobreyacidas por las rocas vulcanógeno-sedimentarias de la Formación Sabaneta, mientras que hacia el este ellos contactan tectónicamente con las rocas sedimentarias Cretácico-Paleoceno (Formaciones Mícara y La Picota).

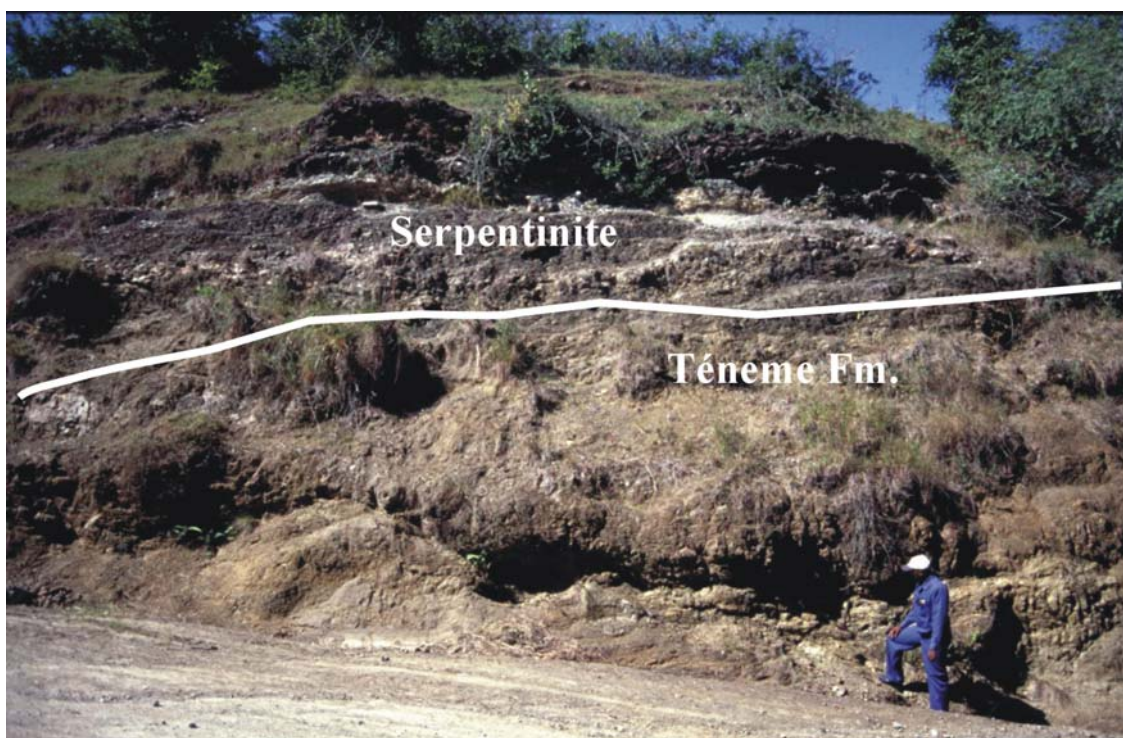


Figura 7. Contacto tectónico donde se observa las serpentinitas cabalgando los volcánicos de la Formación Téneme.

Las rocas volcánicas de la Formación Téneme están compuestas por basaltos, hialoclastitas y algunas intercalaciones de calizas, pizarras calcáreas y tufitas.

La edad de las rocas volcánicas de la Formación Téneme, según Iturralde-Vinent et al., (2005) es Turoniense o Coniaciense Inferior: 91 – 87 Ma).

3.2.2. Características geológicas de las Vulcanitas Cretácicas de Farallones.

Las rocas volcánicas que afloran en diferentes puntos del río Moa han sido descritas por la brigada cubano-húngara como el Complejo de Cerrajón. Estas rocas son muy similares a las de Guamuta.

3.2.3. Características geológicas de las Vulcanitas Cretácicas de Guamuta.

Al noreste de la meseta Pinares de Mayarí afloran rocas de composición básica que inicialmente han sido descritas como el complejo de diques paralelos, típico de un corte ofiolítico. Sin embargo el reconocimiento de campo realizado recientemente por

especialistas extranjeros y docentes del departamento de geología del ISMM de Moa sugiere que no se trata de un complejo de diques paralelos sino de un posible arco de isla de edad Cretácico. El área de mayor aflorabilidad de estas rocas se ubica en la zona de Guamuta. Las mismas están constituidas por numerosos cuerpos de diabasas y basaltos de grano fino a medio y coloración gris claro. En ocasiones se presentan en forma de diques que cortan las peridotitas transversalmente a la foliación. La dirección de los cuerpos es predominantemente noreste-suroeste. En ocasiones se observan zonas de alteración metasomática en los contactos con las ultrabasitas. En estas zonas se han reportado interesantes contenidos de oro.

Las características más importantes de las rocas volcánicas del Cretácico del noreste de Cuba se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Características más importantes de algunas de las unidades o formaciones volcánicas cretácicas del noreste de Cuba involucradas en este estudio.

Unidades	Formación Quibiján	Formación Téneme	Complejo Cerrajón	Unidad Centeno
Litologías	Basaltos porfiríticos y amigdaloidales, chet y hialoclastitas	Basaltos y andesitas basálticas, espilitas,	Diabasas y microgabros(?)	Basaltos almohadillados,
Espesores	500 m	1000 m	-	-
Edad	Albiense-Cenomaniense	Turonense o Coniaciense	-	Cretácico Sup.
Marco geodinámico	Arco magmático	Arco magmático	Arco magmático	Corteza oceánica

3.3. CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS DE LAS VULCANITAS DEL NORESTE DE CUBA.

3.3.1. Introducción

La distribución de los elementos trazas en rocas ígneas ha sido ampliamente utilizado en estudios petrogenéticos, donde se da una atención especial en las investigaciones sobre el origen y evolución de una serie de rocas ígneas, utilizando además los coeficientes de distribución (K_d) de un elemento dado. Un excelente resumen sobre la utilización de las TR en estudios petrogenéticos en rocas ígneas es presentado por Hanson (1980).

Los diferentes coeficientes de reparto de tierras raras en los minerales formadores de rocas, hace que cada mineral tenga un evento característico en el patrón de tierras raras de una fusión, la que permite identificar la actuación de dicho mineral en los procesos de diferenciación.

Las rocas volcánicas del Cretácico en el macizo Mayarí-Baracoa han experimentado diferentes procesos de deformación y transformación metamórfica, metasomática e hidrotermal dando, los cuales han dado lugar a la formación de nuevos minerales como epidota, clorita, plagioclasa, cuarzo, sulfuros, mica blanca, etc.; ejemplo de tales alteraciones han sido observadas en los basaltos de la Formación Téneme las diabasas del Complejo Cerrajón y de Guamuta entre otras. La más típica encontrada en los volcánicos del Cretácico es la espilitización.

Por tanto, cualquier interpretación que se haga a partir de los datos geoquímicos de estas rocas ha de ser cuidadosa, ya que las alteraciones provocan la movilidad potencial de elementos lítófilos de grandes radios iónicos tales como Rb ($r_i = 1,67 \text{ \AA}$), Ba ($r_i = 1,34 \text{ \AA}$), K ($r_i = 1,33 \text{ \AA}$), Sr ($r_i = 1,12 \text{ \AA}$) y Na ($r_i = 0,97 \text{ \AA}$). Sin embargo, Lewis, J. F. et al. (2000) plantean que las tierras raras Zr, Nb, Th, Hf, Y, Ti y Cr son relativamente inmóviles. Partiendo de esta observación ellas pueden ser utilizadas para evaluar las afinidades magmáticas de las rocas pertenecientes a las distintas formaciones volcánicas del macizo Mayarí-Baracoa.

No obstante, Hellman y Henderson (1977) demostraron las movilidades de las TR durante la espilitización de toleitas en la India, caracterizadas por aumento en la concentración de las tierras raras ligeras con respecto a las tierras raras pesadas. Hellman (1979) encontró evidencias de removilización de tierras raras durante el metamorfismo de bajo grado en espilitas, con removilización preferencial de las ligeras.

La caracterización geoquímica de las rocas volcánicas del noreste de Cuba va a permitir establecer relaciones entre las diferentes formaciones y discriminar el posible entorno tectonomagmático de generación.

3.3.2. Características geoquímicas de las vulcanitas de la Formación Quibiján

El patrón geoquímico de las tierras raras de las vulcanitas de la Formación Quibiján (Fig. 8) es muy similar al de Téneme. Las tierras raras ligeras muestran un ligero incremento con respecto al N-MORB. Este hecho es de particular importancia ya que el enriquecimiento en los elementos LIL es característico de los basaltos de arco de isla, habiendo sido atribuido al metasomatismo de la región fuente mantélica por fluidos derivados de la corteza oceánica subducida. Dichos fluidos añaden a la cuña mantélica empobrecida suprayacente una componente rica en los elementos más incompatibles, tales como Sr, Ba, K, Pb y LREE.

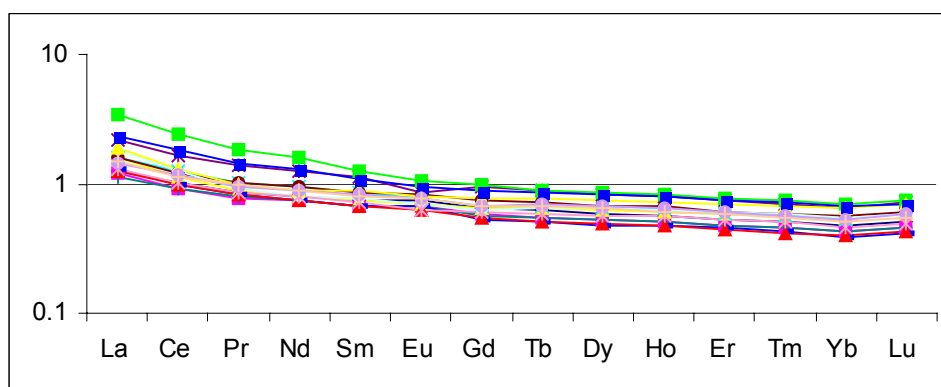


Figura 8. Diagrama de REE normalizados respecto a N-MORB (Sun y McDonough, 1989) de los basaltos de la Formación Quibiján.

Los contenidos bajos en Ta (entre 0.02 y 0.21 ppm), Nb (0.36-3.60 ppm), Ce (6.99-18.03 ppm), Zr (31-71 ppm), Hf (0.99-2.18 ppm), Sm (1.74-4.99 ppm), Y (13.75-23.25 ppm) se interpretan como heredados de una fuente ya empobrecida, al igual que los basaltos MORB. Estos aspectos se reflejan en una distribución en los diagramas multielementales siguiendo una tendencia paralela a N-MORB.

3.3.3. Interpretación geoquímica de las rocas de la Formación Téneme.

Estudios sobre la movilidad de los elementos durante los procesos de alteración muestran que los principales elementos móviles son K, Na, Rb, Ba, Sr, Ca, Mg, Si, Fe y Mn. En algunos casos, las tierras raras ligeras también presentan cierta movilidad. Sin

embargo, elementos como Nb, Y, Th, Ta, Zr, Hf, así como las tierras raras medias y pesadas son consideradas prácticamente inmóviles.

Las muestras estudiadas de la Formación Téneme pueden ser clasificadas en dos grupos según su contenido de sílice: tipo basáltico ($50 < \text{SiO}_2 < 60$ % en peso) y tipo intermedio ($60 < \text{SiO}_2 < 70$ % en peso): Ellas muestran contenidos relativamente altos de MgO (5-10 % en peso, excepto en una muestra) y exhiben una clara afinidad IAT ($\text{TiO}_2 = 0\text{-}28\text{-}0.83$ % en peso, $\text{Zr} = 28\text{-}96$ ppm, $\text{Y} = 7\text{-}17$ ppm; $\text{P}_2\text{O}_5 < 0.1$ % en peso).

Hawkesworth et al. (1993a, 1993b), subdividieron las rocas basálticas de arcos de islas en base a la relación LREE/HREE: (1) series pobres en LREE representantes de arcos intraoceánicos, y (2) series enriquecidas en LREE propias de arcos desarrollados en las proximidades de márgenes continentales.

Las rocas volcánicas de Téneme exhiben un débil enriquecimiento en tierras raras ligeras (LREE), y un empobrecimiento en tierras raras medias y tierras raras pesadas con respecto al N-MORB (Fig. 9).

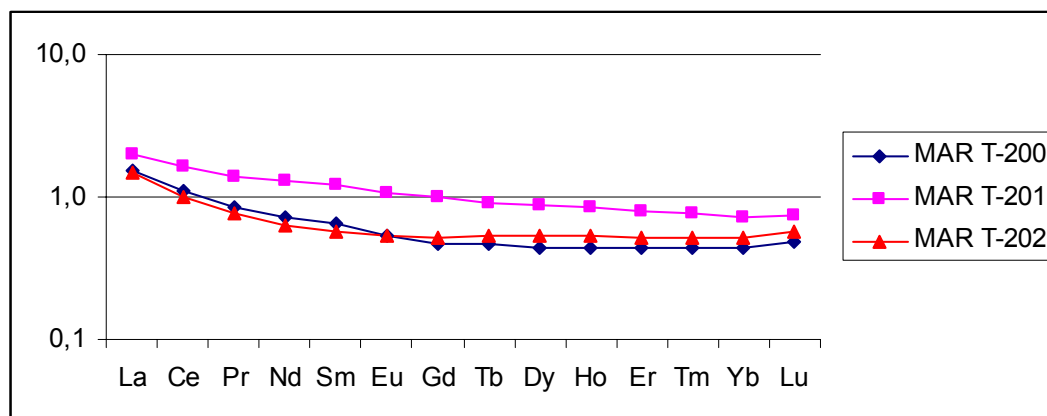


Figura 9 . Diagrama de REE normalizados respecto a N-MORB (Sun y McDonough, 1989) de las andesitas basálticas de la Formación Téneme.

El relativo enriquecimiento en tierras raras ligeras puede estar ligado a la interacción con los fluidos relacionados con la subducción o con la alteración hidrotermal. Independientemente de la posibilidad de un enriquecimiento secundario.

Un enriquecimiento similar en LREE y empobrecimiento en MREE y HREE con respecto al N-MORB se observa en meta-basaltos PIA del Cerro de Maimón (ver figura 13 en Lewis et al., 2000).

Esta figura muestra una gran similitud entre el modelo de REE de las rocas basálticas de Téneme, los metabasaltos de la Formación Maimón, y las boninitas del arco de isla del Pacífico occidental.

3.3.4. Interpretación geoquímica de las rocas del Complejo Cerrajón y la diabasas de Guamuta.

Las rocas del Complejo Cerrajón son muy similares a las diabasas de Guamuta y los patrones de distribución de tierras raras también poseen rasgos similares lo que hace ambas litologías forman parte de una misma unidad geológica. Al comparar estos patrones con los obtenidos en Quibiján y Téneme se observa las marcadas diferencias geoquímicas entre ambos grupos litológicos.

Los volcánicos del complejo de Cerrajón y de Guamuta muestran una distribución general plana y empobrecida en tierras raras ligeras y pesadas respecto al N-MORB (FA-202). Estos patrones son muy similares a los obtenidos en la Formación Maimón en República Dominicana y similar a las boninitas del Pacífico. Las tres muestras analizadas fueron tomada en la zona de Farallones, sin embargo las muestras FA 200 y FA 2001 presentan patrones muy diferentes a la FA 202.

Según se observa en la figura 10 la distribución de REE muestra un patrón muy empobrecidos en tierras raras ligeras y algo más enriquecidas en tierras raras pesadas. Se observa además una anomalía positiva de Europio, la cual pudiera estar relacionada con los procesos de alteración de las diabasas en que la rodingitización es un fenómeno común en las rocas que afloran en el río Moa, en las cercanías del poblado de Farallones. Esta alteración provoca una clarificación de la roca debido a

la formación de granate, epidota, esfena y otros minerales provocando una anomalía positiva de Eu.

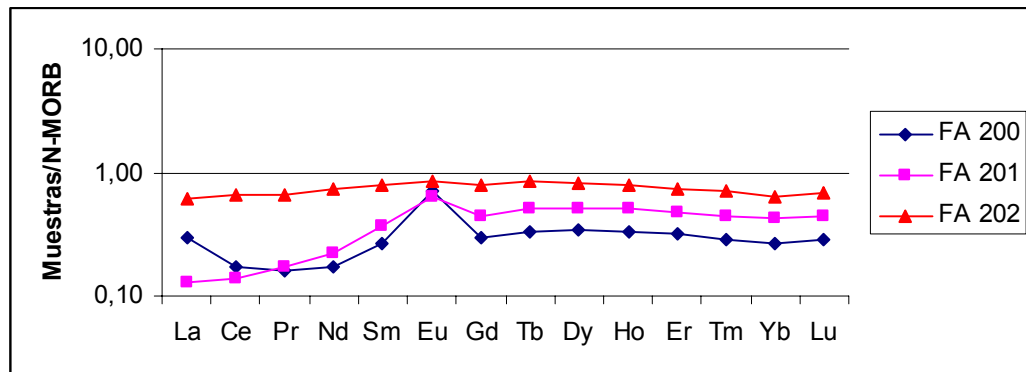


Figura 10. Diagrama de REE normalizados respecto a N-MORB de las vulcanitas del Complejo Cerrajón

El patrón de distribución de las tierras raras de las rocas volcánicas del Complejo Cerrajón es muy similar al patrón de distribución de Guamuta (Fig. 11). Las tierras raras están empobrecidas con respecto al N-MORB

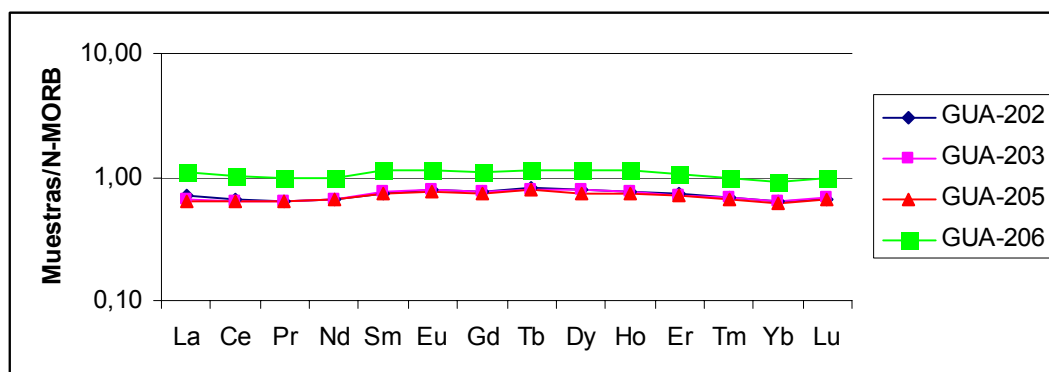


Figura 11. Diagrama de REE normalizados respecto a N-MORB de las vulcanitas de Guamuta

Este patrón de comportamiento de las tierras raras del Complejo de Cerrajón y Guamuta se puede interpretar como el registro de una evolución del primitivo arco magmático.

Pasar esto a la fuente del magma

las rocas basálticas de Téneme exhiben una relación Ce/Yb en el rango de 4.87 a 6.14. Estos valores son similares a los valores más bajos encontrados en las asociaciones de los típicos sistemas de arcos oceánicos primitivos ($Ce/Yb < 15$; Hawkesworth et al., 1993a, b). Según estos autores, la relación Ce/Yb es un buen parámetro para discriminar los arcos oceánicos menos desarrollados ($Ce/Yb < 15$) de arcos con importante subducción y/o adición de componentes de corteza continental ($Ce/Yb > 15$).

3.3.5. Interpretación geoquímica de las rocas volcánicas de Morel, La Melba y Centeno.

Los basaltos en almohadillas de la zona de Morel, La Melba y Centeno muestran gran similitud entre ellos y con respecto a un MORB. En la figura 11, 12 y 13 se observan los patrones de distribución de tierras raras para las rocas de Morel, La Melba y Centeno respectivamente. En todos los casos se observan valores por encima de 1 y en el caso de Centeno los valores son muy superiores. Estos rasgos son claras evidencias de una procedencia de otra fuente no vinculada con zonas de subducción; tales zonas pudiera ser cuencas de back arc o mar marginal, vinculado con fondos oceánicos.

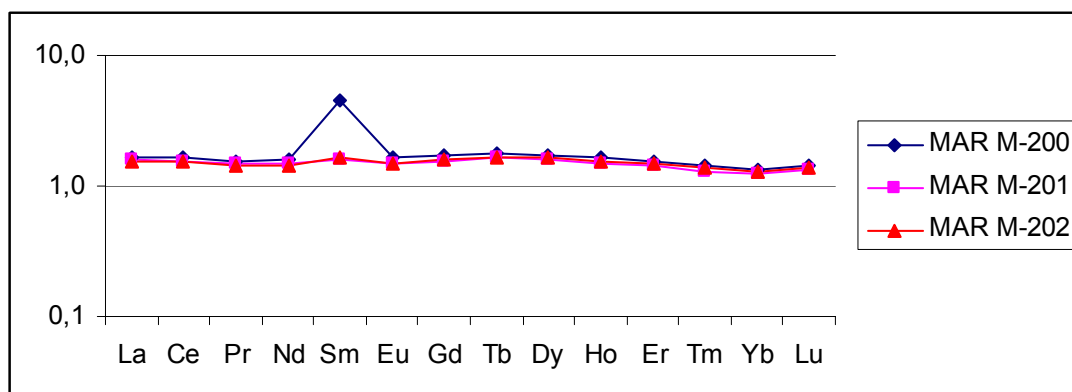


Figura 11. Diagrama de REE normalizados respecto a N-MORB (Sun y McDonough, 1989) de los basaltos de Morel.

3.4. LAS FUENTES DEL MAGMA Y AMBIENTE TECTÓNICO DE FORMACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS CRETÁICAS.

Las rocas basálticas de Téneme muestran afinidad de Toleitas de Arco de Isla (IAT-siglas en inglés), con un contenido de TiO_2 que va de 0.28 a 0.53 % en peso. Sin embargo, los volcánicos de Quibiján tienen contenidos de TiO_2 que oscilan entre 1.04 y 1.90 % en peso y caen en el campo de los basaltos generados en dorsales centro-oceánicas.

En el diagrama de Th-Hf/3-Nb/16 (Fig. 14) la rocas basálticas de Téneme exhiben los rasgos de una zona de supra-subducción (SSZ) mientras que la muestra de Morel caen en los campos de MORB.

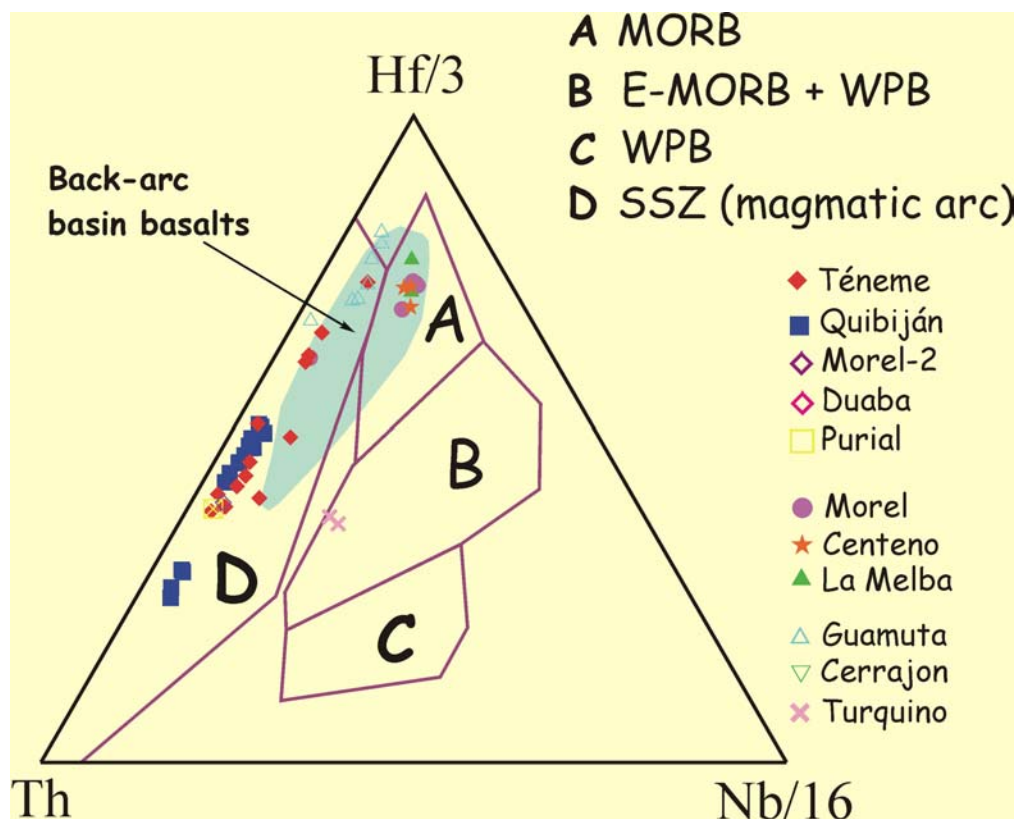


Figura 14. Diagrama de discriminación Th-Hf-Ta para basaltos.

En el diagrama de Cr-Y (Fig. 15), los basaltos de Téneme presentan afinidad IAT con tendencias boniníticas (principalmente a lo largo del vector de cristalización de boninitas ricas en Ca). Los valores que exhiben las muestras de Quibiján son propios de BABB y MORB.

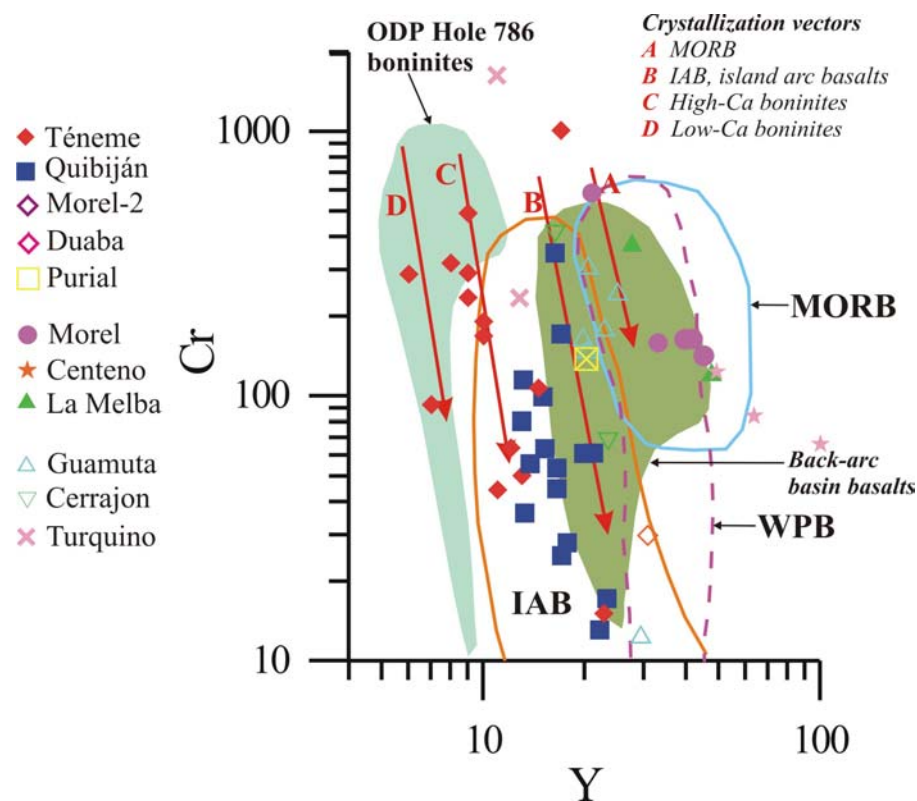


Figura 15. Diagrama discriminante Cr-Y para basaltos (según Pearce, 1982) mostrando los campos para MORB, basaltos de arcos volcánicos (VAB -siglas en inglés y basaltos de intraplaca (WPB-siglas en inglés)

Además, el plot de Zr/Yb contra Nb/Yb (Fig. 16) refleja que las rocas volcánicas de Téneme y Quibiján del noreste de Cuba solamente exhiben contribuciones geoquímicas provenientes de un manto empobrecido. Estos resultados sugieren que el basamento del este de Cuba en el Cretácico superior fue un manto agotado tipo N-MORB.

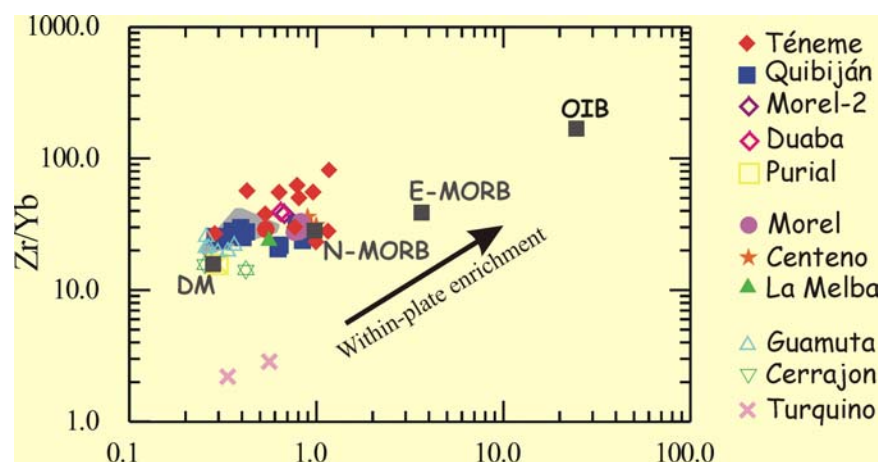
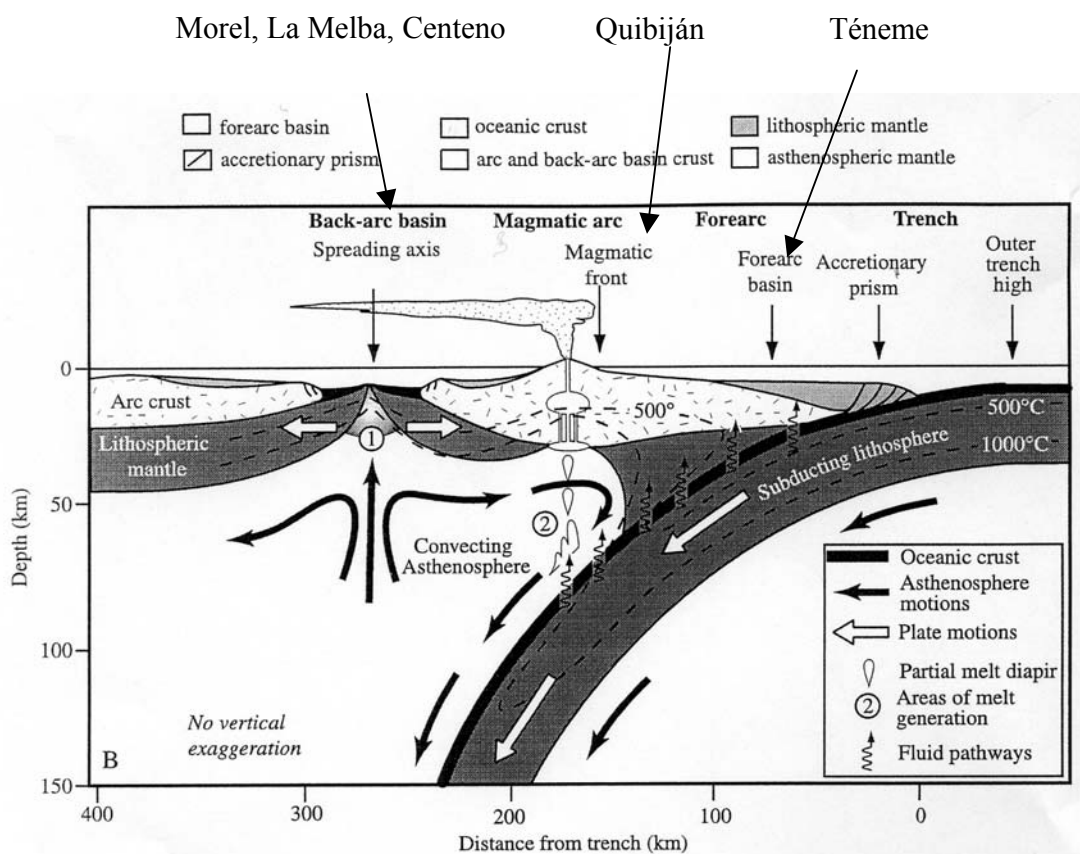


Figura 16. Diagrama discriminante Zr/Yb vs Nb/Yb.

Según los diferentes diagramas de discriminación de elementos trazas presentados en esta tesis las rocas volcánicas basálticas de téneme son toleitas de arco con afinidad boniniticas. Las rocas basálticas de la formación Quibiján son similares a N-MORB. Las rocas de Morel, La Melba y Centeno son de afinidad ofiolítica mientras que las rocas de Cerrajón y Guamuta tienen tendencias de arco de fondos oceánicos.

De acuerdo a los resultados obtenidos se propone un modelo (Fig. 17) tectonomagmático de generación de las diferentes rocas volcánicas del noreste de Cuba.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego De realizar el estudio geoquímico de las rocas volcánicas del Cretácico del noreste de Cuba oriental se llegan a importantes conclusiones y recomendaciones las cuales se exponen a continuación.

Conclusiones

Las rocas extrusivas cretácicas pueden ser clasificadas en tres grupos de toleitas:

1. Toleitas de arco de isla (IAT) bajas en Ti con afinidad boninitica (Téneme)
2. Típicas toleitas de arco oceánico (Quibiján)
3. Toleitas de cuencas de back-arc (Morel, La Melba y Centeno).
4. Las rocas volcánicas del noreste de Cuba indican que la fuente de origen es un manto agotado tipo N-MORB con alguna contribución de E-MORB o componentes OIB.
5. Los resultados obtenidos en este trabajo indican que en el Cretácico superior (Albiense-Campaniense) el arco de isla circum-caribeño no está representado solamente por rocas volcánicas calcoalcalinas como ha sido sugerido en otros trabajos.
6. Los resultados obtenidos confirman la similitud composicional de las rocas de la Formación Téneme con la Formación Maimón y Los Ranchos, esta última donde se alberga el mayor yacimiento de oro descubierto en el continente americano.

Recomendaciones

1. Continuar los estudios geoquímicos en las restantes formaciones geológicas que aun no han sido analizadas, ellas son: Formación Santo Domingo y Sierra del Purial.
2. Estudiar la geoquímica de las rocas volcánicas que afloran en la zona de Santa María, Quemado del negro y Quesigua.
3. Utilizar los diagramas spider para completar el estudio geoquímico.
4. Realizar dataciones absolutas de las diferentes formaciones volcánicas.

Bibliografía.

1. Adamovich, A.F, Chejovich, V. D., Trubino, D. Y., Shirikov, V. M., Pavlov, A.N., (1963). Estructura geológica y los minerales útiles de los macizos montañosos de Sierra de Nipe – Cristal Prov. Oriente.
2. Andó, J.; Kozak, M y Ríos Y (1989): Caracterización general de la asociación ofiolítica de la zona de Holguín – Moa y el papel de las ofiolitas en el desarrollo estructural de Cuba. Minería y Geología 1.
3. Blanco, J. A. y Proenza, J. A. (1994): Terrenos tectono – estratigráficos en Cuba Oriental. Minería geología II.
4. Campos D M., (1983): Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de la Prov. Holguín y Guantánamo. Revista Minería y Geología N° 2.
5. Cobiella, J (1978): Un melange en Cuba Oriental. La Minería en Cuba.
6. Diaz de Villalvilla, L (1985): Proposición para una división de la llamada formacion de tobas (Provincia Cienfuegos, Villa clara, Santi Spiritu), Serie Geológica.
7. Fonseca, D. E; Zelepugin, V. N y Herediaen (1985): structure of the ophiolite association of Cuba. Geotectonic, 19.
8. Gyarmenati, P, Leyé O Conor, J (1990) Informe final sobre los trabajos de levantamiento geológico a escala 1: 50000y búsqueda acompañante en el polígono CAME V, Gtmo, ONRM. Cuba
9. Gyarmenati, P., Mendez, I., Lay, M, (1998) Caracterización de las rocas del arco de islas cretácico en la zona de Cuba, IGP, Ciudad de la Habana, Cuba.
10. Iturralde Vinent M A (1994): Cuba Geology: e new plate – tectonic synthesis. Journal of petroleum Geology.

11. Iturralde Vinent (1996): Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP Project 364 Special contribution n 1.
12. Iturralde Vinent, V.M (1998): Sipnosis de la constitución de Cuba. En acta geológica Hispánica.
13. Iturralde Vinent, M., Díaz C, Rodriguez, A, Díaz, R. (2005). Plate tectonic of paleontologic dating of Cretaceous – Danian sections in northeastern Cuba.
14. Knipper, A. L., Cabrera, R., (1974). Tectónica y geología histórica de la zona de articulación entre el mio – y el eugeosinclinal y el cinturón hiperbasítico de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba, Instituto de Geología, Contribución a la geología de Cuba.
15. Lewis, A y Drapper, G (1990): Geological and tectonic evolution of the Caribbean margin. En Dengo, G y Case J. E. (eds). The geology of North America, Vol I H. The Caribbean region Geol Soc America.
16. Linares, E. ed., (1985) Mapa Geológico de la República de Cuba. Escala 1:50000. Academia de Ciencias de Cuba. 4 Hojas.
17. Meyerhoff A.A. y Hatten, C W (1968): Diapiric structure in central Cuba, AAPG; Mem, 8.
18. Millan G, y Samin M (1985): Contribución al conocimiento geológico de metamorfitas del complejo del Escambray y Purial: Reportes de investigación, Academia de Ciencias de Cuba, 4.
19. Millán, G (1996): Metamorfitas de la asociación ofiolítica de Cuba. En Iturralde – Vinent (eds), ofiolita y arcos volcánicos de Cuba. IGCP Project 364. Especial contributions. N°1.
20. Naggy, E.; Brezsnynansky, K.; Brito, A.; Coutin, D.; Formell, F.; Franco, G.; Gyarmati, P.; jakus, P.; Radocz, Gy. (1976). Mapa geológico de la Prov. Oriente a escala 1:250000. Academia De Ciencias de Cuba.
21. Pindell J L y Barret S F (1990): Geological evolution of the Caribbean region. A plate tectonic perspective en: Dengo, G y Case J E (eds). The Caribbean region: Geology of North America, Vol H. Boulder, C O, Geol. Soc. America.
22. Proenza J; Carralero N. M. (1994) Un nuevo enfoque sobre la geología de la parte Sur de la cuenca de Sagua de Tanamo. Minería y geología.

23. Proenza J.A. (1997): Mineralización de Cromita en la faja ofiolítica Mayarí – Baracoa (Cuba): Ejemplo del yacimiento Mercedita.
24. Proenza , J, A., Díaz, R., Marchesi, C., Melgarejo, J., C., Gervilla, F., Garrido, C., J., Rodriguez A. (2005). Primitive Island arc cretaceo of volcanic rocks in eastern Cuba: the Téneme formation.
25. Quintas, F (1988): Características estratigráficas y estructurales del complejo ofiolítico y eugeosinclinal de la cuenca del río Quibijan, Baracoa. Revista Minería – Geología. N ° 2 V 6.
26. Quintas, F y Blanco J.A. (1993): Paleogeografía de la cuenca San Luis. Su importancia para la interpretación de la evolución geológica de cuba oriental.
27. Quintas, F (1989): Estratigrafía y paleografía del cretácico superior y paleógeno de la provincia Guantánamo y zonas cercanas. Tesis Doctora, fondo geológico ISMM, Cuba.
28. Quintas F, Hernandez, M., Campos, M (1994), Asociaciones estructuro – formacionales del mezosoico en Cuba Oriental y la Española. Geologia y Minería, 11 3 – 9.
29. Rollinson, H R.,1994. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. John Wiley & Sons, inc. ISBN: 0- 470-22154- 2 Pag 343.
29. Roos, M y Scotese, C R (1988): A hierarchical tectonic.
30. Ríos, V. I. y Cobiella, J. L. (1984): Estudio preliminar del macizo de gabroides Quesigua de las ofiolitas del este de la Prov. Holguín. Minería y geología.
31. Torres, M (1987): Características de la asociación ofiolítica de la región norte de Moa – Baracoa y su relación con el arco volcánico del cretácico. Trabajo de Diploma, ISMM. Cuba.