

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO

FACULTAD DE MINERÍA Y GEOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

TRABAJO DE DIPLOMA

**TITULO: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOQUÍMICA DE LAS
VULCANITAS DE LA FORMACIÓN TÉNEME
Y SU MINERALIZACIÓN METÁLICA ASOCIADA**

**AUTORES: Serguei Batista Martell.
Alfonso Mesa Romero.**

TUTOR: Dr. Roberto Díaz Martínez

**“AÑO DE LA REVOLUCIÓN VICTORIOSA EN EL NUEVO MILENIO”
MOA- HOLGUÍN, 2001**

INDICE	Pag.
Resumen	
Introducción	1
Cap. I. Características físico-geográficas y económicas de la región.....	9
1.1. Ubicación geográfica de la región y del área de estudio.....	9
1.2. Economía.....	9
1.3. Relieve.....	9
1.4. Hidrografía.....	10
1.5. Minerales de interés económico en la región de estudio.....	10
Cap. II. Particularidades geológicas de la región y del área de estudio.....	12
2.1. Rasgos geológicos esenciales de la región de estudio.....	12
2.2. Magmatismo.....	22
2.3. Tectónica.....	22
2.4. Geomorfología.....	23
Cap. III. Metodología de ejecución de los Trabajos.....	24
3.1. Descripción del fenómeno estudiado.....	24
3.2 Recopilación bibliográfica.....	25
3.3. Trabajos de campo.....	25
3.4. Procesamiento de la información.....	
Cap. IV. Interpretación de los resultados obtenidos.....	
4.1. Rasgos geológicos de las vulcanitas de la Formación Téneme.....	
4.2. Particularidades geoquímicas de la vulcanitas de la Formación Téneme....	
4.3. Distribución del los elementos preciosos y acompañantes.....	
4.4. Modelo geológico de la mineralización sulfurosa de Téneme.....	
Conclusiones y Recomendaciones	
Bibliografía	
Anexos	

RESUMEN

La necesidad de caracterizar la mineralización sulfurosa asociada a las vulcanitas del arco Cretácico en Cuba oriental, específicamente la asociada a las vulcanitas de la Formación Téneme, parte de los estudio realizados por Adomovich y Chejovich en el noreste de Cuba oriental e investigaciones más recientes realizadas por profesores y estudiantes del ISMM “Dr. Antonio Núñez Jiménez” en los que señalan la presencia de una contrastante anomalía de mercurio y valores muy elevados de oro reportados en tres muestras de andesitas en la cercanía del poblado El Jobo.

En Cuba actualmente existen numerosas prospectos mineros en perspectivas: Antonio, Golden Hill (posiblemente, depósitos VMS de alta sulfuración), San Fernando, etc. Por consiguiente, los resultados obtenidos en esta investigación son de aplicación, en primera instancia, a la resolución de la metalogenia de Cuba, pudiendo favorecer la previsión de zonas de exploración y explotación, así como el desarrollo de zonas mineras, donde esta actividad está muy integrada a las actividades económicas tradicionales. El contexto geológico es muy parecido al de otros sectores caribeños, y los resultados pueden ser aplicados a la exploración en todo el ambiente del Caribe (p.ej., en República Dominicana, Puerto Rico, etc).

En base al material de que ya se dispone, obtenido en las campañas de campo anteriores, trabajos de diplomas, tesis de maestrías y doctorales existentes en el fondo geológico del Departamento de Geología del ISMM, así como en campañas de campo puntuales proponemos como objetivo fundamental **“caracterizar las vulcanitas de la formación Téneme desde el punto de vista geológico y geoquímico y su mineralización metálica asociada”**.

El trabajo realizado forma parte de las principales líneas de investigaciones que realiza el Departamento de Geología de la Facultad de Geología y Minería del ISMM de Moa.

Como resultado de trascendental interés económico y social para nuestro país se destaca la presencia de dos importantes sectores con anomalías sumamente contrastantes, llegando e incluso a valores industriales, ellas son la que aparece al este del poblado el Jobo (5,5 g/t Au) y la que se desarrolla cerca de la zona de afloramiento del intrusivo granodirítico (g/t Au). Además la mineralización sulfurosa existente en el sector de Téneme, se vincula a tres posibles procesos genéticos diferentes: 1)Una mineralización pirítica muy fina asociada a propilitas y espilitas y 2) la relacionada con procesos hidrotermales, en forma de *stockwork* propia del proceso vulcanogénico Cretácico, y desarrollada en el trasarco y 3)una

mineralización relacionada con la parte axial del arco, en estrecha vinculación con los intrusivos, que pudiera ser porfídica.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de diploma titulado “**Caracterización geológica y geoquímica de las vulcanitas de la Formación Téneme y su mineralización metálica asociada**” se desarrolla en el marco de las investigaciones científicas geológicas que realiza el departamento de Geología de la Facultad de Geología y Minería del ISMM “Dr. Antonio Núñez Jiménez” y representa la última fase o etapa de nuestros estudios universitarios, por lo cual hemos depositado todo el empeño y abnegación en la realización de esta obra como infinito agradecimiento en primera instancia a la revolución cubana y a los profesores del departamento de geología por brindarnos desinteresadamente todos sus conocimientos y enseñanzas.

La tesis está estructurada en cuatro capítulos, dos dedicados a la parte general y dos a la parte especial. La memoria escrita consta de () páginas, () figuras, () tablas () y un anexo gráfico y fue escrita en Word 2000, a espacio y medio, fuente *Time New Roman*, tamaño 12. Los *Software* profesionales empleados fueron *Surfer*, *Excel*, *Corel* y *TeleMap*.

En este trabajo se exponen resultados utilizables por el organismo rector de la actividad geológica del país, es decir el MINBAS y dentro de esta sus instancias subordinadas como son la ONRM y Geominera Oriente.

Objetivo de la investigación

La presente tesis tiene como objetivo fundamental realizar la caracterización geológica y geoquímica de las vulcanitas de la formación Téneme y su mineralización metálica asociada, y además obtener el título de ingeniero geólogo.

Planteamiento del problema

La zona de estudio en la cual se manifiesta el amplio desarrollo de los volcánicos de composición andesítica y andesito-basálticos mineralizados se ubica en el municipio de Frank País, a unos 15 km. al este de la localidad de Levisa. Estas vulcanitas están representadas en el Mapa Geológico de la República de Cuba 1: 500 000 por la Formación Santo Domingo. Posteriormente son interpretadas como la Formación Téneme, tal como aparece actualmente en el mapa geológico de Cuba 1:250 000 y del cual nos apoyamos para elaborar la base geológica de este trabajo, por lo que estas vulcanitas serán tratadas como parte integrantes de esta formación.

El problema planteado en la presente investigación surge de la necesidad de realizar un estudio geológico y geoquímico profundo en las vulcanitas Cretácicas de Cuba oriental pues los estudios realizados hasta la fecha no permiten esclarecer aspecto de suma importancia como es la metalogenia y su grado de perspectiva económica

Formulación de la hipótesis de la investigación

Si se conocen las características geológicas y geoquímicas de las vulcanitas del arco de isla Cretácico de Cuba oriental y su mineralización sulfurosa asociada, como es el caso de la Formación Téneme en la que se hospedan diferentes estilos de mineralización pirítica, entonces se pueden proponer nuevas perspectivas de interés económico para el país.

Alcance

Las vulcanitas de la Formación Téneme forman parte del desarrollo del arco Cretácico en Cuba oriental; ellas como muchas otras que afloran en diversas partes del territorio nacional (p.ej. en Camagüey, Santa Clara, etc.) han sido muy mal estudiadas e incluso llegan a indiferenciarse con las vulcanitas de la asociación ofiolítica ya que espacialmente están muy próximas unas de otras, y además no existen suficientes datos geoquímicos que avalen su procedencia. Los resultados obtenidos en esta tesis constituyen un modesto esfuerzo al esclarecimiento de los aspectos geológicos y geoquímicos de la mineralización sulfurosa hospedada en tan importante metalotecto como son las vulcanitas del arco.

Actualmente existen pocas explotaciones mineras activas o perspectivas relacionadas con menas metálicas hospedadas en vulcanitas cretácicas: Antonio y Golden Hill (posiblemente, depósitos VMS de alta sulfuración), San Fernando, etc. Por consiguiente, los resultados obtenidos son de aplicación, en primera instancia, a la resolución de la metalogenia de Cuba, pudiendo favorecer la previsión de zonas de exploración y/o explotación, así como el desarrollo económico de zonas de minería, donde esta actividad está muy integrada en las actividades económicas tradicionales. Pero el contexto geológico es muy parecido al de otros sectores caribeños, y los resultados pueden ser aplicados a la exploración en todo el ambiente del Caribe (p.ej., en República Dominicana, Puerto Rico, etc)

Marco teórico conceptual

Las vulcanitas de arco constituyen un rasgo destacado de la geología cubana, encontrándose ampliamente distribuidas en todo el territorio nacional. Su estudio ha sido abordado desde

diferentes ángulos a partir de la década de los 40 ((L. Díaz de Villalvilla y otros, 2001). La geología, las características geoquímicas y los aspectos tectónicos relacionados con estas rocas resultan informaciones imprescindibles para elaborar modelos referentes al origen y evolución de Cuba, del entorno caribeño y del pronóstico metalogénico. Una gran cantidad de datos útiles se han obtenido de los trabajos realizados por distintos autores, pero aún persisten cuestiones polémicas que son de interés dilucidar; se han seleccionado algunas de ellas para exponer en el presente trabajo con el fin de proponer y fundamentar estudios futuros (L. Díaz de Villalvilla y otros, 2001). A grandes rasgos, los aspectos polémicos tratados se refieren a:

1. La existencia de uno o más arcos cretácicos y sus características (polaridad, afinidad geoquímica, basamento y edades). Evidencias de un arco primitivo.
2. Relaciones entre las secuencias ofiolíticas y de arco: su delimitación, afinidad geoquímica y cartografía.
3. Metamorfismo de terrenos de arco volcánico en condiciones de presión y temperatura no correspondientes a ese ambiente geodinámico.

Las investigaciones geológicas regionales y geoquímicas relacionadas con las vulcanitas del arco Cretácico en Cuba oriental, no así para Cuba central en las que se han podido diferenciar las formaciones Los Pasos y Mataguá respectivamente

Antes del triunfo de la revolución los trabajos geológicos estuvieron dirigidos a la prospección de minerales útiles en particular níquel y cromo, sin hacer un estudio regional para esclarecer la complicada geología de la región dominada por cuerpos intrusivos de hiperbasitas, solo Keijer (1945) realizó algunas observaciones generales de interés.

Después de 1959 es que comienza a sistematizarse el estudio geológico de esta zona al igual que el resto del país. El primer esquema tectónico fue elaborado por los especialistas soviéticos Adamovich y chejovich, que consistió en un estudio de recopilación de información apoyado por diversos itinerarios geológicos y la utilización de la interpretación geológica de las fotografías aéreas de la zona. El estudio a escala 1: 250 000 sirvió para declinar con cierto grado de precisión geológica del desarrollo de la corteza de intemperismo sobre hiperbasitas en la región Mayarí- Sagua-Baracoa. Como resultado de este estudio se reporta la manifestación de pirita en el río Téneme (Adamovich, A. F y Chejovich, V. D, 1967) con recursos especulativos en el orden de las 100 000 toneladas, así como manifestaciones de cinabrio en los concentrados pesados obtenidos del lavado de los sedimentos aluviales del río Téneme.

En 1968 los investigadores de Knipper y Cabrera apoyándose en los trabajos realizados por Adamovich y Chejovich dieron una nueva interpretación al origen y emplazamiento de los cuerpos de serpentinitas, señalando en esencia que estos son fragmentos de la corteza oceánica que han realizado su desplazamiento por planos de fallas profundas hasta la superficie, donde se han emplazado sobre formaciones sedimentarias del Cretácico en formas de mantos tectónicos.

En 1972 los investigadores de la Facultad de Geología, Cobiella y Quintas comenzaron sus tareas temáticas, que les permitieron establecer las características de la geología de Cuba Oriental, en particular la zona sur central y el extremo Sureste de las provincias de Santiago de Cuba y Guantánamo.

En la década del 80, el Instituto de Geología y Paleontología (IGP) desarrolla investigaciones temáticas en esta región, sobre todo hacia Moa-Baracoa. Se realizaron estudios de concentrados pesados en las principales cuencas y de la mineralización cromífera. En estos trabajos no se mencionan los procesos hidrotermales como posibles fuentes de mineralización aurífera de carácter epitermal.

La década del 90 marca un nuevo momento en las investigaciones geológicas en esta región, debido al desarrollo de numerosas investigaciones dirigidas por profesores y estudiantes del ISMM, los primeros con el objetivo de obtener sus títulos científicos de Doctores en Ciencias Geológicas, mientras que los segundos con el objetivo de obtener sus títulos de ingenieros geólogos. Dentro de estos trabajos se destacan las tesis de los Drs. Antonio Rodríguez Vega (1994) y Roberto Díaz Martínez (1996), que marcaron el inicio de una nueva etapa en las investigaciones, ya que por primera vez se da a conocer la posibilidad de evaluar nuevas manifestaciones de carácter hidrotermal en la región de estudio.

En el año 1990 la diplomante Yolanda Peón, dirigida por el entonces Ing. Roberto Díaz Martínez, desarrolla su tesis de diploma en la cuenca hidrográfica del Río Téneme, revelándose la presencia de mineralización cuarzosa y como indicador geoquímico la presencia de molibdeno y mercurio en forma de cinabrio, confirmándose la anomalía geoquímica revelada en los trabajos de Adamovich y Chejovich.

En el año 1995 el diplomante Carlos M. Viñales Cuba, asesorado por el Dr. Antonio Rodríguez Vega, defiende su tesis titulada "Presencia de procesos epitermales en la región de Moa", en la cual concluye que las manifestaciones de jasperoides distribuidos en la cuenca del Río Cabaña son de origen hidrotermal, recomendando realizar investigaciones más profundas

con la finalidad de precisar detalles acerca de las particularidades geoquímicas, texturales y estructurales de los materiales componentes de las manifestaciones epitermales.

En 1998 los diplomantes Antonio Olimpio Gonzalves, de nacionalidad Angolana y Wilfred Rufin Yoka, del Congo desarrollan su tesis titulada "Estudio de los procesos Epitermales en la Región Sagua-Moa-Baracoa, tutorados por el Dr. Rodríguez Vega, A. Este trabajo permitió establecer tres áreas de interés para futuras investigaciones más precisas, ellas son: Cuenca del Río Cabaña, Loma de los Calderos y Maguana-Cayo Güín. Se destacan los diferentes tipos de brechas y se logra precisar con más detalle el carácter epitermal de las manifestaciones hidrotermales de la región.

En Julio del año 2000 se presenta un trabajo de diploma titulado principales rasgos geoquímicos de las alteraciones hidrotermales de la región Sagua- Moa elaborada por el estudiante angolano Carlos José Lino. En este trabajo se analizaron tres muestras de andesitas de la Formación Téneme reflejando valores sumamente anómalos de oro: LT-2 (4.45 ppm), LT-21 (0.594 ppm) y LT-1 (0.176 ppm), y valores de Hg de 4 ppm (Carlos, J. L. 2000), de ahí que los estudios se continuaran a fin de poder contornear y estudiar toda el área de desarrollo de los volcánicos de la formación Téneme.

La presente investigación abarcó una zona mucho más amplia que en las investigaciones anteriores y un mayor número de muestras, más debe señalarse algunas limitaciones presentadas que impidieron obtener mayor cantidad de información, ellas son:

1. No se pudo realizar secciones delgadas para estudiar petrográficamente los diferentes conjuntos litológicos.
2. No se han podido realizar estudios isotópicos y de inclusiones fluidas de las vetas de cuarzo asociada al *stockwork* mineralizado.
3. El muestreo no cubrió toda el área de forma sistemática, solo aquellos sectores donde la mineralización es evidente.
4. No se realizaron análisis de microsonda electrónica a secciones pulidas.

CAPITULO I. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y ECONÓMICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

1.1. Ubicación geográfica de la región y del área de estudio

La región de estudio geográficamente se encuentra ubicada en el extremo noreste de la provincia de Holguín, enclavada en el sistema montañoso de Cuba Oriental, formado casi en su totalidad por la Sierra Sagua - Moa - Baracoa. Territorialmente abarca los municipios de Frank País, Sagua de Tánamo y Moa. El área de los trabajos está delimitada por el norte con el Océano Atlántico, por el sur con la estribaciones de la Sierra Cristal, por el este con la cuenca del río Grande y por el oeste con la cuenca hidrográfica del río Cabónico (Fig. 1). Se utilizaron las hojas topográficas escala 1:25 000: 5177-IV-a de Cabonico y la 5177-IV-c de Sierra Cristal.

Según el levantamiento geodésico de Cuba el sistema de proyección empleado es la Cónica Conforme de Lambert . El área que nos ocupa se sitúa en Cuba sur y los valores de coordenadas planas son las siguientes:

	X	Y
Mínima	645 100	214 450
Máxima	649 000	221 700

1.2. Economía

Dentro de las actividades económicas más importantes que se realizan en el área de estudio aparece la minería, encontrándose en la ciudad de Moa las fabricas de níquel Ernesto Che Guevara y la Pedro Soto Alba, así como la René Ramos Latour en Nicaro, a demás se explotan las minas de cromo Merceditas, Amores y Los Naranjos.

La agricultura tiene un peso fundamental dentro de la vida económica de la región, el municipio Sagua de Tánamo es uno de los más grandes productores de café de la provincia, en municipio Frank País a demás de la recolección del café se encuentra enclavado el complejo agroindustrial que lleva el mismo nombre de la localidad.

También la ganadería se encuentra entre las actividades económicas que se llevan a cavo en la región pero no tiene un gran peso puesto que no está muy desarrollada.

1.3. Relieve

En cuanto a las características del relieve podemos decir que este pertenece al tipo montañoso. En general las cotas máximas promedios de estos sistemas montañosos oscilan

entre 400 - 500 metros sobre el nivel medio del mar, y la dirección predominante es de noroeste a sureste (Atlas Nacional de Cuba. 1982).

1.4. Hidrografía

Las características del relieve y el régimen de las precipitaciones han favorecido la formación de una densa red hidrográfica bastante desarrollada que corre de sur a norte.

Los ríos más importantes que se desarrollan en la región estudio son los siguientes: Mayarí, Sagua, Moa, Toa. Otros ríos menos importantes son: Cabonico, Téneme, Grande, Cabaña, Cayo Guan, Quesigua, Potosí, Jiguaní y Báez. Estos ríos generalmente presentan una forma sinuosa y son alimentados por varios afluentes. El caudal de estos ríos varía según las estaciones del año: en el periodo de seca (Noviembre - Abril), presenta un caudal mínimo y muchas manifestaciones son de carácter intermitente, en cambio en el periodo de lluvia (Mayo - Octubre), sus caudales aumentan vertiginosamente.

Los ríos poseen una velocidad promedio de 1.5 m/s y un gasto que oscilan en el intervalo de 100 y 200 l/s.

El clima de la región es subtropical húmedo (Atlas Nacional de Cuba. 1982), se distingue dos periodos bien marcados de distribución de las precipitaciones: un periodo seco que se extiende de noviembre hasta abril y otro periodo húmedo que se extiende desde mayo hasta octubre.

1.5. Minerales de interés económico en la región de estudio

La región de estudio es una de las zonas del país con mayor potencial económico dada las grandes reservas de níquel y cobalto que encierran las cortezas de intemperismo ferroniquelíferas que yacen sobre las rocas ultrabásicas del complejo ofiolítico de Cuba Oriental, ubicada en la meseta de Pinares de Mayarí, Nicaro, Sagua de Tánamo y Moa-Baracoa, que constituyen la fuente de suministro mineral para la industria del níquel situadas en Nicaro y Moa.

Además, también existen numerosas manifestaciones y yacimientos de cromitas refractarias y metalúrgicas en los municipios de Mayarí, Sagua y Moa-Baracoa. Actualmente se explotan los yacimientos Mercedita, Amores y Los Naranjos y en perspectivas de continuar los estudios con vistas a explotar los yacimientos del sector Cayo Guan.

El depósito más importante es el yacimiento Mercedita, el cual constituye el yacimiento de Cromita ofiolítica más grande de Cuba y del continente americano, se explota desde 1981 y produce unas 30 000 tn/año (Proenza, 1998), los otros depósitos son de pequeño tamaño entre

ellos tienen reservas estimadas superiores a 100 000 tn/año (Amores, Loro, Potosí), tienen una larga historia de explotación, durante la cual, se han extraído de cada uno más de 300 000 tn (Proenza, 1998)

Algunos estudios realizados recientemente por profesores y estudiantes del I.S.M.M han revelado la presencia de placeres marinos costeros ricos en magnetita, cromitas, ilmenitas y oro; tal es el caso del placer Mejías ubicado en la desembocadura del Río Sagua de Tánamo.

Otras manifestaciones de interés económico lo constituyen las de asbesto y materiales para la construcción como calizas, gravas y arenas, así como arcillas rojas. Las serpentinitas, ampliamente distribuidas en la región constituyen otra alternativa para su introducción en la economía nacional.

CAPITULO I I. GEOLOGÍA DE LA REGIÓN Y DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1. Rasgos geológicos esenciales de la región de estudio

Estudios geológicos regionales y de prospección y exploración de yacimientos minerales realizados por especialistas e instituciones cubanas y de otras nacionalidades (Adamovich y Chejovich, 1963; Quintas, F., 1989; Tercera expedición geológica cubano-húngaro, Polígono V. Guantánamo, 1987-1990; Fonseca, E., 1985) en la región norte oriental de Cuba han evidenciado, al igual que en el resto del país, una evolución y constitución geológicas sumamente complejas.

Haciendo uso de las teorías más actuales de la tectónica de placas (p.ej., Iturralde-Vinent, 1994) la isla de Cuba se ha originado por procesos de acreción de terrenos procedentes de la placa Caribe, sobre la placa norteamericana, lo que sin lugar a dudas ha conducido a muchos investigadores a formular nuevas hipótesis en cuanto al origen, evolución y desarrollo geológico de Cuba; tal es el caso de las investigaciones realizadas por Quintas, F. (1984) que establece los rasgos estratigráficos y litológicos de esta región desde la óptica de las asociaciones estructuro-formacionales(AEF) siguientes: Asociación ofiolítica o del mar marginal; Arco Insular Volcánico del Cretácico o Paleoarco; Arco Insular Volcánico del Paleógeno o Neoarco; Cuenca Superpuesta de Primera Generación; Cuenca Superpuesta de Segunda Generación y Cobertura Neoplatafórmica.

Pál Gyarmati (2001) distingue tres etapas del desarrollo geológico de Cuba oriental, ellas son: desarrollo de la corteza oceánica (J_3-K_1), desarrollo de los arcos insulares ($K_1-P_2^2$) y desarrollo neoplatafórmico (P_2^2-Q).

Estudios más recientes han permitido reconocer 6 estadios evolutivos principales con marcadas diferencias en cuanto a origen, evolución y desarrollo geológico de la isla (Proenza, 1998), que datan desde el Jurásico-Cretácico Inferior hasta el Eoceno Superior (Oligoceno?)-Cuaternario, tiempo necesario para que la isla de Cuba alcance su desarrollo y posición actuales. A estos estadios se asocian las diferentes formaciones geológicas que afloran en la región de estudio(Fig.2), las cuales serán tratadas desde la óptica de los estadios del desarrollo geológico de la isla de Cuba.

Estadio 1. Jurásico-Cretácico Inferior (rift continental y *spreading* de corteza oceánica)

Este estadio es interpretado en términos de desarrollo de *rift* continental y *spreading* de corteza oceánica (apertura del “Protocaribe”). Los materiales asociados con esta etapa

evolutiva del caribe están muy bien representados en la región de estudio y pudieran estar representados por el margen de Las Bahamas y restos de corteza oceánica del “Protocaribe”.

El margen de las Bahamas

Los materiales de la plataforma Mesozoica de las Bahamas se componen principalmente de rocas carbonatadas de aguas someras y evaporitas. No obstante, también están presentes rocas carbonatadas de aguas profundas y *cherts*. Los mejores afloramientos se localizan en la parte norte de Cuba y especialmente en la parte central de la isla, constituyen la denominadas zonas de faja o unidades tectonoestratigráficas de Cayo Coco, Remedio, Camajuaní y Placetas (Iturralde-Vinent, 1994, Draper y Barros, 1994).

En Cuba oriental las unidades del margen de las Bahamas están representadas por el terreno Asunción (Blanco-Moreno y Proenza, 1994). Este terreno está compuesto por dos unidades litoestratigráficas bien diferenciadas, datadas como Jurásico Superior-Cretácico Inferior (Millán y Somin, 1985), ellas son: a) los materiales metátrigenos de la fm. Sierra Verde (Cuarcitas, esquistos cuarcíticos, esquistos grafiticos, calizas marmolizadas) y b) los materiales metacarbonatados.

En diferentes áreas de la región de estudio: al noreste del río Téneme, en la parte media del cauce del río Grande y en los poblados de Centeno y Yaguaneque, afloran potentes paquetes de calizas cristalinas al parecer correlacionables con las calizas de la zona remedios de edad jurásico superior – Cretácico superior (Iturralde- Vinent, 1994, Draper y Barros, 1994) y por tanto representantes del margen de la plataforma de Bahamas, cuya posición alóctona pudiera deberse al arrastre producido por la obducción de las ofiolitas y el arco sobre dicha plataforma.

Restos de corteza oceánica del “Protocaribe”

Restos de corteza oceánica del “Protocaribe” pueden estar representadas por rocas de afinidad ofiolítica metamorizadas en facies anfibolítica. Estas rocas se disponen tectónicamente sobre las unidades de márgenes continentales y son cubiertas tectónicamente por un arco de islas Cretácico (Iturralde- Vinent, 1994, 1996 a; Millán, 1996 a, 1996 b; Millán et al., 1998). Al sur de la región las anfibolitas están representadas por el complejo de anfibolitas Güira de Jauco, en el extremo suroriental de Cuba (Somin y Millán, 1981; Millán, 1996 a, 1996 b, Iturralde-Vinent, 1994, 1996^a). según este último autor, estas ofiolitas son restos de la corteza oceánica que formaba el substrato del arco volcánico del cretácico (corteza “sub- arcovolcánico”). La

edad del protolito de estas anfibolitas se estima como jurásico (Sonin y Millán, 1981). Este complejo de anfibolitas está imbricado tectónicamente con rocas metamórficas de alta presión y pueden representar restos de un complejo de subducción Cretácico (Millán et al., 1998).

Estadio 2: Aptiense(Neocomiense)-Campaniense: desarrollo de un arco de islas volcánicas y transformación de la litósfera oceánica del “Protocaribe” en una zona de suprasubducción.

Durante el Aptiense (Neocomiense?)-Campaniense se desarrollo un régimen geodinámico de arco de islas volcánicos en el caribe. Materiales relacionados con este arco afloran a lo largo de toda la isla de cuba (Díaz de Villalvilla y otros, 2001). Durante el desarrollo del arco (o arcos) de islas volcánicas, la litósfera oceánica, producida durante la apertura del “Protocaribe”, fue consumida y/o modificada en un contexto de suprasubducción (Proenza,1998). Por otra parte, en la cuenca de trasarco del arco volcánico Cretácico se generó nueva corteza oceánica.

Cinturón ofiolítico septentrional cubano

La faja Ofiolítica Mayarí – Baracoa se localiza en el extremo oriental de Cuba. Según Iturralde-Vinent (1996 b), se trata de un cuerpo alóctono de carácter tubular con una longitud de 170 Km y un espesor que raramente es superior a los 1000 m. la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa se compone de dos macizos fundamentales: Macizo Mayarí- Cristal y el Macizo Moa- Baracoa (Proenza, 1998). De acuerdo con Fonseca et al. (1985), Iturralde-Vinent (1996 b) y Proenza (1998), la faja Mayarí-Baracoa está constituida por los diferentes términos litológicos representativos de una secuencia ofiolítica completa, aunque separados por contactos tectónicos. La secuencia estaría compuesta del piso al techo por: a) peridotitas con textura de tectonitas; b) acumulados ultramáficos; c) acumulados máficos; c) diques de diabasas y e) secuencias efusivas-sedimentarias. Las ofiolitas se encuentran cabalgando a rocas vulcano-sedimentarias del arco de islas Cretácico, estas últimas cubiertas, transgresivamente, por secuencias flyschoides y olistrostrómicas de edad Maestrichtiense a Paleoceno. En su extremo más oriental las ofiolitas de la faja Mayarí-Baracoa cabalgan sobre las rocas metamórficas de Güira de Jauco y del terreno asunción. En otras regiones los cuerpos ofiolíticos aparecen cubiertos discordantemente por materiales vulcano-sedimentarios pertenecientes al arco de islas Paleógeno (Fm. Sabaneta) y por secuencias terrígenas-carbonatadas más jóvenes (Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1996 b; Proenza, 1998). El

afloramiento más meridional de la faja Mayarí-Baracoa se observa en la Sierra del Convento (Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1996 b; Millán, 1996 b; Chang y Suárez, 1996). Estas ofiolitas se estructuran en forma de escamas tectónicas que cabalgan las metavulcanitas de edad Cretácicas de la Formación Sierra del Purial (Millán, 1996^a). Litológicamente están compuestas por peridotitas serpentizadas que presentan, localmente, bloques de rocas metamórficas de alta presión (Somin y Millán, 1982; Millán, 1996 a).

La mayor parte de los niveles mantélicos de la ofiolitas presentes en Cuba (cinturón septentrional) registran procesos representativos zonas de suprasubducción (ej. Gran desarrollo de cuerpos de cromititas). Además, los niveles de garbos bandeados presentan características de garbos representativos de zonas de suprasubducción (Paerce et al., 1984).

No obstante Iturralde-Vinent (1994, 199 b) ha sugerido que las ofiolitas del norte de Cuba (cinturón ofiolítico septentrional cubano) se han generado en un sistema cuenca de tras-arco mar marginal. En efecto, algunos basaltos de afinidad ofiolítica del norte de Cuba presentan características geoquímicas similares a al de los basaltos de cuenca de trasarco (Kerr et al., 1999). Con la información geológica disponible actualmente, y dado el grado de compartimentación tectónica de estas unidades, no se puede descartar que en determinadas zonas se encuentren mezcladas rocas de afinidad ofiolíticas representativas de diferentes procesos geológicos.

Materiales vinculados al arco Cretácico

En la parte oriental de Cuba los materiales volcánicos Cretácico poseen la peculiaridad de encontrarse, en parte, metamorfozados en la facies de esquistos verdes y esquistos azules. Estas metavulcanitas integran el denominado “Complejo Purial” (Hernández, 1987; Campos-Dueñas y Hernández, 1987; Millan, 1996^a) (fig.2^a). El “Complejo Purial” se encuentra imbricado 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^a)

En el arco Cretácico de Cuba, las series tipo PIA están menos extendidas que las series CA. Estas se componen de la Formación los Pasos en la parte central de Cuba (Díaz de Villavilla y Dilla, 1985; Lebrón y Perfit, 1994; Lewis et al., 1995; Iturralde-Vinent, 1996^a; Díaz de Villavilla, 1997). Esta unidad esta integrada por rocas volcánicas máficas (basaltos, andesitas-basaltos) y félsicas (riolitas, riodacitas, dacitas) representando una típica secuencia bimodal, con un espesor variable entre 1 y 2 Km (Díaz Villalvilla y Dilla, 1985). Lebrón y Perfit (1994) mencionan, en base a los estudios realizados por Torrez y Fonseca (1990) la presencia de

toleitas en la Formación Téneme, localizadas en la parte norte de Cuba Oriental, las cuales puede pertenecer a las series tipos PIA; no obstante, estos autores no aportan ningún tipo de evidencia geoquímica que confirme esta hipótesis.

Partiendo de las observaciones de campo realizadas en esta investigación, en la formación Téneme no aparecen determinados elementos que caracterizan a un PIA como son las lavas en almohadillas, que si están ampliamente distribuidas en el área de desarrollo de la formación Santo Domingo, por lo que a nuestro juicio la Formación Téneme pudiera corresponderse con la parte proximal del arco, mientras que Santo Domingo pudiera ser la parte distal del arco Cretácico. Al sur del área de estudio afloran cuerpos intrusivos de composición granodiorítica que pudiera corresponderse espacialmente con la parte axial de arco. No obstante, es necesario completar la investigación con nuevas informaciones que confirmen cualquier hipótesis. Hoy sería apresurado emitir algún criterio en tal sentido y la especulación solo complicaría la comprensión de la temática abordada.

A continuación se abordan algunos aspectos esenciales de la geología de las vulcanitas del arco Cretácico que afloran en nuestra región de estudio.

Formación Téneme

La Formación Téneme (Iturralde – Vinent, M.) está compuesta esencialmente por lavas andesíticas y andesita-basaltos de edad Cretácico inferior. Es precisamente este el rasgo principal lo que diferencia a la Formación Téneme de la Formación Quibiján y la Formación Santo Domingo. Ella se distribuye en las cuencas de los ríos Cabónico y Téneme y además, se encuentran 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), Los estudios más detallados fueron realizados en la cuenca de los ríos Cabónico y Téneme, donde se diferencian en tres partes:

La parte inferior de la sección se compone de tobas de porfiritas basálticas, con intercalaciones de rocas efusivas de la misma composición y más raramente intercalaciones y lentes de tufitas y tobas – limolitas. El espesor es de cerca de 500 metros.

En la parte media se presentan porfiritas basálticas, a menudo amigdaloides y diabasas, todas ellas de color gris oscuro a verde gris; muy raras veces se encuentran intercalaciones de tobas. El espesor es de 1200 metros .

La parte superior contiene las rocas mas variables; se alternan porfiritas, tobas-lavas, tobas y rocas tobáceas – sedimentarias. Raras veces se observan lentes de calizas. El espesor es de 300 metros.

Formación Santo Domingo

El autor de esta formación es M. Iturralde-Vinent (1976). El origen del nombre proviene de la localidad de Santo Domingo, al Sur del caserío de Calabazas, provincia de Santiago de Cuba. Su localidad tipo se encuentra a S – SW del mismo caserío. Entre sus sinonimias la más importante es la Fm. Bucuey (D.P. Coutin en Nagy, E. et al. 1976). Está constituida por tobas, lavabrechas y aglomerados, apareciendo pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas. Se incluyen además en esta formación las calizas pizarrosas finamente estratificadas y muy plegadas de color grisáceo, que afloran en la localidad de Centeno.

Aunque en la descripción dada para la formación, las tobas ocupan más del cincuenta por ciento de esta, lo cierto es que en la región de estudio parecen predominar las lavas basálticas con textura amigdaloidal y almohadiformes, de composición toleítica. Es interesante, cómo ya algunos autores, consideran a estas secuencias no pertenecientes a la Formación Santo Domingo, sino que les denominan informalmente Formación Téneme (Mossakovsky et al., 1988), secuencia que por su descripción petrográfica y geoquímica se corresponde más con un arco primitivo que con un arco maduro como es el caso de la Formación Santo Domingo sensu estricto, mientras que otros la consideran en algunos sectores como en el caso de Centeno como parte de los niveles del Complejo efusivo sedimentario de la Asociación Ofiolítica (Gyarmati et al., 1990). El grado de afectación tectónica, que en la mayoría de los afloramientos posee, así como de procesos hidrotermales post emplazamiento, han dificultado su estudio. Es posible que una parte de la secuencia, pueda pertenecer al corte ofiolítico, transicionando hacia un arco primitivo, cuestión que deberá aclararse en el futuro, con un minucioso estudio petrogeoquímico.

En la parte baja del perfil predominan las tobas estratificadas de composición ácida-intermedia con intercalaciones de lavas de basaltos, andesito-basaltos y cuerpos subvolcánicos de gabro –diabasa, diabasa hasta diorita, diorita cuarcífera en forma de *sills*. El pozo estructural PE-3 cortó un gran cuerpo de gabro-diabasa desde 141,0 hasta 354,45 m de profundidad. La parte periférica de estos sills y cuerpos petrográficamente es basalto, debido al más rápido enfriamiento(Pál Gyarmati, 2001).

La parte subvolcánica de esta formación está representada por diabasa, gabro-diabasa, microgabros, pórfido diorítico cuarcífero y dioritas. Generalmente son intrusiones de diques, sills y cuerpos de algunos metros o algunas decenas de metros.

Estadio 3. Campanéense Tardío-Daniense Inferior (colisión entre los terrenos del margen continental de Yucatán con el arco Cretácico; inicio de los procesos de colisión de las rocas volcánicas y las unidades de afinidad ofiolítica con la plataforma de Bahamas).

A partir del Campaniense tardío cesa la actividad volcánica del arco Cretácico (Iturralde-Vinent, 1994). Los eventos geológicos que provocaron el cese del arco de islas volcánicas Cretácico, y el inicio de los procesos orogénicos a finales del Cretácico Superior son polémicos y poco contrastados. Sin embargo, hay un consenso bastante general de que la zona de subducción Cretácica fue "fosilizada" por la colisión de los terrenos del margen de Yucatán (tipo Escambray) con el arco volcánico.

Durante estos procesos orogénicos se desarrollaron una serie de cuencas sedimentarias sobre los materiales volcánicos del Cretácico y los de afinidad ofiolítica, comportándose como cuencas transportadas, denominadas por Quintas como AEF de las cuencas superpuestas de primera generación. A ellas pertenecen la Formación Mícara, muy olistostrómica y compuesta por materiales terrígenos provenientes del arco y en menor medida los sedimentos serpentínoclasticos provenientes de las ofiolitas; la Formación Picota, compuesta fundamentalmente por un melange de origen ofiolítico. La Picota y Mícara, representativas de la etapa de emplazamiento) han sido datadas como Campanéense-Daniense (Quintas, 1989, 1996). Además, están presentes los materiales pertenecientes a la Formación Gran Tierra, la cual marca el cese de la actividad deposicional Cretácico e inicio de la actividad volcánica del Paleógeno. A continuación se exponen los rasgos principales de las formaciones antes mencionadas.

Formación Mícara

Esta secuencia rocosa fue incluida por Lewis y Straczer (1955), como parte de la Formación Habana. Cobiella (1973 y 1974), introdujo la denominación de Formación Sabanilla para esta secuencia, dividiéndola en dos grupos: Mícara y la Picota. Mas tarde Iturralde propone elevar al rango de formación al miembro Mícara.

Esta formación se extiende regionalmente en los flancos meridionales de la Sierra Cristal, en la depresión de Sagua de Tánamo, en los alrededores de Sabanilla, en Mayarí Arriba etc.

En muestra zona de trabajo aflora hacia el este en contacto discordante con la formación la picota. Su localidad tipo se encuentra en el valle de Mícará, en el terraplén Mayarí Arriba – Sabanilla (Cobiella 1973).

La formación Mícará de edad Cretácico (Campaniense- Maastrichtiense) esta compuesta por areniscas bien estratificadas de granos medio a fino, a veces muy arcillosas y calcáreas por clastos de vulcanitas básicas, también contienen aleurolitas.

A menudo se encuentran con estratificación gradacional en su base, con intercalaciones de espesor variables de conglomerados, así como por la presencia de olistostromas.

Formación la Picota

Fue propuesta por Lewis (1975), y la descripción de esta formación fue realizada por E. Brezshyarky, y D. Jacus. Abarca los flancos meridionales de sierra Nipe-Cristal, en la cuenca de Sagua de Tánamo y en la porción sureste del río Miguel. Esta formación esta constituye la base del melange ofiolítico, se compone de olistostromas de serpentinitas, gabros, diabasas, conglomerados, conglomerados – brechas y en menor cantidad calizas cristalinas. La matriz es muy variable, así como el material cementante, durante su acumulación la fuente principal de suministro fue el manto serpentinitico, el cual durante su avance deforme y desplazó tectónicamente a la formación Mícará.

Formación Gran Tierra

La formación gran tierra esta representada por secuencia terrígena-carbonatada que aflora en los flancos meridionales de sierra de Nipe y Cristal, constituyendo en Cuba oriental el límite concordante entre el Cretácico y el Terciario. Está representada por rocas arcillosas y margosas, manifestándose en ella los primeros vestigios del vulcanismo paleogénico en forma de tobas.

A este estadio se asocia también el emplazamiento tectónico de las ofiolitas. La edad de este emplazamiento se estima entre el Cretácico Superior (Campaniense) y el Daniense Inferior. A partir de la parte alta del Daniense Inferior, en la región no hay evidencias de desplazamientos considerables de mantos de cabalgamiento asociado a las ofiolitas. Las formaciones con secuencias olistostrómicas, en las que aparecen fragmentos y bloques de ofiolitas (Formación

Estadio 4: Daniense-Eoceno Medio (Arco volcánico Sierra Maestra en Cuba Oriental)

Arco volcánico paleógeno de Cuba Oriental (arco volcánico Sierra Maestra)

Durante el intervalo comprendido entre el Daniense Tardío y Eoceno Medio se desarrollo otro régimen geodinámico de arco de islas volcánicas (arco volcánico de Sierra Maestra)

(Cobiella-Reguera, 1988, 1998; Iturralde-Vinent 1994; Quintas et al., 1994) Esta actividad volcánica, a diferencia del volcanismo Cretácico, se circunscribe mayoritariamente a la parte oriental de la isla, en la Sierra Maestra.

El volcanismo del Paleógeno de Cuba oriental esta representado por espesores de hasta 6000m de rocas volcanosedimentarias (Cobiella-Reguera, 1997, 1998; Iturralde-Vinent, 1994, 1996f) y un gran desarrollo de cuerpos intrusivos y subvolcanicos. Las rocas asociadas al arco de islas volcánico del Paleógeno yacen sobre los materiales deformados del arco Cretácico, las ofiolitas y las cuencas sedimentarias del ciclo Campaniense Tardío-Daniense.

En la franja norte de Cuba oriental se reconoce fundamentalmente rocas volcanosedimentarias y sedimentarias, cartografiadas con el nombre de Fm. Sabaneta (Iturralde-Vinent, 1976, 1996^a; Proenza y Carralero, 1995; Quintas, 1996). Se ha interpretado que el ambiente de formación de estos materiales fue una cuenca de trasarco (Cobiella-Reguera, 1988, 1997, 1998; Iturralde-Vinent, 1994, 1996^a, 1996f).

La Formación Sabaneta en nuestra región tiene una amplia distribución, considerándola como los materiales de un vulcanismo distal. En su mayor parte está constituida por tobas ácidas con predominio de las variedades vitroclásticas y litovitroclástica, con presencia de rocas volcánicas y vulcanógeno-sedimentarias de composición predominante andesíticas y riodacíticas de granos finos y comúnmente zeolitizadas y montmorillonitizadas, con intercalaciones de calizas, silicitas, tobas cloritizadas y raras veces basaltos. Esta formación en algunos lugares yace discordantemente sobre las ultramafitas, al tiempo que sobreyace concordantemente a formación Gran Tierra hacia el extremo occidental y está cubierta de forma concordante por la formación Capiro. Su fauna es fundamentalmente foraminífera y su espesor oscila entre 250 y 1200 metros aproximadamente.

Estadio 5: Cuencas sedimentarias del Eoceno Medio- Eoceno Superior

En este estadio en la región se registran series sedimentarias que se superponen, localmente en discordancia, al arco volcánico Paleógeno, y comienzan con secuencias carbonatadas (Proenza, J.A y J.C. Melgarejo, 1998). Estas series están representadas por las formaciones Charco Redondo, de facies somera y Puerto Boniato de facies profunda, datadas paleontológicamente como de edad Eoceno Medio, así como por la Formación San Luis (Quintas, 1989).

Si aceptamos que el emplazamiento tectónico de las ofiolitas del cinturón septentrional cubano se produjo entre el Campaniense y el Eoceno Medio (Superior?), estas edades no se

corresponden con las estimadas por Draper (1996) para el emplazamiento de las ofiolitas de la parte central de la Española y Puerto Rico. Para las rocas ofiolíticas de la parte central de la Española, estos autores han establecido una edad de emplazamiento entre el Aptiense-Albiense, mientras que para las de Puerto Rico se sugiere una edad entre Albiense y el Pre-Campaniense (Mattson, 1973; Draper, 1996). Existe un gran debate sobre el significado de la no coincidencia cronológica de los eventos orogénicos que dieron lugar al emplazamientos de las ofiolitas en las Grandes Antillas.

Draper y Barros (1994) sugieren que, en Cuba, la edad de emplazamiento podría ser Aptiense-Albiense, aunque las evidencias habrían quedado enmarcadas durante los importantes eventos orogénicos del Campaniense al Eoceno. Aunque esta es una posibilidad a considerar, es también probable que las rocas ofiolíticas del cinturón septentrional cubano sean genéticamente diferentes a las del resto de las Grandes Antillas o, al menos, a las que aparecen en la parte central de la Española y Puerto Rico. Estas incongruencias constituyen un dilema a resolver en la geología del Caribe. Su solución ayudaría a resolver problemas como el de la subducción con polaridad reversa en el Cretácico Medio en el arco de las Grandes Antillas (Burke, 1978; Mattson, 1978; Draper, 1996; Lapierre, 1997).

Estadio 6: (Oligoceno?)-Cuaternario (desarrollo neoplatafórmico de Cuba)

Este episodio está constituido por materiales terrígenos carbonatados pocos deformados del Oligoceno al Cuaternario (Iturralde-Vinent, 1994, 1996^a). Se trata de series detríticas y carbonatadas, que se interpretan como secuencias carbonatadas pertenecientes a un estadio de plataforma (“Neoautóctono” de Iturralde-Vinent, 1994).

De acuerdo con este autor, estas cuencas responden a un régimen geodinámico caracterizado por: a) el cese de los desplazamientos horizontales de mantos de cabalgamientos, b) la ausencia de la actividad volcánica, c) el predominio de movimientos tectónicos de reajuste isostático de la corteza y, d) una tendencia generalizada a la neritificación. La evolución del “Neoautóctono” se inició con posterioridad a la activación de la zona de falla Oriente este proceso está relacionado con el desarrollo de nuevos límites de placa en el Caribe, la cual comenzó su movimiento hacia el este, provocando el cese de la colisión tectónica sur-norte en Cuba. En esta etapa Cuba deja de formar parte de la Placa del Caribe y pasa a integrarse a la Placa Norteamericana

2.2. Magmatismo

El rasgo geológico predominante en la región lo constituyen los cuerpos de rocas ultrabásicas que forman el núcleo de la Sierra Cristal.

Aunque se conoce desde hace mucho tiempo no existe un estudio completo o al menos generalizado, es por ello que la información al respecto esta fraccionada e incompleta.

Las ultramafitas de la zona de trabajo pertenecen a la asociación ofiolítica de Cuba que es uno de los macizos más extensos del mundo en su tipo.

Las ofiolitas reflejan el magmatismo intrusivo presente en el área, compuesta por serpentinitas, gabros, diabasas, siendo estas últimas lo menos distribuidas en la región.

El magmatismo efusivo presenta gran desarrollo en la región y esta representado por las formaciones vulcanógenas sedimentarias de edad Cretácico (Santo Domingo, Quibiján) y Paleoceno (Gran Tierra). En la secuencia de edad Cretácico se observa mineralización sulfurosa acompañante.

2.3. Tectónica

El alto grado de complejidad tectónica que presenta la región se pone de manifiesto en la superposición de distintos fenómenos geológicos originados en diferentes periodos .

Las secuencias de rocas del Cretácico están representadas por la formación Téneme y la Picota, donde se pueden observar sistemas de fallas y grietas pertenecientes a distintos periodos de movimiento tectónicos, las más antiguas a pesar de encontrarse afectadas por los sistemas recientes presentan una dirección aproximadamente norte – suroeste. En algunos lugares se observan sistemas de fallas arqueadas por cambio de dirección de los movimientos tectónicos o por contactos tectónicos entre rocas con diferentes resistencias.

Las estructuras disyuntivas presentan una dirección noreste, las estructuras plicativas se encuentran propagadas en el centro y sur del área presentando desplazamientos y deformaciones ocasionadas por las estructuras disyuntivas.

La secuencia más joven está desarrollada hacia la parte norte del área donde se encuentran afectada por algunas fallas muy recientes y otras que se han reactivado.

La tectónica del complejo ofiolítico es bastante compleja, se encuentra afectada por varios sistemas de dislocaciones disyuntivas en dos direcciones principales, norte y noroeste con un predominio de la primera, se observan fallas arqueadas en las zonas de contacto tectónico, aparecen estructuras plegadas y los arqueamientos se encuentran desplazados y deformados por sistemas de fallas.

2.4. Geomorfología

En toda la parte de la región oriental desde Mayarí hasta Sagua de Tánamo las características geomorfológicas son muy complejas y diversas.

Nuestra zona de trabajo ubicadas en el grupo de regiones montañoso con un relieve de bloques erosivos – tectónico (Sierra Nipe – Cristal) de tipo de mesetas y montañas bajas.

Hacia el norte a lo largo de la costa , predominan los promontorios septentrionales que se extienden desde la bahía de Nipe al oeste , abarcando toda el área de trabajo hacia el este; hacia el sur se extienden las mesetas de la sierra de Nipe – Cristal.

Haciendo un estudio del relieve en cuanto a su tipo y forma podemos concluir que hacia el norte cerca de la desembocadura , predominan las llanuras erosivas y llanuras denudativas , sobre el lecho de rocas onduladas y ligeramente diseccionadas.

En el curso medio y superior del río Téneme predomina las montañas baja profundamente diseccionadas. Las mayores pendientes se encuentra hacia el centro y sur del área relacionadas con las rocas básicas , y ultrabásicas, las cuales disminuyen hacia norte.

CAPITULO III. METODOLOGÍA DE EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

3.1. Descripción del fenómeno estudiado

Un rasgo esencial de la geología de Cuba lo constituye el amplio desarrollo de las series volcánicas. A un primer estadio de desarrollo de arcos de islas (Aptiense-Campaniense) se asocian tres metalotectos: a) la parte superior del corte mantélico de la zona de suprasubducción, con desarrollo de cuerpos de cromititas ofiolíticas (Proenza et al., 1997), b) las series volcanosedimentarias submarinas del trasarco, con depósitos VMS (tipo Kuroko y tipo Chipre, Proenza y Melgarejo, 1998), mineralizaciones exhalativas de óxidos de Mn (Cazañas y Melgarejo, 1998, y depósitos de zeolitas, y c) las series y rocas intrusivas de la zona axial del arco, con depósitos de *skarn*, de pórfido cuprífero y epitermales de Au-Ag. En el presente trabajo se analiza la mineralización sulfurosa con elevados contenidos de oro relacionada con las series vulcano-sedimentarias submarinas que al parecer forman parte del trasarco de edad Cretácico y con las rocas intrusivas de la zona axial del arco.

La mineralización metálica relacionada con el vulcanismo Cretácico ha sido mejor estudiada en otras regiones del país donde los elementos estructurales y litológicos que componen al arco Cretácico están mucho mejor representados que en el noreste de Cuba oriental. Un rasgo particular de la zona de estudio lo constituye el hecho de que las secuencias vulcano-sedimentarias están cubiertas tectónicamente por las ofiolitas, aspecto este que no sucede en otras regiones del país. De ahí que se haga sumamente difícil, con la información geológica y geoquímica que se tiene actualmente, elaborar modelos geológico-metalogenéticos en el marco de esta megaestructura, no solo para Cuba sino también para todo el Caribe.

La mineralización que nos ocupa es esencialmente hidrotermal, hospedada en efusivos volcánicos de edad Cretácico. Las observaciones de campo y análisis de laboratorio ponen de manifiesto tres posibles estilos diferentes de mineralización metálica en la zona de estudio: 1) sulfuros (principalmente pirita) relacionados con los procesos de alteración hidrotermal submarina de las rocas volcánicas, específicamente propilitización y espilitización sin oro; 2) sulfuros (pirita, calcopirita?) en vetas (*stockwork*) con oro y 3) sulfuros asociados a un posible pórfido o *skarn*? , similar a la mineralización existente en el distrito minero Golden Hill en Camagüey, cuya mineralización posee rasgos de un posible estilo epitermal de Alta Sulfuración, posiblemente asociado con una mineralización de tipo cobre porfídico (Silito, R.H., 1996).

Ante tantas incongruencias y falta de información geoquímica capaz de dilucidar los aspectos genéticos y metalogenéticos de las vulcanitas de la Formación Téneme hemos decidido realizar esta investigación, para lo cual nos planteamos un grupo de tareas que abarcan: trabajos de recopilación bibliográfica, trabajos de campo y de gabinete, trabajos de laboratorio y la interpretación de los resultados y su representación gráfica.

3.2. Recopilación bibliográfica

Para la realización de la tesis se consultaron numerosos trabajos de diploma existentes en el fondo geológico del departamento de Geología de la Facultad de Geología y Minería del I.S.M.M “Dr. Antonio Núñez Jiménez”. Además se consultaron varias tesis doctorales y de maestría elaboradas por profesores del ISMM que abordan la temática que nos compete, así como una extensa lista bibliográfica (revistas, libros, artículos, etc.) existente en el Centro de Información Científico Técnica del ISMM y que aparece reflejada en la referencia bibliográfico de este trabajo.

Es importante destacar la búsqueda bibliográfica realizada por los autores de este trabajo con relación a los trabajos ejecutados en otras regiones del país y que pudieran aportar nuevos elementos, que haciendo uso del principio de analogía nos acercaran a establecer ciertas regularidades geológicas y metalogenéticas relacionadas con nuestra área de estudio. En tal sentido cabe señalar los trabajos geológicos llevados a cabo por Geominera Camagüey en el distrito minero Golden Hill, Florencia, Esperanza, Deseada, Jacinto, Cabezada del Toro, etc., interpretados como depósitos epitermales de Alta Sulfuración; los trabajos realizados en Santa Clara, donde existen importantes yacimientos de VMS Tipo Kuroko, como son: San Fernando, Antonio, Los Mangos, Independencia, La Ceiba, Minas Ricas y Los Cerros.

Se realizó una exhaustiva revisión de los comentarios realizados por Richard H. Sillitoe y los trabajos realizados Lugo Primellez en Golden Hill, así como las reseñas hechas por Por Proenza en Acta Geológica Hipánica, en su artículo “Una introducción a la metalogenia de Cuba bajo la perspectiva de la tectónica de placas”.

Sin lugar a dudas todas las obras consultadas han tenido un carácter científico, aportando mucha información valiosa, sirviendo de marco teórico conceptual de la presente investigación.

3.3. Trabajos de campo

Los trabajos de campo se realizaron en un área de aproximadamente 40 Km², compuesta fundamentalmente por vulcanitas de la Formación Téneme y los productos de la

meteorización físico-química. También están presentes en el área de estudio las serpentinitas y sedimentos terrígenos serpentínoclasticos, así como rocas intrusivas de composición granodiorítica?. Los trabajos de campo abarcaron el área comprendida entre el poblado El Quemado y la cabecera del río Grande. Estos trabajos consistieron en un reconocimiento de campo, muestreo y documentación de afloramientos naturales de rocas volcánicas. Se documentaron y muestrearon también los afloramientos de rocas intrusivas que afloran en la cabecera del río Grande. Especial atención se le prestó al muestreo de las rocas volcánicas alteradas hidrotermalmente y los afloramientos donde las rocas mostraban bajo grado de alteración hidrotermal, cuestión esta muy difícil de establecer a ojo, pero que se logró empleando como criterio fundamentalmente de identificación la coloración de la roca, su dureza y la presencia de vetillas de cuarzo y carbonatos. Los itinerarios de reconocimiento y muestreo se realizaron siguiendo el curso de los ríos y arroyos y los caminos vecinales.

Se realizaron cinco itinerarios geológicos distribuidos en los cuatro sectores en que se dividió el área de estudio; estos sectores son:

- Sector 1. El Jobo.
- Sector 2. Área comprendida entre los caseríos de Limoncito y el Jobo.
- Sector 3. Los Corrales.
- Sector 4. Dos Comadres.

Para la realización de los itinerarios geológicos de reconocimiento y muestreo de rocas en afloramientos naturales y artificiales se emplearon diversos materiales y medios de trabajo, tales como:

- Hojas topográficas a escala 1:25 000: 5177-IV-a de Cabonico y la 5177-IV-c de Sierra Cristal
- Fotografías aéreas del vuelo K-10 de 1971: 16541, 16542 y 16543
- Libreta de campo
- Marcadores
- Piqueta de geólogo
- Brújula geológica de procedencia alemana
- Ácido clorhídrico diluido
- Bolsas plásticas
- Mochila

Los trabajos de campo fueron realizados en dos etapas. La primera etapa coincidió con la práctica laboral de Geoquímica Aplicada, desarrollada en cuarto año, recolectando 28

muestras de diferentes materiales volcánicos. En la tabla 1 se muestran los datos del muestreo. Las descripciones de las diferentes muestras tomadas fueron realizadas en condiciones de campo utilizando criterios de identificación visuales por lo que en muchas ocasiones no coinciden exactamente con los resultados del quimismo de roca, pues los materiales muestreados están muy alterados por fluidos hidrotermales.

Tabla 1. Ubicación espacial de las muestras recolectadas durante la campaña de campo de la primera etapa.

Muestras	X	Y	Descripción
LT-1	646154	221703	Andesita argilitizadas y piritizadas
LT-2	646263	221396	Vulcanitas con mineralización en vetillas
LT-3	646000	220950	Andesita argilitizadas y piritizadas
LT-20	645710	219100	Andesita frescas
LT-21	646600	220550	Andesita argilitizadas y piritizadas
LT-22	646925	220200	Vulcanitas con mineralización en vetillas
LT-23	647450	220650	Stockwork
LT-24	647800	220300	Stockwork
LT-25	647300	219170	Andesita argilitizadas y piritizadas
LT-50	647600	218590	Andesita argilitizadas y piritizadas
LT-51	649050	218870	Andesita argilitizadas y piritizadas
LT-52	645200	218450	Vulcanitas reemplazadas con sílice
LT-53	645100	217680	Vulcanitas con mineralización en vetillas
LT-54	648058	214950	Stockwork
LT-55	648500	215250	Andesita argilitizadas y piritizadas
LT-56	649390	215340	Intensa piritización
LT-57	649750	215700	Alteración argílica avanzada
LT-58	645800	216500	Vulcanitas reemplazadas con sílice
LT-59	646000	216300	Andesita argilitizadas y piritizadas
LT-60	645200	214450	Vulcanitas con mineralización en vetillas
LT-120	648982	221192	Vulcanitas argilitizadas sin mineralización
LT-121	648844	219980	Vulcanitas argilitizadas sin mineralización
LT-122	646474	218112	Vulcanitas argilitizadas sin mineralización
LT-123	648792	217281	Vulcanitas argilitizadas sin mineralización
LT-124	647598	216328	Vulcanitas argilitizadas sin mineralización
LT-125	647633	217783	Vulcanitas argilitizadas sin mineralización
LT-126	649329	214788	Vulcanitas argilitizadas sin mineralización
LT-127	646283	214530	Vulcanitas argilitizadas sin mineralización

Las 28 muestras tomadas inicialmente fueron enviadas a los laboratorios ActLab de Canadá y ACME de Chile, donde se les realizaron los análisis correspondientes. Parte de las restantes muestras fueron enviadas a Argentina para realizar sus correspondientes análisis y otras fueron analizadas en el laboratorio de análisis mineralógico del departamento de Geología. Con ayuda de esta tabla se confeccionó el mapa de datos reales (Fig. 3).

En la segunda etapa y coincidiendo con la fase de realización de la tesis se recolectaron 43 muestras (Tabla 2), para un total de 71 muestras distribuidas en toda la zona de estudio.

Tabla 2. Ubicación espacial de las muestras recolectadas durante la campaña de campo de la segunda etapa.

Muestras	X	Y	Descripción
TM-1	646350	222037	Vulcanita alterada y silicificada
TM-2	646387	221820	Idem
TM-3	646370	221675	Idem
TM-4	646335	221512	Idem
TM-5	646500	221400	Vulcanita con vetillas de cuarzo y sulfuros
TM-6	646740	221262	Vulcanita reemplazada
TM-7	646275	221350	Idem
TM-8	646210	221083	Idem
TM-9	646350	220988	Idem
TM-10	646637	221030	Idem
TM-11	646900	216675	Idem
TM-12	646625	216875	Idem
TM-13	646175	217000	Idem
TM-14	647412	218462	Idem
TM-15	647400	218600	Idem
TM-16	647325	218950	Idem
TM-17	647250	219730	Vulcanita fresca
TM-18	646840	220310	Idem
TM-19	649675	222505	Idem
TM-20	649787	222595	Idem
TM-21	650000	221525	Idem
TM-22	650125	221375	Idem
TM-23	650275	221475	Idem
TM-24	649125	220505	Idem
TM-25	648914	220525	Idem
TM-26	648575	220875	Idem
TM-27	648238	221300	Vulcanita argilitizada con sulfuros
TM-28	648250	221650	Idem
TM-29	647975	221675	Idem
TM-30	649250	214330	Idem
TM-31	649375	214387	Stockwork
TM-32	649500	214425	Stockwork
TM-33	650825	214340	Vulcanita argilitizada
TM-34	650888	214400	Idem
TM-35	651250	216100	Idem
TM-36	651738	215188	Idem
TM-37	651850	215125	Vulcanita alterada hidrotermalmente
TM-38	651825	215050	Granodiorita
TM-39	651675	215040	Idem
TM-40	651450	215030	Idem
TM-41	651210	216100	Idem
TM-42	651450	216350	Idem
TM-43	651700	219100	Idem

Las muestras fueron debidamente enumeradas utilizando un marcador especial. Las muestras tomadas durante la primera campaña fueron enumeradas con las siglas LT, mientras que las de la segunda campaña fueron enumeradas con las siglas TM. Esta tabla permitió elaborar el mapa de datos reales (Fig. 4).

Los diferentes afloramientos de rocas fueron descritos siguiendo las normas establecidas para la documentación de las secuencias volcánicas, anotando todas las descripciones en una libreta de campo debidamente preparada. Todos los puntos de muestreos fueron ubicados en las hojas topográficas a escala 1: 25 000 de Frank País y Sierra Cristal respectivamente. Posteriormente se confeccionaron los mapas de datos reales (Figs. 3 y 4).

3.4. Preparación de muestras

Las muestras enviadas al Laboratorio ACTLABS de Canadá y ACME de Chile fueron preparadas según las normas especiales de esos laboratorios y en correspondencia con la técnica analítica empleada.

Trituración

Las muestras fueron trituradas utilizando molinos de mandíbulas oscilantes de alta velocidad hasta más de 60 % a <2 mm (<10 mallas). El molino se limpió cada dos muestras con aire comprimido y brocha. Posteriormente las muestras fueron cuarteadas con cuarteador de ranura.

Pulverización

Esta operación tiene el inevitable efecto de que introduce en las muestras cantidades medibles del material de la superficie pulverizadora. El nivel de contaminación varía con la dureza del material de la muestra y depende del material de las superficies pulverizadoras. Para aceros al cromo, se puede esperar una adición a la muestra de 150 ppm de Cr y hasta 0.1 % de Fe. En el caso de la pulverización de las muestras LT-1, LT-2, LT-3, LT-20, LT-21, LT-22, LT-23, LT-24 y LT-25 se empleó una pulverizadora de disco con superficie de acero al tungsteno, por lo que hubo cierta contaminación en las muestras de W, sobre todo en aquellas con elevados contenidos de cuarzo, que han sido objeto de críticas por los doctores R. Díaz y A. Vega del departamento de Geología. Las restantes muestras fueron pulverizadas con acero al cromo. La pulverización se realizó hasta más del 90 % a <100 micrones (<100 mallas). Se tomaron 200 g. de material por cada muestra.

Digestión

Debido a que las técnicas analíticas empleadas (INAA y ICP-AES) exigen que las muestras deben ser previamente disueltas para obtener mejores resultados, la descomposición se realizó utilizando ácido nítrico-agua regia.

Las muestras de rocas enviadas al Laboratorio de Análisis Mineralógico del Departamento de Geología de la Facultad de Geología y Minería del ISMM de Moa están debidamente conservadas. Lamentablemente no pudo realizarse el estudio petrográfico por no confeccionarse las secciones delgadas, por lo que recomendamos se tenga en consideración este aspecto considerando que las muestras están almacenadas y conservadas en el laboratorio. A un total de tres muestras seleccionadas atendiendo a su grado de mineralización se les practicó el análisis minerográfico, razón por la cual se elaboraron secciones pulidas.

En todos los manuales de microscopía de menas se describe la metodología de elaboración de las secciones pulidas (Demidov, V. y Muñoz Gómez, N., 1993). En nuestro caso hemos utilizado la que aparece en el manual Introducción a la mineragrafía de V. Demidov y J.N. Muñoz Gómez (1993).

Antes de iniciar la preparación de las secciones pulidas se seleccionó el área de corte de forma tal que esta brindara la mayor cantidad de información desde el punto de vista minerográfico; dicha área fue marcada con un lápiz cristalográfico de color rojo. La preparación de las secciones pulidas contó de cuatro operaciones básicas o etapas: Corte, rectificación, acabado y pulido. A continuación, y sin entrar en muchos detalles, se describen cada una de las etapas.

Corte

El corte se realizó con la maquina cortadora marca MINOESCAL; se utilizó un disco de acero con diamante y tungsteno; como material refrigerante se empleó agua.

Rectificación

Después de haber realizado el corte se procedió al desbaste de las secciones en la maquina marca MONTASUPAL. Terminado el desbaste se pasó a pulir las secciones, en este proceso a cada una se le dio un tiempo aproximado de 20 a 30 min en cada uno de los esmeriles, los esmeriles que se utilizaron fueron de 60, 1000 y 1200 micrones de grosor pasando del más grueso al más fino. Por último a cada una de las secciones se le dio brillo en la brilladora marca MONTASUPAL utilizándose para esto pasta de diamante.

3.5. Análisis de laboratorio

Las muestras recolectadas durante los trabajos de campo fueron analizadas en tres laboratorios diferentes:

- 1) ACTIVATION LABORATORIES (ACTLABS), en Canadá.
- 2) ACME ANALITICAL LABORATORIES (ACME) cito en Av. Oceánica 7152 Pudajuel, Santiago, Chile.
- 3) LABORATORIO DE ANÁLISIS MINERALÓGICO del departamento de Geología de la Facultad de geología y Minería del ISMMM “Dr. Antonio Nçuñez Jiménez”.

En el primer laboratorio se analizaron 9 muestras (desde la LT-1 hasta la LT-25) con mineralización en vetas, argilitizadas y piritizadas. Estas muestras fueron sometidas al Análisis con Activación Neutrónica (INAA) para Au + 34 elementos. Esta técnica analítica tiene la ventaja de analizar el oro simultáneamente con algunos elementos traza asociados al mismo.

En el laboratorio ACME se analizaron 19 muestras, 11 poseen mineralización en vetas, argilitización y piritización (desde la LT-50 a la LT-60) y 8 corresponden a vulcanitas argilitizadas sin mineralización (desde la LT-120 a la LT-127). La técnica analítica empleada fue la de Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-AES) que resulta muy atractiva para el análisis de los materiales geológicos, pues la sensibilidad que se alcanza es aceptable para casi todos los elementos de interés.

En el laboratorio de análisis mineralógico se realizó el análisis minerográfico a un total de 4 muestras o secciones pulidas con mineralización sulfurosa. Para ello se empleó un microscopio de polarización marca ZEISS JENAPOL de la firma CARL ZEISS JENA, de procedencia alemana. Se empleó el objetivo 10^x y ocular 10^x, con un coeficiente de incremento lineal de 0.09516. Los materiales y accesorios utilizados fueron los siguientes:

1. Porta muestras o *Slide* de vidrio
2. Prensa manual
3. Agujas de cobre y acero
4. Plastilina
5. Paño de billar

Las mediciones del tamaño de los granos se realizó con la ayuda de un ocular micrométrico de fabricación Rusa marca MOB-1-16^x, construido según la norma rusa GOST 7865-77, el cual fue acoplado al ocular derecho del microscopio de polarización.

3.5. Procesamiento de la información

La información geoquímica obtenida como resultado de los análisis de laboratorio (INAA y ICP-AES) fue procesada estadísticamente, empleando la estadística descriptiva del Excel. Así se calcularon la media, moda, mediana y otros estadígrafos.

Los datos que poseemos actualmente son limitados en cantidad, más tienen un gran significado práctico por cuanto no se contaba con una base de datos que incluyera al oro, los elementos indicadores y traza en prácticamente toda el área de estudio. Por otro lado debemos añadir que dicha información procede de fuentes muy confiables, pues los laboratorios donde fueron analizadas las muestras cuentan con elevado reconocimiento internacional.

Los datos obtenidos a partir de las mediciones del tamaño de los granos en las secciones pulidas confeccionadas en el taller de preparación de muestras de la Facultad de Geología fueron procesados estadísticamente utilizando también el Excel del Microsoft Office.

3.6. Representación gráfica de los resultados

Para una mejor comprensión de los resultados obtenidos en el presente trabajo de diploma se han empleado gráficos y mapas de isocontenidos. Los gráficos fueron elaborados con ayuda del Excel, mientras que los diferentes mapas fueron obtenidos con ayuda del Surfer.

El empleo del Surfer en la resolución de tareas geológicas exige que la base topográfica con que se cuenta esté debidamente georreferenciada y rectificada. Para ello primeramente se procedió a escanear la hoja topográfica que abarcó el área de estudio. Se empleó un Scanner marca Mustek de fabricación coreana. El escaneado se realizó con ayuda del programa IMAGE que corre en Window 95. La resolución empleada fue de 200 dpi. La imagen obtenida fue salvada y guardada en formato digital con extensión. BMP. Posteriormente y con ayuda del módulo ORTHO del programa cubano TeleMap, versión 2.2 se procedió a georreferenciar la imagen obtenida, para lo cual se tomaron tres puntos de control, asignándole sus coordenadas planas. Posteriormente se tomaron las coordenadas X e Y de los límites superior izquierdo e inferior derecho, pues estos valores se necesitan para poder escalar el mapa en el Surfer. Luego de asignar los puntos de control a la imagen se le realizó la rectificación polinómica, es decir la transformación entre la imagen original y la imagen rectificada. Este método corrige las deformaciones de la imagen a partir de una red de puntos de control disponibles (TeleMap, 1994). Para utilizar este método de rectificación se requiere de al menos tres puntos de control, por lo que se asignaron, en nuestro caso tres puntos ubicados distantes unos de otros y en diferentes direcciones espaciales.

La imagen ya preparada fue llevada al Surfer donde se le introdujo los valores de las coordenadas de los límites y se le asignó su escala, 1: 50 000. A partir de esta nueva imagen se digitalizaron los ríos y caminos. A partir de los datos primarios de muestreo se creó un fichero.DAT, que sirvió de base para confeccionar el mapa de datos reales y los diferentes mapas de isolíneas de los elementos de interés para nuestra zona de estudio (Au, Ag, Hg, As,

Cu, Pb, Zn, Mo). Para representar las anomalías geoquímicas de los diferentes elementos químicos se tomaron los valores que sobrepasaran en varios órdenes los contenidos medios.

En nuestro trabajo y por cortesía del Dr. Roberto Díaz Martínez, tutor de este trabajo, se pudieron obtener además, varias imágenes digitales de las secciones pulidas con ayuda de una cámara digital marca LDC-F25M, de la firma LG, de procedencia coreana. La cámara digital fue acoplada al ocular derecho del microscopio luego de observar nítidamente los granos minerales el campo visual. Las imágenes fueron descargadas en la computadora con ayuda del programa Artshot y guardadas en formato de imagen con extensión .JPG.

CAPITULO IV. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

4.1. Introducción

Luego de procesar toda la información obtenida a partir de la realización del presente trabajo de diploma en colaboración estrecha con el tutor, el Master Leudar Ramayo Cortés que nos brindó toda la información y otros miembros del departamento, a los cuales les reiteramos nuestro más profundo e infinito agradecimiento procedemos a realizar la interpretación de los resultados.

Debemos señalar que los resultados que presentamos en el presente trabajo si bien son preliminares ya que el volumen de información geoquímica obtenida es relativamente pequeño tienen, en los momentos actuales, un gran significado práctico para nuestro país. Desde que el entonces Instituto Cubano de Recursos Minerales (I.C.R.M.) realizó el levantamiento geológico a escala 1: 50 000 en las montañas de las Sierras de Nipe y Cristal y en la región de Moa, dirigidos por los especialistas Adamovich, A. y Chejovich, V., no se tenía ni se tiene una información geológica tan valiosa como la que aparece en este informe que representa la culminación de nuestros estudios. Es por ello, que se le ha prestado un enorme interés a los resultados obtenidos, pues los mismo podrán ser utilizados por otros investigadores y especialistas de las empresas geológicas nacionales vinculadas a los estudios metalogenéticos y la evaluación del potencial minero en la parte correspondiente al arco del Cretácico de la isla.

Una de las limitaciones de este trabajo fue no haber podido contar con los resultados de la petrografía pues las secciones delgadas no pudieron realizarse debido a limitaciones materiales existentes en el taller de preparación de muestras petroquímica.

4.2. Breve caracterización geológica del área de estudio

A partir de las observaciones de campo realizadas durante los itinerarios geológicos de reconocimiento en el área de estudio se pudo identificar claramente que las rocas volcánica de la Formación Téneme están compuestas esencialmente por andesitas. Estas rocas se caracterizan por su coloración verde oscura a gris claro y están intensamente silicificadas, sobre todo en el sector del Jobo. En este sector, a unos 150 metros del campamento de pioneros, en los alrededores del cauce del río Téneme y en las zonas de confluencias de éste con los arroyos pequeños se observa una intensa silicificación que en ocasiones produce el reemplazamiento total de la roca. Con este reemplazamiento se asocia una mineralización semimasiva de pirita, con cristales visibles a simple vista. También se detectan vetas de cuarzo con sulfuros. La alteración hipergénica de las vetas ha producido la alteración de la

pirita dando lugar a la formación de óxidos e hidróxidos de hierro, algunos carbonatos de cobre y una zona clarificada en la que se desarrolla caolinita y cuarzo. Hacia el norte en el cauce del río afloran las rocas volcánicas muy alteradas de color verde y con esferulitas que al parecer son rellenas de cloritas y plagioclasas. Estas esferulitas son propias de procesos de espilitización de rocas volcánicas en condiciones submarinas.

A un kilómetro al sur de El Jobo, en el camino se observa un amplio afloramiento compuesto por brechas volcánicas muy meteorizadas. En los alrededores de El Manguito y Limoncito las andesitas prácticamente son estériles, presentando una intensa cuarcificación y en menor medida la argilitización.

Al sur de Dos Comadres se pudo observar la presencia de afloramientos de rocas intrusivas que al parecer son de granodioritas mineralizadas al parecer con calcopirita.

Lamentablemente no se pudo realizar las láminas delgadas previstas por lo que recomendamos se realicen en futuros trabajos estos análisis a fin de identificar correctamente estos conjuntos litológicos.

Otro rasgo de la geología de la zona lo constituye el hecho de observar la presencia de cuerpos de serpentinitas sobreyaciendo en posición tectónica las vulcanitas, lo que evidencia una vez más la presencia de los mantos tectónicos de serpentinitas cubriendo los volcánicos. Estos procesos de emplazamiento tectónico apoyan actualmente la idea acerca de la formación de oro orogénico.

4.3. Resultados de la geoquímica de rocas de elementos mayores

Los análisis de elementos mayores son presentados en la tabla 3. El metasomatismo sódico está presente en los volcánicos debido a la sustitución del Ca por Na en las plagioclasas. Este es un proceso propio de la espilitización de las andesitas en condiciones submarinas. El Al_2O_3 en las rocas está por debajo de los valores normales lo que evidencia una extracción de la alúmina durante el proceso de alteración hidrotermal. No obstante, en algunas muestras (LT-1, LT-20) los valores son relativamente altos, por lo que podemos concluir que estos valores se deben a la presencia de filosilicatos (arcillas). Recomendamos la realización de análisis de difracción de rayos X para definir la presencia de estos filosilicatos.

En la muestra LT-20 se observa el elevado contenido de V_2O_5 , que pudiera estar relacionado con la presencia de ciertas micas de vanadio presentes en los materiales arcillosos. Si analizamos en esta muestra los valores de los álcalis, el Al_2O_3 y FeO podemos concluir que realmente la muestra de andesita no es fresca como se describió y si posee síntomas de la alteración hidrotermal.

Tabla 3. Composición de elementos mayores de las rocas volcánicas de la formación Téneme. Análisis mediante INAA y ICP-AES (valores en %).

Muestras	SiO ₂	FeO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	TiO	Na ₂ O	V ₂ O ₅	MnO	Total
LT-1	78,00	5,75	10,70	3,54	0,03	0,83	0,21	0,27	0,30	0,00	99,64
LT-2	97,00	1,09	1,13	0,13	0,04	0,42	0,01	0,03	0,03	0,00	99,89
LT-3	86,30	4,18	6,11	0,18	0,01	0,83	0,27	0,27	0,30	0,01	98,47
LT-20	57,60	11,52	13,30	0,39	3,33	3,37	0,81	4,38	4,92	0,18	99,80
LT-21	89,10	2,15	5,36	1,66	0,04	0,43	0,13	0,05	0,06	0,00	99,00
LT-22	97,52	0,81	0,09	0,01	0,01	0,07	0,01	0,01	0,02	0,01	98,57
LT-23	88,40	4,29	4,21	1,36	0,10	0,83	0,53	0,03	0,03	0,00	99,78
LT-24	88,36	5,75	2,25	1,96	0,04	0,68	0,55	0,01	0,02	0,00	99,62
LT-25	94,42	1,84	0,85	0,51	0,06	0,65	0,01	0,03	0,03	0,01	98,40
LT-50	97,21	1,18	0,68	0,05	0,03	0,38	0,01	0,01	0,02	0,01	99,58
LT-51	84,42	3,67	4,32	0,23	1,37	4,60	0,01	0,10	0,11	0,10	98,93
LT-52	77,21	10,26	4,46	0,07	3,49	3,61	0,16	0,11	0,12	0,17	99,65
LT-53	95,03	2,24	1,17	0,35	0,01	0,10	0,01	0,01	0,02	0,00	98,95
LT-54	91,23	1,47	3,04	0,21	1,91	0,73	0,17	0,07	0,08	0,03	98,92
LT-55	91,61	1,43	4,81	0,12	0,08	0,66	0,01	0,03	0,03	0,13	98,91
LT-56	88,12	4,21	1,45	0,07	0,07	4,68	0,01	0,07	0,08	0,00	98,77
LT-57	95,43	1,24	0,34	0,13	0,01	0,40	0,25	0,04	0,05	0,08	97,97
LT-58	94,68	1,58	0,83	0,18	0,06	0,33	0,01	0,01	0,02	0,01	97,71
LT-59	90,37	1,09	2,49	0,25	2,68	1,88	0,08	0,03	0,03	0,00	98,90
LT-60	92,02	1,51	3,87	0,04	0,03	1,83	0,01	0,04	0,05	0,10	99,49
LT-120	80,22	4,18	4,32	0,31	0,66	8,04	0,15	0,26	0,29	0,06	98,49
LT-121	84,26	3,44	4,87	0,01	3,18	3,01	0,15	0,14	0,15	0,04	99,23
LT-122	82,01	3,64	5,11	0,02	3,32	3,24	0,16	0,18	0,20	0,04	97,92
LT-123	83,42	3,45	4,98	0,01	3,24	3,07	0,15	0,15	0,17	0,04	98,68
LT-124	82,33	3,73	5,25	0,01	3,40	3,22	0,16	0,16	0,18	0,05	98,50
LT-125	83,43	3,36	4,96	0,01	3,19	3,06	0,15	0,14	0,15	0,04	98,49
LT-126	83,17	3,42	5,15	0,01	3,40	3,07	0,16	0,19	0,21	0,04	98,83
LT-127	82,54	3,51	5,34	0,01	3,53	3,21	0,16	0,16	0,18	0,04	98,69

Según los contenidos de SiO₂ (57,60 %), FeO total expresado como FeO/MgO (3,42 %) y K₂O (0,39 %) la andesita LT-20 presenta una tendencia toleítica con bajo contenido en K. Esta característica es típica de arcos volcánicos toleíticos pobres en K. Resultados similares han sido descritos en las rocas volcánicas de las series inferior y media del Grupo El Cobre, en la Sierra Maestra (Cazañas et al., 1998)

De acuerdo al diagrama de álcali total (K₂O+Na₂O) versus SiO₂ (TAS, Le Bass et al., 1986), solamente una muestra (LT-20) es clasificada como andesita (Fig. 5). Esta muestra se ubica a 500 metros del caserío El Manguito y sus coordenadas son: X= 645710 y Y= 219 100.

Como puede observarse en la figura 3 el proceso de silicificación a que han sido sometidas las rocas volcánicas de la Formación Téneme es sumamente intenso, con contenidos de SiO₂ por encima del 77 %, valores muy elevados para una roca de composición intermedia y muy por

encima para una dacita. Esta intensa alteración hidrotermal provocada por fluidos muy ricos en sílice ha motivado el reemplazamiento casi total de la roca primaria, por lo que estamos en presencia de una metasomatita. De ahí que es sumamente difícil establecer la composición original de los materiales volcánicos, ya que la mayoría de los elementos mayores han sido lixiviados o reemplazados metasomáticamente por sílice. Este hecho sugiere que en próximas campañas de muestreo se le preste mayor atención a las vulcanitas poco alteradas.

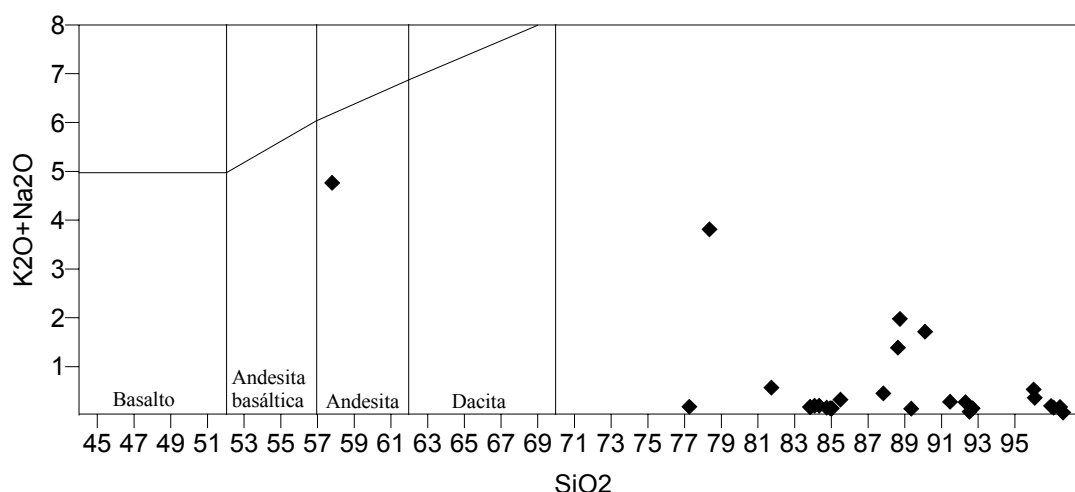


Figura 5. Alkali total ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) frente a SiO_2 (TAS) en las rocas volcánicas de la Formación Téneme (los valores están expresados en %).

4.4. Geoquímica de elementos trazas

La distribución de los elementos trazas en rocas ígneas han 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 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 K_d de T.R. en los minerales formadores de rocas, hace que cada mineral tenga un evento característico en el patrón de TR de una fusión la que permite identificar la actuación de aquel mineral en los procesos de diferenciación.

Hellman y Henderson (1977) demostraron las movilidades de las TR durante la espilitización de toleitas en la India, caracterizadas por aumento de la concentración de TRL. Hellman (1979) encontró evidencias de removilización de TR durante el metamorfismo subterráneo de bajo grado en espilitas, con removilización preferencial de TRL.

Los elementos de tierras raras (T.R.), así como otros elementos trazas de las rocas volcánicas estudiadas se muestran en la tabla 4. Las muestras estudiadas presentan contenidos bajos en *large-ion-lithophile elements* (LILE). Los contenidos en Rb son inferiores a 15 ppm, excepto en la muestra LT-1 donde alcanza 20 ppm. Las concentraciones de otros elementos incompatibles como el Th y U también son bajos. En cambio el Ba que es un elemento incompatible muestra valores muy altos en cinco muestras. Este hecho pudiera estar relacionado con los procesos de sustitución metasomática a que han estado sometidas las rocas volcánicas. Es probable que el Ba esté sustituyendo al potasio de los feldespatos potásicos (adularia).

En sentido general se observa que los elementos de las T.R., tanto ligeras como pesadas están muy empobrecidos en los materiales estudiados. No obstante se observa cierta tendencia a un aumento de las tierras raras ligeras con respecto a las tierras raras pesadas, destacándose la muestra LT-20 por presentar los mayores valores. De ahí que se concluya que la causa del empobrecimiento de los elementos de las tierras raras en los volcánicos esté motivado por los procesos de removilización producidos durante la alteración hidrotermal de las vulcanitas, por tanto el estudio de las T.R. en los conjuntos litológicos muestreados no ofrecen información suficiente para arribar a importantes conclusiones acerca del origen y evolución de las vulcanitas de la Formación Téneme.

Tabla 4. Composición en elementos trazas de las rocas volcánicas de la formación Téneme (ppm).

	LT-1	LT-2	LT-3	LT-20	LT-21	LT-22	LT-23	LT-24	LT-25
La (ppm)	1	0,8	1	4,9	1,6	0,6	1	1,6	0,7
Ce	-3	-3	-3	14	3	-3	-3	-3	-3
Nd	-5	-5	-5	9	-5	-5	-5	-5	-5
Sm	0,3	0,2	0,6	3,5	0,4	-0,1	0,3	-0,1	-0,1
Eu	-0,2	-0,2	-0,2	1,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
Tb	-0,5	-0,5	-0,5	0,8	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
Yb	1	-0,2	-0,2	3,8	0,6	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
Lu	0,15	-0,05	0,23	0,57	0,09	-0,05	0,2	0,25	-0,05
Hf	2	-1	-1	2	1	-1	-1	-1	-1
U	1,2	-0,5	1,3	1,2	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
Th	0,6	-0,2	0,4	0,5	0,3	-0,2	0,6	0,3	-0,2
Mo	7	35	56	-1	29	7	49	12	6
Ni	-20	-20	-20	-25	-20	36	-20	-20	-20
Rb	20	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15
Sr	17	3	14	181	14	2	111	6	23
Ba	4600	340	5800	420	4800	-50	4795	2589	569

4.5. Anomalías geoquímicas de metales preciosos y elementos indicadores: relación con las rocas volcánicas y la mineralización sulfurosa asociada.

Los análisis realizaron permitieron conocer el comportamiento y distribución de los principales elementos estudiados, ellos son: Au, Ag, Hg, As, Pb, Zn, Cu y Ba. En la tabla 5 se muestran los valores de estos y otros elementos indicadores de la mineralización aurífera

Tabla 5. Contenidos de metales preciosos y elementos indicadores (ppm)

Muestras	Au	Ag	Hg	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Bi	Mo	Ba
LT-1	0,17	1	1	28	12	38	54,7	4,2	5	7	4600
LT-2	4,45	2,5	1	325	260	469	9	2,2	5	45	340
LT-3	0,7	1,9	1	267	158	496	85	5,3	5	14	5800
LT-20	0,1	0,4	1	143	5	101	4,5	0,7	5	1	420
LT-21	0,6	10,9	4	23	48	11	38,1	5,5	5	28	4800
LT-22	0,01	0,4	1	3	5	2	4	0,3	5	6	50
LT-23	5,52	0,4	1	348	157	36	95	4,4	5	12	4795
LT-24	5	0,4	1	36	162	416	10	1,3	5	6	2589
LT-25	0,24	0,4	3	214	163	76	89	0,2	5	11	569
LT-50	4,07	2,7	1,31	474	303	766	7	3	3	32	148
LT-51	0,01	0,5	0,02	218	3	91	5	3	3	6	45
LT-52	0,01	0,3	0,03	154	3	107	2	3	4	1	114
LT-53	0,95	8,5	2,87	32	50	6	36	3	3	19	2014
LT-54	5,03	15,9	2,01	355	69	659	24	3	3	9	279
LT-55	4,34	0,3	0,6	409	207	123	9	3	3	3	1069
LT-56	6,85	0,4	1,8	548	234	245	31	3	3	1	582
LT-57	0,02	0,9	0,01	309	5	72	7	4	3	22	2133
LT-58	0,1	14,6	0,15	205	151	15	23	3	3	2	587
LT-59	3,1	0,6	0,02	167	111	391	14	3	3	1	439
LT-60	0,15	3,5	1,9	58	8	8	25	3	3	13	11554
LT-120	0,01	3	0,01	188	3	42	3	3	3	1	130
LT-121	0,02	3	0,02	112	3	31	4	3	3	1	178
LT-122	0,01	3	0,01	78	3	32	3	3	3	2	181
LT-123	0,01	3	0,01	189	3	38	3	3	3	1	161
LT-124	0,01	3	0,01	192	4	39	5	3	3	2	168
LT-125	0,02	3	0,01	143	3	33	2	3	3	1	148
LT-126	0,02	3	0,2	107	3	32	5	3	3	1	165
LT-127	0,01	3	0,03	67	3	32	5	3	3	1	196

El estudio de la distribución y abundancia de los metales preciosos fue precedido del análisis estadístico de los datos. En la tabla 6 se resume la estadística descriptiva, la cual se obtuvo con ayuda del Excel. Si se observan los valores medios de oro y plata en la tabla vemos que son muy anómalos, especialmente el oro, con una media considerada como un valor industrial.

Tabla 6. Resumen de la estadística descriptiva de los datos geoquímicos

	Au	Ag	Hg	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Bi	Mo	Ba
Media	1,483	3,232	0,894	192,6	76,39	157,4	21,51	2,932	3,679	8,893	1581
Error típico	0,419	0,788	0,202	26,99	17,86	40,64	5,193	0,229	0,179	2,109	491,6

Mediana	0,125	2,6	0,8	177,5	10	40,5	8	3	3	4,5	380
Moda	0,01	3	1	143	3	32	5	3	3	1	148
Desviación estándar	2,218	4,17	1,07	142,8	94,5	215	27,48	1,214	0,945	11,16	2601
Varianza de la muestra	4,918	17,39	1,145	20400	8930	46237	755,1	1,473	0,893	124,5	6x10 ⁶
Curtosis	-0,16	3,885	1,521	0,105	-0,28	1,731	2,223	1,316	-1,55	3,216	7,324
Coefficiente de asimetría	1,2	2,116	1,37	0,797	0,998	1,664	1,779	-0,4	0,717	1,829	2,53
Rango	6,84	15,6	3,99	545	300	764	93	5,3	2	44	11509
Mínimo	0,01	0,3	0,01	3	3	2	2	0,2	3	1	45
Máximo	6,85	15,9	4	548	303	766	95	5,5	5	45	11554
Suma	41,53	90,5	25,02	5392	2139	4407	602,3	82,1	103	249	44254
Cuenta	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Nivel de confianza(95,0%)	0,86	1,617	0,415	55,38	36,64	83,38	10,66	0,471	0,366	4,327	1009

El valor tan elevado de oro se debe a que muchas muestras incluidas en el tratamiento estadístico poseen valores industriales de oro, por ejemplo las muestras LT- 2, LT-23, LT-50 y LT-56 (ver tabla 5). La plata también posee un valor medio alto. El mercurio es sumamente anómalo con un valor medio de 0.8 ppm. Estos valores no son utilizados para confeccionar las cartas geoquímicas por considerarlos en extremo anómalos.

En la tabla 7 aparece la matriz de correlación lineal confeccionada a partir de los datos de la tabla 6. Puede observarse que el oro y la plata poseen una correlación negativa lo que sugiere que en los materiales muestreados no existen amalgamas de oro-plata y que la presencia de ambos elementos se debe a procesos genéticos o fases minerales diferentes. El oro posee buena correlación con el cobre, el plomo y el zinc. Esto pudiera estar motivado por la presencia de cobre en la piritita y determinadas sulfosales de cobre, plomo y zinc. El mercurio tiene buena correlación con el arsénico lo que indica la parte alta del sistema mineralizado y que dicha asociación pudiera estar relacionada con la presencia de sulfosales de As. Debemos recordar que en la zona de estudio en trabajos anteriores se ha reportado la presencia de cinabrio en los concentrados de batea.

El Bario tiene buena correlación con el arsénico. Este aspecto evidencia también la parte alta del sistema mineralizado, por cuanto el bario tiende a concentrarse en estos niveles, asociado a sulfatos y sulfosales.

Tabla 7. Matriz de correlación de los elementos preciosos y otros indicadores.

<i>Elementos</i>	<i>Au</i>	<i>Ag</i>	<i>Hg</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>As</i>	<i>Sb</i>	<i>Bi</i>	<i>Mo</i>	<i>Ba</i>
Au	1										
Ag	-0,01	1									
Hg	0,241	0,345	1								
Cu	0,663	-0,06	-0,02	1							
Pb	0,766	-0,03	0,291	0,689	1						
Zn	0,628	0,102	0,128	0,535	0,654	1					

As	0,194	0,013	0,527	0,14	0,334	0,045	1					
Sb	0,012	0,253	0,02	0,13	-0,03	0,015	0,27	1				
Bi	0,096	-0,23	0,405	-0,2	0,204	0,074	0,53	-0,15	1			
Mo	0,265	0,145	0,488	0,229	0,485	0,426	0,204	0,194	0,323	1		
Ba	-0,01	0,023	0,403	-0,2	-0,01	-0,09	0,492	0,415	0,271	0,255	1	

Los datos que aparecen en la tabla 5 fueron utilizados para confeccionar las diferentes cartas geoquímicas de anomalías monoelementos y el mapa de áreas perspectivas para la realización de futuros trabajos de prospección en el área de estudio. A continuación se procederá a analizar los campos anómalos existentes en la zona.

Mapas de anomalías de oro y plata.

Según la distribución espacial de las anomalías de oro (Fig. 6a) en el área de estudio se reconocen dos sectores de gran interés, uno en la parte superior coincidiendo con la zona de El Jobo y toda el área de desarrollo de las vulcanitas reemplazadas por sílice y otra en la parte inferior coincidiendo con la zona de desarrollo de las vulcanitas que yacen en la cercanía de los cuerpos intrusivos. En este sector podemos observar como las anomalías, en su parte superior de oro se inclinan algo hacia el noroeste. Esto se debe al muestreo que fue realizado de forma lineal siguiendo todo el curso del río.

Ambos sectores anómalos están separados por una zona pequeña con bajos valores de oro. Hacia los flancos superiores del área de desarrollo de las vulcanitas los contenidos de oro disminuyen que indica que las rocas que afloran están empobrecidas en oro.

La mayor amplitud del sector norte hacen que este sea mucho más perspectivo al nivel de esta investigación por lo que recomendamos se tenga muy en cuenta en futuros trabajos de prospección de oro.

Las anomalías de plata (Fig. 6b) no coinciden con las de oro. Se pueden observar dos zonas contrastantes, una en la parte superior del área con valores medios de plata y la otra en la dirección sureste con dos epicentros anómalos con valores por encima de 10 ppm. La plata pudiera estar relacionada con un estilo muy particular de mineralización en esta zona pues su correlación negativa con el oro así lo confirma.

Mapas de anomalías de mercurio y arsénico.

En el área de estudio se observa una amplia anomalía de mercurio (Fig. 7a), con valores sumamente anómalos alcanzan los 3 ppm. No obstante, existen en la zona un sector de

máxima concentración de este elemento, que coincide con el área de desarrollo de la máxima mineralización detectada en la zona. El valor umbral de estas anomalías se consideró de 0.1 ppm. Si partimos del hecho que hacia la parte sureste se desarrollan los cuerpos intrusivos podemos inducir que la mineralización a la cual se asocia el mercurio yace en los niveles más alto del corte erosivo, muy cercano a la superficie.

Las anomalías de arsénico (Fig.7b) aunque ocupan un área más reducida que las de mercurio son fuertes con un amplio desarrollo hacia la parte norte del área coincidiendo con la de mercurio. Hacia la parte sureste se observan valores altos de este elemento pero muy puntuales que pudieran estar relacionadas con una mineralización de alta temperatura, quizás relacionada con sistemas porfídicos.

Mapas de anomalías de plomo y zinc

Las anomalías de plomo (Fig. 8a) y zinc (Fig. 8b) son de pequeñas dimensiones y se distribuyen en áreas muy reducidas. Los máximos valores de ambos elementos coinciden espacialmente y se correlacionan positivamente por lo que es de esperar que la mineralización sulfurosa está enriquecida notablemente en estos importantes elementos indicadores de mineralización polimetálica. Los valores de fondo o normales de plomo y zinc en rocas de composición intermedia como las que aparecen ampliamente distribuidas en la zona de estudio son de 15 ppm de Cu y 72 ppm de Zn respectivamente por lo que en dichas rocas estos elementos se han concentrado significativamente.

Mapas de anomalías de cobre y bario

Las anomalías de cobre (Fig.9a) son muy sinuosas y con valores muy altos los cuales pudieran estar relacionados con la mineralización sulfurosa. Los máximos valores están orientados en la dirección norte-sur y se ubican en la zona de El Jobo, Limoncito y Baconal-Monte Bueno aumentando los contenidos en esa misma dirección. Esta regularidad está relacionada con la posición de las series volcánicas, que a nuestro juicio hacia el sur se desarrolla la parte baja de la Formación Téneme.

Las anomalías de bario (Fig. 9b) tienen una distribución espacial muy limitada relacionándose con las zonas más bajas del relieve. Ellas no coinciden con las anomalías de cobre y se ubican en las zonas superiores de las series volcánicas e esta formación.

Las restantes anomalías no la representamos porque solo pretendimos hacer uso de aquellas que brindaran mayor información desde el punto de vista de la prospección de yacimientos Tipo VMS.

Del análisis realizado luego de comparar y caracterizar las principales anomalías existentes en el área de estudio podemos concluir que la zona es prospectiva, existiendo cuatro áreas bien delimitadas para la búsqueda de mineralización aurífera en toda la zona. Estas áreas han sido contorneadas y representadas en la figura 10.

4.5. Rasgos esenciales de la mineralización sulfurosa revelada en el área de estudio.

El análisis de las secciones pulidas permitió esclarecer algunas particularidades de la mineralización sulfurosa existente en la zona de estudio. A continuación se describen los rasgos esenciales de la mineralización pirítica existente en el área de los trabajos.

Muestras LT-5

En esta muestra la mineralización sulfurosa es muy abundante con granos minerales de color amarillo claro, isótropos, no presentan birreflexión ni tampoco reflejos internos y tienen forma cúbica. La dureza es alta. Los granos minerales fueron identificados como pirita. La mineralización presenta una estructura de cristalización de tipo hipidiomorfa granular (Fotos 1 y 2). Los granos minerales se encuentran fracturados, lo que nos indica que la mineralización ha sido sometida a efectos mecánicos. Esta fracturación de los individuos minerales no fue producida por eventos metamórficos ya que estructuras de este tipo no fueron identificadas bajo el microscopio. Los granos minerales aparecen brechados y sementados por un proceso de silicificación ulterior a la mineralización. Las dimensiones de los granos se observan en la tabla 8.

Tabla 8. Dimensiones (largo y ancho) de los granos de pirita

Muestra LT-5		
Granos	Largo	Ancho
1	0,665	0,361
2	0,249	0,209
3	0,627	0,295
4	0,161	0,101
5	0,327	0,200
6	0,364	0,192
7	0,232	0,190
8	0,193	0,139
9	0,304	0,162
10	0,142	0,104

12

0,100

0,090

Las mediciones del largo de los granos oscilan entre 0.1 y 0.6 mm, mientras que el ancho oscila entre 0.09 y 0.3 mm con valores medios de 0.3 para el largo y 0.18 para el ancho

Muestra LT-7

En la sección pulida se observa una abundante mineralización sulfurosa los granos poseen un color amarillo claro, isotrópicos, no presentan reflejos internos ni birreflexión, estos rasgos son propios de la pirita, la mineralización presenta una estructura de cristalización de tipo hipidiomorfica y allotriomorfica granulares (Fotos 3, 4 y 5). Los granos tienen forma cúbica y al igual que en la muestra anterior se pobserva una intensa fracturación provocada probablemente por procesos explosivos. Los individuos fragmentados y brechados cementados por sílice. Las mediciones de los granos indican que la mineralización es esta muestra en más fina que en el caso de la muestra LT-5. En la tabla 8 se observan los valores obtenidos.

Tabla 9. Dimensiones (largo y ancho) de los granos de pirita.

Muestra LT-7		
Granos	Largo	Ancho
1	0,476	0,203
2	0,189	0,147
3	0,218	0,094
4	0,189	0,054
5	0,462	0,234
6	0,315	0,141
7	0,284	0,087
8	0,161	0,112
9	0,189	0,094
10	0,175	0,076

Muestra LT-8

En esta muestra aparece una mineralización sulfurosa muy abundante con granos minerales de color amarillo claro, isotrópicos, no presentan birreflexión ni tampoco reflejos internos y tienen forma cúbica, las características que presentan estas muestras corresponden con las de la pirita. La mineralización presenta una estructura de cristalización de tipo hipidiomorfica y allotriomorfica granulosa (Foto 6 y 7).

Los granos minerales se encuentran fracturados, pues la mineralización ha sido sometida a efectos mecánicos, estas fracturas no ha sido producida por procesos metamórficos ya que los

granos no se encuentran orientados en una dirección predominante, los granos minerales aparecen brechados y sementados por procesos de silicificación posterior a la mineralización.

El tamaño de los granos podemos verla en la tabla 9.

Tabla 9. Dimensiones (largo y ancho) de los granos de pirita

Muestra LT-8		
Granos	Largo	Ancho
1	0,771	0,428
2	0,444	0,248
3	0,260	0,144
4	0,362	0,242
5	0,344	0,201
6	0,534	0,251
7	0,436	0,210
8	0,426	0,137
9	0,340	0,219
10	0,146	0,118
11	0,253	0,157

Las mediciones indican tamaños de granos entre 0.1 y 0.77 y ancho entre 0.1 y 0.4 mm. Estos valores son mayores que en la muestra anterior pero similares a los de la muestra LT-5.

De este estudio podemos concluir que la mineralización estudiada es de granulometría fina y que la pirita es la principal fuente que aporta el oro.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de exponer los principales resultados de esta investigación llegamos a la culminación de este trabajo de diploma formulando un cuerpo de conclusiones y recomendaciones, que exponemos a continuación.

Conclusiones

1. Las rocas de la Formación Téneme están reemplazadas por procesos de silicificación.
2. La roca fresca estudiada por quimismo mineral es una andesita
3. Las vulcanitas están empobrecidas en Tierras Raras debido a los procesos de alteración hidrotermal por lo que no brindan información geoquímica valiosa para establecer su origen y evolución.
4. La mineralización sulfurosa de tipo pirítica asociada a las vulcanitas de la Formación Téneme es la principal portadora del oro.
5. El oro se asocia fundamentalmente al Pb, Zn y Cu

6. Las concentraciones de oro en los volcánicos de la Formación Téneme alcanzan valores industriales por lo que el sector es considerado como un prospecto de incalculable valor económico para nuestro país.

Recomendaciones

Teniendo en consideración los resultados alcanzados en este trabajo recomendamos:

1. Continuar las investigaciones en el sector Téneme priorizando el área de El Jobo.
2. Realizar estudios petrográficos y de rayos X que permitan el conocimiento más profundo de los materiales volcánicos del arco Cretácico del noreste de Cuba oriental
3. Realizar análisis completo de quimismo mineral y de Tierras Raras en rocas frescas con la finalidad de establecer el origen y evolución del arco de isla Cretácico en Cuba nororiental.

Bibliografía.

1. Atlas Nacional de Cuba. 1982. ACC. Ciudad de la Habana.
2. Álvarez-Castro, J., García Sánchez, R., Segura-Soto, R., Valladares, S., 1998. Historia geológica del desarrollo de las rocas del margen continental del dominio Las Villas basada en la evolución sedimentaria de la paleocuenca. III Congreso Cubano de Geología y Minería (GEOMIN 98). Geología y Minería 98, La Habana, 20-30.
3. Blanco-Moreno, J., Proenza, J.A., 1994. Terrenos tectoestratigráficos en Cuba Oriental. Minería y Geología, 11, 11-17.
4. Campos-Dueñas, M., Hernández, M., 1987. Acerca de la posible correlación de las metavulcanitas de la Sierra del Purial con las rocas de la asociación ofiolítica. Minería y Geología, 5(2), 23-30.
5. Chang, J.L., Suarez, V., 1998. Fuentes magnéticas anómalas profundas y su implicación en el modelo tectónico de Cuba oriental. III Congreso Cubano de Geología y Minería (GEOMIN 98). Geología y Minería 98, La Habana, 169-172.
6. Cobiella-Reguera, J.L., 1988. El vulcanismo paleogénico cubano. Apuntes para un nuevo enfoque. Revista tecnológica, 18(4), 25-32.
7. Cobiella-Reguera, J.L., 1997. Zonación estructural facial del corte Paleoceno Eoceno Medio de Cuba. Minería y Geología, 14(1), 3-12.
8. Cobiella-Reguera, J.L., 1998. Zonación de la sedimentación, el magmatismo y la tectónica del Paleoceno-Eoceno Medio de Cuba. III Congreso Cubano de Geología y Minería (GEOMIN 98). Geología y Minería 98, La Habana, 132-135.
9. Colectivo de autores. 1983. Contribución a la geología de Cuba oriental. Ed. Científico-Técnica. ACC- IGP. Ciudad de la Habana.
10. Colectivo de autores. Estudio sobre la geología de Cuba. Ed. Felix Varela. Ciudad de la Habana.
11. Colectivo de autores. "Dorsales y Arcos Volcánicos". Matellogeny and Plate Tectonics, N° 14: pag. 254-257, 1976.
12. Díaz de Villalvilla, L., 1997. Caracterización geológica de las formaciones vulcano-sedimentarias en Cuba Central, provincias Cienfuego, Villa Clara, Sancti Spiritus. In G.F. Furrázola, K.E. Núñez-Cambra (eds.). Estudios Sobre Geología de Cuba, Instituto de Geología y Paleontología de, C. de la Habana, Cuba, 325-344.
13. Díaz de Villalvilla, L., Dilla, M., 1985. Proposición para una división de la llamada formación tobas (Provincias Cienfuego, Villa Clara, Sancti Spiritus). Series Geológicas, 1, 133 a 154.
14. Díaz-Otero, C., Furrázola, G., Iturralde-Vinent, M., 1997. Generalidades sobre la estratigrafía de la Zona Estructuro-Facial Remedio. In G.F. Furrázola, K.E. Núñez-Cambra (eds.), Estudios Sobre Geología de Cuba, Instituto de Geología y Paleontología de, C. de la Habana, Cuba, 221-242.
15. Draper, G., Barros, J.A., 1994. Cuba. In S.K. Donovan, T.A. Jackson (eds.). Caribbean Geology an introduction, UWI-PA, Jamaica, 65-83.
16. Fonseca, E., Zelepugin, V.N., Heredia, M., 1985. Estructura of the ophiolite association of Cuba. Geotectonics, 19, 321-329.
17. Goldschmidt, V. M. (1954). "Geochemistry". Ed. Alex Muir, Great Britain: pag. 74- 75.
18. Hernández, M., 1987. Algunas particularidades petroquímicas de las metavulcanitas del complejo metamórfico de la Sierra del Purial. Minería y Geología, 5(2), 31-47.
19. Iturralde-Vinent, M., 1976. Estratigrafía de la zona Calabazas-Achotal, Mayarí Arriba, Oriente. La minería en Cuba, 5, 9-23.

- 20.Iturralde-Vinent, M., 1989. Role of ophiolites in the geological constitution of Cuba. *Geotectonics*, 4, 63-74.
- 21.Iturralde-Vinent, M., 1994. Cuban Geology: A new plate tectonic synthesis. *Journal of Petroleum Geology*, 17, 39-70.
- 22.Iturralde-Vinent, M., 1996^a. Introduction to Cuban Geology and tectonics. In M. Iturralde-Vinent (ed.). *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*, IGCP Project 364, Miami, USA, 3-35.
- 23.Iturralde-Vinent, M., 1996b. Geología de las ofiolitas de Cuba. In M. Iturralde-Vinent (ed.). *ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*, IGCP Project 364, Miami, USA, 83-120.
- 24.Iturralde-Vinent, M., 1996c. Magmatismo de margen continental en Cuba. In M. Iturralde-Vinent (eds.). *ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*, IGCP Project 364, Miami, USA, 121-130.
- 25.Iturralde-Vinent, M., 1996f. Cuba: el archipiélago volcánico Paleoceno-Eoceno Medio. In M. Iturralde-Vinent (eds.). *ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*, IGCP Project 364, Miami, USA, 231-246.
- 26.Kerr, A.C., Iturralde-Vinent, M., Saunders, A.D., Babbs, T.L., Tarney, J., 1999. A new plate tectonic model of the Caribbean: implications from a geochemical reconnaissance of Cuban Mesozoic volcanic rocks. *GSA Bulletin*, 111, 1581-1599.
- 27.Lapierre, H., Dupuis, V., Mercier de Lépinay, B., Tardy, M., Ruíz, J., Maury, R.C., Hernández, J., Loubet, M., 1997. Is the Lower Duarte complex (Hispaniola) a remnant of the Caribbean plume- generated oceanic plateau ?. *Journal of Geology*, 105, pág. 111-120.
- 28.Lebron, M.C., Perfit, M.R., 1994. Petrochemistry and tectonic significance of Cretaceous island-arc rock, Cordillera Oriental, Dominican Republic. *Tectonophysics*, 229, 69-100.
- 29.Lewis, J.F., Perfit, M., Horan, S., Díaz de Villalvilla, L., 1995. Geochemistry and petroctectonic significance of early island arc bimodal volcanism in the Greater Antilles arc. *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, New Orleans, Louisiana A-227.
- 30.Mapa geológico de Cuba a escala 1:500 000. ACC- MINBAS.
- 31.Mattson, P.H., 1973. Middle Cretaceous nappe structures in Puerto Rico ophiolites and their relation to the tectonic history of the caribbean. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 84, 21-37.

- 32.N. N. Karolena. Relation Between Ag/Au ratio and mineral association. *Geochemistry International*. Vol. 8 N°2. 200-205, 1971.
- 33.Proenza, J. y Carralero, N., 1994. Un nuevo enfoque sobre la geología de la parte sur de la cuenca Sagua de Tánamo. *Minería y Geología*, 11(2), 3- 10.
- 34.Proenza. J. A. y Melgarejo J. C. “ Geología y Metalogénia de Cuba”. *Acta geológica Hispanica*, Vol. 33, N° 1 – 4: Pág. 89, 1998.
- 35.Quintas, F., 1996. Bioestratigrafía del corte Meso-Cenozoico del extremo oriental de Cuba. *Minería y Geología*, 13(1), 3-8.
- 36.Rodríguez Vega. A. 1997. “Geoquímica general”. Ed. Felix Varela. Ciudad de la Habana. Pág. 259- 263.
- 37.Rodríguez Vega. A. “Aplicación del método geoquímico de los concentrados pesados en el análisis metalogénico y la prospección geoquímica”. *Revista geología minería*, vol. 12, N° 2: pag 61,1995.
- 38.Yu. I. Stakeyev, V. I. Gerasimovsky and S. A. Stakeyeva On Mercury Content in Igneous Rocks. *Geochemistry International*. Vol. 12 N° 6. 37-44, 1975.
- 39.W. P. Sears. Mercury in Base Metal and Gold Ores of the Province of Quebec. *Geochemical Exploration Special*. Vol. 11. 384-390. 1971