

**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
“DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ.”
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

**Tesis presentada en Opción al Título Académico de Master en
Geología**

Petrografía y mineralogía del sector Las Cuevas, Holguín.

Maestría en Geología, Mención Geología de Yacimientos Minerales Sólidos
9^{na} Edición

Autor: Ing. Ivan Barea Pérez

Tutor(es): Dr. José Nicolás Muñoz Gómez

Dra. María Margarita Hernández Sarlabour

Año 2015

Dedicatoria

A mis abuelos queridos y a mi familia, por su apoyo incondicional.

Agradecimientos

Agradezco a mi familia y esposa por su apoyo incondicional en todos los momentos de la vida. A mis tutores el Dr. José Nicolás Muñoz, el Dr. Idael Francisco Blanco y la Dra. María Margarita Hernández Sarlabour, a los colegas el Dr. Arturo Rojas Purón, la Dra. Alina Rodríguez Infantes, el Dr. Antonio Rodríguez Vega, el Msc. Jorge Urra y el Msc. Yurisley Valdés por sus invaluable colaboraciones y sugerencias.

Pensamiento

El gran enemigo del conocimiento no es la ignorancia, sino la ilusión de saber.

Stephen Hawking

Síntesis

El trabajo titulado “*Petrografía y mineralogía del sector Las Cuevas, Holguín*” fue desarrollado con la finalidad de caracterizar petrográficamente y mineralógica las alteraciones hidrotermales presentes en las formaciones geológicas de dicho sector. La investigación se elaboró en tres etapas; la inicial de estudio conceptual de la línea de investigación, la experimental y analítica y por último la interpretativa.

En la primera etapa se definieron los marcos teóricos conceptuales y contextuales. Durante la segunda etapa se realizó el cartografiado geológico, la toma de muestra y el análisis de las mismas por los métodos petrográfico, mineragráfico y de DRX.

En la etapa final se elaboraron e interpretaron los principales resultados plasmados en la tesis. Se identificaron los tipos de rocas, minerales opacos y las alteraciones hidrotermales presentes en las formaciones geológicas cartografiadas además de establecer las paragénesis minerales y el orden cronológico de formación.

Summary

Investigation named “***Petrografía y mineralogía del sector Las Cuevas, Holguín***” it was done with aim to define mineralogical and petrographic features of hydrothermal alteration in lithology of Las Cuevas sector. Research was done in three states, first, where it was defined the geological features and previous research. In second state, it was done the cartography of the area, toke samples and their analysis by petrography, ore microscopy and XRD methods. Last state it was done interpretation and principal results of the research. It was defined kind of lithology, ore minerals and hydrothermal alteration presents in the rocks besides minerals paragenetic sequence.

Índice

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Pensamiento	III
Síntesis	IV
Summary	V
Índice	1
Índice de figuras, ecuaciones y tablas	3
Abreviaturas empleadas	5
Introducción	6
Capítulo I: Rasgos generales del área de estudio	9
Introducción	9
Ubicación geográfica	9
Clima	10
Relieve	10
Hidrografía	12
Flora y Fauna	12
Características económicas	12
Recursos minerales	13
Investigaciones precedentes	14
Características geológicas de la región	20
Conclusiones	29
Capítulo II: Métodos y técnicas empleadas	31
Introducción	31
Metodología de investigación	31
Etapa Inicial o de preparación	32
Etapa experimental	33
Etapa tres de procesamiento y análisis de la información	35
Conclusiones	36
Capítulo III: Petrografía y mineralogía del sector Las Cuevas, Holguín	38
Introducción	38
Petrografía del sector Las Cuevas	38

Mineralogía	50
Minerales metálicos	56
Alteraciones hidrotermales y paragénesis minerales	60
Conclusiones	62
Recomendaciones	63
Anexos	64
Bibliografía	77

Índice de figuras, ecuaciones y tablas

Figura No. 1 Mapa de ubicación del área de estudio.....	9
Figura No. 2 Esquema de las principales manifestaciones minerales del municipio de Holguín escala 1: 100 000.	13
Figura No. 3 Zona Estructuro Facial de Cuba centro oriental, según Draper y Barros, 1994	15
Figura No. 4 Perfil esquemático de los sedimentos vulcanomícticos de la Fm. Iberia, (Kosak et al., 1988).....	21
Figura No. 5 Reconstrucción estratigráfica y distribución regional de los complejos litológicos en los diferentes mantos de cabalgamiento (La altura de la columna es proporcional con la extensión de cada complejo), (Brezsnyanszky & Boros, 1992).	23
Figura No. 6 Etapas del desarrollo de la investigación en el sector Las Cuevas, Holguín. ...	31
Figura No. 7 Medios empleados en la investigación.....	33
Figura No. 8 Esquema de tratamiento de las muestras analizadas.....	34
Figura No. 9 Fotografía de afloramientos, muestras de mano y secciones delgadas de las muestras LC-30-B, LC-55-A y LC-74-A.	40
Figura No. 10 Fotografía de afloramientos, muestras de mano y secciones delgadas de las muestras LC-12-A, LC-18-A, LC-31-B.	42
Figura No. 11 Fotografía de afloramientos, muestras de mano y secciones delgadas de las muestras LC-50-B, LC-56-A y LC-53-B.	43
Figura No. 12 Fotografía de afloramientos, muestras de mano y secciones delgadas de las muestras LC-53-A y LC-26-A.....	44
Figura No. 13 Fotografía de afloramientos, muestras de mano y secciones delgadas de las muestras LC-55-B, LC-13-A, LC-20-A y LC-79-A.	45
Figura No. 14 Fotografía de afloramientos, muestras de mano y secciones delgadas de las muestras LC-27-A, LC-10-A y LC-23-A.	48
Figura No. 15 Difractograma de rayos-x de la muestra LC-55-A (gabro).....	50
Figura No. 16 Difractograma de rayos-x de la muestra LC-26-A (diabasa anfíbolizada)	51
Figura No. 17 Difractograma de rayos-x de la muestra LC-30-B (diabasa olivínica)	52
Figura No. 18 Difractograma de rayos-x de la muestra LC-31-B (gabro anfíbolizado)	52
Figura No. 19 Difractograma de rayos-x de la muestra LC-37-A (gabro anfíbolizado)	53
Figura No. 20 Difractograma de rayos-x de la muestra LC-50-B (gabro anfíbolizado)	54
Figura No. 21 Difractograma de rayos-x de la muestra LC-53-B (gabro anfíbolizado)	54
Figura No. 22 Difractograma de rayos-x de la muestra LC-53-A (diabasa).....	55
Figura No. 23 Difractograma de rayos-x de la muestra LC-27-A (riolita)	55
Figura No. 24 Microfotografía de los minerales opacos presentes en las muestras de rocas del sector Las Cuevas	57

Figura No. 25 Fotografías de afloramiento, muestra de mano y sección delgada de la muestra LC-37-A	69
Figura No. 26 Fotografías de afloramiento, muestra de mano y sección delgada de la muestra LC-51-B	70
Figura No. 27 Fotografía de la sección pulida de la muestra LC-11-A	72
Figura No. 28 Fotografía de la sección pulida de la muestra LC-20-A: pirita (Py) y hematita (Hem) (objetivo 10x)	73
Figura No. 29 Fotografía de la sección pulida de la muestra LC-53-B	74
Figura No. 30 Fotografía de la sección pulida de la muestra LC-79-A	75
Ecuación 1	39
Ecuación 2	41
Ecuación 3	58
Tabla No. 1 Minerales resultantes de la hidratación del magma ultramáfico (Best, 2003)	61

Abreviaturas empleadas

Abreviatura	Significado	Abreviatura	Significado
N	Norte, punto cardinal	mm	Mena metálica
S	Sur, punto cardinal	Pl	Plagioclasa
E	Este, punto cardinal	Opx	Ortopiroxeno
W	Oeste, punto cardinal	Chl	Clorita
Km	Kilómetro	Hbl	Hornblenda
AVC	Arco Volcánico Cretácico	Ep	Epidota
C°	Grados Celsius	Qtz	Cuarzo
h	Horas	Zo	Zoisita
kg ha⁻¹	kilogramos por hectáreas	Sc	Sericita
Fm	Formación	Pmp	Pumpellita
Mbro	Miembro de una formación	dio	Diópsido
ONRM	Oficina Nacional de Recursos Minerales	Ad	Andesina
ISMMM	Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa	OI	Olivino
cm	Centímetro	ZEF	Zona Estructuro Facial
GPS	Global Position System	Thl	Talco
DRX	Difracción de Rayos X	SEM	Microscopia Electrónica de Barrido

Introducción

Los arcos de islas volcánicas, ubicados en varias partes del mundo son el resultado de los movimientos de placas tectónicas; hospederos de disímiles recursos naturales, entre los que destacan los yacimientos minerales sólidos. La amplia variedad de depósitos minerales que se encuentra en este tipo de ambiente tectónico, ha captado la atención de geólogos con el fin de explicar las causas y fuentes de tales riquezas naturales.

La isla de Cuba, como resultado indiscutible de esos movimientos, es un ejemplo fehaciente de la diversidad geológica y la amplia variedad de depósitos minerales que se pueden encontrar en tales condiciones. Constituida por tres arcos volcánicos de edades comprendidas entre el Cretácico y Paleógeno denota la rica historia geológica que enmarca a la ínsula. No han sido pocos los especialistas dedicados a profundizar en los rasgos mineralógicos y petrológicos de las formaciones geológicas que albergan variadas manifestaciones minerales. Especial interés denota la región de Holguín, donde existe una gran variedad de manifestaciones minerales.

Las primeras investigaciones reportadas para la región de Holguín datan del periodo neocolonial. Orientadas a la prospección de materias primas minerales, fundamentalmente de oro destacan las investigaciones realizadas por (Vaughan, 1901), (Rode, 1930) y (Aguilera & Manduley, 1909).

Luego del triunfo revolucionario las investigaciones geológicas en Cuba se incrementaron; la cooperación con los países del CAME posibilitó la asesoría de científicos extranjeros que junto a cubanos llevaron a cabo el levantamiento geológico de la República de Cuba (Nagy et al., 1976). Años más tarde fueron publicados diversos trabajos donde se abordaron rasgos tectónicos, estratigráficos y genéticos de la actualmente conocida zona de Auras (Brezsnyanszky & Boros, 1992), (Barea & Rodríguez, 1985), (Brezsnyanszky & Iturralde_Vinent, 1978) y (Nagy et al., 1976). Algunos de los trabajos más importantes sobre el área de Las Cuevas fueron publicados por (Kosak et al., 1988) y (Cobiella_Reguera, 1978) los que abordaron la génesis y relación tectónica de las secuencias del Arco Volcánico y la melange ofiolítica.

Definir el tipo de alteración hidrotermal al que se encuentra asociada una mineralización, permite su prospección de forma más eficiente (Gifkins et al., 2005) y (Allen et al., 1996). Sin embargo quedan sectores ubicados al noroeste de la ciudad de Holguín sin estudios profundos donde existen manifestaciones de minerales metálicos; el área de Las Cuevas es una de ellas, para la cual se hizo necesario plantearse el diseño de la investigación siguiente:

Problema

El desconocimiento petrográfico y mineralógico de las alteraciones hidrotermales presentes en las formaciones geológicas del sector Las Cuevas, Holguín.

Objeto

Las alteraciones hidrotermales presentes en las formaciones geológicas del sector Las Cuevas.

Objetivo

Caracterizar mediante la petrografía y mineralogía las alteraciones hidrotermales presentes en las formaciones geológicas del sector Las Cuevas.

Objetivos específicos

- Identificar las rocas y los minerales presentes
- Identificar los tipos de alteraciones hidrotermales
- Definir las paragénesis de minerales metálicos

Hipótesis

Si se logra caracterizar mediante la petrografía y mineralogía las alteraciones hidrotermales presentes en las formaciones geológicas del sector Las Cuevas, entonces se podrá identificar las alteraciones hidrotermales y las paragénesis de minerales metálicos.

Campo de acción

La petrografía y mineralogía de las alteraciones hidrotermales presentes en las formaciones geológicas del sector Las Cuevas.

Capítulo I

Capítulo I: Rasgos generales del área de estudio

Introducción

Holguín es una de las provincias del archipiélago cubano que posee grandes potencialidades de recursos naturales. Fuentes de materias primas ferrosas, no ferrosas y metales preciosos se alojan en el territorio. Las regularidades geológicas de esas áreas, fuente de tales riquezas constituye una estrategia de vital importancia para nuestro país.

Ubicación geográfica

El área de estudio se encuentra enmarcada en el municipio de Holguín. Este último limita al norte con los municipios de Gibara, al este con Báguano y Rafael Freyre, al sur con Báguano y Cacocum, y al oeste con el municipio Calixto García. Presenta una superficie en su mayor parte ondulada, con algunos cerros, una pobre red hidrográfica y extensión territorial de 655.9 km² (Wikipedia, 2014). Su población es de más de 334 046 habitantes hasta 2007 (ONEI, 2012).

Enclavada en las cercanías de la ciudad de Holguín (Figura No. 1) a unos 9 km en dirección al poblado de San Andrés, entre las coordenadas: X: 548838-554495; Y: 252219-257876 según el sistema Cónico Conforme de Lambert, con un área total de 25 km². Limita al norte con el embalse Cacoyuguín por el este con el poblado de San Miguel al oeste con el poblado Las Cruces y al sur con Mata Moros.

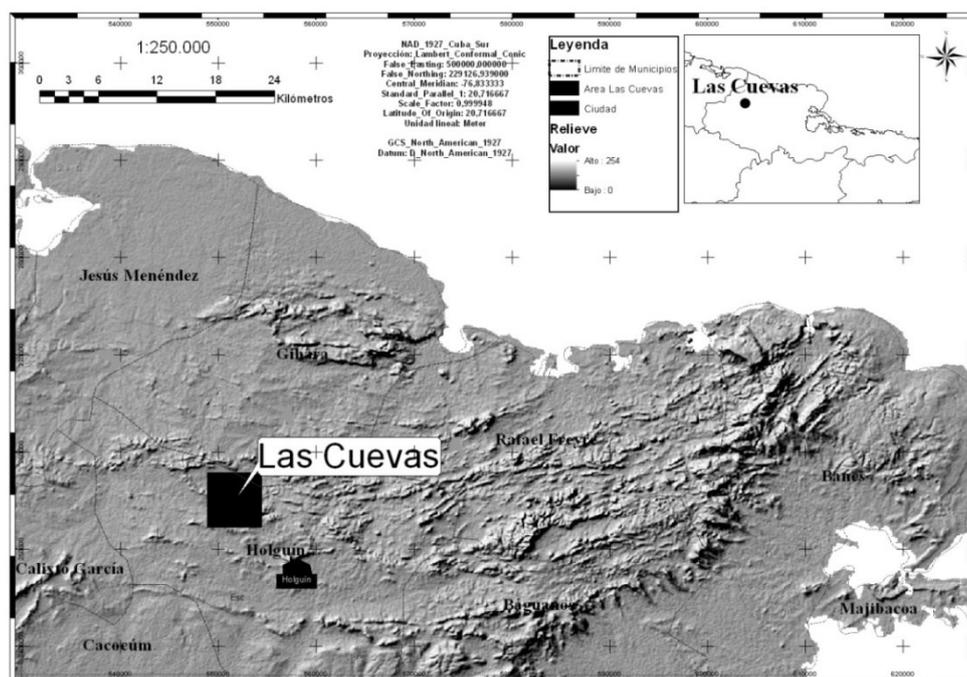


Figura No. 1 Mapa de ubicación del área de estudio

Clima

Por la extensión superficial de la provincia y su complejidad morfológica, climáticamente se divide en tres áreas bien definidas: zona de interior, zona costera y zona montañosa, tipificados por sus modelos de temperatura, lluvia y características eólicas.

El área de estudio que se aborda se encuentra ubicada en la zona de interior. Caracterizada geográficamente por colinas y zonas llanas no recibe la influencia directa del océano, las precipitaciones son causadas fundamentalmente por el calentamiento diario, siendo las lluvias superiores a la zona costera, en el período lluvioso precipita como promedio el 77 % del valor anual, en ocasiones superan los 100 milímetros. Los registros de temperatura media son los más altos del área provincial ubicados históricamente entre 24,0 y 25,6 grados C⁰, con una oscilación anual de 4,0 grados C⁰ entre el mes más frío (febrero) y el más cálido (agosto).

El régimen de vientos en la región está conformado por vientos de moderada intensidad (9.15 km/h), y la dirección de los mismos es predominantemente noreste. Casi todo el año soplan los vientos alisios provenientes de la periferia del anticiclón tropical oceánico de los Azores-Bermudas, provocando que el mismo tenga en superficie una dirección noroeste-este fundamentalmente. La distribución de la frecuencia anual de la dirección e intensidad de los vientos durante el año muestra que al sur es más notable, con un 0,41% (Atlas Nacional de Cuba, 1992).

Relieve

El relieve en Cuba está condicionado por una posición de Arco Insular de las Antillas, en la zona de interacción entre la placa de América del Norte y del Caribe. Su ubicación en el borde septentrional de la zona de bosques tropicales periódicamente húmedos y la influencia de las oscilaciones paleoclimáticas del Cuaternario, determinó la heterogeneidad, la complejidad, el carácter y desarrollo de sus elementos morfoestructurales y morfoesculturales (NANC, 1992).

El megabloque cubano a su vez se subdivide a lo largo de fallas profundas transverso-diagonales en los macrobloques oriental, central y occidental. En la macro región oriental se encuentra la provincia de Holguín. Caracterizada por un complicado y singular relieve, relacionado con la litología y la tectónica. En el territorio se pueden distinguir tres regiones principales: las llanuras que bordean la costa y zona centro - sur de la provincia (llanura de Nipe y del Cauto), con alturas entre 0,50 m, que presentan un carácter abrasivo del litoral al

interior de la provincia; acumulativo con fragmentos de terrazas marinas y playas en algunos sectores y ciénagas marginales con mangle en otros.

En la zona centro – sur ocupada por llanuras de origen marino, actualmente fluyen importantes ríos con la presencia de formas y complejos fluviales, presenta un desarrollo pronunciado de depósitos aluviales. En el sector occidental, las llanuras denudativas onduladas y de colinas que bordean el sistema de elevaciones de Maniabón alcanzan alturas entre 50 – 100 m, con pendientes entre 0 – 8 % (Ecured, 2014).

Los valles se encuentran alineados, al igual que las cadenas de elevaciones en dirección este – oeste y los efectos de la erosión diferencial son evidentes en toda el área. Con alturas entre 100 – 300 m, aparece el sistema de elevaciones o cerros de Maniabón de singular morfología. En las alturas y zonas colinosas, con pendientes entre 8 – 15 %, se observan procesos erosivos – cársicos y denudacionales que conforman típicos cerros de pendientes abruptas y cimas planas (mogotes).

En el área Las Cuevas, las regiones de llanuras están constituidas por: Horst simples, bloques y sistemas de bloques (este último con predominio). Hacia el norte y el sur del área, en la zona de montañas predomina la estructura del zócalo plegado con bloques (litomorfoestructuras). El tipo de relieve premontañoso es del tipo denudativo y denudativo-erosivo, de colina (con alturas de 220 m, 240 m y entre 260 a 280 m) y en menor grado de horts y bloques diseccionados.

Según el (NANC, 1992) los suelos que se desarrollaron en el área son pardos con carbonatos típicos y la combinación de pardos sin carbonatos fersialíticos rojos. Por el grado de erosión que estos presentan se pueden destacar tres categorías: los suelos con erosión débil (en pendientes de 0, 5 a 5 grados), los suelos con erosión media (en pendientes de 3 a 10 grados) y de forma local los suelos con erosión fuerte característicos de las zonas de alturas, premontañas y montañas. Los contenidos de materia orgánica y nitrógeno que presentan los distingue como suelos nitrogenados con 151-200 (kg ha^{-1}) y materia orgánica 2.1-3.0 (%), con valores de Ca y Mg entre 15.001-20.000 (kg ha^{-1}) y 2.000-3.000 (kg ha^{-1}). Los valores de fósforo menor de 10 (kg ha^{-1}) y potasio oscilan entre 451-600 (kg ha^{-1}) respectivamente. La acidez de los suelos es débil entre 5,6-6,0 Ph, aunque de forma muy local. Lo que permite caracterizarlos como suelos productivos. Su composición mecánica revela contenidos ligeros y medianos de arcillas de composición sialo-alítica (contenido de arcilla de 51-61%).

Hidrografía

La red fluvial está regida por las divisorias del parte agua central de Cuba. Lo cual origina que algunos ríos corran en dirección norte como el Chaparra y el Cacoyuguín y otros hacia el sur como el Salado. La cuenca de mayor envergadura en la región está representada por el área del río Cacoyuguín con 242 km². Existen además pequeños arroyos de carácter intermitente cuyo caudal fluctúa en los periodos de lluvia y sequía. Entre los embalses más importantes se encuentra El Cacoyuguín.

Flora y Fauna

La provincia Holguín posee una de las floras más ricas en especies endémicas de Cuba, debido a la presencia de grandes extensiones de su territorio cubiertas por formaciones vegetales que se desarrollan sobre suelos originados a partir de rocas ultrabásicas (serpentininas). Estas formaciones van desde los manglares en las zonas costeras, hasta selvas tropicales, las que son conocidas como cuabales y charrascales.

En el área, el grupo de mayor endemismo se desarrolla sobre suelos ferríticos o fersialíticos sobre serpentinitas. Sin embargo las zonas más pobres en endemismo se ubican en la parte oriental. Entre la vegetación típica de la zona se encuentran los pastos de poca altura en menor grado mesófilos típicos y más al norte *xeromorfos espinosos* sobre serpentinita (cuabal), como flora característica del área se destaca la rosa de sabana, el cactus enano, el roble de sabana, la jacaranda arbórea, la yuraguana, *neobesseyia cubensis*: (cactus enano de Holguín, endémico estricto).

Dentro de la fauna más común se encuentra *phrynos domonidaensis*, reptiles (*amphisbaena cubana*), mariposa (*papilio caiguanabus*), mamíferos (*capromys pelorides*), aves (cernícalo-falco *spolverius sporverades*), moluscos (*coryda alauda*).

Características económicas

El acceso a la región es posible a través de la carretera central y otras carreteras aledañas. También se puede acceder a través del tren, por vía aérea o marítima, esta última desde varios puntos de la provincia.

La industria desarrollada en la región abarca una amplia gama de sectores entre los que se encuentra la minería ferrosa y no ferrosa, la industria transportadora de metales, la industria de combustible, química y el papel, la industria de los materiales de la construcción, la de bebidas y comestibles, la industria textil, cuero, calzado, la industria pesquera y electro-

mecánica; el turismo es otra de las ramas importantes de la economía del municipio holguinero, también cuenta con una estructura de servicios comerciales en diferentes ramas (Wikipedia, 2014).

Según (ONEI, 2012) los cultivos de mayor importancia son la caña de azúcar, los cultivos menores, frutas, etc; los cuales son administrados por cooperativas de producción agropecuarias y empresas agropecuarias-forestales.

Recursos minerales

El municipio Holguín cuenta con diversas manifestaciones de recursos minerales. Fuentes de materiales para la construcción como calizas y arcillas entre otros. Metales nobles como el oro, aunque en la actualidad solo se explota de forma artesanal y de manera ilegal. Materiales feldespáticos empleados en la cerámica blanca para la fabricación de muebles sanitarios entre otros. Existen además depósitos de zeolita ubicado al sur del poblado de San Andrés, (Figura No. 2).

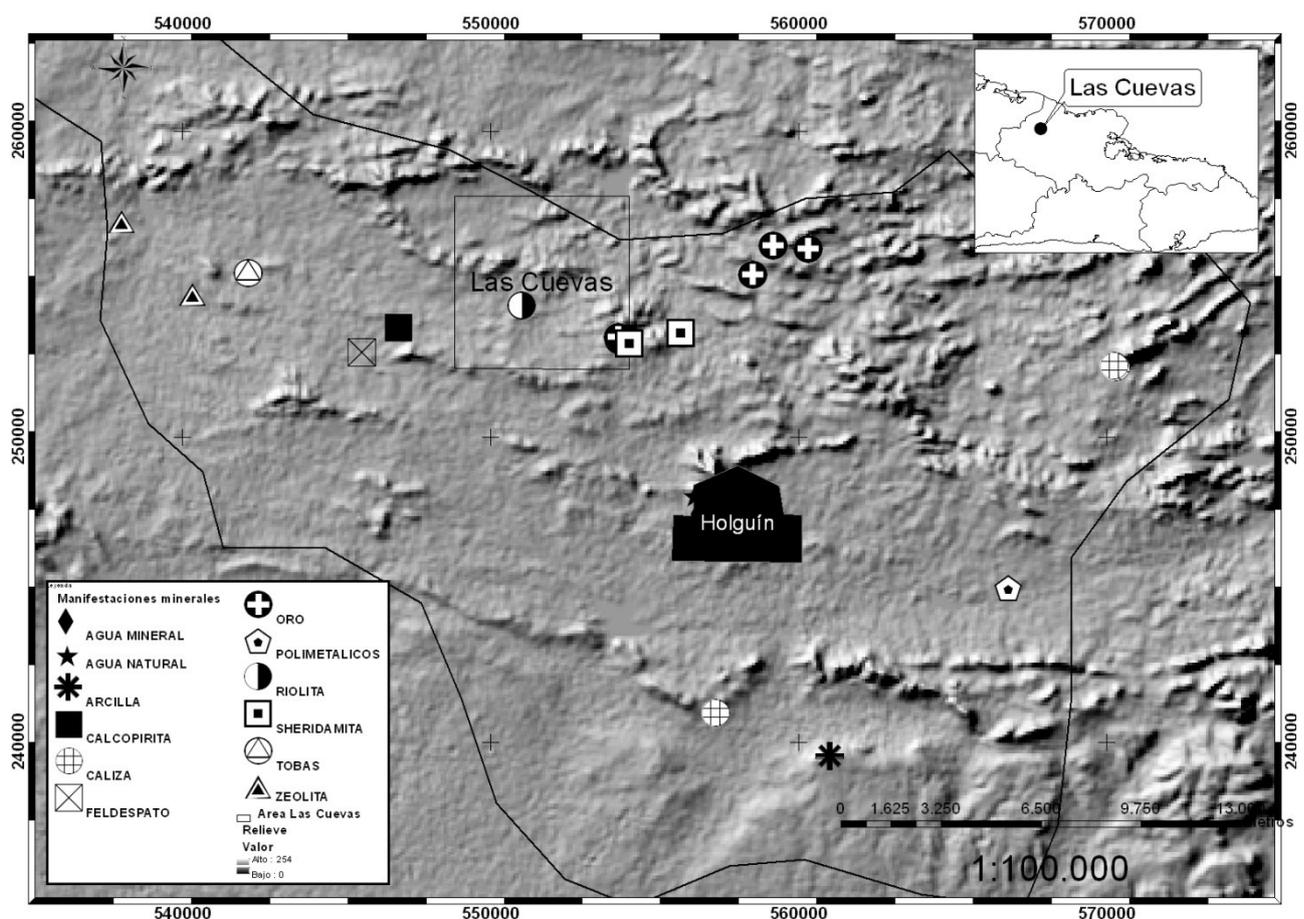


Figura No. 2 Esquema de las principales manifestaciones minerales del municipio de Holguín escala 1: 100 000.

Investigaciones precedentes

El área que ocupa la investigación se localiza en la parte oriental del bloque Camagüey, limitado tectónicamente por las fallas Trocha en la zona más occidental y por la falla Cauto-Nipe en la zona oriental (Figura No.3).

Enmarcada en un área geológicamente compleja, se han desarrollado un gran número de investigaciones con diversos objetivos, entre las que se destacan las realizadas por: (Abelspies, 1928), (Nagy et al., 1976), (Brezsnyanszky & Iturralde_Vinent, 1978), (Barea & Rodríguez, 1985), (Draper & Barro, 1994), (Iturralde_Vinent, 1998), (Blanco_Moreno, 1999) y (Cobiella_Reguera, 2009).

Conocida como área Gibara-Altos de Maniabón, fue investigada desde el punto de vista tectono-estratigráfico por (Nagy et al., 1976), (Kosak et al., 1988), (Draper y Barros, 1994), (Flores et al., 1998) y (Blanco_Moreno, 1999; Blanco_Moreno & Proenza, 2000) los que definieron para la región de estudio dos Zonas Estructuro-Faciales.

En la parte septentrional (Velasco-Gibara) se encuentran fragmentos de la plataforma de las Bahamas (zona Remedio). En forma de escamas alargadas y yacencia hacia el norte, fracturada en bloques latitudinales (NW-SE) conformada por las formaciones: Fm. Vázquez, Fm. Rancho Bravo, Fm. Vigía, Fm. Embarcadero, Fm. Gibara y Fm. Jobal (Nagy et al., 1976).

Más al sur se encuentra la Zona Estructuro-Facial Auras (Zaza), constituida por una melange integrada por formaciones del Arco Volcánico del Cretácico junto a la secuencia de la asociación ofiolítica (Figura No. 3). La zona está integrada por las formaciones Fm. Camazán, Fm. Rancho Bravo, Fm. Charco Redondo, Fm. Vigía, Fm. Haticos, Fm. Yaguajay, Fm. Iberia (Mbro. La Jíquima, Mbro. Tinajita, Mbro. La Morena, Mbro. Lindero) además de las ultramafitas y gabros (Nagy et al., 1976).

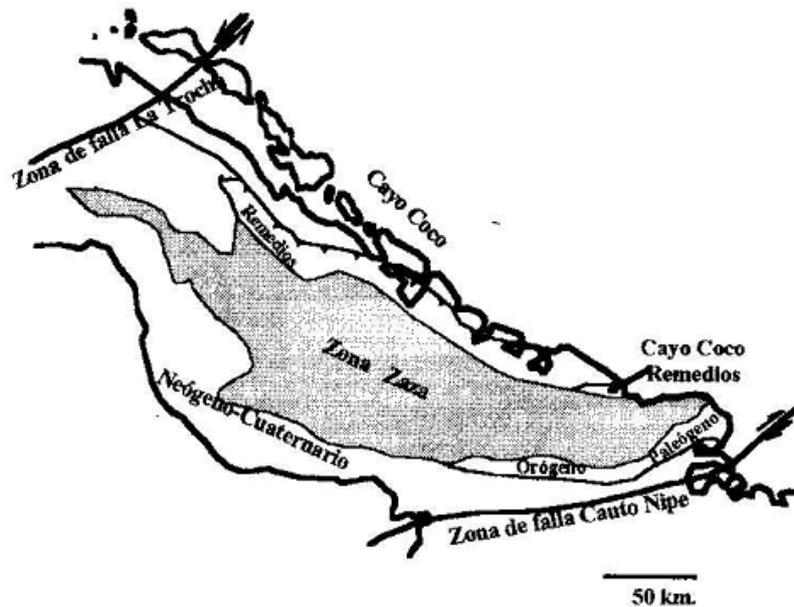


Figura No. 3 Zona Estructuro Facial de Cuba centro oriental, según Draper y Barros, 1994

Los primeros trabajos en esta región estaban orientados a la prospección de yacimientos minerales y se iniciaron a principios del siglo XX, entre los que resaltan (Bonillas, 1924), (Willson, 1927), (Pennebaker, 1940), (Vaughan, 1901), (Fulton, 1917), (Abelspies, 1928), (Rode, 1930), (Quirke, 1946), (Merryweather, 1946), (Patterson, G, 1947).

Las investigaciones sobre manifestaciones de cobre fueron iniciada por (Aguilera & Manduley, 1909) en el área de Majibacoa, barrio San Agustín, municipio de Holguín. Donde se abordaron las líneas de demarcación, rumbo y longitud de la manifestación mineral entre otros aspectos. Posteriormente (Aguilera & Manduley, 1918) realizaron una reseña histórica sobre la minería en Oriente. Un año después (Abelspies, 1919) realiza un informe sobre unas minas de oro situadas en los terrenos de Aguas Claras, Guajabales y Guabasiabo, donde recoge la composición mineralógica, morfología y dimensiones de los cuerpos documentados, así como su buzamiento. Casi dos décadas después (Whitney, 1932) publica en la revista American Association of Petroleum un trabajo relacionado con la Geología de Cuba y una serie de perfiles geológicos esquemáticos de la parte occidental, central y oriental de la isla.

Ya en la década del 40 (Bajuelo & Díaz_Velazco, 1940) desarrollaron numerosos reportes sobre los cotos mineros de Aguas Claras y Guajabales en específico El Tesoro, Agrupada, Nuevo Potosí, Reina Victoria, El Oro.

Durante la década del 50 los trabajos orientados a profundizar en el conocimiento geológico de la región se incrementaron, sobresaliendo (Nelson, 1951) y (Lewis & Straczek, 1955).

Con la publicación del trabajo titulado “Geología de la zona centro sur de Oriente” (Lewis & Straczek, 1955) realizaron una sistematización de la geología del área.

Otras investigaciones se desarrollaron durante estos años: (Patterson, B S, 1954), (Avalos, R, 1955), (Parent, 1956), (Lehner, 1957), (Miles, 1957), (Schnellmann, 1957), (Avalos, R 1958), (Deschappelles, 1958), (Quirke, 1959), (Charles, 1959), (Helmut, 1960) y (Graham, 1960) y (Morón, 1957, 1958, 1959), este último abordó rasgos importantes sobre la geología en los sectores Santa Lucía, La Palma y Aguas Claras, en la provincia de Holguín, donde se detalla la mineralogía de los sectores entre otros aspectos.

Años más tarde (Deschappelles, 1958) realizó un informe sobre los minerales, terrenos y posibilidades de explotación del antiguo coto cuprífero de Guanabo, Holguín. Un año después (Loynaz & Sainz, 1959) analizaron muestras en varias minas de la provincia de Oriente ubicada en el barrio de Melones y Gibara. Otros trabajos fueron realizados ese mismo año como el de (Morales & Longaca, 1959) en el sector de Guabasiabo, orientado a prospectar minerales de cobre en diorita y serpentinita, además (Bajuelo, 1959) realizó un estudio mineragráfico sobre la Mina Avelina Esther en el municipio de Gibara.

En la segunda mitad del siglo XX se confeccionaron numerosos reportes sobre el tema, cabe mencionar los desarrollados por (Mesfa, 1960), sobre Mina Grande, (Ortega, 1960), (Grey, 1961), (Novo_Fernández, 1968), (Roshkov, 1969) y (Nicolaev, 1966) este último abordó los trabajos de búsqueda y exploración de oro realizados durante los años 1963 al 1965 en la zona de Holguín. En el mismo año (Svoboda & Deschappelles, 1966) investigan el área del Tamarindo en la provincia de Holguín y tres años más tarde (Meyerhoff et al., 1969) abordaron a través de datos radiométricos las edades de diferentes complejos de rocas para la isla de Cuba.

Otros trabajos como los de (Pavlov, 1970), (Pdkamenniy, 1971) y (Efinova, 1974) fueron desarrollados en los años 70. En particular (Merconchini & Ariosa, 1972) profundizaron en el conocimiento de la geología del área de Agrupada y Aguas Claras, en las que definieron estructuras, complejidad geológica, relación de la mineralización aurífera con los cuerpos de rocas dioríticas, así como su control tectónico y tipo genético. Posteriormente (Efinova, 1974) estudió la formación geológica y minerales útiles de la parte central y noreste del anticlinorio Holguín, para evaluar las perspectivas de esta región en oro, cromo y otros minerales útiles además de confeccionar el mapa geológico a escala 1: 50 000. Durante ese mismo año (Humphrey, 1974) examinó los rasgos generales de la geología de Cuba a través de datos sísmicos y propuso diferentes zonas estructurales.

En la década de los 70 y 80 del pasado siglo se realizaron los mayores aportes al conocimiento geológico del área, cabe mencionar los trabajos de (Kamensky, 1980), (Fernández, 1981), (Sinobas, 1981), (Castillo, 1982), (López, 1985), (Cerny, 1987), (Martínez, 1988) y (Cruz, 1989). De singular importancia resalta (Nagy et al., 1976), quienes ejecutaron el levantamiento geológico a escala 1:250 000 de la zona oriental del país y (Brezsnyanszky & Iturralde_Vinent, 1978) quienes publicaron un trabajo sobre la paleogeografía de Cuba Oriental, definiendo los regímenes de sedimentación y estratificación para las principales formaciones presentes en el área, ese mismo año (Cobiella_Reguera, 1978) recoge los principales rasgos y mecanismo de formación de la melange que aflora en el noreste de Cuba.

A partir de los 80 (Gyarmati, 1983) publicó un trabajo sobre las formaciones metamórficas en Cuba oriental y dentro de esta la zona de Auras. Dos años después (Barea & Rodríguez, 1985) realizaron un análisis estructuro-geomorfológico de la parte norte de la provincia de Holguín donde se exponen las áreas con mayores movimientos neotectónicos y se divide la zona en cuatro áreas estructurales. Otros de los aportes fue realizado por (Garcés_Leyva, 1988) quien abordó los resultados del Levantamiento Geológico Complejo en el Polígono IV CAME, Holguín. Durante el trabajo se mapeó un tipo genético de mineralización antes no conocida como la mineralización de cobre en metasomatitas de ultrabasitas, mineralización Cu-Au-W en domos fluidales de riolita. Ese mismo año (Kosak et al., 1988) estudiaron la estructura del Arco Insular Volcánico Cretácico en la región de Holguín, para el que se planteó un nuevo modelo de evolución del AVC bajo la óptica de la tectónica de placas. Se definió al vulcanismo riolítico como una fase más joven del Arco Insular Volcánico del piso Campaniano. Las intrusiones pequeñas de dioritas porfíricas cuarcíferas, dacitas subvolcánicas y riolitas (queratófiro cuarcífero) ricos en Na y pobres en K están asociados con el magmatismo de la formación Loma Blanca, aunque algunos de estos cuerpos están pobremente analizados y probablemente pertenecen a otra serie más antiguas. Un año después (Masakovski et al., 1989) estudiaron y definieron dos tipos de complejos ultrámáficos en la estructura de Cuba Oriental

Con el inicio de la década del 90, Cuba experimentó un período de recesión económica causado por el derrumbe del campo socialista (URSS). No obstante no fueron pocos los trabajos ejecutados, entre los que se encuentran: (Castañeda, 1990), (García_Sánchez, 1990), (Alvarez, 1990), (Lugo_Aragón, 1991), (Bandera_Girón, 1992), (Zamora, 1992), (Costafreda, J 1993), (Rubio, 1994), (Calzadilla, 1995), (Wolsteneroft, 1996, 1997) y (Nagy et al., 1992) estos últimos realizaron un trabajo relacionado con la geología de Oriente y la interpretación de un perfil trasversal.

Posteriormente del Toro, Dania (1992) resumió las manifestaciones de minerales útiles en el polígono IV CAME-Holguín, área que fue abordada por (Costafreda, J 1993) quien realizó la prospección detallada de oro para el sector Aguas Claras y Reina Victoria. Durante los trabajos se definió que la mineralización en el yacimiento Reina Victoria se encuentra empleada en el axis de una falla profunda, con estructura de rift, de dirección sublatitudinal.

A finales de esta década, compañías extranjeras inician investigaciones en Cuba, iniciados por (Goldfields, 1995) quien aborda la geología y mineralización de 4 sectores en la isla de Cuba (Santi Spíritus, Nicrom-Camagüey, Vertientes-Najasa y Holguín) y (Wolsteneroft, 1996) en Holguín, cuya finalidad era realizar una exploración geológica sumaria en distintos sectores auríferos de la región como agrupada, Las Cuevas, Holguinera, Main Power Line, Milagro, Monte Rojo, Nuevo Potosí y Reina Victoria. Ese mismo año (GoldFields, 1996) realiza otras investigaciones en las concesiones de Holguín, en los sectores El Cerro bajo, Bariay, Cayo Muñoz, Charco Prieto y El Mijial con el fin de prospectar las áreas para oro, cobre, arsénico, plomo, zinc, plata y estroncio. De igual forma (Brace & Pimentel, 1996) investigaron otras áreas como El Tamarindo y West Central Cuba. Posteriormente (Chaveco, 1996) realiza la exploración del sector Santa María en la concesión Holguín. Para la cual estableció que la mineralización presente es de tipo auro-polimetálica, asociada a una zona de alteración hidrotermal en andesitas de composición media a ácida con buzamiento subvertical hacia el sur. Un año después (Wolsteneroft, 1997) analizó los sectores de Monte Rojo, Nuevo Potosí, Reina Victoria y Las Tranqueras para cobre y oro, posteriormente estudiados por (Clair, 1998).

Durante los primeros años del siglo XXI, académicos como (Rodríguez_Vega & Díaz_Martinez, 2001) publicaron un trabajo relacionado con la mineralización aurífera de Cuba, su clasificación y rasgos geólogo-geoquímicos para la prospección. Especial atención prestan algunos distritos poco estudiados y con una mineralización aurífera muy particular: Santa Clara, Holguín y Sagua-Baracoa, desarrollados fundamentalmente dentro de un ambiente geológico con predominio de los complejos de la asociación ofiolítica. De igual forma se realizan aportes a la geología regional con los trabajos realizados por (Blanco_Moreno, 1999; Blanco_Moreno & Proenza, 2000) sobre la estratigrafía y tectónica de Cuba oriental. Dos años más tarde (Rivera_Despaigne, 2002)_investiga las características geológicas, geoquímicas, genéticas y las potencialidades meníferas de la manifestación aurífera Corral de Rojas donde se puntualizan las particularidades de la manifestación haciendo énfasis en las características de las rocas volcánicas cretácicas, anfitrionas de la alteración y de la mineralización asociada.

Tres años más tarde (Díaz_Martinez & Proenza, 2005) abordan sobre la metalogenia asociada a las ofiolitas y al Arco de Islas del Cretácico del nordeste de Cuba, puntualizando diversos sectores con mineralizaciones de oro, plata, cobre-plomo-zinc y cupro-pirítica con oro asociados a litologías típicas de la zona de retroarco con tendencia boninítica.

Características geológicas de la región

La zona de estudio se encuentra ubicada en el borde oriental del bloque Camagüey (Figura No. 3) es una zona geológicamente compleja, integrada por las ZEF Zaza y Remedios. El mega bloque tectónico en el cual el área investigada se encuentra está limitado hacia el este por la falla Cauto – Nipe y hacia el oeste por la falla Trocha.

Las formaciones geológicas presentes en la región son el resultado de eventos geológicos que desde el Cretácico han moldeado la geología de la región oriental de la isla. El Arco Volcánico Cretácico está representado por el complejo vulcanógeno-sedimentario, constituido por basaltos con texturas de almohadillas, basaltos afíricos, en algunas partes basaltos amigdaloides y basaltos olivínicos, ellos aparecen intercalados con hialoclastitas, aglomerados, tobas vitroclásticas-cristaloclasticas, tufitas con sedimentos vulcanomícticos graduados (Fm. Iberia, Aptiano-Campaniano). Esta secuencia subordinadamente contiene calizas micríticas silicificadas de facies pelágicas y silicitas sedimentarias (radiolaritas) (Kosak et al., 1988) y (Nagy et al., 1976).

Las secuencias andesítica y basalto-andesítica aparecen en los niveles superiores con texturas de almohadillas de gran extensión, con intercalaciones tobáceas subordinadas. El espesor de los cuerpos de lavas varía entre 3-40 m (Nagy et al., 1976). En menor cantidad aparecen andesitas con estructura porfirítica. En los sedimentos vulcanógenos la cantidad de material carbonatado aumenta hacia la parte superior en forma de intercalaciones de margas, calizas vulcanoclasticas de ambiente arrecifal, calizas pelágicas y semipelágicas. Estas últimas generalmente están silicificadas, microestratificadas, laminadas (calizas Lindero); forman cuerpos lenticulares de espesor que llega a alcanzar hasta los 25 m.

Bajo el complejo volcánico, disminuye la profundidad de los sedimentos nerfíticos (conglomerados vulcanomicticos carbonatados, areniscas aleuolíticas y calizas). La serie sedimentaria vulcanomíctica en parte carbonatada que forma la parte superior de la Fm. Iberia está cortada por fallas inversas y la parte más vieja sobrecorrió a la más joven junto con su basamento tectónico ofiolítico (Kosak et al., 1988) Figura No. 4.

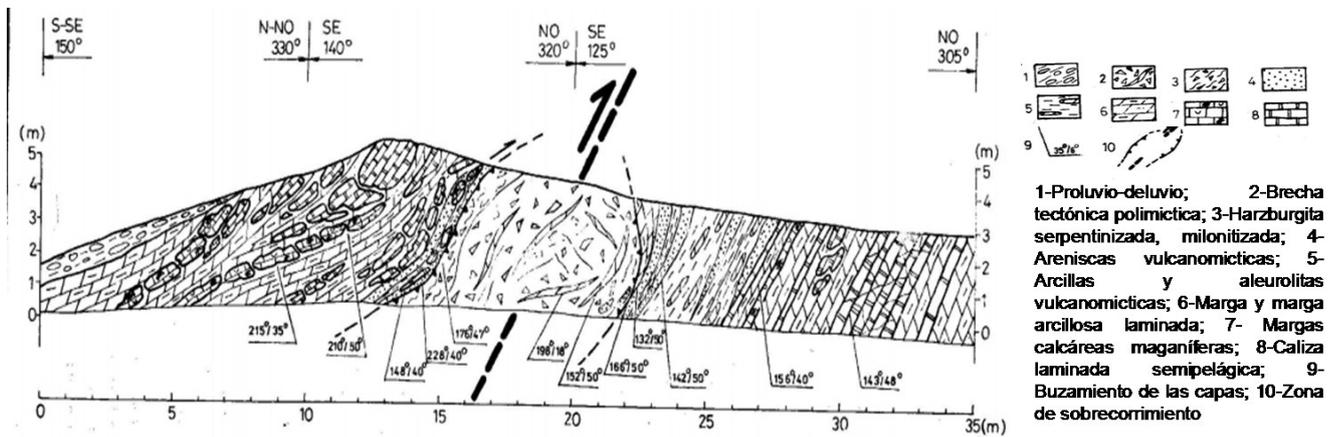


Figura No. 4 Perfil esquemático de los sedimentos vulcanomórficos de la Fm. Iberia, (Kosak et al., 1988)

De menor extensión que las secuencias de la Fm. Iberia están las tobas y tufitas andesíticas, andesito-dacítica, dacitas, riocacitas y riolitas con estructura de adhesión y transportación variada (Fm. Loma Blanca Aptiano-Cretácico), el tamaño de sus bloques erosionados aumentan hacia el oeste y su aflorabilidad es baja, la composición varía de medio-ácida. En ella se observan cuerpos volcánicos y subvolcánicos de andesita, dacita, riocacita, riolita y restos de chimenea volcánica (10 m hasta 1,5 Km). Sus mejores afloramientos se encuentran al este del poblado de San Andrés en los alrededores de Loma Blanca.

Además de las piroclásticas en los sedimentos aparecen las secuencias vulcanomicticas y carbonatadas (margas, calcarenitas, calizas vulcanoclásticas y arrecifales) indicando los periodos tranquilos de la actividad volcánica. La edad de las calizas en la parte inferior de la Formación es Aptiano a Albiano-Canociano, mientras que en la parte superior de la formación ya están presentes las calizas con fragmentos vulcanomicticos y calizas arrecifales con rudistas de edad Campaniano (calizas Las Parras). Varios sectores de la formación sobreyacen los basaltos de la Fm. Iberia, mientras que en otras partes los basaltos andesíticos de la Fm. Iberia cubren las tobas dacíticas de la Fm. Loma Blanca (Kosak et al., 1988); entre las tobas vitroclásticas son frecuentes las variedades argilitizada y zeolitizada.

Según los datos paleontológicos, el vulcanismo riolítico representa la fase vulcanogénica más joven del Arco Volcánico del piso Campaniano (Kosak et al., 1988). Las intrusiones pequeñas de dioritas poriríticas cuarcíferas, dacitas subvolcánicas y riolitas (queratófido cuarcífero) ricas en Na y pobres en K están asociadas con el magmatismo de la Fm. Loma Blanca aunque algunos de estos cuerpos están pobremente analizados y posiblemente pertenecen a una serie más vieja (Kosak et al., 1988). Las rocas encajantes son sedimentos vulcanógenos; tobas y vulcanitas de composición medio-ácida, las serpentinitas y las rocas antes descritas parecen cortarlas a ellas; evidenciado por las anchas aureolas

metasomáticas de las serpentinitas que a veces rodean las intrusiones (Kosak et al., 1988) y (Costafreda, J, 2011).

El afloramiento más conocido de andesitas subvolcánicas se encuentra hacia norte de Holguín en la zona de Aguas Claras (yacimiento aurífero Aguas Claras), aquí en las serpentinitas se encuentran bloques de andesitas anfibolitizadas en parte mineralizadas. Su posición actual en las serpentinitas es tectónica, con aureolas mineralizadas en los alrededores de dichas andesitas. La edad de estas rocas, según el método K/Ar es Maestrichtiano, pero la edad pudo ser alterada por el metamorfismo (Kosak et al., 1988).

Conjuntamente con la formación del complejo vulcanógeno sedimentario del Arco Volcánico del Cretácico tuvo lugar la obducción de la corteza oceánica, producto del movimiento hacia el NE de la placa del Caribe, lo que provocó el emplazamiento del complejo ofiolítico en forma de una melange que se encuentra en posición alóctona sobre el borde meridional de América del norte, cubrió la zona de Camajuaní-Placetas (talud continental) que aflora en superficie en parte de la isla y el borde meridional de la zona Remedio (Nagy et al., 1976) y (Iturralde_Vinent, 1998).

El contacto entre la zona Remedios y Auras es una zona de sutura (plano inferior de una zona de Benioff) cuya formación culminó en el Paleoceno y se consolidó en el Eoceno Superior (Nagy et al., 1976). Según (Blanco_Moreno, 1999) las rocas volcánicas del Arco de Islas en general cabalgan las ofiolitas septentrionales, aunque en determinadas áreas mantos tectónicos de ofiolitas son las que cabalgan las rocas volcánicas (Antiforma Holguín, Pozo Júcaro 1 y Ramón 1).

Según (Kosak et al., 1988), (Brezsnyanszky & Boros, 1992; Brezsnyanszky & Iturralde_Vinent, 1978), (Costafreda, J, 1999), (Cobiella_Reguera, 2000, 2009), (Masakovski et al., 1989) sobre la base de las rocas que constituyen la melange puede reconstruirse la asociación completa (Figura No. 5); constituida por basaltos toleíticos oceánicos relacionados con el complejo de silicitas, radiolaritas y calizas silicificadas micriticas (Fm. Santa Lucia) esta última se confunden con las formaciones del arco, por la escasa aflorabilidad, semejanza macroscópica e intemperismo (Kosak et al., 1988).

La colisión de la zona Auras (Zaza) con el margen continental formó un manto de melange escamoso, plegado, heterogéneo que con estructura sumamente arqueada, rodea la parte sur del bloque Gibara; durante la formación del melange, sus partes se movieron relativamente juntas. Las rocas del Arco Volcánico, por su consistencia, generalmente constituyen valles alargados, mientras las ultrabasitas forman elevaciones alargadas sublatitudinales (Kosak et al., 1988). En algunos afloramientos las franjas de las vulcanitas

están cubiertas por escamas o mantos de las ultrabasitas. Dentro de la melange las serpentinitas tectónicas representan las partes más plásticas, y el sistema de sus escamas envuelve y empuja en su parte delantera los diferentes niveles de la asociación ofiolítica y las rocas del Arco Insular.

Las franjas tectónicas donde las diferentes rocas de ambas unidades (ofiolitas y AVC) están fuertemente mezcladas no son cartografiables en la escala de las investigaciones realizadas (Nagy et al., 1976), (Kosak et al., 1988). Las dimensiones, trituración y mezclas de los fragmentos aumentan hacia el norte e indican las zonas de los mayores sobrecorrimientos en escamas. Los bloques dinamometamorfizados de las ofiolitas, que se formaron en la base de los sobrecorrimientos, afloran siempre en la franja de micromelange. Las fallas transversales forman un sistemas perpendicular al rumbo de los sobrecorrimientos arqueados, suavemente hacia el norte. A parte de este sistema radial de fallas transversales se observan fallas con dirección diagonal pero son de segundo o tercer orden.

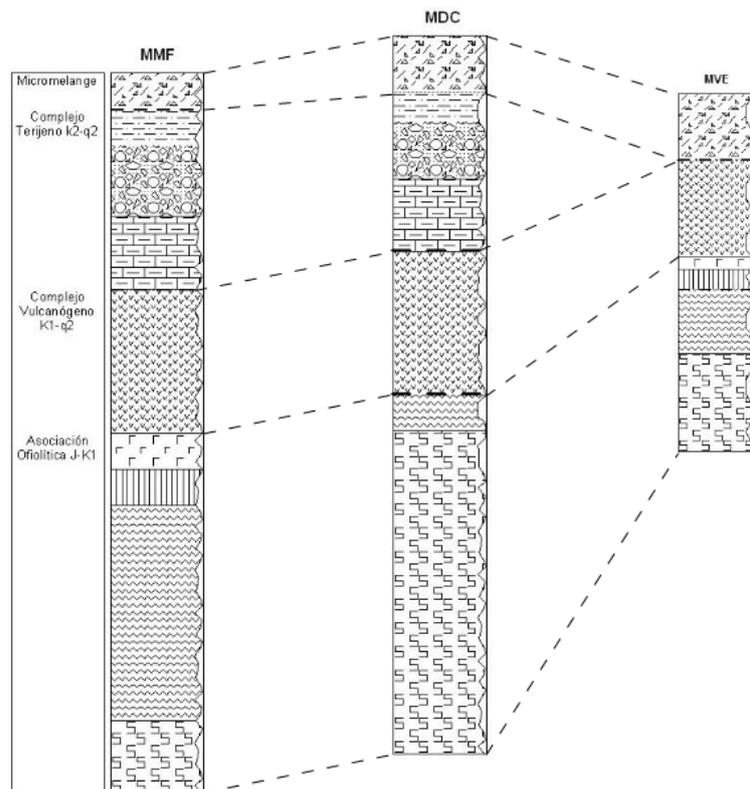


Figura No. 5 Reconstrucción estratigráfica y distribución regional de los complejos litológicos en los diferentes mantos de cabalgamiento (La altura de la columna es proporcional con la extensión de cada complejo), (Breznyanszky & Boros, 1992).

En la constitución de la melange (Fm. Yaguajay Maestrichtiano Superior-Paleogeno) tiene un papel principal los complejos de peridotitas tectónicas, cumulativo, de diques paralelos y efusivo; pertenecientes a la asociación ofiolítica, representados por serpentinitas, harzburgitas, gabros-diabasas, basaltos, además se observan secuencias vulcanógenas

sedimentarias representadas por calizas, tobas, aglomerados, andesitas, margas, areniscas caóticamente mezcladas y plegadas (Brezsnyanszky & Boros, 1992), (Nagy et al., 1976). Los contactos con la Fm. Iberia y sus miembros son tectónicos, además yacen discordantemente sobre las Formaciones Vigía y Rancho Bravo, su potencia puede exceder los 1000 m. Los cúmulos máficos (rocas de la familia del gabro-diabasa) en el área de estudio están presentes en pequeñas extensiones y se localizan hacia la porción sureste.

La suma de evidencias estructurales, radiométricas y estratigráficas puntualizan el emplazamiento de las ofiolitas de Holguín en el período (Maestrichtiano Temprano-Tardío). La cual ocurrió en dos fases; la primera, relacionada con el prisma de acreción de edad Campaniano, ahora probablemente disgregado y la segunda fase por la melange Yaguajay de edad Maestrichtiano, cuyo rasgo fundamental lo constituye la superposición tectónica de las secuencias del Arco Volcánico sobre las ofiolitas de Holguín (Cobiella_Reguera, 2009).

A partir del Kimmeridiano, en el protocaribe occidental se desarrolló una serie de plataformas carbonatadas, una de las cuales, de edad Kimmeridiano-Aptiano, yace sobre el bloque estrecho de la Florida, y fue denominada mega-plataforma Florida-Bahamas. Una parte de esta plataforma está ubicada en la parte nororiental de Cuba, en el lugar conocido como Sierra de Gibara (Iturralde_Vinent, 1998), (Cobiella_Reguera, 2009). Formada por calizas organógenas, micriticas y dolomitas representando facies de bancos biostrómicos, retroarrecifales y lagunares (Fm. Gibara) (Nagy et al., 1976) y (Kosak et al., 1988). El límite estratigráfico inferior de la formación no se conoce sin embargo su límite superior lo constituye el inicio del proceso orogénico en el Maestrichtiano dando lugar a la Fm. Embarcadero (Nagy et al., 1976).

Conjuntamente con la sedimentación de la Formación Gibara tuvo lugar una secuencia en forma de una franja estrecha de dirección este-oeste, 6 km al oeste de la ciudad de Gibara (Fm. Jobal Campaniano Superior-Maestrichtiano Inferior). Constituida por una secuencia carbonatada similar a la Fm. Gibara, no contiene material terrígeno ni vulcanógeno; en ella se observan cambios faciales siendo su ambiente nerítico con influencia pelágica, intensamente agrietada en dirección EW y SE-NW. Se estima que su espesor es de unos 70-100 m y su límite superior lo constituyen las calizas de la Fm. Gibara, la Fm. Vigía yace discordantemente en su porción oriental y la Fm. Vázquez en la occidental (Nagy et al., 1976).

En condiciones de cuencas someras durante el período Campaniano-Maestrichtiano tuvo lugar la formación de secuencias constituidas por calizas de facies retroarrecifales, masivas y compactas con predominio de los tipos órgano-detritico y oolítico cuya potencia varía de

30-50 m, ampliamente desarrollada en todo el territorio, forma la mayoría de los mogotes de la zona Auras (Nagy et al., 1976), (Kosak et al., 1988). Generalmente estas secuencias (Fm. Tinajita) tienen contacto tectónico con las rocas encajantes pero en afloramientos se observa la transición gradual, de las calizas semipelágicas o calizas conglomeráticas vulcanomícticas (Cobiella_Reguera, 2009).

La extinción del megarritmo magmático en la zona Auras es consecuencia de la colisión con el borde del continente americano. La obducción sobre este borde después del empuje gradual del arco son sucesos que se reflejan en los sedimentos de la cobertura. Sobre esta base se pueden diferenciar las formaciones terrígenas de las terrígeno-carbonatadas. La Fm. Tinajita que por su posición transicional, en cierto sentido, también forma parte de la cobertura del Arco Volcánico extinto (Kosak et al., 1988).

Según (Nagy et al., 1976) y (Cobiella_Reguera, 2009) las secuencias de la Fm. La Jiquima (Campaniano-Maestrichtiano) forman parte de la Fm. Iberia como uno de sus miembros, sin embargo (Kosak et al., 1988) la describe como una formación independiente compuesta por secuencias de areniscas y aleurolitas vulcanomícticas, polimícticas bien clasificadas a veces graduadas, contiene conglomerados polimícticos (Mbro. Aguada) y calizas cremosas aleurolíticas (Mbro. Uvilla). El material de la formación es predominantemente vulcanógeno, incluyendo el material de las intrusiones granodioríticas, pero en su parte superior aparecen intercalaciones de brechas sedimentarias, mal clasificadas que están constituidas por rocas de la asociación ofiolítica. En su parte inferior no se diferencia ni el carácter, ni el material de los vulcanosedimentos bien clasificados del Arco Volcánico. No se observan transiciones características, ni discordancias bruscas entre ellas (Kosak et al., 1988). En algunas partes presenta un carácter fhychoide, pero predominantemente forma una secuencia molásica (Cobiella_Reguera, 2009). Sus conglomerados son de facies fluvio-marinas, nerítica (molásica), las aleurolitas y areniscas marcan facies neríticas o bien alejadas de la costa. Existen también sedimentos margosos, arcillosos de facies lagunares (Kosak et al., 1988).

Con la consolidación de los sedimentos depositados a partir de las secuencias erosionadas del Arco Volcánico y del complejo ofiolítico tuvo lugar una franja discontinua de 500-3000 m de anchura que bordea las serpentinitas y la Fm. Iberia, en la parte occidental y central de la Zona Estructuro Facial Auras (Fm. Los Haticos Paleógeno Inferior-Medio) (Nagy et al., 1976). Constituida por brechas conglomeráticas tipo wildflysh mal clasificadas, en parte con carácter olistostrómico con olistolito de 10 a 15 m, los fragmentos están constituido de un 60 a 70 % de fragmentos angulosos y subangulosos de la asociación ofiolítica (serpentinitas, gabros, microgabros, diabasas) mal sorteado, subordinadamente (0-30 %) de su material proviene del material bien sorteado, redondeado de la Fm. La Jiquima.

Las brechas y materiales polimícticos muchas veces transicionan a brechas tectónicas (línea Tacajó-Holguín) lo que demuestra la relación estrecha con las escamas ofiolíticas. En su parte superior los conglomerados son más sorteados, su material es subanguloso, redondeado y tienen intercalaciones de tobas riodacíticas zeolitizadas, tobas pumíticas y tufitas que se depositaron en aguas someras. Estas tobas son productos de la actividad subvolcánica lejana en la parte meridional de Oriente (Arco Volcánico Sierra Maestra) el espesor total de la Fm. Haticos puede llegar a alcanzar entre los 300-400 m. Por su composición petrográfica y posición estructural, la formación es un conglomerado postorogénico de tipo molásico a veces con carácter de turbidita (Nagy et al., 1976).

En la parte baja del Eoceno dominó la sedimentación flyshoide caracterizada por areniscas, pero con la nivelación de la superficie terrestre se depositaron sedimentos finos y la sedimentación se convirtió en tipo molasoide (Fm. Vigía Paleoceno Superior-Eoceno Medio) (Nagy et al., 1976). Integrada por areniscas, aleurolitas, margas con intercalaciones de tobas cineríticas y tufitas de composición ácidas, en su parte superior aumenta la cantidad de material carbonatado, aparecen margas amarillas bien estratificada con intercalaciones de arcillas bentónicas redepositadas, además afloran tobas riodacíticas y riodacitas, en los alrededores de San Andrés, Santa Rosa y Purnio (Kosak et al., 1988). Su espesor alcanza los 400 m (Kosak et al., 1988), sin embargo (Nagy et al., 1976) considera que depende de la localidad, aunque puede llegar a alcanzar los 700 m.

Durante el Paleoceno Superior y el Eoceno Medio sobre el borde meridional de la zona Remedios y la subzona Camajuaní se formó una cuenca superpuesta, donde sedimentaron secuencias carbonatadas y terrígeno-carbonatadas (Fm. Embarcadero Paleoceno Superior-Eoceno Medio) en forma de brecha calcárea bien cementada y compacta. El cemento y la matriz también son carbonatados. Los fragmentos están constituidos de rocas carbonatadas del Cretácico con predominio de calizas con abundante microfauna y rudistas. La cantidad de sedimentos vulcanógenos sedimentarios es muy baja y la textura es desorientada sin estratificación alguna; el espesor es variable entre 50-300 m en dependencia de su posición (Nagy et al., 1976). Al sur de la Fm. Gibara y en forma de una franja angosta se depositaron sedimentos con intercalaciones que provienen de un material vulcanógeno fino producto de la actividad volcánica de la Sierra Maestra que pudo llegar en pequeñas cantidades a esa cuenca (Fm. El Recreo y Fm. Rancho Bravo, (Kosak et al., 1988)). La parte inferior de la formación contiene capas muy gruesas (0,5-1,5 m) de silicitas intercaladas entre las margas (Mbro. Cupeicillo) y se diferencia de la parte más alta que se encuentra carbonatada. Este material durante el proceso de sobrecorrimiento cabalgó el margen meridional de la zona Remedio, mezclándose tectónicamente. En la parte delantera de la melange durante el

proceso de su avance sobrecorrió los tectono-sedimentos y brecha-conglomerados; cuando el frente de la melange alcanzó el bloque Gibara el proceso se detuvo y el sobrecorrimiento culminó, este hecho se fija en la parte alta del Eoceno Medio (fase tectónica cubana).

En este ambiente en una fosa estrecha durante el Eoceno Medio sedimentaron los conglomerados polimícticos de fragmentos variados constituido por porfiritas, diabasas, microgabros y serpentinitas, areniscas y aleurolitas de la Fm. Rancho Bravo (Kosak et al., 1988), (Nagy et al., 1976). El material de esta formación refleja bien el acercamiento de la zona Auras y Remedios durante el proceso de formación de la melange. Los bloques grades de la Formación Rancho Bravo indican su carácter olistostrómicos (Kosak et al., 1988).

La cuenca formada en un ambiente de aguas poco profundas, tuvo lugar la sedimentación de calizas compactadas organodetríticas de color blanco a beige con predominio de la textura organodetrítica, aporcelanada y oolítica (Fm. Charco Redondo Eoceno Medio) cuya potencia varía entre 50 a 200 m, dentro de la formación se pueden distinguir dos tipos de calizas una conglomerática con abundantes algas calcáreas y otra densa con textura fina y compacta, su extensión en la zona de Auras es muy limitada aflorando solamente en las lomas de Yaguajay y en las alturas situadas al sur de Holguín (loma del mirador de Holguín), aunque sus límites no están bien definidos, yace discordantemente al sur sobre la Fm. Pedernal (Nagy et al., 1976). En el Oligoceno Superior-Mioceno Inferior en un ambientes epineríticos, biostrómicos con influencia lagunar de cuencas restringidas tuvo lugar la sedimentación de margas amarillentas estratificadas con intercalaciones de calizas organodetríticas de color amarillo, fragmentarias, que contienen corales (Fm. Camazán). Ubicado en las áreas que comprenden hoy la zona de Nipe y Banes en forma de parches más o menos extensos. Su composición y textura pueden variar en cada localidad, desde calizas arenáceas bien estratificadas hasta margas conglomeráticas de fragmentos variados llegando a alcanzar hasta 400 m, sin embargo en Holguín solo llega a los 70 m (Nagy et al., 1976), (Brezsnyanszky & Iturralde_Vinent, 1978).

Según (Brezsnyanszky & Iturralde_Vinent, 1978) el Oligoceno se caracteriza por un predominio de tierras emergidas y la gran denudación de las mismas, además de un balance entre las áreas ocupadas por tierras emergidas y los mares. Denotando que el período Eoceno Superior-Oligoceno Inferior constituyó una etapa de regresión general.

Desde Manatí hasta Gibara se depositaron margas amarillentas con bivalvos, además de calizas organodetríticas, argilaceas, estratificada, calcilutitas con bivalvos, arcillas bentónicas laminares de color verdoso, conglomerado con clastos de calizas de edad Cretácico Superior de cemento micocristalino (Fm. Vázquez Eoceno Medio). Las

intercalaciones de lignito, yeso y diseminaciones de sulfuros denotan un ambiente de fase lagunar de cuenca restringida. Según (Nagy et al., 1976) los sedimentos que caracterizan la formación son litofacias de tipo carbonatada biogénica con influencia terrígena y de asociaciones evaporíticas. Esta formación yace discordantemente sobre dioritas, ultrabasitas y sobre las Formaciones Buena Ventura, Iberia y Hatico.

Al concluir la orogénesis con la fase cubana, quedó consolidado un sustrato de la corteza continental recién formada y el territorio se formó según las reglas del desarrollo de plataforma. La denudación comenzó acompañada de movimientos tectónicos verticales, a consecuencia de estos procesos, el territorio se fracturó en bloques similar a un mosaico (Kosak et al., 1988). Los diferentes bloques se hundieron, se elevaron y después se erosionaron. Debajo del neutocono aparecen diferentes niveles del sustrato plegado, tobas y tufitas algo arcillosas del Paleógeno, que en algunas partes se redepositaron formando lentes de arcillas plásticas amarillentas en el basamento de las formaciones más jóvenes (línea Banes-Cañadon) (Brezsnyanszky & Iturralde_Vinent, 1978). Más tarde en el Oligoceno Medio-Superior se inició una transgresión que cubrió los bordes de la estructura acrosionada (anticlinorio Holguín).

Luego en el Neógeno, con pequeños hiatos y discordancias, se desarrollaron sedimentos predominantemente carbonatados de facies neríticas, litoral y lagunar. Sobre ellos después de su elevación se acumularon sedimentos terrígenos (eluvio-deluvio, proluvio, lacustre y pantanoso) de edad Plioceno-Cuaternario (Fm. Varadero, Fm. Jutia, Fm. Jaimanita y Fm. Rio Macío).

Conclusiones

- Las formaciones geológicas presentes en el área de estudio pertenecen al complejo ofiolítico y a las secuencias del Arco Volcánico Cretácico
- Las estructuras tectónicas en la periferia del cuerpo riolítico son de tipo sobrecorrimiento, vinculadas con el emplazamiento del complejo ofiolítico; más al norte cortan las secuencias del Arco Volcánico estructuras de orientación NE y NW
- Rocas riolíticas en la región pertenecen a una serie magmática más antigua, lo cual debe ser precisado

Capítulo II

Capítulo II: Métodos y técnicas empleadas

Introducción

La metodología utilizada en la investigación de la zona Las Cuevas con el objetivo de caracterizar mineralógica y petrográficamente las alteraciones hidrotermales presentes en las formaciones geológicas, así como los métodos, herramientas y materiales que en su conjunto posibilitaron el desarrollo de la misma constituyen el contenido del capítulo que se presenta a continuación.

Metodología de investigación

La investigación ejecutada en la zona de Las Cuevas se realizó en tres etapas fundamentales como se muestra en la Figura No. 6; para ello se hizo necesario el empleo de varios métodos, herramientas y materiales que en su conjunto posibilitaron el desarrollo de la misma. En cada una de las etapas se desarrollaron tareas las que se abordan en detalle a continuación.

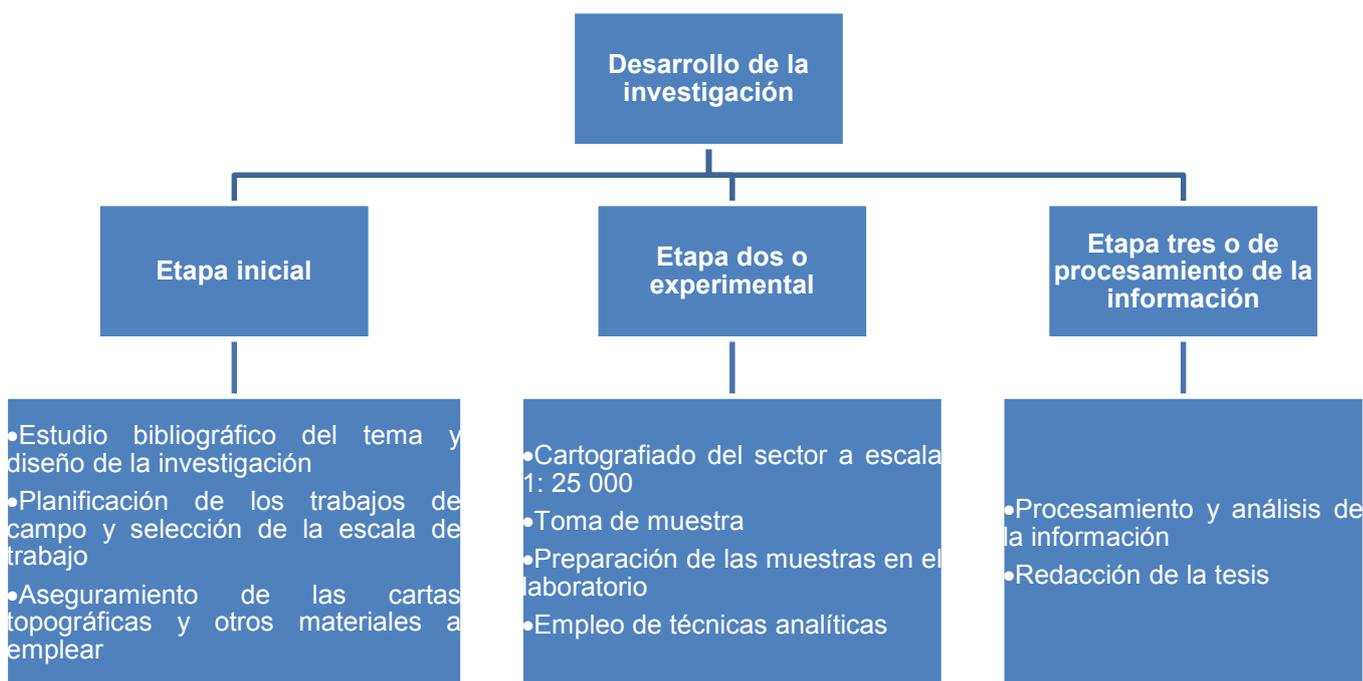


Figura No. 6 Etapas del desarrollo de la investigación en el sector Las Cuevas, Holguín.

Etapas Inicial o de preparación

Para el estudio bibliográfico de la investigación se consultaron los materiales del fondo geológico del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, la Revista Geología y Minería y el centro de información del ISMMM. Se analizó además la búsqueda referativa de los informes de la ONRM (Oficina Nacional de Recursos Minerales) realizada en el año 2003 (Base de datos en formato Microsoft Access con todos los informes de la ONRM), se consultó también la página web de la biblioteca de la Sociedad Cubana de Geología (www.redciencia.cu/geobiblio/geobiblio.html), el texto explicativo del levantamiento Cubano-Húngaro ((Nagy et al., 1976)), bases de datos referenciadas como la www.LylleColección.com la cual recoge revistas que abarcan diferentes temáticas.

Toda la bibliografía empleada para la realización de la investigación fue almacenada en el gestor bibliográfico EndNotex4, bajo la norma APA 6th, con modificaciones introducidas por el autor, según los requerimientos empleado en las publicaciones de la Revista Geología y Minería del ISMMM.

Planificación de los trabajos de campo y selección de la escala de trabajo

El trabajo de campo se planificó teniendo en cuenta lo abordado en las investigaciones precedentes, precisando las áreas dentro de la región de estudio con menor información además de los objetivos de la presente investigación. Se realizó una proyección de puntos de documentación para el área de estudio la cual abarca 25 km², fueron proyectados a una escala 1:25 000 un total de 400 puntos de documentación, respondiendo a lo exigido según las normas establecidas para estos tipos de investigación y la instrucción para la realización del levantamiento geológica a escala 1: 50 000 emitida por el Ministerio de Industria Básica de la República de Cuba en 1985. Con la red proyectada se conformó un plano para las salidas al campo que se empleó en el control de los puntos de documentación. Dada la baja aflorabilidad de las rocas en el área de estudio y la densa vegetación existente solo se pudieron documentar un total de 83 puntos. Se realizó la toma de muestra de cada afloramiento para un total de 89 muestras, salvo en aquellos casos donde las rocas estuviesen muy alteradas o meteorizadas, de tal forma que no permitiese su identificación mediante ninguna técnica analítica. El método de muestreo empleado fue de tipo de fragmento, muestreando un monolito en el afloramiento documentado, cuyas dimensiones fueron de 15 cm x 15 cm x 10 cm.

Etapa experimental

Durante la etapa experimental se desarrollaron los trabajos de cartografiado en el campo y la preparación de las muestras para su correspondientes análisis. Para ello se hizo uso de diferentes medios, los que se exponen a continuación.

Medios empleados durante el trabajo de campo

- Mochila
- Libreta, lápiz y marcadores permanentes
- Martillo y brújula de geólogo marca Brunton
- Pomo con ácido clorhídrico diluido al 10%
- Imán, bolsa de polietileno para la toma de muestra, soga de nylon para suturas
- Carta topográfica del terreno a escala 1:25 000
- GPS marca Garmin de factura alemana (Figura No. 7, b), cámara fotográfica marca Canón



Figura No. 7 Medios empleados en la investigación.

a) Brújula de geólogo marca Brunton; b) GPS-315 marca Maguellan; c) Molino planetario de bola con crisoles de ágata; d) Máquina esmeriladora (Montasuial); e) Máquina cortadora (Minocecar); f) Máquina pulidora de dos platos (PG-20); g) Microscopio petrográfico de luz polarizada, modelo NP-400B, marca Novel; h) Microscopio mineragráfico Jenalab (Pol-U) de la Carl-Zeiss; i) video cámara digital ocular MDCE-5ª

Preparación de las muestras en el laboratorio

De las 89 muestras documentadas fueron seleccionadas 20 según los objetivos definidos en la investigación (Anexo No. 1), las cuales fueron procesadas según el esquema de la Figura No. 8. En el laboratorio de procesamiento de muestra se cortaron las muestras con una máquina cortadora Minocecar (Figura No. 7, e) y se desbastaron mediante una máquina esmeriladora como se puede observar en la (Figura No. 7, d), el pulido de las probetas fue realizado en la máquina esmeriladora y de pulido (Figura No. 7, d, f). Se conformaron un total de 20 secciones delgadas para las cuales se empleó esmeril de granulometría 200, 400 y 600, el pegamento empleado fue de tipo termoplas. Las secciones pulidas confeccionadas fueron 11 para las cuales se empleó esmeril de la misma granulometría que para la realización de las secciones delgadas. Las fotografías tomadas a las muestras descritas se realizaron mediante la video-cámara digital ocular MDCE-5^a (Figura No. 7, i).

La trituración de las muestras se realizó según el esquema de la Figura No. 8, para su posterior análisis de DRX. Mediante un molino de quijadas se trituraron las muestras y posteriormente se empleó un molino planetario de bolas (Figura No. 7, c) hasta reducir las muestras a un tamaño de partículas de 0.044 milímetros.

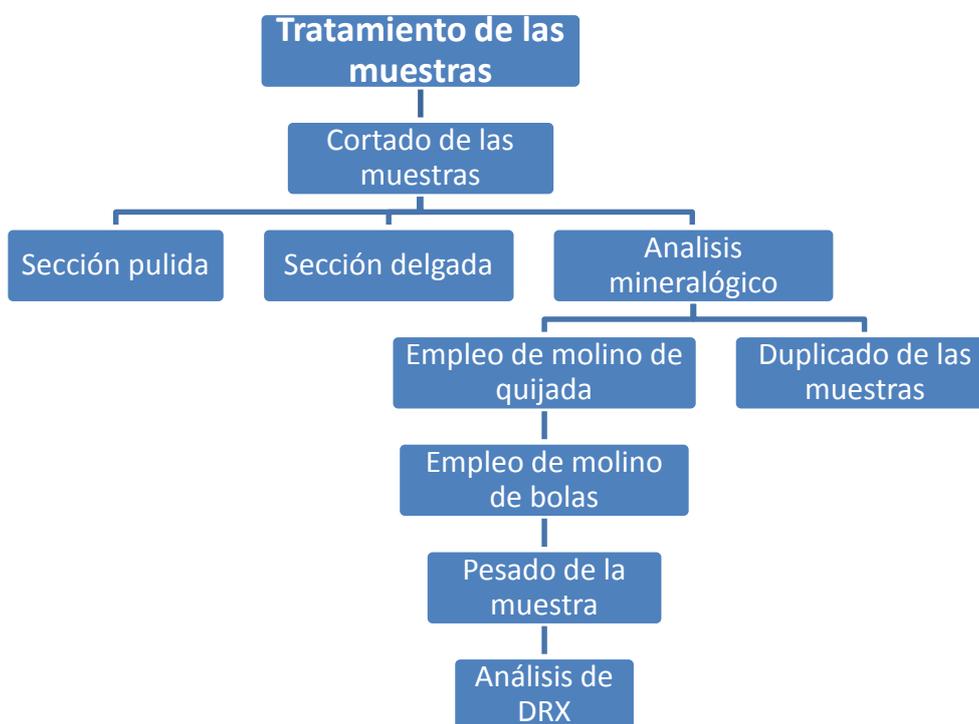


Figura No. 8 Esquema de tratamiento de las muestras analizadas

Técnicas analíticas empleadas

Para la identificación de los minerales no metálicos y metálicos de las muestras, se emplearon los métodos ópticos de petrografía y la microscopia de luz reflejada mediante el uso del microscopio petrográfico y mineragráfico (Figura No. 7, g, h).

Análisis por Difracción de Rayos-X

La técnica de difracción de rayos-x mediante el método del polvo (por sus siglas en inglés PXRD) es una de las técnicas analíticas más versátiles en la identificación de las fases de un material cristalino. El resultado del análisis es un registro gráfico o difractograma (ver Figura No. 15 a la Figura No. 23). Representado en una gráfica de picos, distribuidos en función de los valores angulares, 2θ , y que corresponden a las reflexiones de las fases minerales presentes en la muestra. Para el análisis de las muestras fue necesaria su trituración en un molino planetario con crisoles de ágata (Figura No. 7: c) hasta alcanzar el diámetro de 0,004 milímetros.

En la obtención de los difractogramas se empleó el difractómetro de rayos-x automático marca Phillips Pw 3710MPD de la Universidad Agustino Neto, Luanda, Angola con ánodo de CuK ($\lambda=1,5414 \text{ \AA}$) 36Kv y 30 nA.

La identificación de una fase cristalina se basa en la comparación de los difractogramas obtenidos respecto a patrones establecidos por el Joint Committee on Powder Diffraction Standards, estos a su vez son coleccionados en una base de datos que permite su comparación, la que se realizó mediante el software Analyze.

Etapas de procesamiento y análisis de la información

En esta etapa correspondió el procesamiento y análisis de la información recogida durante la investigación fue procesada mediante diversas herramientas informáticas como el EndNotex4 para la organización y almacenamiento de la bibliografía utilizada, el Microsoft Word para el procesamiento de la información textual, el Argis, surfer, Microsoft Excel y Microsoft Access para la manipulación de los mapas obtenidos y la planificación de los trabajos de campos ejecutados, el Rockplane para la conformación de los diagramas de rosetas y el análisis de las estructuras disyuntivas documentadas. El software analyze se empleó para la interpretación de los registros de rayos-x y la identificación de las fases minerales presentes en las muestras.

Conclusiones

- Los minerales y fases cristalinas identificadas son confiables al emplearse la difracción de rayos-x (DRX)
- Los minerales del grupo de los sulfuros no fue posible su identificación a través de la técnica de difracción de rayos-x por estar en bajas concentraciones en las muestras analizadas

Capítulo III

Capítulo III: Petrografía y mineralogía del sector Las Cuevas, Holguín

Introducción

En el presente capítulo se exponen los principales rasgos petrográficos y mineralógicos de las rocas del sector Las Cuevas, las alteraciones hidrotermales así como las paragénesis minerales y el orden cronológico de formación.

Petrografía del sector Las Cuevas

Las rocas estudiadas durante la investigación pertenecen a las Formaciones Iberia, La Jíquima y Tinajita las cuales conforman las secuencias del Arco Volcánico y su cobertura según lo planteado por (Brezsnyanszky & Iturralde_Vinent, 1978; Nagy et al., 1976), (Brezsnyanszky & Boros, 1992), (Nagy et al., 1976), (Kosak et al., 1988), (Cobiella_Reguera, 1978) y (Cobiella_Reguera, 2009). Además de rocas pertenecientes al complejo ofiolítico, cúmulos máficos y bloques tectónicos de diabasas, todos ellos conforman una melange tectónica (Cobiella_Reguera, 2009).

Desde el punto de vista tectónico las estructuras que cortan las formaciones geológicas se encuentran mayormente enmascaradas o cubiertas por el suelo y la vegetación existente. Las principales fallas que afectan al área fueron establecidas por (Kosak et al., 1988) y (Brezsnyanszky & Boros, 1992). Vinculadas a la secuencia ofiolítica se encuentran las estructuras de cabalgamientos, sin embargo las formaciones pertenecientes al Arco Volcánico y su cobertura están falladas por estructuras en dirección NE y NW (Anexo No. 5).

Para el estudio petrográfico de las rocas se seleccionaron en base a la distribución geográfica y a sus características macroscópicas 20 muestras que ponen de manifiesto las características geológicas y petrográficas del área investigada (Anexo No. 2).

Dentro de las rocas analizadas se encuentran las gabro-diabasas y en menor medida anfibolitas, serpentinitas, tronhjemitas, riolitas y cherts, cuyas características petrográficas serán tratadas a continuación.

Gabro-Diabasas

Las rocas identificadas como gabro-diabasas fueron documentadas en casi toda el área de estudio (Anexo No. 2), de las 20 muestras analizadas por petrografía 13 correspondieron a rocas de este grupo o familia. Macroscópicamente son rocas que se presentan mayormente en forma de fragmentos, de diámetro variado desde 0,20 cm hasta 50 cm (Anexo No. 7). En

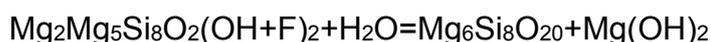
algunas ocasiones forman parte de afloramientos de extensiones considerables (Anexo No. 8). Las rocas son predominantemente de color verde oscuro, en ocasiones presentan tonalidades claras, producto a procesos de alteraciones hidrotermales. La estructura es generalmente masiva y los granos minerales que la constituyen son predominantemente equidimensionales. En ocasiones es posible observar en los afloramientos grietas rellenas con minerales de colores claros (Figura No 12, a).

Dentro de esta familia de rocas se cartografiaron tres tipos; gabros **sensu stricto**, gabros anfibolizados y diabasas anfibolizadas (Anexo No. 3 y Anexo No. 4).

Las rocas gabroicas **sensu stricto** (LC-30-B, LC-55-A y LC-74-A) en sus ejemplares de mano presentan coloración oscura constituida totalmente por cristales de minerales (Figura No. 9, d, e, f). Bajo el microscopio son rocas con predominio de cristales de plagioclasas, van desde la andesina hasta el labrador según sus ángulos de extinción (Figura No. 9, h, i, m). La abundancia de las plagioclasas en la roca oscila entre un 30 % a un 60 %. Los cristales muestran hábito prismático y tamaño entre 0,05 a 0,5 milímetros, maclados según la macla de la Albita, Carlsbad y la Periclina, con maclas polisintéticas características de las plagioclasas. En ocasiones los agregados de plagioclasas están saussuritizados.

Como mineral máfico se observan cristales de piroxenos, desde la hiperestena a la enstatita, cuyos tamaños oscilan entre 0,05 a 1,0 milímetros en ocasiones mayor. En este tipo de rocas el olivino solo fue observado en la muestra de la Figura No. 9, h donde dicho mineral está presente en un 10 %, con hábito anhedral y una marcada birrefringencia, el tamaño de los granos varía de 0,1 a 0,6 milímetros. Producto de las alteraciones deutéricas se formaron vetillas de talco, con dimensiones de 0,05 x 1,5 milímetros y alta birrefringencia (Figura No. 9, h). Según (Gribble & Hall, 1985) y (Kornprobst, 2002) es común la alteración de los minerales máficos portadores de Mg como los piroxenos, anfíboles y el olivino, que en presencia de agua se alteran a clorita y talco (Ecuación 1).

Ecuación 1



Mg antofilita

talco

brucita

Además del talco fueron identificados pequeños cristales de clorita y epidota que no exceden el 5 % de la muestra (Figura No. 9, j) este último, reportado por (Nicolaev, 1966) en los trabajos de exploración realizados en la zona de Holguín.

La mena metálica en estas rocas oscila entre 3 % a 5% y las texturas de la roca es mayormente cumulativa, intergranular y en casos aislados seriada.

Por los por cientos modales de minerales presentes en las rocas, fue posible clasificarlas según la propuesta realizada por (Le Maitre, 2002) y (Gillespie & Styles, 1999) para las rocas ígneas (Anexo No. 4).

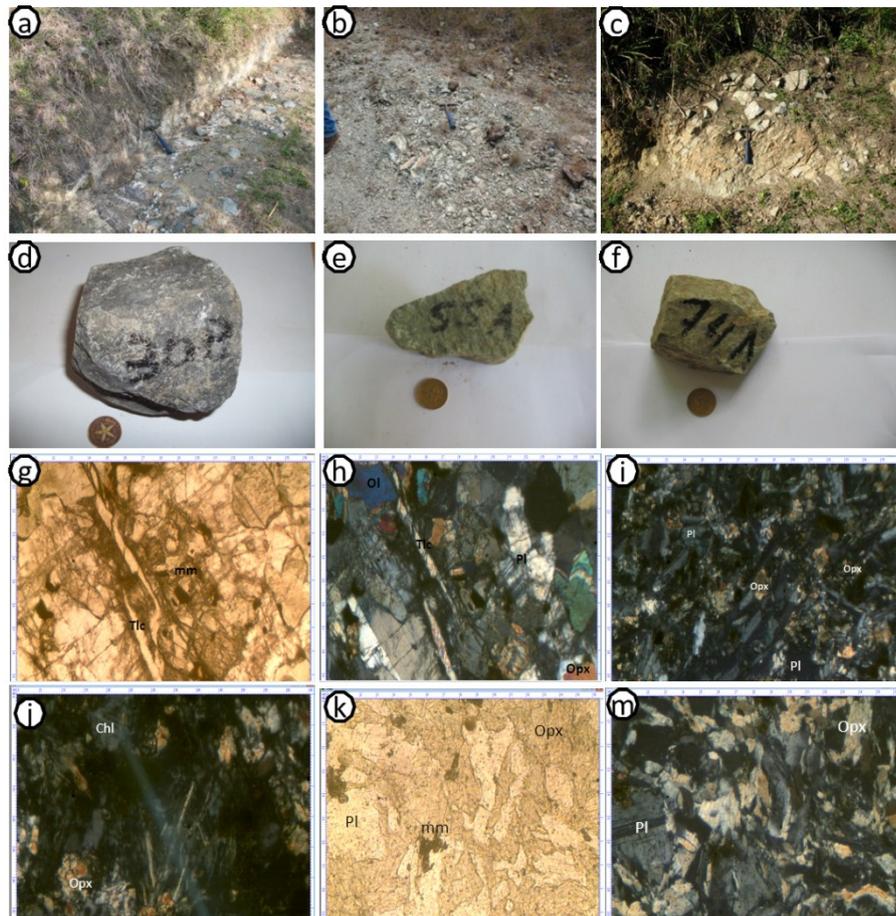


Figura No. 9 Fotografía de afloramientos, muestras de mano y secciones delgadas de las muestras LC-30-B, LC-55-A y LC-74-A.

a) Fotografía del afloramiento LC-30-B; b) Fotografía del afloramiento LC-55-A; c) Fotografía del afloramiento LC-74-A; d) muestra de mano LC-30-B; e) muestra de mano LC-55-A; f) muestra de mano LC-74-A; g) Fotografía con nicóles // y filtro azul de la muestra LC-30-B: talco (Tlc) y mena metálica (mm) (objetivo 4x); h) Fotografía con nicóles x y filtro azul de la muestra LC-30-B: olivino (Ol), plagioclasa andesina (Pl), ortopiroxeno hiperestena (Opx) y talco (Tlc) (objetivo 4x); i) Fotografía con nicóles x y filtro azul de la muestra LC-55-A: plagioclasa (Pl) y ortopiroxeno enstatita (Opx) (objetivo 4x); j) Fotografía con nicóles x y filtro azul de la muestra LC-55-A: clorita (Chl) y ortopiroxeno enstatita (Opx) (objetivo 10x); k) Fotografía con nicóles // y filtro azul de la muestra LC-74-A: ortopiroxeno hiperestena (Opx) y plagioclasa labrador (Pl) y mena metálica (mm) (objetivo 10x); m) Fotografía con nicóles x y filtro azul de la muestra LC-74-A: ortopiroxeno hiperestena (Opx) y plagioclasa labrador (Pl), se observa la clásica macla de la plagioclasa (objetivo 10x)

Los gabros anfíbolizados son más abundantes, 7 de las 13 muestras analizadas en el grupo del gabro-diabasa pertenecen a este tipo de roca. En ejemplares de mano son rocas máficas (Figura No. 10, d, e y Figura No. 11, d) holocristalinas y equigranulares, muy densas, sin embargo en ocasiones llegan a tomar tonalidades claras (Figura No. 10, f y Figura No. 11, c). Bajo el microscopio, están constituidas mayormente por el piroxeno hiperestena, como mineral máfico ortomagmático. Aunque los por cientos modales de este mineral en cada muestra varían (Anexo No. 3 y Anexo No. 4). El piroxeno está presente regularmente con un hábito subheuedral y clivaje en dos direcciones, con un ligero pleocroísmo que tiende a

confundirlo con los cristales del anfíbol hornblenda. Sus dimensiones oscilan entre 0,01 a 0,6 milímetros.

Producto de las alteraciones deutéricas los piroxenos están uralitizados (Anexo No. 7) en muchas ocasiones es posible observar el borde de alteración (Figura No. 11, j). Según (Best, 2003) en los estados de cristalización del magma a bajas temperaturas, la labradorita primaria es reemplazada por plagioclasa más sódica, comúnmente albita. Esta albitización libera Ca y Al en menores cantidades lo cual permite la formación de fases como la calcita (si la fugacidad del CO₂ es alta) hidrosilicatos de Ca-Al como prennita, pumellita, epidota y zoisita. El clinopiroxeno primario es reemplazado por actinolita y posiblemente clorita. A altas temperaturas, los hidrosilicatos de Ca-Al, albita y la clorita rica en aluminio reaccionan formando plagioclasas cálcicas y anfíboles ricos en Al (hornblenda).

El anfíbol hornblenda presente en las muestras se pudo formar según (Huang, 1972) a expensas de la uralitización de los piroxenos y otros minerales máficos presentes en el magma originario. Los cristales del anfíbol son abundantes en las muestras analizadas llegando a representar entre el 3 al 60 % de las muestras (Figura No. 10, g, i, m y Figura No. 11, f, i, k) con hábito prismático y dimensiones entre 0,05 a 0,8 milímetros.

La plagioclasa, como mineral félsico presente, es el constituyente principal de algunas muestras (Figura No. 11, i, k, m) con valores de hasta el 70 % (Anexo No. 3). Comúnmente se presentan con maclas polisintéticas, de Carlsbad, Albita y Baveno de hábito prismático y forma heuedrál a subheuedral (Figura No. 11, i). La superficie de los cristales de plagioclasas están muy saussuritizadas (Figura No. 10, i y Figura No. 11, k, m) alteración que según (Huang, 1972) es producto de la acción de las soluciones con carácter hidrotermal que al interactuar con los cristales precipitados, produce zoisita a partir de la plagioclasa anortita como se observa en la Ecuación 2.

Ecuación 2



Los minerales de alteración reflejan claramente los rasgos genéticos y procesos de alteración que las rocas han sido sometidas, como se puede observar en la sericita (Figura No. 10, m), epidota (Figura No. 10, h), clorita (Figura No. 10, j y Figura No. 11, h, j, m), cuarzo (Figura No. 10, h) y pumpellita (Figura No. 11, g).

Según (Kornprobst, 2002) el metamorfismo de fondo oceánico está principalmente caracterizado por la hidratación de las fases ferromagnesiales primarias; el olivino es reemplazado por talco y actinolita y los clinopiroxenos por actinolita y hornblenda. Las plagioclasas tienden a una composición más albitica, especialmente en zonas alteradas hidrotermalmente donde se produce la sustitución de Ca por el Na entre los fluidos acuosos y la roca.



Figura No. 10 Fotografía de afloramientos, muestras de mano y secciones delgadas de las muestras LC-12-A, LC-18-A, LC-31-B.

a) Fotografía del afloramiento LC-12-A; b) Fotografía del afloramiento LC-18-A; c) Fotografía del afloramiento LC-31-B; d) muestra de mano LC-12-A; e) muestra de mano LC-18-A; f) muestra de mano LC-31-B; g) Fotografía con nicol x y filtro azul de la muestra LC-18-A: anfíbol hornblenda (Hbl), plagioclasa labrador (Pl) y mena metálica (objetivo 10x); h) Fotografía con nicol x y filtro azul de la muestra LC-18-A: epidota (Ep) y cuarzo secundario (Qtz) (objetivo 10x); i) Fotografía con nicol x y filtro azul de la muestra LC-31-B: plagioclasa (Pl) y hornblenda (Hbl) (objetivo 4x); j) Fotografía con nicol x y filtro azul de la muestra LC-31-B: clorita (Chl) (objetivo 10x); k) Fotografía con nicol // y filtro azul de la muestra LC-31-B: cristal de zoisita (Zo) (objetivo 10x); m) Fotografía con nicol x y filtro azul de la muestra LC-12-A: plagioclasas (Pl), hornblenda verde (Hbl), cuarzo (Qz), Sericita (Sc) (objetivo 2.5x)

Una variedad de grano fino de las rocas gabroicas la constituyen las diabasas. Son rocas compactas macroscópicamente, de color verde oscuro, masiva, en ocasiones muy agrietadas; las grietas están rellenas de un mineral félsico (Figura No. 12, a). Bajo el microscopio su constituyente principal es plagiocasa andesina, se presenta en forma de cristales subheuedrales y llega a constituir entre 45 y 50 % de la roca. Los cristales están muy alterados, saussuritizados, (Figura No. 12, d, f) resultado de la propilitización de la roca, hecho que produce colores de tonalidades más claras.

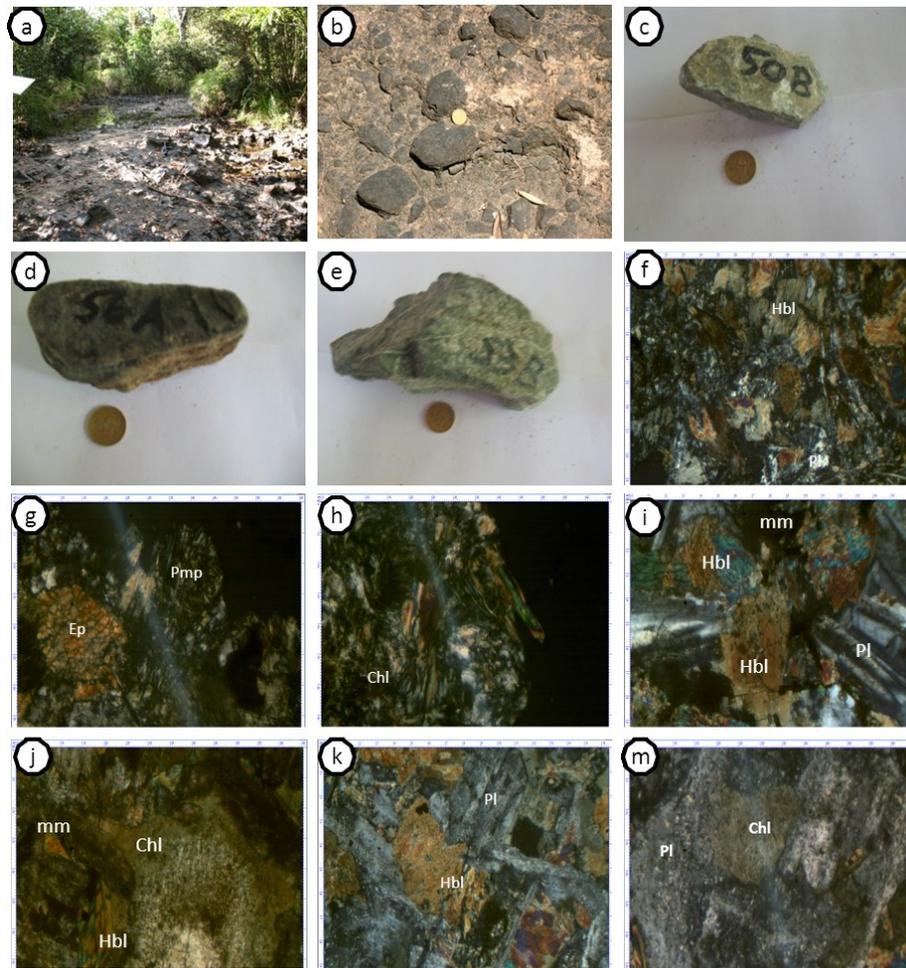


Figura No. 11 Fotografía de afloramientos, muestras de mano y secciones delgadas de las muestras LC-50-B, LC-56-A y LC-53-B. a) Fotografía del afloramiento LC-50-B; b) Fotografía del afloramiento LC-56-A; c) muestra de mano LC-50-B; d) muestra de mano LC-56-A; e) muestra de mano LC-53-B; f) Fotografía con nicoles x y filtro azul de la muestra LC-50-B: plagioclasa (Pl) y hornblenda (Hbl) (objetivo 4x); g) Fotografía con nicoles x y filtro azul de la muestra LC-50-B: epidota (Ep) y pumpellita (Pmp) (objetivo 10x); h) Fotografía con nicoles x y filtro azul de la muestra LC-50-B: clorita (Chl) (objetivo 10x); i) Fotografía con nicoles x y filtro azul de la muestra LC-56-A: hornblenda (Hbl), mm (mena metálica) y plagioclasa (Pl) (objetivo 4x); j) Fotografía con nicoles x y filtro azul de la muestra LC-56-A: clorita (Chl), hornblenda (Hbl) y mena metálica (mm) (objetivo 4x); k) Fotografía de la sección delgada con nicoles x y filtro azul de la muestra LC-53-B: plagioclasa (Pl) y anfíbol hornblenda (Hbl) (objetivo 4x); m) Fotografía con nicoles x y filtro azul de la muestra LC-53-B: plagioclasa saussuritizada (Pl) y clorita (Chl) (objetivo 10x)

En menor cantidad están presentes cristales de ortopiroxeno con hábito prismático y un clivaje marcado en dos direcciones, el tamaño de los cristales oscila entre 0,15 a 0,25 milímetros. La uralitización de los piroxenos es acentuada (Figura No. 12, f), de igual forma que en las variedades de grano más grueso (gabros anfíbolizados). Esta alteración dio como resultado la formación de cristales de anfíbol hornblenda y clorita a expensas de la alteración de los cristales de piroxeno. Los cristales de hornblenda forman entre un 15 y 40 % de la muestras; sin embargo los minerales opacos son menos abundantes, aunque llegan a alcanzar hasta un 5 %. De forma global las rocas presentan variadas texturas, desde ofítica, sub ofítica y en ocasiones panidiomorfa.

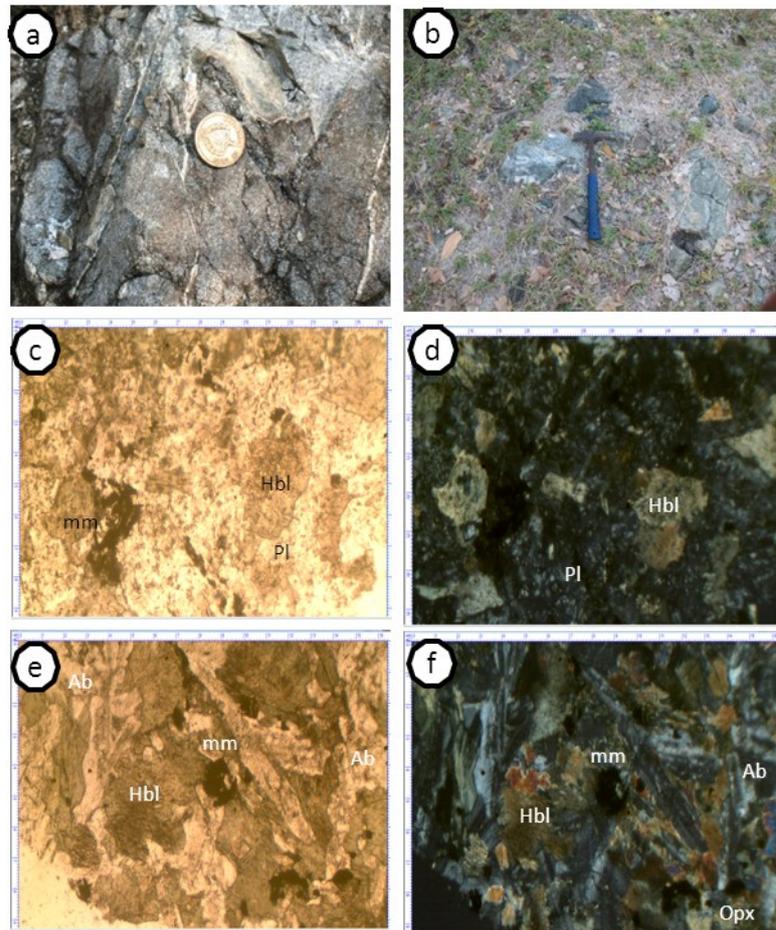


Figura No. 12 Fotografía de afloramientos, muestras de mano y secciones delgadas de las muestras LC-53-A y LC-26-A. a) Fotografía del afloramiento LC-53-A; b) Fotografía del afloramiento LC-26-A; c) Fotografía con nicoles // y filtro azul de la muestra LC-53-A: plagioclasas (Pl), hornblenda (Hbl) y mena metálica (mm) (objetivo 4x); d) Fotografía con nicoles x y filtro azul de la muestra LC-53-A: plagioclasas (Pl) y hornblenda (Hbl) (objetivo 4x); e) Fotografía con nicoles // y filtro azul de la muestra LC-26-A: hornblenda (Hbl) y plagioclasa albita (Ab) (objetivo 4x); f) Fotografía con nicoles x y filtro azul de la muestra LC-26-A: hornblenda (Hbl), plagioclasa albita (Ab) y Opx (Opx) (objetivo 4x);

Anfibolitas

Los cambios metamórficos experimentados por las rocas máficas presentes en el área varían en el espacio. Es posible observar rocas con poco o casi nulo grado de metamorfismo como las experimentadas por los gabros *sensu stricto* antes descritos, sin embargo hacia el este de la zona de estudio es posible observar rocas anfibolíticas. Los mayores afloramientos de estas rocas se ubican hacia sector centro norte de la zona Auras (Kosak et al., 1988). Según (Best, 2003) la anfibolita es una roca compuesta por hornblenda y plagioclasa, que ha sido formada por la recristalización de rocas ígneas máficas como gabros o basaltos bajo presencia de agua.

Macroscópicamente es una roca de color verde claro y estructura masiva (Figura No. 13, a). La sección está compuesta mayormente por anfíbol hornblenda en un 60 %, con hábito prismático, clivaje en dos direcciones y pleocroísmo marcado, los cristales son subheuedrales de tamaño 0,15 hasta 0,40 milímetros, con una textura poikilítica. La

plagioclasa está presente en un 30 % en forma de una masa irregular, en muchas ocasiones con textura glomeroporfídica.

Producto de la alteración deutérica experimentada por la roca se formó la pumpellita y la zoisita, está última de alta birrefringencia y hábito radial, rellenando pequeñas grietas (Figura No. 13, e, f).

Según (Raymon, 2000) estas rocas pueden ser originadas en dos ambientes tectónicos. Durante la formación de un Arco Volcánico a través de la constitución del orógeno y en el proceso de formación de las secuencias ofiolíticas, ya sea de zona de expansión de antearco (spreading center) o de cuenca de retroarco (back arc basin).

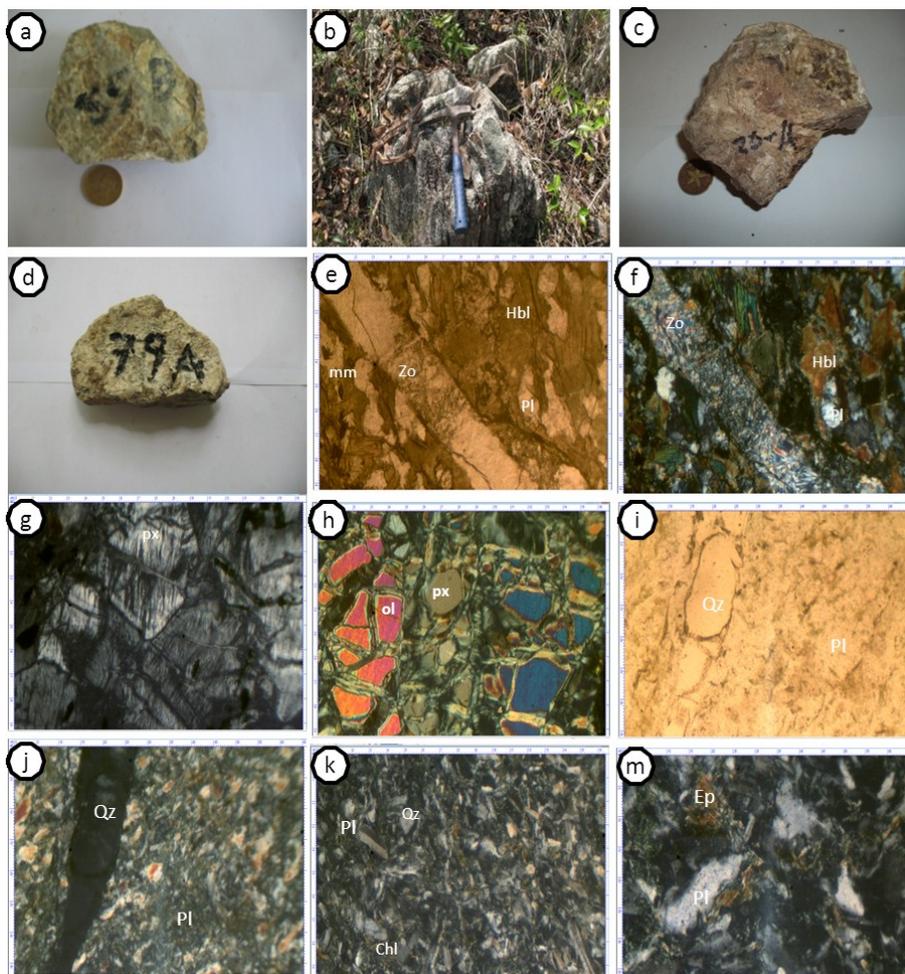


Figura No. 13 Fotografía de afloramientos, muestras de mano y secciones delgadas de las muestras LC-55-B, LC-13-A, LC-20-A y LC-79-A.

a) Muestra de mano LC-55-B; b) Fotografía del afloramiento LC-13-A; c) Muestra de mano LC-20-A; d) Muestra de mano LC-79-A; e) Fotografía con nicols // y filtro azul de la muestra LC-55-B: zoisita (Zo), hornblenda (Hbl), plagioclasa (Pl) y mena metálica (mm) (objetivo 4x); f) Fotografía con nicols x y filtro azul de la muestra LC-55-B: zoisita (Zo), hornblenda (Hbl) y plagioclasa (Pl) (objetivo 4x); g) Fotografía con nicols x y filtro azul de la muestra LC-13-A: piroxeno bastitizado (Px) (objetivo 4x); h) Fotografía con nicols x y filtro azul de la muestra LC-20-A: olivino (Ol) y piroxeno (Px) en una matriz de minerales serpentinitos (objetivo 4x); i) Fotografía con nicols x y filtro azul de la muestra LC-79-A: cuarzo (Qz) y plagioclasa (Pl) (objetivo 4x); j) Fotografía con nicols x y filtro azul de la muestra LC-79-A: cuarzo (Qz) y plagioclasa (Pl) (objetivo 4x); k) Fotografía de la sección delgada con nicols x y filtro azul de la muestra LC-79-A: cristales de plagioclasa (Pl) se observa el maclado característico de las plagioclasas, cuarzo (Qz) y clorita (Chl) (objetivo 4x); m) Fotografía con nicols x y filtro azul de la muestra LC-79-A: cristal de epidota (Ep) (objetivo 10x)

Serpentinita

Como resultado de la hidratación de minerales máficos en condiciones de bajas presiones y temperatura se formaron rocas serpentiniticas; consideradas por (Blanco-Quintero, 2010), (Best, 2003) y (Kornprobst, 2002) como rocas de metamorfismo de bajo grado.

Estas rocas, en ejemplares de mano son de color verde oscuro, con tonalidades claras y una estructura masiva (Figura No. 13, b, c). Bajo el microscopio están formadas mayormente por una matriz de minerales del grupo de la serpentina como antigorita y crisotilo (Figura No. 13, g) que aglomeran fragmento de cristales relícticos de olivino y ortopiroxeno (Figura No. 13, h). Los minerales orto magmáticos como el piroxeno se encuentra bastitizado (Figura No. 13, g). La textura de estas rocas es mayormente fibroblástica a pseudomorfica. A causa de su estabilidad geoquímica es posible encontrar cristales de espinela cromífera en la matriz serpentinitica.

Tronjhemita

La progresiva fusión parcial de las rocas basálticas en condiciones de saturación de agua genera rocas pertenecientes a la familia de las TTG (tonalita, tronjhemita y plagiogranito) las que constituyen del 5 al 10 % de las rocas plutónicas de los complejos ofiolíticos (Best, 2003).

Presentes en la porción sur de la zona de estudio, macroscópicamente es una roca de color blanco y estructura masiva, su contacto con las rocas máficas del complejo ofiolítico es tectónico ya que no se observó ninguna zona de alteración. Bajo el microscopio presenta una textura porfídica compuesta por plagioclasas en un 65 %, las que están saussuritizadas (Figura No. 13, k). Los pequeños cristales de cuarzo ortomagmático forman el 30 % de la muestra. Producto de la saussuritización de las plagioclasas se formaron la clorita y la epidota como minerales de alteraciones (Figura No. 13, k, m), cuya abundancia en la muestra no sobrepasa el 5 %. La presencia de una fase secundaria de cuarzo (Figura No. 13, j) en forma de pequeños filoncillos, denota que la roca experimento una cuarcificación póstuma a su formación.

La mayor parte de los plagiogranitos integran el Arco Volcánico Cretácico y muy escasos se encuentran otros que corresponden a la asociación ofiolítica, estos últimos desde el punto de vista geoquímico presentan diversidad genética (Andó et al., 1976). Estas rocas leucocráticas afines a las ofiolitas, denominadas plagiogranitos oceánicos por Coleman & Petreman (1975), se pueden observar en la región oriental de Cuba en el macizo Mayarí-

Nicaro y Moa-Baracoa asociadas al complejo cumulativo máfico. Muy raramente aparecen también dentro de las ultramafitas. En el resto de la isla se encuentran en Loma Cerro el Chivo a 6 Km al sur de la ciudad Santa Clara, Tres Guanos localidad típica descrita por Truitt y Pardo en 1954 y posteriormente por Hatten en 1958, al noreste de la ciudad de Placetas y al este del poblado de Iguará en la región de Venegas.

Riolita

Las secuencias del AVC están representadas según (Kosak et al., 1988) por la Fm. Iberia y la Fm. Loma Blanca. Las rocas que componen esta última en el sector Las Cuevas son de color blanco y estructura masiva, granos muy finos que apenas son perceptibles a simple vista (Figura No. 14, a). El cuerpo riolítico que integra esta formación tiene carácter radial como se puede observar en el Anexo No. 2, sobre el cual se cartografiaron diversos puntos. Bajo el microscopio es una roca de textura porfídica, en ocasiones holocristalina, constituida por plagioclasas en un 70 % las que suelen aparecer formando pequeños cristales alargados con cierta zonación, maclas según la ley de la albita (Figura No. 14, c). El cuarzo aparece en un 25 % en forma de microlitos con una geometría bien definida englobado dentro de la matriz de plagioclasa microlítica. Los cristales de plagioclasas (albita) se encuentran corroídos por la matriz cuarzo-feldepática Ca, Na. La mena metálica magnetita es escasa solo está presente en la muestra hasta el 3 % (Figura No. 24, g).

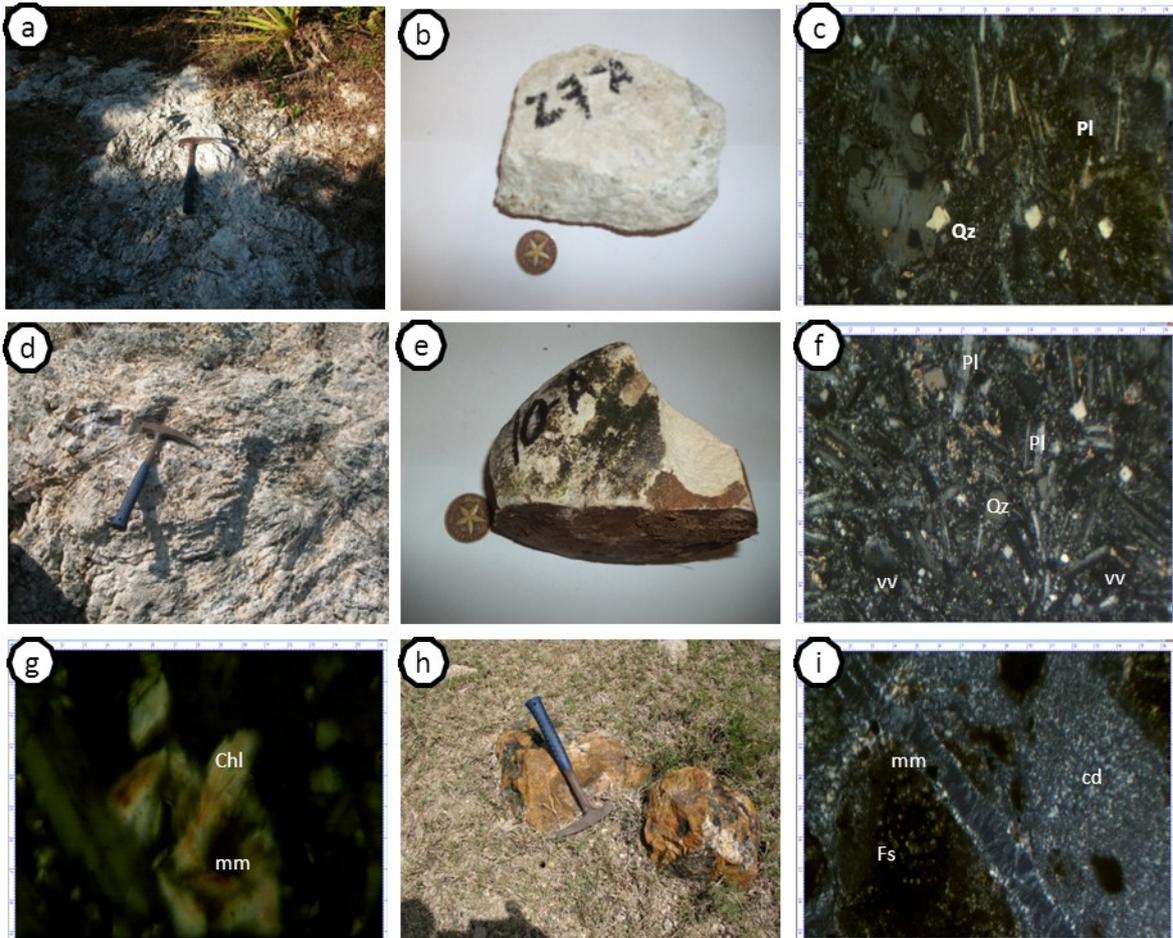


Figura No. 14 Fotografía de afloramientos, muestras de mano y secciones delgadas de las muestras LC-27-A, LC-10-A y LC-23-A. a) Afloramiento de la muestra LC-27-A; b) Muestra de mano LC-27-A; c) Fotografía con nicoles x y filtro azul de la muestra LC-27-A: plagioclasa (Pl) y (Qz) cuarzo (objetivo 10x); d) Afloramiento de la muestra LC-10-A; e) Muestra de mano LC-10-A; f) Fotografía con nicoles x y filtro azul de la muestra LC-10-A: plagioclasas (Pl), cuarzo (Qz) y vidrio volcánico (objetivo 4x); g) Fotografía con nicoles x y filtro azul de la muestra LC-10-A: clorita (Chl) y mena metálica (mm) (objetivo 40x); h) Afloramiento de la muestra LC-23-A; i) Fotografía con nicoles x y filtro azul de la muestra LC-23-A: calcedonia criptocristalina (cd), mena metálica (mm) y fósiles (Fs) (objetivo 4x)

Hacia el este de la Fm. Loma Blanca el vulcanismo se tornó de carácter diferente, incrementando los contenidos de vidrio volcánico y disminuyendo los de cuarzo. Aunque la muestras de mano tiene rasgos similares en cuanto a su color y estructura (Figura No. 14, e) bajo el microscopio presenta una matriz constituida por microlitos de plagioclasas en un 70 % y vidrio volcánico 6 %. Los cristales de cuarzo representan el 20 % de la muestra y aparecen en pequeños granos en forma de romboedros agudos con color de interferencia hasta el blanco gris del primer orden. La textura de la roca es porfídica, en parte fluidal (pilotaxítica), se observa cierta alineación en los cristales de plagioclasas que integran la matriz. Los minerales opacos son escasos los que no sobrepasan el 2 %.

Cherts

Producto de la consolidación de sedimentos silíceos tuvo lugar la formación de rocas tipo chert. Estas rocas son formadas en la parte superior de la secuencia ofiolítica (Wilson, 2007). Macroscópicamente es una roca de color naranja con una estructura esquelética típica de la actividad hidrotermal, presencia de grietecillas que están rellenas por un mineral del grupo de los sulfuros (Figura No. 14, h). La roca en la sección posee una textura clástica, con fragmentos de rocas sustituidos totalmente por hematita, en ocasiones estos fragmentos tienen forma elipsoidal y están formados por fósiles. El material cementante está constituido por calcedonia en agregado criptocristalino de una primera etapa. Las grietas están rellenas de calcedonia de una formación posterior y algo de material amorfo (ópalo?). La hematita está sustituyendo la magnetita primaria.

Mineralogía

El análisis por el método de difracción de rayos-x (por sus siglas en inglés PXR, Powder X-Ray Diffraction) permitió profundizar en la composición mineralógica de las muestras investigadas y definir sus fases minerales, siendo esta técnica de alta precisión según lo propuesto por (Corona-Rodríguez, 2010) y (Cabenses & Scarrow, 2012).

Los minerales presentes en las muestras en pocas cantidades generan picos de difracción que quedan solapados con el valor de fondo o ruido del difractograma debido a su poca existencia. Es necesario el uso de técnicas más especializadas en investigaciones futuras. En varias muestras fue necesario el empleo de filtros para la corrección del ruido de fondo en los difractogramas (muestras LC-50-B y LC-53-A), para ello se realizó un ciclo de suavizado previo al análisis. Las fases minerales identificadas en las 9 muestras analizadas se muestran a continuación.

Difractograma de la muestra LC-55-A

Los resultados del análisis petrográfico realizado arrojaron la presencia de plagioclasa labrador 55 % + enstatita 35 % + clorita + epidota + mena metálica 3% (Figura No. 9, i). Por los resultados de la difracción de rayos-x se identificaron las fases minerales presentes en la Figura No. 15. Como minerales principales se encuentran la enstatita $MgSiO_3$, y la albita $Na(AlSi_3O_8)$ y en menor grado la clorita $Mg_3Al_3Si_3AlO_{10}O_8$ y la epidota $Ca_2Al_{2.16}Fe_{0.84}Si_3O_{13}H$.

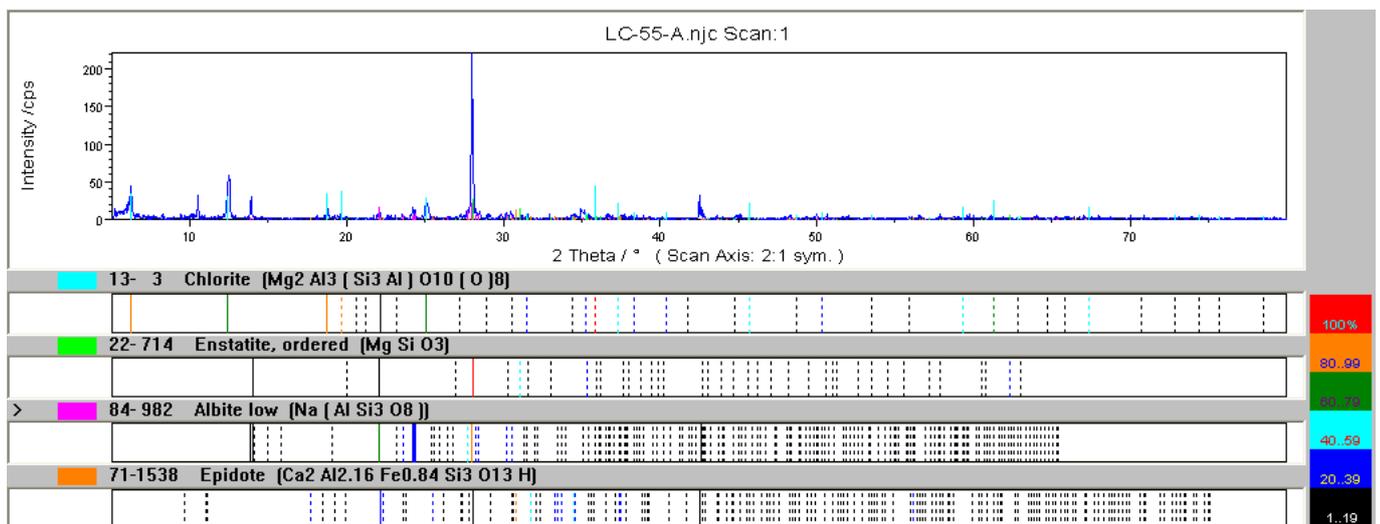


Figura No. 15 Difractograma de rayos-x de la muestra LC-55-A (gabro)

Difractograma de la muestra LC-26-A

Mediante el análisis petrográfico de la muestra se identificó la plagioclasa albita 45% + ortopiroxeno 35% + anfíbol hornblenda 15 %. La composición mineralogía de la muestra fue corroborada mediante el análisis de DRX como se observa en la Figura No. 16 donde las fases minerales que componen la muestra identificada coinciden con las definidas por el métodos petrográfico, dichas fases son las siguientes: albita $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$, ortopiroxeno $\text{Mg}_{1.12}\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_2\text{O}_6$ y en menor medida magnesiohornblenda $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_4(\text{SiAl})\text{O}_{22}(\text{OH}, \text{F})_2$.

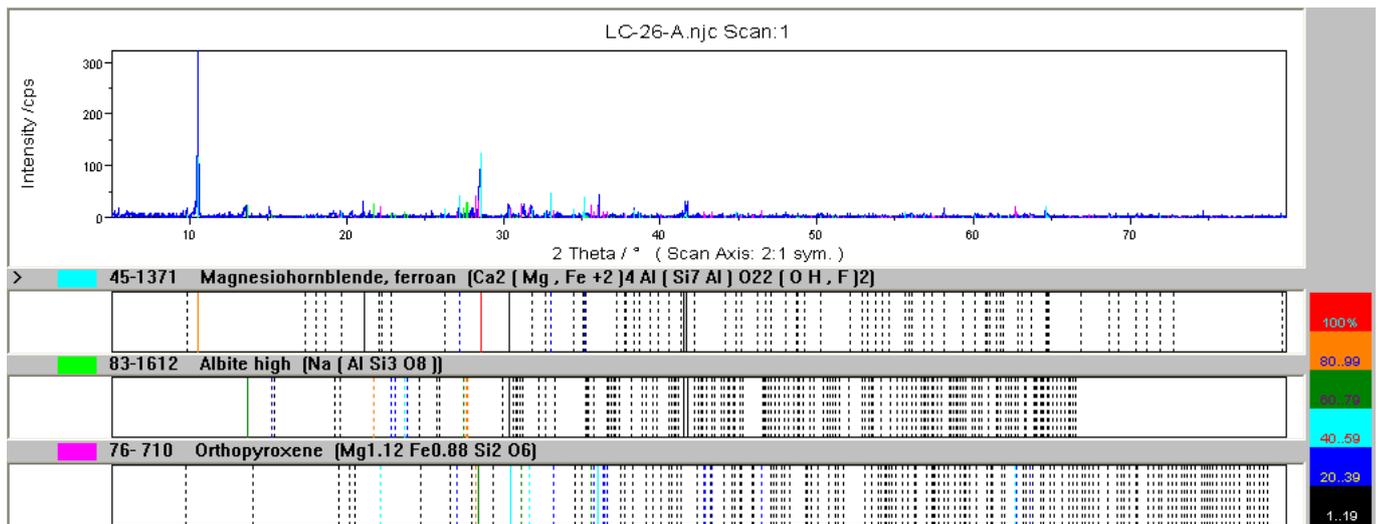


Figura No. 16 Difractograma de rayos-x de la muestra LC-26-A (diabasa anfíbolizada)

Difractograma de la muestra LC-30-B

Petrográficamente la muestra está constituida por plagioclasa andesina 60 % + hiperestena 25 % + olivino 10 % + talco + magnetita 3 %. En el análisis de difracción se corroboró la presencia de estos minerales, como se observa en la Figura No. 17. La fase mineralógica principal lo constituye la plagioclasa andesina ($\text{Na}_{0.499}\text{Ca}_{0.491}$) ($\text{Al}_{1.488}\text{Si}_{2.506}\text{O}_8$), el ortopiroxeno $\text{Mg}_{1.12}\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_2\text{O}_6$, y en menor medida el olivino MgFeSiO_4 y el talco $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. En la sección delgada no se observó el anfíbol magnesiohornblenda $((\text{Ca}, \text{Na})_{2.26}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_{5.15}(\text{SiAl})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2)$, sin embargo en el registro de difracción es posible observar el pico característico de esta fase mineral cerca de los 10° .

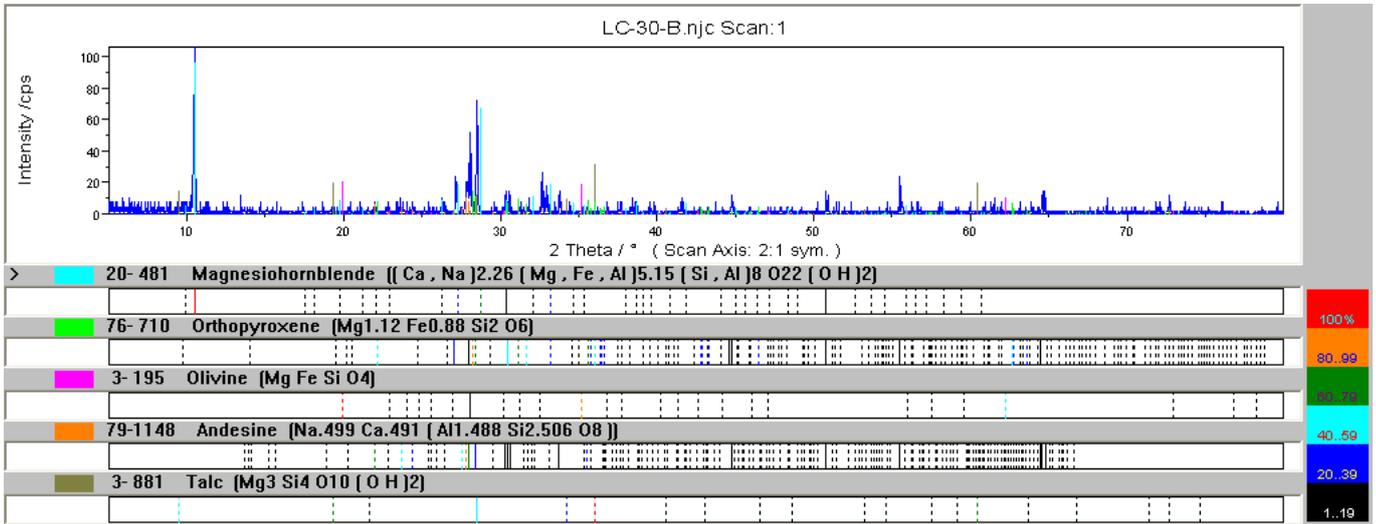


Figura No. 17 Difractograma de rayos-x de la muestra LC-30-B (diabasa olivínica)

Difractograma de la muestra LC-31-B

La sección delgada está integrada por plagioclasa 50% + hiperestena 40% + hornblenda verde 5% + clorita y zoisita. En el análisis de DRX se corroboraron las fases minerales Bitownita $Ca_{0.85}Na_{0.14}Al_{1.83}Si_{2.16}O_8$, el ortopiroxeno $(Fe_{0.232}Mg_{0.768})(Fe_{0.570}Mg_{0.387}Ca_{0.043})Si_2O_6$ y la magnesiohornblenda $Na_{0.4}Ca_2Mg_4Al(Si_7Al_1O_{22.4})(OH)_{1.6}$ y en menor abundancia se identificaron las fases clorita $(Mg_{4.715}Al_{6.94}Fe_{0.269}Fe_{0.109}Cr_{0.128}Ni_{0.011})(Si_{3.056}Al_{0.944})$ además de zoisita $Ca_2Al_3(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$ (Figura No. 18).

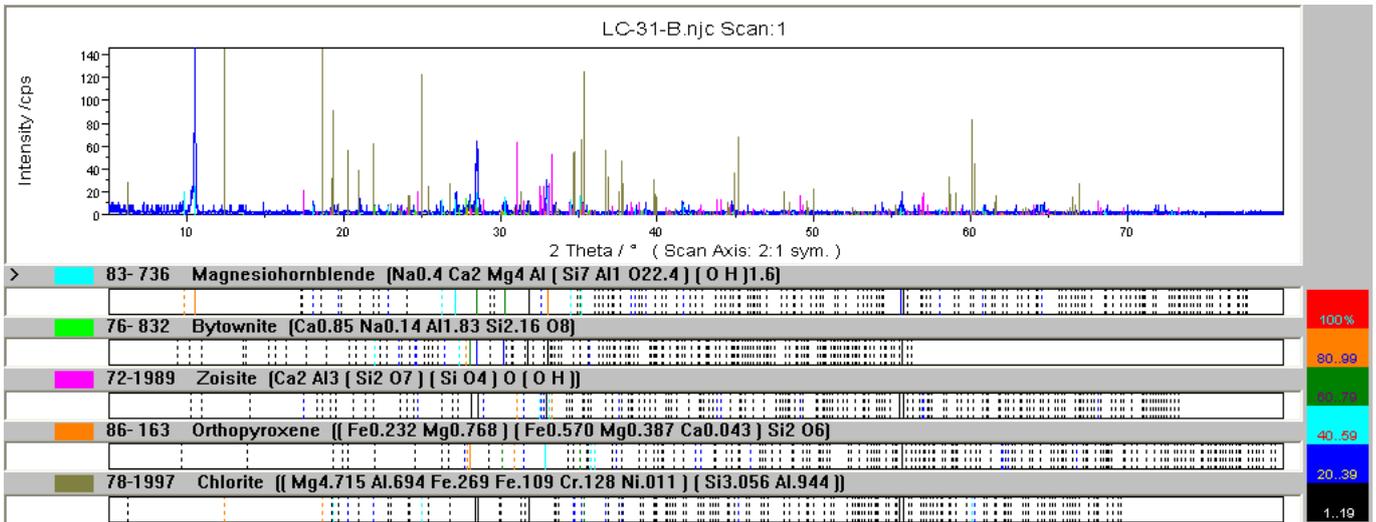


Figura No. 18 Difractograma de rayos-x de la muestra LC-31-B (gabro anfibolizado)

Difractograma de la muestra LC-37-A

Bajo el microscopio se observó ortopiroxeno hiperrestena 45 % + plagioclasa labrador 40 % + anfíbol hornblenda 3% + mena metálica 3%. Para su análisis por DRX, fue necesario aplicar un suavizado al difractograma de la muestra (filtro) debido a los niveles de ruido en el fondo del registro. Para ello se empleó el método de Savitzky & Golay.

Se identificaron las fases minerales ferrohiperrestena $Mg_{0.318}Fe_{0.666}Ca_{0.016}SiO_3$, plagioclasa labrador $Ca_{0.68}Na_{0.30}(Al_{1.66}Si_{2.34}O_8)$, magnesiohornblenda $Na_{0.4}Ca_2Mg_4Al_1(Si_7Al_1O_{22.4})(OH)_{1.6}$ y en menor medida lizardita $Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$ y hematita Fe_2O_3 (Figura No. 19).

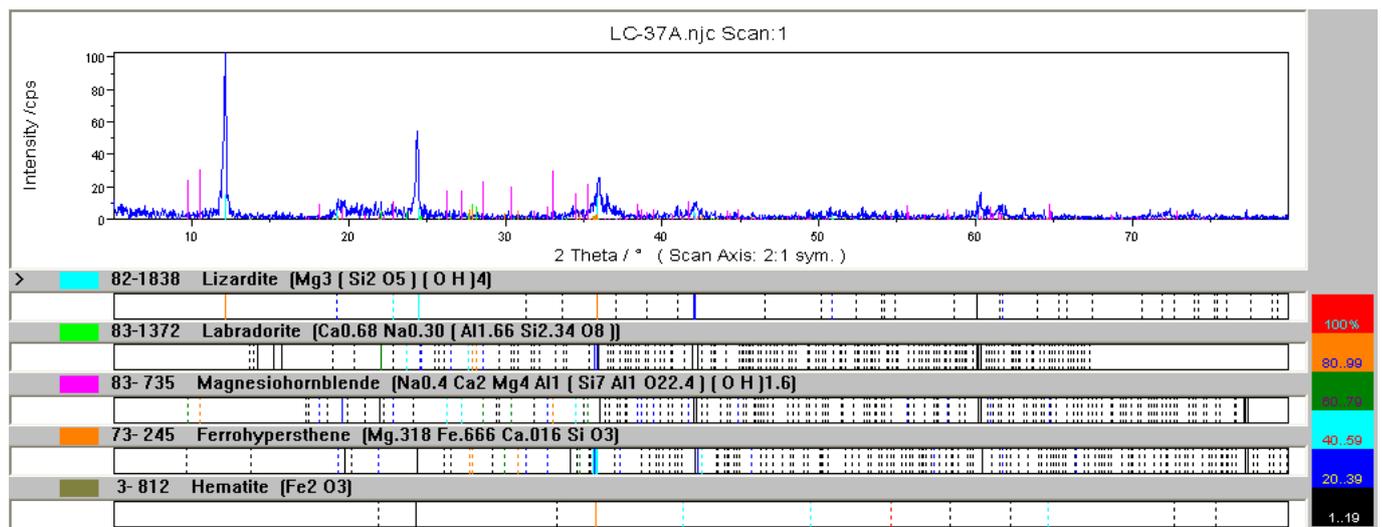


Figura No. 19 Difractograma de rayos-x de la muestra LC-37-A (gabro anfíbolizado)

Difractograma de la muestra LC-50-B

En la sección delgada la muestra está formada por anfíbol hornblenda 60 %+ plagioclasa 20 % + epidota (zoisita)+ clorita+ pumpellita. Para el análisis del difractograma de la muestra fue necesario aplicar un ciclo de suavizado (filtro) por los niveles de ruido de fondo en el registro, para ello se empleó el método antes propuesto. Las fases minerales identificadas fueron la magnesiohornblenda $Na_{0.4}Ca_2Mg_4Al_1(Si_7Al_1O_{22.4})(OH)_{1.6}$, albita $Na(AlSi_3O_8)$, clinozoisita (mineral del grupo de la epidota) $Ca_2Al_2(Al_{0.79}Fe_{0.21})(SiO_4)_3(OH)$, clorita $(Mg_{4.715}Al_{6.694}Fe_{2.269}Fe_{1.109}Cr_{0.128}Ni_{0.011})(Si_{3.056}Al_{0.944})$ y pumpellita $Ca_2FeAl_2(SiO_4)(Si_2O_7)(OH)_2 \cdot H_2O$ (Figura No. 20)

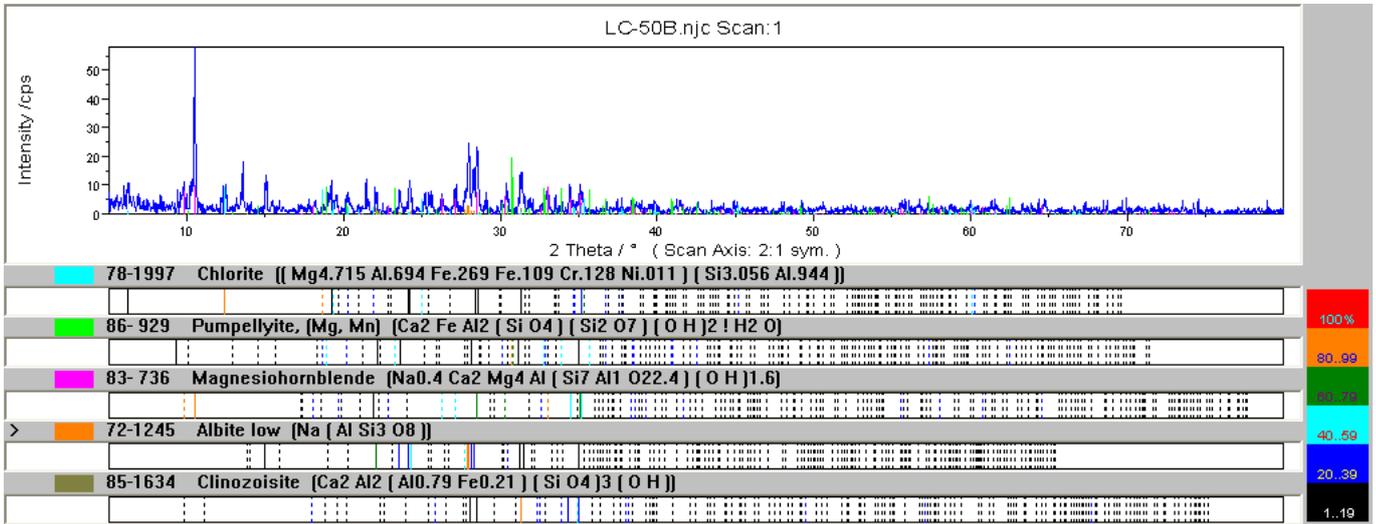


Figura No. 20 Difractograma de rayos-x de la muestra LC-50-B (gabro anfibolizado)

Difractograma de la muestra LC-53-B

Petrográficamente la muestra está integrada por plagioclasas 70 % + anfíbol 15 % +clorita 8 %+ mena metálica magnetita 2 %. El análisis de DRX permitió definir las fases minerales presentes en la muestra, la plagiocasa es labradorita $(Ca_{0.64}Na_{0.31})(Al_{1.775}Si_{2.275})O_8$, el anfíbol es la magnesiohornblenda ferrosa $Ca_2(Mg, Fe^{+2})_4Al(Si_7Al)O_{22}(OH,F)_2$ y en menor cantidad la clorita $(Mg_{4.715}Al_{6.94}Fe_{2.69}Fe_{1.09}Cr_{1.28}Ni_{0.11})(Si_{3.056}Al_{9.44})$ y magnetita Fe_3O_4 (Figura No. 21)

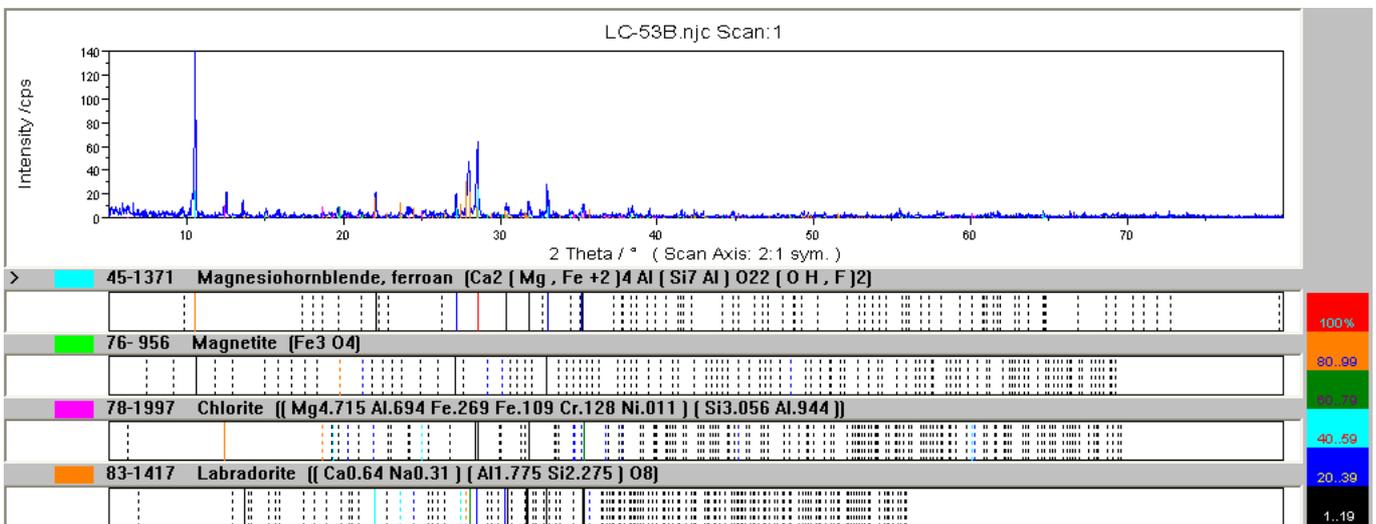


Figura No. 21 Difractograma de rayos-x de la muestra LC-53-B (gabro anfibolizado)

Difractograma de la muestra LC-53-A

La sección delgada de la muestra está integrada por plagioclasas 50 % + anfíbol hornblenda 40 % + clorita + minerales opacos 5%. Mediante el análisis de DRX se definieron tres fases minerales que componen la muestra, para ellos fue necesario aplicar un ciclo de suavizado a

la muestra con el fin de atenuar el ruido de fondo. Las tres fases minerales presentes son la labradorita $\text{Ca}_{0.65}\text{Na}_{0.32}(\text{Al}_{1.62}\text{Si}_{2.38}\text{O}_8)$, magnesiohornblenda $\text{Na}_{0.46}\text{Ca}_{1.7}\text{Mg}_{3.44}\text{Fe}_{1.72}\text{Al}_{1.08}\text{Si}_{6.92}\text{O}_{23}(\text{OH})$ y la clorita $(\text{Mg}_{4.715}\text{Al}_{6.94}\text{Fe}_{2.69}\text{Fe}_{1.09}\text{Cr}_{1.28}\text{Ni}_{0.11})(\text{Si}_{3.056}\text{Al}_{1.944})$ (Figura No. 22).

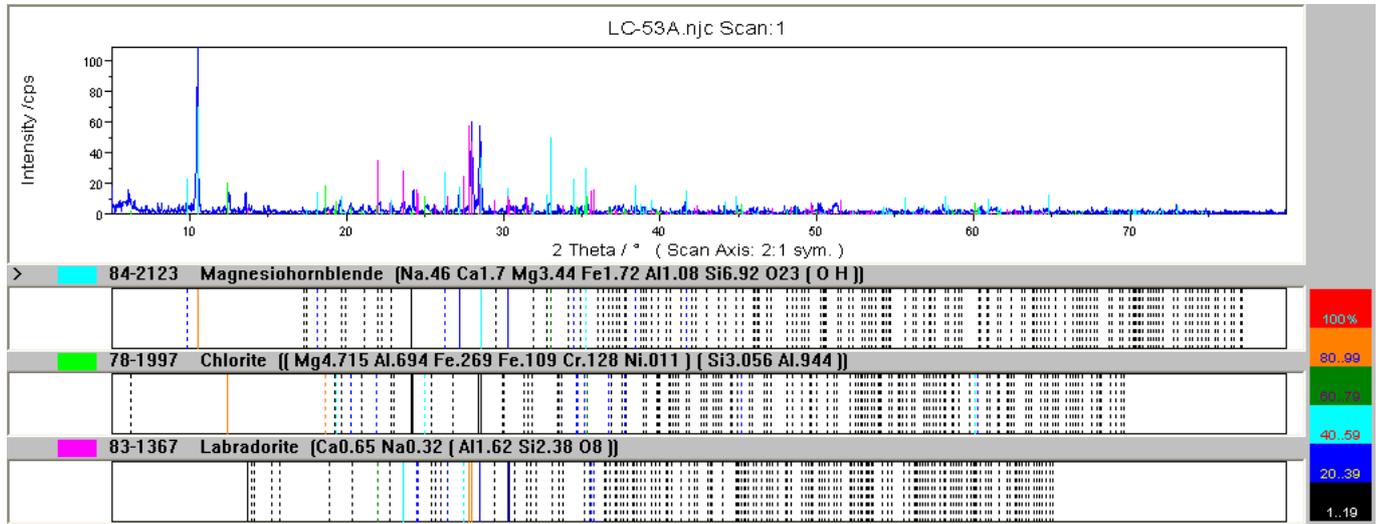


Figura No. 22 Difractograma de rayos-x de la muestra LC-53-A (diabasa)

Difractograma de la muestra LC-27-A

Bajo el microscopio la muestra presenta plagioclasas 70 % + cuarzo 25 % + mena metálica 3 %. Mediante el análisis de DRX fue posible identificar las fases minerales, las que están integradas por albita desordenada $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, cuarzo SiO_2 y magnetita Fe_3O_4 como se puede observar en la Figura No. 23.

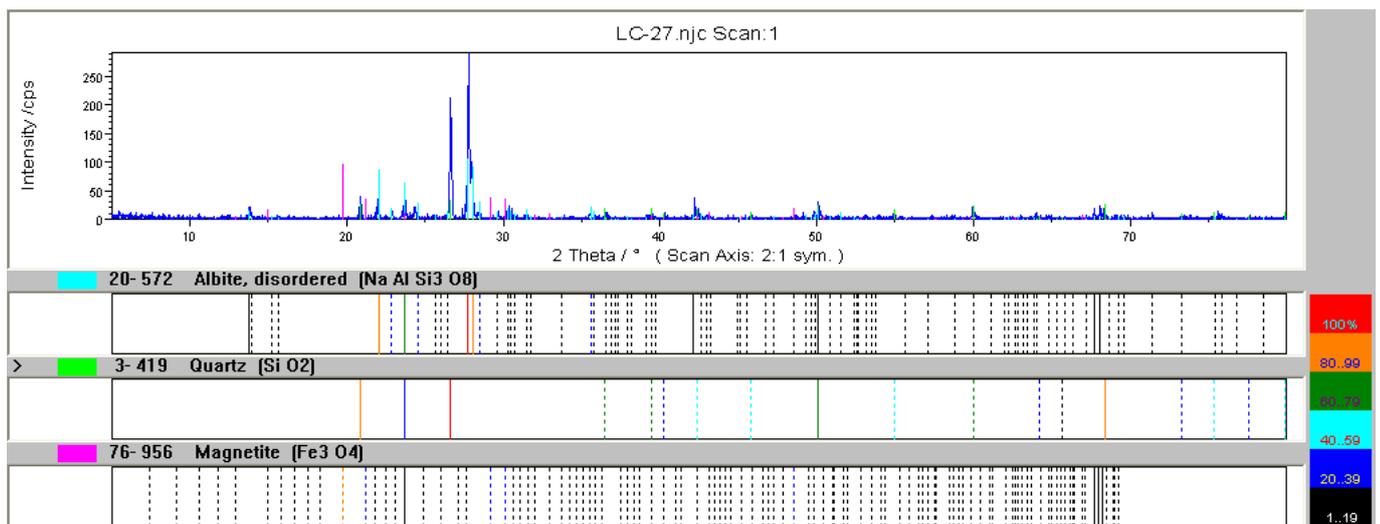


Figura No. 23 Difractograma de rayos-x de la muestra LC-27-A (riolita)

Es marcada la presencia de anfíbol en la mayor parte de las muestras analizadas, identificadas por su pico característico cerca de los 10° (Anexo No. 6).

Minerales metálicos

Mediante el empleo del microscopio mineragráfico se identificaron las fases de minerales metálicos que no pudieron ser identificadas a través de la técnica de difracción de rayos-x por presentarse en bajos contenidos en las rocas analizadas. El análisis de las probetas mediante luz reflejada se realizó a las muestras del sector Las Cuevas y arrojó la presencia de varios minerales que se encuentran en el grupo de los elementos nativos, óxidos y sulfuros. La formación de estos minerales se encuentra vinculada con los diferentes fenómenos geológicos que han afectado las rocas como la sericitización, cuarcificación y el metamorfismo.

Electro

Aparece en solo una de las muestras analizadas, definida como gabro anfibolizado (Figura No. 10, m). En forma de pequeños cristales a penas visibles con el objetivo 10x (Figura No. 24, a). De color amarillo crema y forma redondeada, isotrópico, rasgos que identifican al electro. Por el tamaño de los cristales pequeños (10 a 20 micrones), es necesario profundizar en sus propiedades ópticas y composición química en investigaciones futuras.

Espinela cromífera

La espinela cromífera es una fase mineral ortomagmática formada durante el proceso de cristalización de las rocas ígneas (Wilson, 2007) muy refractaria, razón por la cual es una de las primeras en formarse. Los cristales de este mineral están diseminados en toda la muestra, los cuales presentan un color gris, un alto relieve y son isotrópicos (Figura No. 24, c). En ocasiones las grietas que aparecen en los granos de espinela están rellenas por un mineral de color gris claro (magnetita), isotrópico y no tiene birrefringencia. Las rocas que hospedan este tipo de mineralización metálica son variadas desde las ultramafitas serpentinizadas hasta las rocas máficas. En las serpentinitas (Figura No. 13, h, g) la cromita se encuentra en forma de relictos o restos.

Magnetita

La magnetita es una fase mineral que está presente en casi todas las muestras analizadas (Anexo No. 9). Se encuentra en forma de cristales diseminados (Figura No. 24, c, g, k), en ocasiones en grietas que aparecen en los granos de espinela. Con un color gris pardusco,

isotrópica, no tiene birreflexión y no presenta reflejos internos. Esta fase mineral se identificó en dos etapas de mineralización. Una asociada a la fase ortomagmática, conjuntamente con la espinela cromífera (Figura No. 24, c) y otra vinculada con los procesos de alteraciones hidrotermales (Anexo No. 10). Los cristales de este mineral presentan caras bien definidas, en ocasiones en contacto con otros minerales metálicos como la esfalerita (Figura No. 24, k).

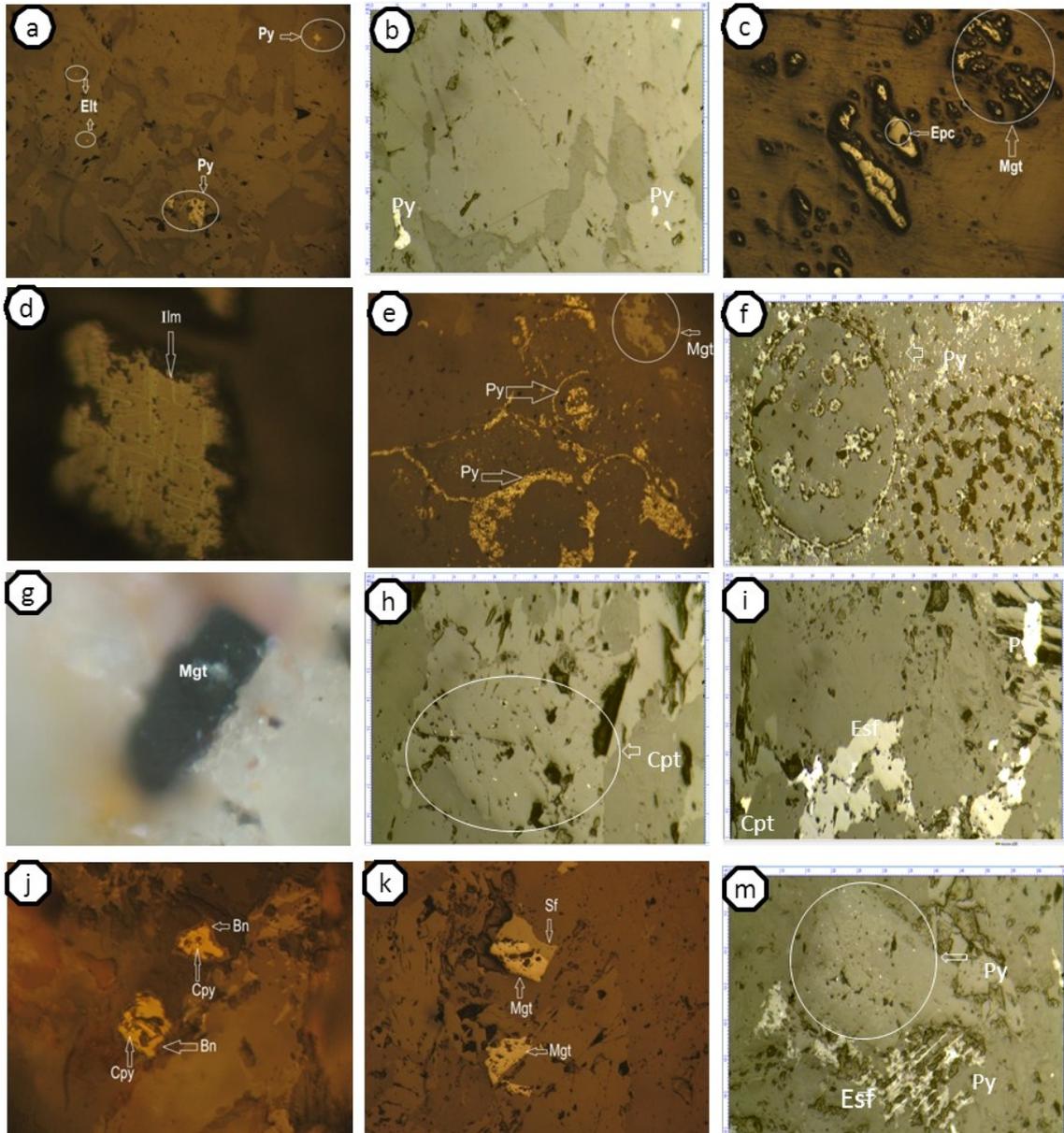


Figura No. 24 Microfotografía de los minerales opacos presentes en las muestras de rocas del sector Las Cuevas

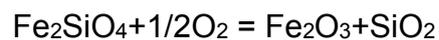
a) Fotografía con luz polarizada plana y Objetivo 10x de la muestra 12-A: cristales de pirita (Py) y electro (Elt)?; b) Fotografía con luz polarizada plana y Objetivo 10x de la muestra 12-A: cristales de pirita (Py); c) Fotografía con luz polarizada plana y objetivo 10x de la muestra 13-A: cristal de espinela cromífera (Epc) y magnetita (Mgt); d) Fotografía con luz polarizada plana y objetivo 50x de la muestra 13-A: textura de descomposición de soluciones sólida reticular (ilmenita Ilm); e) Fotografía con luz polarizada plana y Objetivo 10x de la muestra LC-23-A: pirita (Py) y magnetita (Mgt); f) Fotografía con luz polarizada plana y objetivo 10x de la muestra LC-23-A: cristal de pirita (Py) en forma esférica; g) Fotografía con luz polarizada plana y objetivo 50x de la muestra LC-27-A: cristal de magnetita con tamaño que oscila entre 10-15 μm (Mgt); h) Fotografía con luz polarizada plana y Objetivo 2,5x de la muestra LC-51-A: pequeños cristales de calcopirita (Cpt) en forma de pequeñas emulsiones; i) Fotografía con luz polarizada plana y Objetivo 10x de la muestra LC-51-A: calcopirita (Cpt), pirita (Py) y esfalerita (Esf); j) Fotografía con luz polarizada plana y Objetivo 50x de la muestra LC-51-B: calcopirita (Cpy) y bornita (Bn) bordeando los granos de calcopirita; k) Fotografía con luz polarizada plana y objetivo 10x de la muestra LC-53-A: magnetita (Mgt) y esfalerita (Sf); m) Fotografía con luz polarizada plana y objetivo 10x de la muestra LC-53-A: pirita (Py) en forma de emulsiones como fase primaria de mineralización, pirita (Py) y esfalerita (Esf) relleno de los planos de clivaje de un mineral petrográfico

Según (Haldar & Tisljar, 2014) la hematita (Fe_2O_3) y la magnetita $\text{Fe}^{2+}(\text{Fe}^{3+})_2\text{O}_4$ son minerales muy comunes que forman los constituyentes menores de muchas rocas. Sin embargo los procesos magmáticos e hidrotermales pueden dar lugar a depósitos considerables de este tipo de mineral.

Hematita

La hematita, aunque menos abundante que la magnetita, está presente en las muestras analizadas. Principalmente en la harzburgita serpentinizada y el shert (Anexo No. 11). La formación de la hematita en la harzburgita serpentinizada está estrechamente relacionada con el proceso de serpentización de la roca (Best, 2003). El intercambio de agua de mar en un sistema hidrotermal de tipo ocean-ridge claramente justifica la formación de hematita a expensas de la hidratación de minerales máficos primarios como el olivino, aspecto que se muestra en la Ecuación 3.

Ecuación 3



olivino + agua de mar = hematita + sílice

La litificación de sedimentos constituidos por calcedonia y ópalo, con algo de hematita producto de la reacción antes expuesta, dio lugar a la formación de la roca definida como cherts (Figura No. 14, i). Según (Wilson, 2007) y (Best, 2003) estas rocas constituidas por sedimentos silíceos o calcáreos de granos finos, ricos en Fe ó Mn forman parte de la porción superior del modelo de las secuencias ofiolíticas.

Pirita

Esta fase mineral es una de las más abundantes, fue documentada en todas las muestras investigadas. La pirita $-\text{FeS}_2-$ se forma en los más disimiles ambientes, desde los magmáticos, hidrotermales, fumarolas volcánicas, metamórficos hasta en ambiente sedimentarios de carácter reductor ((Wilson, 2007) y (Best, 2003)). La forma de los cristales es variada desde pequeños cristales anhedrales hasta formas nodulares (Figura No. 24, a, b, e, i, m). Por sus texturas y forma de existencia, se definieron tres ambientes de formación para los cristales de pirita. El primer ambiente asociado con el proceso magmático de formación de las rocas, donde es posible observar los pequeños cristales del mineral en forma de emulsiones (Figura No. 24, m). Un segundo ambiente vinculado con los procesos

de alteraciones, donde las soluciones mineralizadas percolaron la roca y depositaron el FeS_2 entre los planos de clivaje de los minerales existentes (Figura No. 24, m). El tercer ambiente de formación tuvo lugar en un medio sedimentario (Figura No. 24, e, f) donde el FeS_2 se depositó en condiciones reductoras formando pequeños nódulos, dando lugar a una textura esferulítica.

Calcopirita

En menos abundancia que la pirita los cristales de FeCuS_2 son de morfología variada, subhedrales. En ocasiones se observa la textura en emulsión, con dimensiones pequeñas (0,01 a 0,1 milímetros) en los minerales petrográficos que componen la roca (Figura No. 24, h). Los granos minerales de mayor tamaño se encuentran en contacto con la pirita, con bordes bien definidos, en forma de agregado continuo (Anexo No. 12, d).

Esfalerita

Se encuentra en paragénesis con la pirita y calcopirita en varias muestras, en forma de cristales subhedrales de bordes bien definidos, muchas veces en contacto con los cristales de calcopirita y magnetita. Esta fase mineral en paragénesis con la pirita cristalizó según los planos de clivajes de los minerales petrográficos presentes (Figura No. 24, m).

Bornita

Esta fase mineral se encuentra en forma anhedral bordeando los cristales de calcopirita (Figura No. 24, j). Su formación tuvo lugar durante el metasomatismo de las rocas gabroicas anfibolitizadas (Anexo No. 8).

Alteraciones hidrotermales y paragénesis minerales

Según (Gifkins et al., 2005) Guilbert y Park en 1986 definieron el término de alteración como cualquier cambio en la composición química o mineralógica de una roca producto de la interacción con soluciones gaseoso-líquidas. Los componentes de las rocas, incluyendo los minerales metálicos, pueden ser disueltos o recristalizados. Nuevos minerales pueden formarse y cambiar sus radios isotópicos. Una roca puede experimentar varios episodios de alteración, ya sean alteraciones sin genéticas o postgenéticas, no todas necesariamente se encuentran asociadas a sistemas hidrotermales.

Como se ha descrito en el acápite "*Petrografía del sector Las Cuevas*" del presente capítulo, es posible observar bajo el microscopio petrográfico varios minerales que denotan el marcado proceso de alteración que han experimentado las rocas del sector Las Cuevas.

Diversos trabajos orientados a la exploración de yacimientos minerales realizados en años precedentes como los realizados por (Goldfields, 1995), (Chaveco, 1996), (Nicolaev, 1966) y (Rubio, 1994) entre otros, reportan para la región de Holguín alteraciones como la cloritización, caolinitización, cuarcificación y listvaenitización, muchas de las cuales están presentes en el sector de estudio.

Las paragénesis minerales y las texturas observadas en las muestras, denotan varios orígenes de formación (Anexo No. 9 y Anexo No. 14). Uno asociado con la fase magmática que a su vez tuvo lugar durante la formación de las rocas ofiolíticas y el AVC.

Durante esta etapa se formaron minerales metálicos como la pirita, calcopirita, magnetita, hematita, esfalerita, electro y la espinela cromífera, en forma de segregaciones magmáticas. Uno de los primeros minerales en formarse es la espinela cromífera (Figura No. 24, c) mineral refractario que conjuntamente con el olivino y las plagioclasas forman la mayoría de las rocas del complejo ofiolítico. La textura de tipo emulsión presentada por la pirita y calcopirita denotan su origen magmático (Figura No. 24, h, m).

La segunda etapa de mineralización está asociada con el metamorfismo regional y acreción del complejo ofiolítico, que según (Kosak et al., 1988) es más pronunciado hacia el norte y denota la madurez tectónica de la malange ofiolítica. Durante esta etapa tuvieron lugar una serie de alteraciones como la epidotización, sericitización, serpentización, talcitización, cloritización y cuarsificación; además de la formación de diversos minerales metálicos como la pirita, calcopirita, bornita y esfalerita (Figura No. 24, m). La textura de sustitución presentada por estos minerales metálicos, rellenando los planos de clivajes de minerales petrográficos denota el origen característico de sistemas hidrotermales con un papel activo de la concentración del azufre. Según (Wilson, 2007) y (Best, 2003) los minerales primarios

anhidros de los magmas máficos y ultramáficos en la litosfera oceánica son transformados por el metamorfismo de fondo oceánico, a través de diversas reacciones con el agua de mar (Tabla No. 1).

Tabla No. 1 Minerales resultantes de la hidratación del magma ultramáfico (Best, 2003)

Magmático primario	Subsólido secundario
minerales + agua =minerales	
biotita + agua	clorita + rutilo (o titanita) + K + Si
hornblenda + agua	chlorita + rutilo (o titanita) + Si + Ca
clinopiroxenos cálcicos + agua	actinolita o epidota
olivino/orthopiroxeno + agua	serpentina + óxidos de Fe
plagioclasa + agua Ca + Fe	epidota
feldespatos + agua	cerisita + Si + (alta T)
feldespato + agua	minerales arcillosos + Si (baja T) + Ca + Na

La tercera y última etapa está vinculada con la diagénesis de sedimentos clásticos, ricos en Fe y Mn asociados al complejo ofiolítico. Durante este período se formaron las fases minerales hematita, magnetita y pirita, esta última con hábito esferulítico y en ambiente reductor (Figura No. 24, e, f).

Conclusiones

- Se identificaron las formaciones geológicas cartografiadas en el sector Las Cuevas pertenecen a dos grandes complejos geológicos; el complejo ofiolítico y las secuencias del AVC.
- Se identificaron en las secuencias del complejo ofiolítico las rocas pertenecientes a la familia del gabro-diabasa, ultramafitas serpentinizadas, anfibolitas, thronjemitas y cherts; las secuencias del AVC están representadas por riolitas.
- Se identificaron, por primera vez, las alteraciones hidrotermales: epidotización, sericitización, serpentización, talcificación, cloritización y cuarzificación las que se produjeron durante el metamorfismo del complejo ofiolítico.
- Se identificaron los minerales opacos siguientes: electro (Au,Ag), espinela cromífera $\text{Fe}^{2+}\text{Cr}_2\text{O}_4$, magnetita $\text{Fe}^{2+}(\text{Fe}^{3+})_2\text{O}_4$, hematita Fe_2O_3 , pirita FeS_2 , calcopirita CuFeS_2 , esfalerita ZnS y bornita Cu_5FeS_4 .
- Se identificaron, por primera vez, las paragénesis minerales, que constituyen un aporte al conocimiento mineralógico del área de estudio:
 - ❖ pirita+hematita+magnetita
 - ❖ sericita+pirita+electro
 - ❖ piroxeno+olivino+espinela cromífera+magnetita
 - ❖ antigorita+crisotilo+pirita
 - ❖ olivino+piroxeno+pirita+magnetita+hematita
 - ❖ calcedonia+ópalo+pirita+magnetita+hematita
 - ❖ albita+cuarzo+pirita+magnetita
 - ❖ plagioclasa andesina+ortopiroxeno+magnesiohornblenda+olivino+magnetita
 - ❖ lizardita+hematita
 - ❖ clinzoisita+clorita+pumpellita+magnetita
 - ❖ pirita+calcopirita+esfalerita
 - ❖ epidota+calcopirita+bornita+esfalerita
 - ❖ clorita+magnetita+pirita+esfalerita
 - ❖ clorita+epidota+magnetita+hematita+calcopirita
- Se concluye que el área periférica al cuerpo riolítico del sector Las Cuevas no constituye un sector prospectivo para exploraciones auríferas futuras, lo que se fundamenta en la ausencia de aureolas de alteración hidrotermal y las paragénesis minerales identificadas
- Se elaboró, por primera vez, el esquema cronológico de formación de los minerales metálicos y de alteraciones hidrotermales en el área de estudio.

Recomendaciones

- Realizar análisis químico de roca total, con el fin de profundizar en la génesis de las alteraciones identificadas
- Analizar los cristales y agregados de electro, piritita, calcopiritita y esfalerita identificados mediante la técnica de microscopía electrónica de barrido (SEM)
- Realizar perforaciones de prospección en los alrededores del cuerpo riolítico
- Definir la edad de las riolitas identificadas por (Kosak et al., 1988) y comprobar si pertenecen a una serie magmática más antigua
- Profundizar en el ambiente de formación de la anfíbolita y rocas anfíbolizadas, así como definir su ambiente de formación ya sea de expansión de fondo oceánico (spreading center), cuenca de antearco (forearc basin) o cuenca de retroarco (back-arc basin).

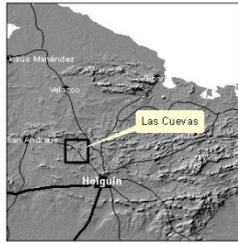
Anexos

Anexo No. 1 Muestras analizadas en el sector Las Cuevas, Holguín.....	65
Anexo No. 2 Ubicación espacial de las muestras analizadas por petrografía.....	66
Anexo No. 3 Diagrama triangular de clasificación para las rocas gabroicas según la proporción modal de minerales presentes Plag (plagioclasa), Hbl (hornblenda) y Px (piroxeno) Streckeisen, 1976.....	66
Anexo No. 4 Diagrama triangular de clasificación para las rocas gabroicas según la proporción modal de minerales presentes Plag (plagioclasa), Ol (olivino) y Px (piroxeno) Streckeisen, 1976.....	67
Anexo No. 5 Esquema geológico del sector Las Cuevas, Holguín (Instituto de Geología y Paleontología (2011), modificado por el autor).....	67
Anexo No. 6 Comparación de los difractogramas de las muestras del sector Las Cuevas. ...	68
Anexo No. 7 Análisis petrográfico de la muestra LC-37-A.....	69
Anexo No. 8 Análisis petrográfico de la muestra LC-51-B.....	70
Anexo No. 9 Estado de formación de los minerales meníferos y alteraciones	71
Anexo No. 10 Análisis minerográfico de la muestra LC-11-A.....	72
Anexo No. 11 Análisis minerográfico de la muestra LC-20-A.....	73
Anexo No. 12 Análisis minerográfico de la muestra LC-53-B.....	74
Anexo No. 13 Análisis minerográfico de la muestra LC-79-A.....	75
Anexo No. 14 Paragénesis minerales del sector Las Cuevas, Holguín	76

Anexo No. 1 Muestras analizadas en el sector Las Cuevas, Holguín

No	Muestra	Petrografía	Minerografía	DRX
1	LC-10-A	riolita		
2	LC-11-A	-----	x	
3	LC-12-A	gabro anfibolizado	x	
4	LC-13-A	serpentinitas	x	
5	LC-18-A	gabro anfibolizado		
6	LC-20-A	harzburgita serpentinizada	x	
7	LC-23-A	cherts	x	
8	LC-26-A	diabasa anfibolizada		x
9	LC-27-A	riolita	x	x
10	LC-30-B	diabasa olivínica		x
11	LC-31-B	gabro anfibolizado		x
12	LC-37-A	gabro anfibolizado		x
13	LC-50-B	gabro anfibolizado		x
14	LC-51-A	-----	x	
15	LC-51-B	gabro anfibolizado	x	
16	LC-53-A	diabas	x	x
17	LC-53-B	gabro anfibolizado	x	x
18	LC-55-A	gabro		x
19	LC-55-B	anfibolita		
20	LC-56-A	gabro anfibolizado		
21	LC-74-A	gabro		
22	LC-79-A	Thronjemita	x	

Anexo No. 2 Ubicación espacial de las muestras analizadas por petrografía

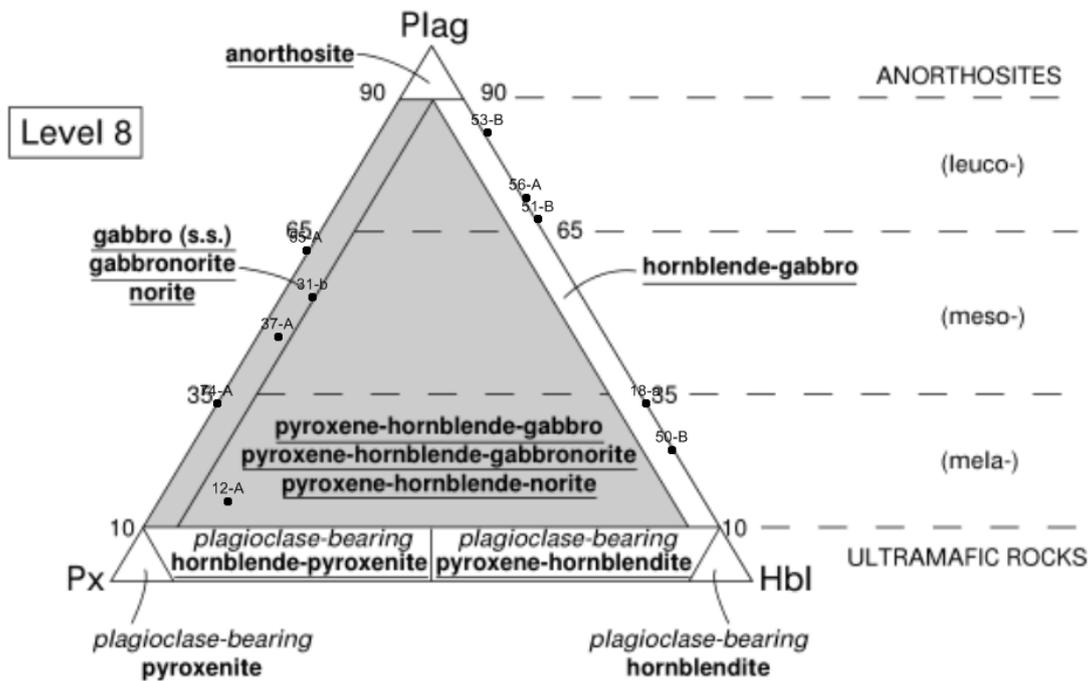


NAD_1927_Cuba_Sur
 Projection: Lambert_Conformal_Conic
 False_Easting: 500000.000000
 False_Northing: 229126.939000
 Central_Meridian: -76.833333
 Standard_Parallel_1: 20.716667
 Scale_Factor: 0.999948
 Latitude_Of_Origin: 20.716667
 Linear Unit: Meter
 GCS_North_American_1927
 Datum: D_North_American_1927

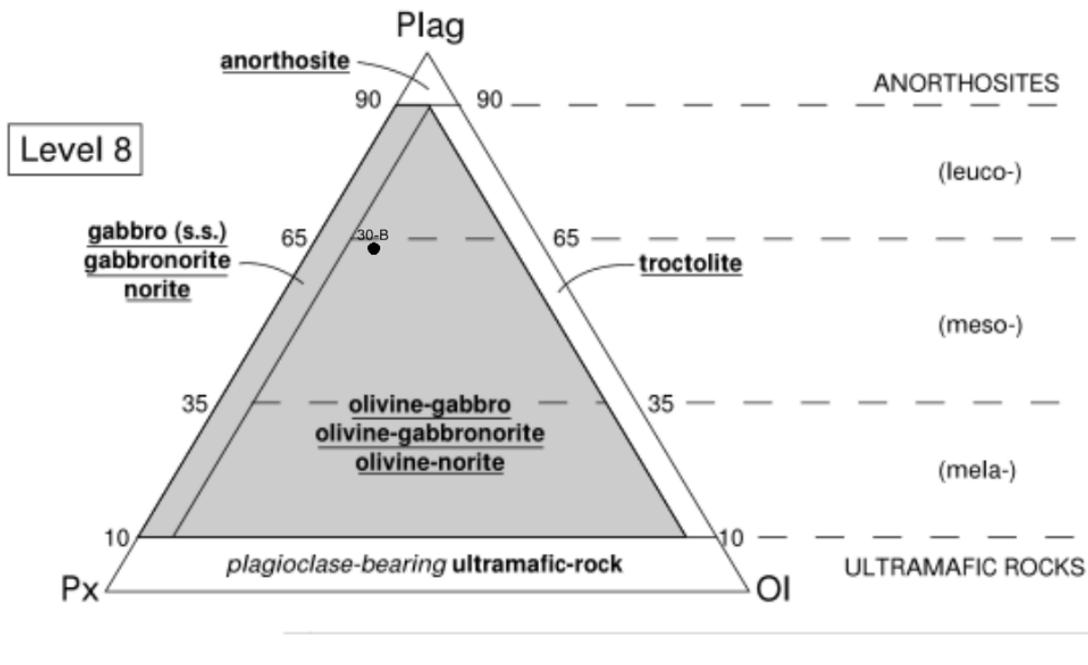


1:25.000
 0 400 800 1.600 Metros

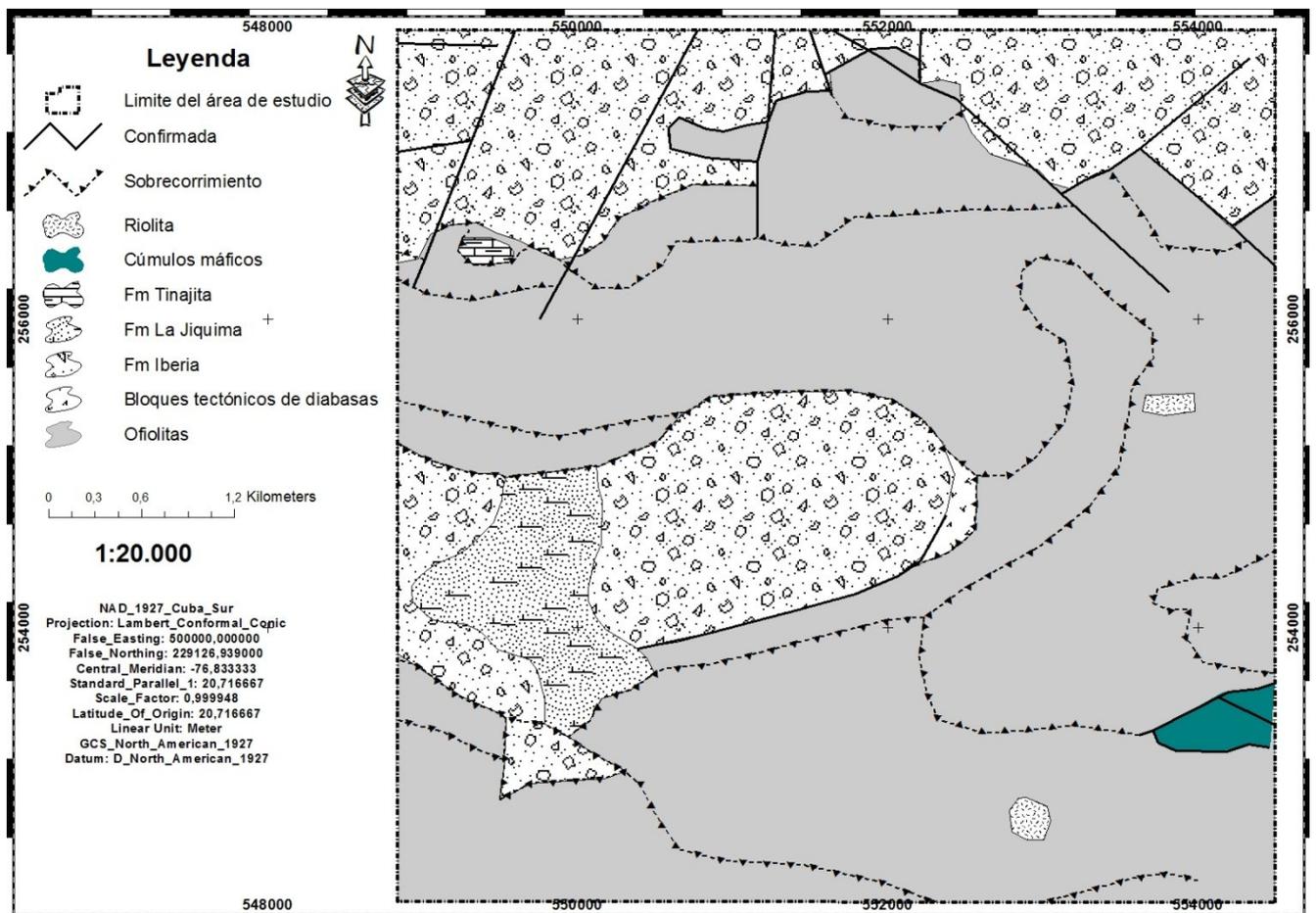
Anexo No. 3 Diagrama triangular de clasificación para las rocas gabroicas según la proporción modal de minerales presentes Plag (plagioclasa), Hbl (hornblenda) y Px (píroxeno) Streckeisen, 1976.



Anexo No. 4 Diagrama triangular de clasificación para las rocas gabroicas según la proporción modal de minerales presentes Plag (plagioclasa), Ol (olivino) y Px (piroxeno) Streckeisen, 1976

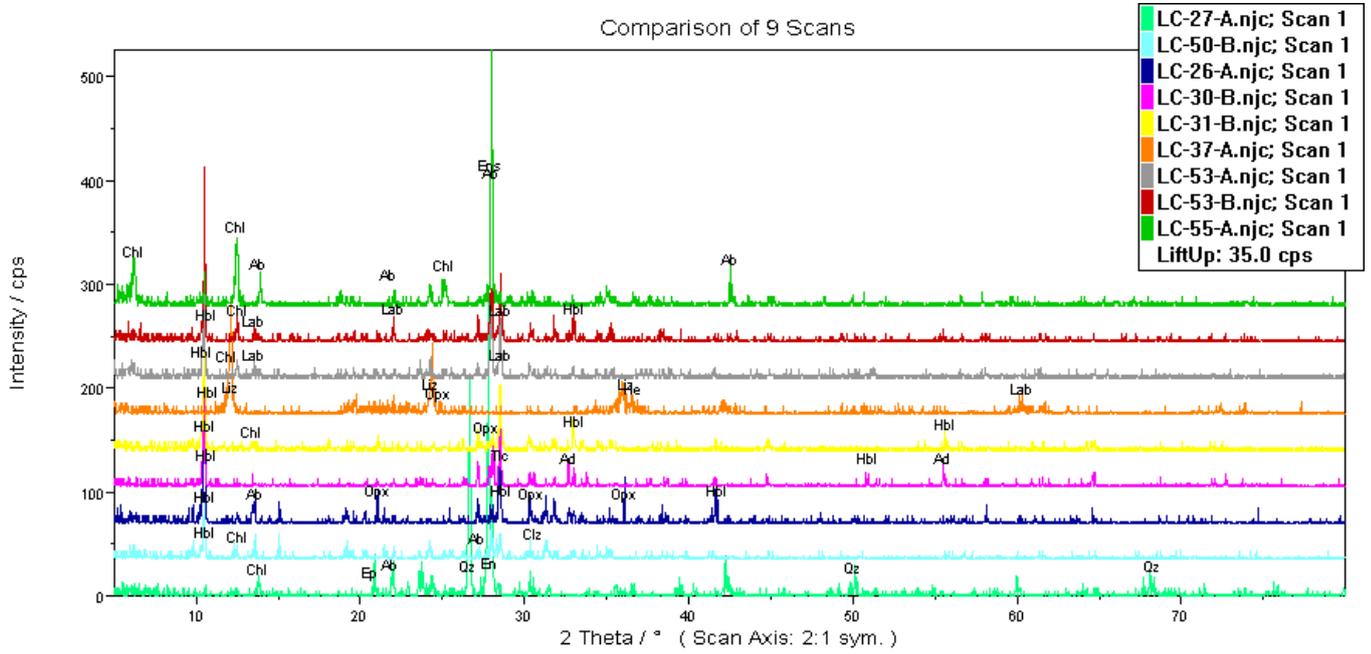


Anexo No. 5 Esquema geológico del sector Las Cuevas, Holguín (Instituto de Geología y Paleontología (2011), modificado por el autor)



Anexo No. 6 Comparación de los difractogramas de las muestras del sector Las Cuevas.

Abreviaturas empleadas: Hbl (hornblenda), Chl (clorita), Ab (albita), Ep (epidota), Qz (cuarzo), Opx (ortopiroxeno), Liz (lizardita), Lab (labradorita), Ad (andesina), Tlc (talco), Clz (clinozoisita)



Anexo No. 7 Análisis petrográfico de la muestra LC-37-A

Descripción detallada

La roca macroscópicamente está muy serpentizada con una coloración oscura a color gris claro en forma de bloques de tamaño 0,20 m con un rumbo de S60W y estructura masiva. La sección delgada está constituida mayormente por el ortopiroxeno hiperestena en un 45 % y en menor medida por plagioclasa labrador en un 40 %. Se observa además el anfíbol hornblenda en menor cantidad 3%. Las plagioclasas están muy alteradas saussuritizadas (Figura No. 25, d) y los cristales de piroxenos están uralitizados. La textura que la muestra presenta es glomeroporfídica y la mena metálica que contienen representa el 3%. Por la paragénesis de minerales identificada la roca se define como gabro anfibolizado.

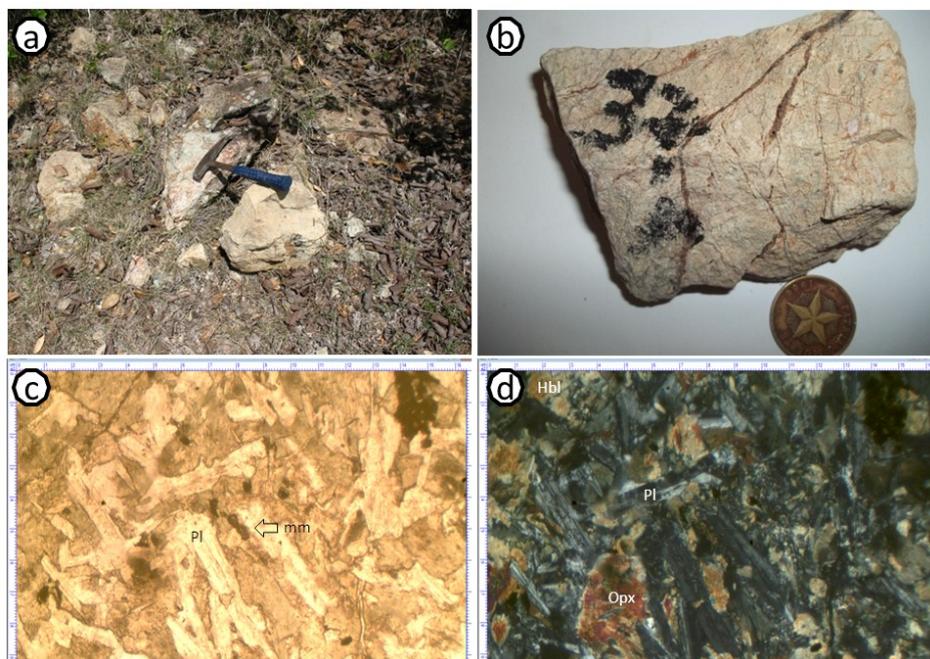


Figura No. 25 Fotografías de afloramiento, muestra de mano y sección delgada de la muestra LC-37-A

a) Fotografía del afloramiento; b) Fotografía de la muestra de mano; c) Fotografía con nicols // y filtro azul de la muestra LC-37-A: plagioclasa (Pl) y mena metálica (mm) (objetivo 4x); d) Fotografía con nicols x y filtro azul de la muestra LC-37-A: plagioclasa (Pl), piroxeno hiperestena (Opx) y anfíbol hornblenda (Hbl) (objetivo 4x)

Anexo No. 8 Análisis petrográfico de la muestra LC-51-B

Descripción de detalle

La muestra de mano documentada es de color verde oscuro y estructura masiva, a la cual se le realizó sección delgada y se identificó anfíbol (hornblenda verde) presente en un 30%. El anfíbol mostro dos etapas de formación, una a partir de la alteración de los máficos que componían la roca primaria y la otra relleno de grietas asociado a la actividad metasomática, lo que demarca un origen posterior de dicha fase mineral. Las plagioclasas (albita ?) están bastante alteradas saussuritizada y presentan una extinción sonada, representa el 60% del total de los minerales que componen la roca. Producto de la alteración de la plagioclasa se originó la epidota, la cual se observa rodeada de minerales opacos (**Figura No. 26, e**), los que no sobrepasan el 10%. La sección presenta una textura hipidiomórfica granular. Por los minerales identificados la roca fue sometida a procesos metasomáticos, y se define como un gabro anfibólizado.

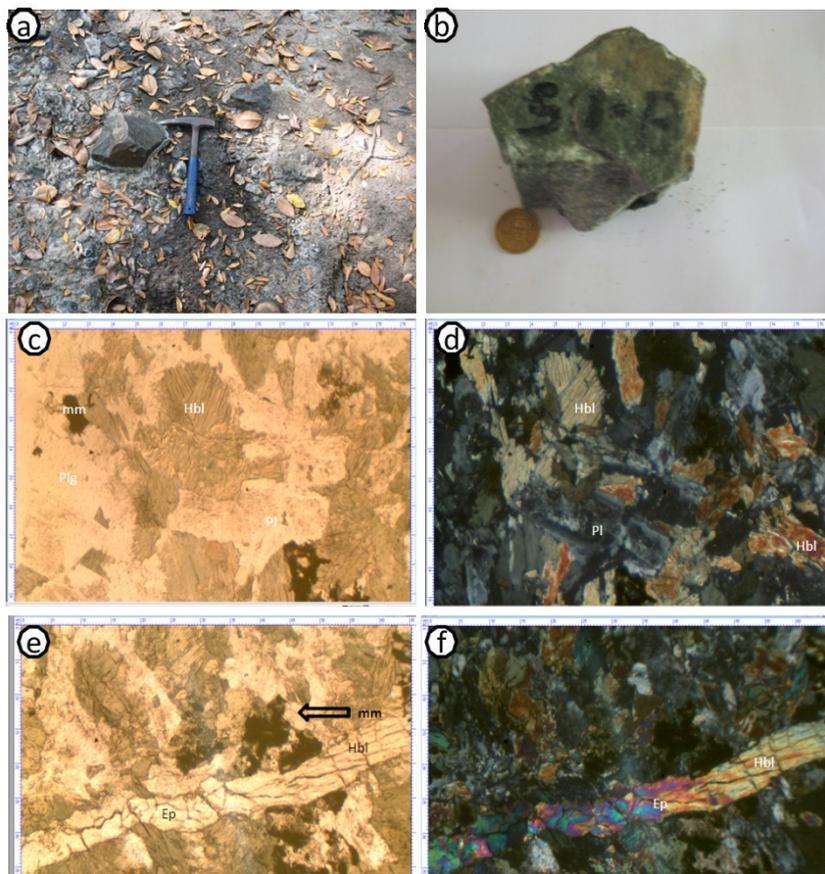


Figura No. 26 Fotografías de afloramiento, muestra de mano y sección delgada de la muestra LC-51-B

a) Fotografía del afloramiento; b) Fotografía de la muestra de mano; c) Fotografía con nicols // y filtro azul de la muestra LC-51-B: plagioclasa albita (Pl), hornblenda (Hbl) y mena metálica (mm) (objetivo 4x); d) Fotografía con nicols x y filtro azul de la muestra LC-51-B: hornblenda (Hbl) y plagioclasa albita (Pl) (objetivo 4x); e) Fotografía con nicols // y filtro azul epidota (Ep) y hornblenda (hbl) objetivo 2,5x; f) Fotografía con nicols x y filtro azul LC-798-Aepidota (Ep) y hornblenda (hbl) objetivo 2,5x

Anexo No. 9 Estado de formación de los minerales meníferos y alteraciones

minerales	Estadio magmático		Estadio Metamorfismo-hidrotermal						Diagénesis de sedimentos
	fase magmática en AVC	fase magmática en ofiolita	epidotización	sericitización	serpentinización	talcitización	cloritización	cuarzificación	minerales autógeno
antigorita					13-A				
bornita			51-B						
calcopirita		51-A; 51-B						79-A	
clinozoisita			50-B						
clorita							31-B; 50-B; 53-A; 53-B; 55-A; 56-A; 79-A		
crisotilo					13-A				
cuarzo		79-A; 12-A						18-A; 79-A	
electro		12-A							
epidota			18-A; 51-B; 55-A; 79-A						
esfalerita		51-A; 51-B; 53-A					53-A; 53-B		
espinela cromífera		13-A							
hematita		11-A; 79-A			20-A; 37-A				23-A
lizardita					37-A				
magnetita		11-A; 13-A; 79-A; 30-B; 50-B; 53-A						27-A	23-A
pirita	27-A	11-A; 12-A; 51-A; 53-A; 53-B					53-A; 53-B		23-A
pumpellita			50-B; 55-B						
sericita				12-A					
serpentina					20-A				
talco						30-B			
zoisita			31-B; 55-B						

Anexo No. 10 Análisis minerográfico de la muestra LC-11-A

Texturas: cristalización allotromórfica, sustitución esquelética y de intercesión

Composición general: pirita, hematita y magnetita

Descripción de detalle: Se observan pequeños granos de pirita diseminados, de un color amarillo claro, isotrópico y no tienen birrefringencia. También aparece hematita la cual se puede observar rodeando los minerales petrográficos. Los minerales petrográficos que están presentes en esta muestra son: cuarzo, plagioclasas y vidrio volcánico, generados en dos estadios de mineralización uno primario donde solo se observó pirita como mineral sulfuroso y otro portador de magnetita+hematita, esta última producto de la alteración de la magnetita.

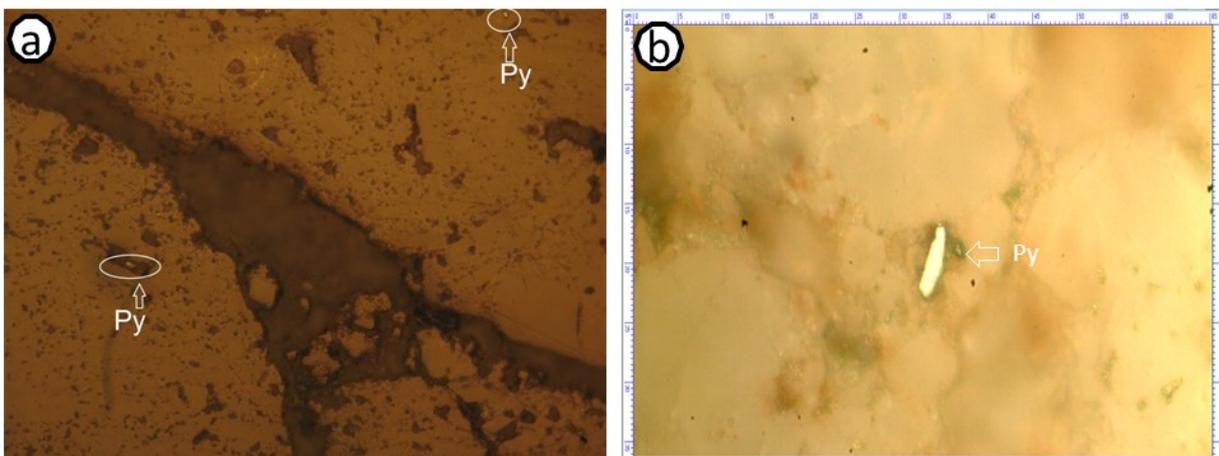


Figura No. 27 Fotografía de la sección pulida de la muestra LC-11-A
a) Fotografía de la muestra LC-11-A con luz polarizada plana y Objetivo 10x: cristales de pirita (Py); b) Fotografía de la muestra LC-11-A con luz polarizada plana y Objetivo 50x: cristal de pirita (Py)

Anexo No. 11 Análisis minerográfico de la muestra LC-20-A

Texturas: cristalización allotromórfica y sustitución corrosión

Composición general: pirita y hematita

Descripción de detalle: Los minerales metálicos que están presentes son la pirita la cual presenta un color amarillo claro, es isotrópica, no tiene bireflexión ni reflejos interno, también aparecen algunos granos de magnetita, esta presenta un color gris pardusco, isotrópica, no tiene bireflexión y no presenta reflejo internos, aparece rodeada por hematita. Los minerales petrográficos que conforman la muestra son: minerales del grupo de la serpentina, olivino y piroxeno.

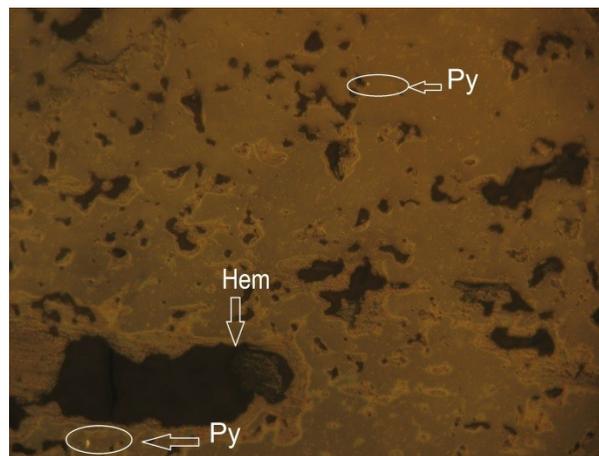


Figura No. 28 Fotografía de la sección pulida de la muestra LC-20-A: pirita (Py) y hematita (Hem) (objetivo 10x)

Anexo No. 12 Análisis minerográfico de la muestra LC-53-B

Texturas: cristalización allotromórfica, sustitución relictica y corrosión

Composición general: magnetita, pirita, esfalerita

Descripción de detalle: Los minerales metálicos que aparecen son: magnetita, esfalerita y pirita. La pirita presenta una coloración amarillo claro, no presenta bireflexión, es isotrópica y no tiene reflejo interno. La magnetita presenta un color gris pardusco, isotrópica, no tiene bireflexión y no presenta reflejo internos. La esfalerita presenta un color gris, isotrópica, no tiene bireflexión y presenta reflejo interno.

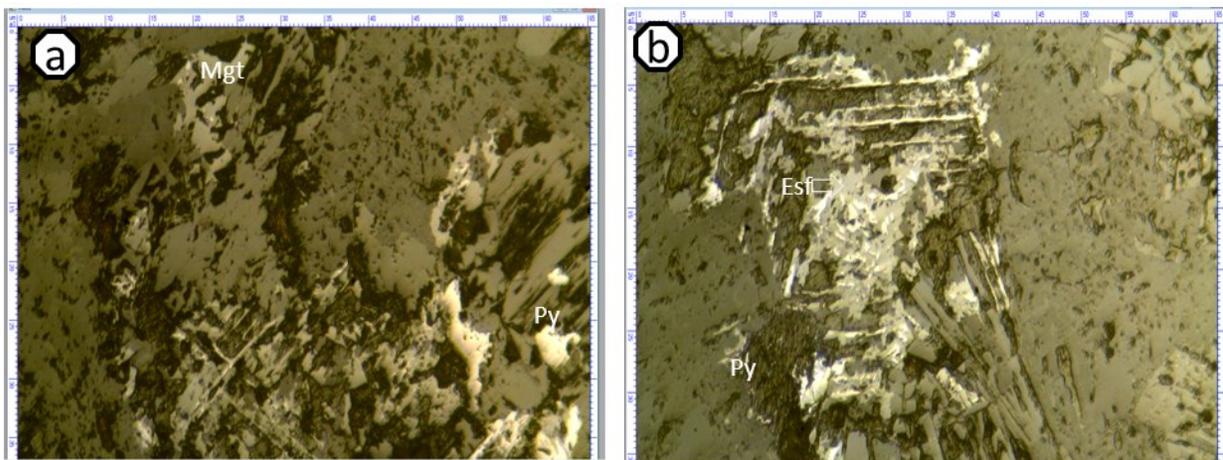


Figura No. 29 Fotografía de la sección pulida de la muestra LC-53-B

a) Fotografía con luz polarizada plana y objetivo 10x de la muestra LC-53-B: cristales de pirita (Py) y magnetita (Mgt); b) fotografía con luz polarizada plana y objetivo 10x de la muestra LC-53-B: cristales de pirita y esfalerita orientados según el clivaje del mineral petrográfico

Anexo No. 13 Análisis minerográfico de la muestra LC-79-A

Texturas: cristalina hipidiomórfica, sustitución y corrosión

Composición general: magnetita, hematita, calcopirita

Descripción de detalle: Los minerales que se observan son: calcopirita la cual tiene un color amarillo claro, anisotrópico, no tiene bireflexión, la magnetita es de color gris pardusco, isotrópica, no tiene bireflexión, y no tiene reflejo interno, también se puede ver que en ocasiones los granos de magnetita aparecen rodeados por hematita. Los minerales petrográficos de esta muestra son: cuarzo, plagioclasas y clorita

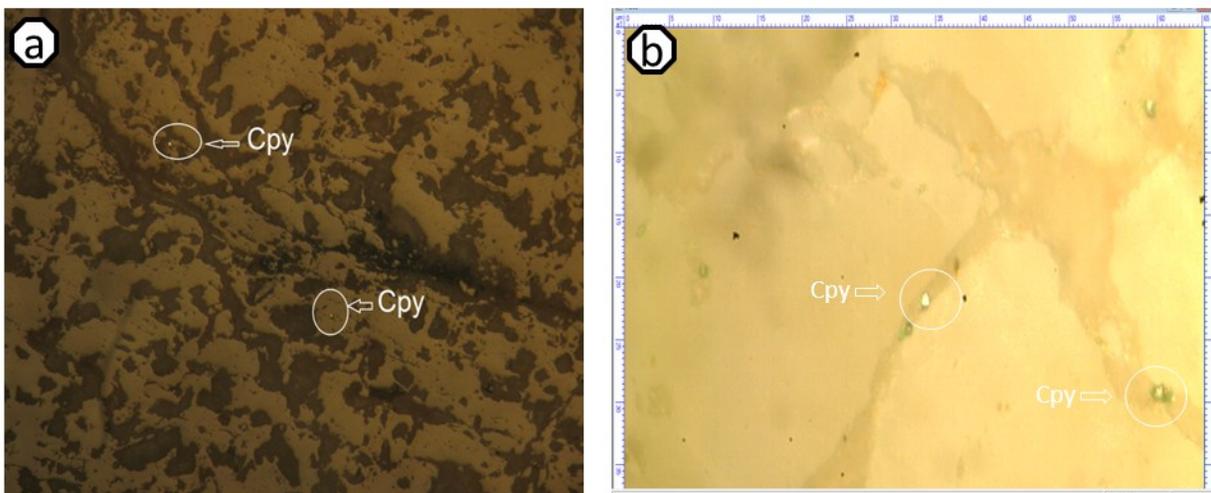


Figura No. 30 Fotografía de la sección pulida de la muestra LC-79-A
a) Fotografía con luz polarizada plana y objetivo 10x de la muestra LC-79-A: cristales de calcopirita (Cpy); b) fotografía con luz polarizada plana y objetivo 50x de la muestra LC-79-A: calcopirita (Cpy)

Anexo No. 14 Paragénesis minerales del sector Las Cuevas, Holguín

muestras	minerales primarios	minerales de alteración	minerales metálicos	paragénesis
10-A	plagioclasa+cuarzo+vidrio volcánico			
11-A			pirita+hematita+magnetita	pirita+hematita+magnetita
12-A	hiperestena+plagioclasa+hornblenda	sericita	pirita+electro	sericita+pirita+electro
13-A	piroxeno+olivino	antigorita+crisotilo	espinela cromífera+magnetita	piroxeno+olivino+espinela cromífera+magnetita
13-A	piroxeno+olivino	antigorita+crisotilo	pirita	antigorita+crisotilo+pirita
18-A	anfíbol hornblenda+plagioclasa labrador	cuarzo secundario+epidota		
20-A	olivino+piroxeno	serpentina	pirita+magnetita+hematita	olivino+piroxeno+pirita+magnetita+hematita
23-A	calcedonia+ópalo		pirita+magnetita+hematita	calcedonia+ópalo+pirita+magnetita+hematita
26-A	albita+ortopiroxeno+hornblenda			
27-A	albita+cuarzo		pirita+magnetita	albita+cuarzo+pirita+magnetita
30-B	andesina+ortopiroxeno+magnesiohornblenda+olivino	talco	magnetita	andesina+ortopiroxeno+magnesiohornblenda+olivino+magnetita
31-B	bitownita+hiperestena+hornblenda	clorita+zoisita		
37-A	ferrohiperestena+plagioclasa labrador+magnesiohornblenda	lizardita	hematita	lizardita+hematita
50-B	magnesiohornblenda+albita	clinozoisita+clorita+pumpellita	magnetita	clinozoisita+clorita+pumpellita+magnetita
51-A			pirita+calcopirita+esfalerita	pirita+calcopirita+esfalerita
51-B	albita+hornblenda	epidota	calcopirita+bornita+esfalerita	epidota+calcopirita+bornita+esfalerita
53-A	labradorita+magnesiohornblenda	clorita	magnetita+pirita+esfalerita	clorita+magnetita+pirita+esfalerita
53-B	labradorita+magnesiohornblenda	clorita	magnetita+pirita+esfalerita	clorita+magnetita+pirita+esfalerita
55-A	enstatita+albita	clorita+epidota		
55-B	hornblenda+plagioclasa	zoisita+pumpellita		
56-A	oligoclasa+hornblenda	clorita		
74-A	hiperestena+labrador			
79-A	plagioclasas+cuarzo	clorita+epidota	magnetita+hematita+calcopirita	clorita+epidota+magnetita+hematita+calcopirita

Bibliografía

- Abelspies, Carlos. *Informe de una mina de cobre cerca de la costa sur de la provincia de Oriente y otro sobre unas minas de oro situadas en terrenos de Aguas Claras, Guajabales, barrio de Guabasiabo Oriente*. 1919
- Abelspies, Carlos. *Geología general de los sedimentos Terciarios del centro de la provincia de Oriente. Reporte sobre la mina El Oro y varias minas en el distrito de Aguas Claras, Holguín, Oriente*. 1928
- Aguilera, E, Manduley, J. *Plano original en tela de demarcación de la mina de cobre Congreso*. 1909
- Aguilera, E, Manduley, J. R. (1918). Reseña histórica sobre la minería en Oriente, Cuba. *Boletín de Minas*, 4, 49-51.
- Alvarez, Marlene *Informe de prospección preliminar de cobre en el sector El Roble, escala 1:25 000 en la Sierra Maestra*. 1990
- Allen, R. L; Barrett, T. J, Browne, P. R. (1996). *Atlas of Alteration: A field and petrographic guide to hydrothermal alteration minerals*. Vancouver, British Columbia: Alpine Press Limited.
- Andó, J; Harangi, S; Zsakmány, B, Dosztály, L. *Petrología de la asociación ofiolítica de Holguín*. 1976
- Avalos, R. *Estudio minerográfico de muestras de cobre, zinc, plata, procedente de la mina El Mango, Barajagua, Las Villas*. 1955
- Avalos, R *Informes sobre la clasificación de rocas, análisis químicos y otros datos correspondientes a la mina San Roque en Cumanayagua, Placetas Las Villas*. 1958
- Bajuelo, Mario. *Análisis de la Mina Avelina Esther en el informe sobre estudio minerográfico muestra No. 3275*. 1959
- Bajuelo, Mario, Díaz_Velazco, Rafael. *Reportes sobre los cotos mineros de Aguas Claras y Guajabales (El Tesoro, Agrupada, Nuevo Potosí, Reina Victoria, El Oro)*. 1940
- Bandera_Girón, Daimarelis *Informe sobre los trabajos de prospección preliminar y detallada de las arenas granitoideas en el Este de Santiago de Cuba*. 1992
- Barea, M, Rodríguez, M. (1985). Análisis estructuro-geomorfológico de la parte norte de la provincia de Holguín. *Sociedad Cubana de Geología*, 2(1), 53-73.
- Best, Myron. (2003). *Igneous and Metamorphic Petrology*: Blackwell Publishing company.
- Blanco-Quintero, I. A. (2010). *Metamorphic and magmatic consequences of subduction of young oceanic lithosphere and exhumation in a serpentinite subduction channel. Eastern Cuba*. . (Doctorado Ph), Universidad de Barcelona, Barcelona.
- Blanco_Moreno, J. A. (1999). *Estratigrafía y paleogeografía de las cuencas superpuestas de Cuba centro Oriental*. (PhD), Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa, Moa.
- Blanco_Moreno, J. A, Proenza, Joaquín (2000). Sistematización tectono estratigráfica de Cuba centro Oriental. *Revista Geología y Minería*, XVII(1), 11.
- Bonillas. *Informe sobre Matahambre, Francisco y otras propiedades Pinar del Río*. 1924

- Brace, T, Pimentel, H. *Report on the Tamarindo Concession Las Tunas and Holguin provinces, West Central Cuba*. 1996
- Brezsnyanszky, K, Boros, J. (1992). El melange ofiolítica de Holguín y sus características estructurales. *Ciencia de la Tierra y el Espacio*, 20, 56-67.
- Brezsnyanszky, K, Iturralde_Vinent, M. A. (1978). Paleogeografía del Paleogeno de Cuba Oriental. *Journal of the Royal Geological and Mining Society of the Netherlands*, 57(2), 123-134.
- Cabenses, A, Scarrow, J. H. (2012). Estudio mineralógico cuantitativo mediante difracción de rayos-x de rocas potásicas de la región volcánica neógena del sureste de España: lamproitas anómalas. *Geogaceta*, 52, 3.
- Calzadilla, Carlos Alberto Martínez. *T.T.P. Generalización de las investigaciones Geólogo- Tecnológicas sobre oro endógeno y de placeres en la región de Holguín*. 1995
- Castañeda, J. A. *Informe de los trabajos de exploración orientativa para las menas sulfurosas-cupríferas del yacimiento Juan Manuel y el complemento de la exploración orientativa del yacimiento Unión I*. 1990
- Castillo, R. *Informe sobre los resultados de los trabajos de levantamiento y búsqueda de menas de cobre y otros minerales útiles, a escala 1:25 000 en los límites de las zonas que abarca los cierres de las presas Los Asientos y Sabanalamar*. 1982
- Cerny, M *Informe Búsqueda Orientativa 1: 25 000 Escambray II cobre Guaos*. 1987
- Clair, David *Report on 1998 Diamond Drilling and Geophysical programs on the monte Rojo showing, Holguín concession, Cuba*. 1998
- Cobiella_Reguera, J. L. (1978). Una melange en Cuba Oriental. *Revista tecnológica*, 6.
- Cobiella_Reguera, J. L. (2000). Jurassic and Cretaceous geological history of Cuba. *International Geology Review*, 42, 594-656.
- Cobiella_Reguera, J. L. (2009). Emplazamiento de las ofiolitas en el noreste de Cuba y la geología del Campaniano-Eoceno del caribe NW y SE del golfo de México. *Geological Society of London*,, 328, 315-338.
- Corona-Rodríguez, A. (2010). *Características Petrográficas y Mineralógicas de las rocas de diques de Yaguaneque, Moa, Holguín*. (Master Geología), Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa, Moa.
- Costafreda, J. (1999). *Comparación entre los yacimientos Hercínicos europeos, del escudo Canadiense y del complejo ofiolítico de Holguín noroccidental, Cuba*.
- Costafreda, J. (2011). *Consideraciones para la prospección de nuevos cuerpos mineralizados en los flancos oriental del yacimiento aurífero de Reina Victoria, en la región Oriental de Cuba* Ingeniería Geológica. Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Minas. Madrid.
- Costafreda, J *Prospección detallada de oro Aguas Claras y Reina Victoria, provincia de Holguín*. 1993
- Cruz, L. *Informe sobre los trabajos de exploración realizados en el yacimiento de oro "Reina Victoria", Holguín*. 1989

- Charles, J *Informe general sobre las minas de oro en Cuba (regiones mineras de Matanzas, Las Villas, Camaguey, Mina Casualidad, Mina de oro Santiago, Sofía y Aguas Claras)*. 1959
- Chaveco, R. *Informe de exploración del sector Santa María en la concesión Holguín*. 1996
- Deschappelles, Luis *Informe sobre los minerales, terrenos y posibilidades de explotación del antiguo coto cuprífero de Guanabo, Holguín, Oriente*. 1958
- Díaz_Martínez, R, Proenza, J (2005). Metalogenia asociada a las ofiolitas y arcos de islas del Cretácico del noreste de Cuba. *Geología y Minería*, 21(1), 40.
- Ecured. (2014). Características físico-geográficas de la provincia de Holguín. from <http://www.ecured.cu/index.php/Holgu%C3%ADn>
- Efinova, L. *Formación geológica y minerales útiles de la parte central y noreste del anticlinorio Holguín. Informe sobre la Búsqueda y Levantamiento Geológico 1:50 000*. 1974
- Fernández, M. *Informe de búsqueda detallada de cobre, en el sector Júcaro durante el período 1979-81, Municipio Bahía Honda*. 1981
- Flores, R; Millan, G; Chang, J. L ; Pérez, C ,Casteñanos, E. *Tectónica de Cuba Oriental*. La Habana:1998
- Fulton, C. A. *Informe sobre la mina Carlota, Santa Clara*. 1917
- Garcés_Leyva, Enrique *Informe final sobre los resultados del Levantamiento Geológico Complejo y Búsquedas Acompañantes a escala 1: 50 000 en el Polígono IV CAME Holguín*. 1988
- García_Sánchez, Rolando *Informe de prospección preliminar y detallada de arena marina para la construcción en el sector Gibara-Río Seco plataforma nororiental a escala 1: 50 000*. 1990
- Gifkins, Cathryn; Herrmann, Walter, Large, Rose (2005). *Altered Volcanic Rock: A guide to description and interpretation*. Tasmania, Australia: Centre for Ore Deposit Research.
- Gillespie, M, Styles, M. *Clasificación of igneous rock*. Nottingham:1999
- Goldfields, S. *Geology, mineralisation, exploration potencial and work to date on four Mineral Concessions in Cuba (Sancti Spíritus, Nicrom-Camaguey, Vertientes-Najasa and Holguin)*. 1995
- GoldFields, S. *Informe de la prospección regional en la concesión Holguín, Cuba*. 1996
- Grahan, R. A. *Informe sobre el oro en Cuba hasta el presente y sus posibilidades industriales*. 1960
- Grey, M. J. *Informe sobre las minas de oro en el término municipal de Holguín (Guajabales y Aguas Claras)*. 1961
- Gribble, C, Hall, A. (1985). *Optical mineralogy: principles & practice*: Jorge Allen & Unwin.
- Gyarmati, P. (1983). Las formaciones metamórficas de Cuba Oriental. *Revista tecnológica*, 9.
- Haldar, S. K, Tisljar, J. (2014). *Introduction to Mineralogy and Petrology* (pp. 341).
- Helmut, W. P *Informe sobre Mina El Infierno, Jibacoa, Oriente (Pb, Zn, Cu, Ag, Au)*. 1960
- Huang, W. (1972). *Petrología* (Vol. 1). Habana: Pueblo y Educación.
- Humphrey, P. (1974). Cuba. *Geological Society of London*, 4, 814.
- Iturralde_Vinent, M. A. (1998). Sinopsis de la Constitución Geológica de Cuba. *Acta Geológica Hispana*, 33(1-4), 9-56.

- Kamensky, A. *Texto explicativo a los mapas de yacimientos y manifestaciones de grado de estudio y pronóstico de minerales no metálicos, en Pinar del Río*. 1980
- Kornprobst, Jacques. (2002). *Metamorphic rocks and their Geodynamic significance*.
- Kosak, M; Ando, J; Jakus, P, Ríos, Y. (1988). Desarrollo estructural del arco insular volcánico-cretácico en la región de Holguín. *Geología y Minería*, 1, 24.
- Le Maitre, R. W. (2002). *Igneous Rock: a classification and Glossary of Terms*. In R. W. Le Maitre (Ed.), (2nd ed., pp. 236). Cambridge: Cambridge University Press.
- Lehner, E. R *Reporte mensual de trabajos geológicos y geofísicos en las minas Inspiración III, IV y Verónica, Prov. de Pinar del Río*. 1957
- Lewis, G. E, Straczek, L. A. (1955). Geology of south_central oriente, Cuba. *Geological Survey Bolletin*, 975(D), 171-333.
- López, A. . *Informe de búsqueda evaluativa en los límites de las manifestaciones Elección, Jobito, La Cruzada y Los Asientos*. 1985
- Loynaz, Sergio ,Sainz, Luis *Hojas de análisis de muestras en varias minas de la provincia de Oriente*. 1959
- Lugo_Aragón, Reynel *Prospección preliminar y detallada de oro en los flancos de Florencia y Guáimaro Sur*. 1991
- Martínez, Alexis *Informe final sobre los resultados del levantamiento geológico complejo y búsquedas acompañantes a escala 1: 50 000 en el polígono IV CAME, Holguín*. 1988
- Masakovski, A. A; Nedrasov, G. E ,Oro, J. R. *Dos tipos de complejos ultrabásicos en la estructura de Cuba oriental*. 1989
- Merconchini, H, Ariosa, José *Geología del área Agrupada del yacimiento Aguas Claras, Holguín, Oriente*. 1972
- Merryweather, H *Reporte geológico sobre las minas de Camaguey y Oriente*. 1946
- Mesfa, Amado *Informe de los estudios realizados durante el período de 15 de Mayo al 30 de Junio de 1960 al sector Mina Grande del Cobre*. 1960
- Meyerhoff, A. A; Kudoley, K. M ,Hatten, C. W. (1969). Geologic significance of radiometric data from Cuba. *American Asociation of Petroleum Geologists*, 53(12), 2494-2500.
- Miles, J *Informe sobre el estudio geológico preliminar con respecto al mineral de cobre*. 1957
- Morales, I, Longaca, A. *Informe sobre mina Hong-Kong, barrio de Guabasiabo, Holguín y las propiedades mineras de la Gibara Cooper*. 1959
- Morón, Francisco *Reporte sobre el coto minero Santa Lucía: minas Rita, Laura, Golden Circle y Fausto*. 1957
- Morón, Francisco *Análisis memorandúm relacionados con las minas La Holguinera, Reina Victoria y Non Plus Ultra*. 1958
- Morón, Francisco *Informe breve sobre la mina El Tesoro (Au) barrio de Aguas Claras Holguín*. 1959

- Nagy, E; Brezsnyananszky, K, Brite, A. *Texto explicativo del mapa geológico de la provincia de Oriente a escala 1:250 000 levantado y confeccionado por la brigada Cubano_Hungara*. 1976
- Nagy, E; Brezsnyananszky, K; Korpas, L, Susin, O. (1992). Perfil trasversal tectónico interpretativo de Cuba Oriental. *Ciencia de la Tierra y el Espacio*, 20, 49-56.
- NANC. (1992). Nuevo Atlas Nacional de Cuba. In A. d. C. d. Cuba (Ed.).
- Nelson, P. A. *Reporte sobre la mina Aguas Claras Holguín*. 1951
- Nicolaev, I. *Informe acerca de los trabajos de búsqueda y exploración de oro realizados durante los años de 1963 a 1965 en la zona de Holguín, Provincia de Oriente*. 1966
- Novo_Fernández, R. *Memorandum. Cuba aprovechará su Oro*. 1968
- ONEI. (2012). Oficina Nacional de Estadística e Información. 2015
- Ortega, Jorge *Informe sobre el coto de Aguas Claras, Holguín*. 1960
- Parent, Douglas. *Prospección magnetométrica sobre las concesiones Lane, propiedad de Minas Rimosa de Cuba. Guáimaro, Camaguey*. 1956
- Patterson, B. S *Informe sobre la mina de cobre, plomo, zinc, Buttechico*. 1954
- Patterson, G. *Informe geológico de los cotos mineros Guáimaro (Florencia), mina Tuckahoe (Au) y mina Borie (Au)*. 1947
- Pavlov, I. *Informe sobre los trabajos de Búsqueda-Revisión para placeres auríferos, realizados en la región del Jardín Botánico (provincia Las Villas)*. 1970
- Pdkamenniy, A. *Resultados de los trabajos de Búsqueda y Búsqueda Exploración en Copales y Olga, región del yacimiento "Hierro"*. 1971
- Pennebaker, N. E *Reporte suplementario. Geología y depósitos minerales de Minas de Minas de Matahambre, s. a*. 1940
- Quirke, T. *Informe sobre el denuncio Monte Rojo, Golden Circle y Santiago: reporte sobre Aguas Claras, placeres en el distrito Holguín y en el Valle de Cacoyuquín*. 1946
- Quirke, T. *Datos geológicos y resultados químicos de varias minas de oro en Oriente*. 1959
- Raymon, Loren. (2000). *Petrology* (Second ed.).
- Rivera_Despaigne, H. (2002). *Caracterización geólogo-geoquímico-genética y potencialidad menífera de la manifestación aurífera Corral de Rojas*. (Master Geoquímica), Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa, Moa.
- Rode, A. H. *Reporte sobre el distrito de minas de oro de Holguín, provincia de Oriente*. 1930
- Rodríguez_Vega, A, Díaz_Martinez, R. (2001). La mineralización aurífera en Cuba: Clasificación y rasgos geólogo-geoquímicos para la prospección. *Geología y Minería*, 16(1), 20.
- Roshkov, S. I. *Yacimientos auríferos de Cuba y recomendaciones para la futura dirección de los trabajos de Búsqueda- Exploración*. 1969
- Rubio, M. *Informe exploración orientativa y detallada de oro Reina Victoria*. 1994
- Schnellmann, O. A. *Consideraciones generales sobre las minas de cobre en Cuba*. 1957

- Sinobas, H. *Informe sobre los resultados de los trabajos de Búsqueda compleja a escala 1:10 000 en el campo mineral Unión y en el flanco noreste del yacimiento minero realizado en los años 1972-74.* 1981
- Svoboda, V, Deschapelles, Luis *Informe sobre las investigaciones preliminares del yacimiento "Tamarindo.* 1966
- Vaughan, T. W. *Reconocimiento geológico de Cuba (minas de cobre).* 1901
- Whitney, J. (1932). Geología de Cuba. *American Association of Petroleum Geologists*, 16(6), 533-555.
- Wikipedia. (2014). Holguín. 2015, from <http://es.wikipedia.org/wiki/Holgu%C3%ADn>
- Wilson, M. (2007). *Igneous Petrogenesis* (Ninth ed.). Netherland: Springer.
- Willson, R. *Geología de la región Matahambre.* Habana:1927
- Wolsteneroft, Alan *A technical report on the exploration programme carried out on the Holguín exploration licence july 1994-december 1995.* 1996
- Wolsteneroft, Alan *Progress report for the Holguín area, Cuba for the period January to July 1997. Apéndices.* 1997
- Zamora, Roilán *Informe preliminar de los sectores I, II, III, IV, V, VI, del yacimiento de arena Vilorio en la provincia de Guantánamo.* 1992