

# **Petrografía y mineralogía del área perspectiva aurífera El Limón Nuevo del sistema vetítico Jacinto, Camagüey\***

**Mario Antonio Alonso Verano**

marioav@geocmg.minem.cu

Especialidad: Ingeniería Geológica

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

**Resumen:** Se identificaron petrográficamente y mineralógicamente las rocas de la veta El Limón Nuevo del sistema vetítico Jacinto. Para ello se realizó el análisis petrográfico y mineralográfico. Los análisis químicos de elementos mayoritarios y trazas se determinaron según el Manual de Procedimientos de la DCM/CIPIMM, para lo cual se emplearon los métodos de disolución ácida y fusión con metaborato de litio para la preparación de las muestras. Como resultado se describen las principales alteraciones hidrotermales que actúan sobre las rocas y las paragénesis minerales portadoras de la mineralización aurífera.

**Palabras clave:** Manifestación mineral El Limón Nuevo; veta El Limón Nuevo; sistema vetítico Jacinto; cuarzo-sericita; alteración hidrotermal.

---

\* Trabajo tutorado por la Dra. Tereza Hernández Jiménez.

Recibido: 7 junio 2018/ Aceptado 3 noviembre 2018.

## **Petrography and mineralogy of the prospective auriferous area El Limón Nuevo of the Vetítico Jacinto System, Camagüey**

**Abstract:** The rocks from El Limón Nuevo vein of the Vetítico Jacinto System were identified mineralogically and petrographically. To do this, the petrographic and mineralogical analysis was carried out. The chemical analysis of major elements and traces were determined according to the Manual of Procedures of the DCM / CIPIMM, for which the methods of fusion with lithium metaborate and acid dissolution were used for preparing the samples. As a result, the main hydrothermal alterations that act on the rocks and the mineral paragenesis carriers of the gold mineralization were described.

**Key words:** Mineral demonstration El Limón Nuevo; Vein El Limón Nuevo; Jacinto Vetítico System; quartz-sericite; hydrothermal alteration.

## Introducción

Las recientes y mejoradas técnicas para la detección y obtención de metales preciosos, entre ellos el caso del oro, ha llevado el valor de mercado de estos a picos muy altos y negocios verdaderamente lucrativos para el país que posea este tipo de recurso, impactando enormemente en la actividad geológico-minera a nivel mundial. La demanda ha obligado al desarrollo de nuevas técnicas, tanto de exploración y explotación, como de evaluación de nuevos y antiguos yacimientos y manifestaciones de oro; así se ha impulsado el refinamiento de los conocimientos teóricos sobre la formación de los yacimientos minerales, de la alteración que los acompaña e identifica, y de todos los aspectos inherentes a ellos.

Hasta los mismos instrumentos y equipos científicos de detección o medición, utilizados en la exploración, ya sea en el campo o en el laboratorio, se han sofisticado a tal grado que su empleo para aplicar en elementos traza, inclusiones fluidas, isótopos estables o radioactivos, o en cualquier otro aspecto que pudiera evidenciar la existencia de minerales portadores de este metal, ha redundado en hallazgos de suma importancia, haciéndose indispensable su uso en campañas de exploración modernas.

Como consecuencia, el conocimiento de los yacimientos minerales ha mejorado, siendo el de los epitermales el tipo que se ha visto más beneficiado, ya que de ellos proviene la más importante contribución a la producción total de oro y de plata. La minería del oro en Cuba, a pesar de su limitado impacto socioeconómico nacional, posee una rica tradición popular legada por su propia historia, que va desde los tiempos de la conquista hasta la actualidad. Numerosos trabajos reseñan los datos históricos de esta actividad en la isla, resaltando los periodos colonial y neocolonial (Calvache, 1944; Soto, 1981; Font, 1985). Hoy los estudios se enfocan principalmente en una faja metalogenética de aproximadamente 400 km, que se extiende desde la porción sur de Santa Clara hasta el norte de Holguín.

La manifestación Oro Jacinto es un típico epitermal de baja sulfuración. Los trabajos de exploración ejecutados por la asociación económica internacional *Carib Gold Exploration-Geominera S.A.* lo descubren entre los años 1994-2001 (Pimentel-Olivera, Piñero-Pérez & Balvis-Filiberto, 2009). Las mineralizaciones epitermales de oro en este sector se asocian exclusivamente al arco de islas volcánicas del Cretácico. La roca huésped de las vetas del mineral portador del oro son rocas volcánicas de composición andesito-dacítica, propilitizadas y tectonizadas en diferente grado. Representa un sistema de 11 vetas, de las cuales

las vetas Beatriz, El Limón Nuevo y Sur Elena son las de mayor potencial aurífero (Simmons *et al.*, 1999).

Por ser de morfología menos complicada y tener la cantidad de oro requerida determinada por un estudio de prefactibilidad se comenzaron las investigaciones por la veta El Limón Nuevo para de identificar petrográfica y mineralógicamente las rocas de la veta El Limón Nuevo del Sistema Vetítico Jacinto.

## **Materiales y métodos**

### **Trabajos de campo**

Los trabajos de campo se realizaron con el objetivo final de hacer la exploración detallada de la veta. Las muestras utilizadas para dar cumplimiento a los objetivos de la investigación fueron tomadas durante la campaña de levantamiento. Se tomaron varias muestras de afloramiento de los lugares más representativos de la roca de caja cercanos al cuerpo mineralizado, entre 15 m y 20 m de distancia, siempre escogiendo la parte más fresca de la roca. De ellas se escogieron diez muestras representativas para dar cumplimiento a las necesidades de la investigación presente.

Para la ejecución de las trochas topográficas se emplearon los mismos raspados que se utilizaron para poner al descubierto las vetas de cuarzo, con el objetivo de realizar el levantamiento topográfico a escala 1:1000 e itinerarios geológicos a escala 1:1000. Este trabajo se desarrolló en una región cubierta totalmente de arbustos de difícil acceso para poder seleccionar los puntos de detalles, por lo que hubo que emplear el método ortogonal similar al método de las cuadrículas; se utilizó una red de 25 m x 25 m, las trochas tenían una separación de 100 m, con una precisión permisible en las poligonales técnicas 1:1000 y se logró 1:1729 y en las taquimétricas 1:500 y se logró 1:520. Dentro de la zona y en sus alrededores existen, además, puntos monumentados con anterioridad: MON - 1, P30 + 50, CSE - 15, CSE - 16, MON - 2 y MON - 3, estos últimos monumentados y realizados por GeoCuba, los que se utilizaron para desarrollar la base topográfica y aumentar el grado de estudio de la zona.

Se realizaron los trabajos geofísicos que comenzaron de forma experimental sobre la veta, realizados en una red de 100 m x 25 m, con el método de polarización inducida en su variante dipolo-dipolo, con  $n = 5$  m y  $a = 25$  m, ejecutados por Geominera Oriente. Con este método se obtuvieron débiles anomalías de carga eléctrica y de resistividad de poco interés para los ejecutores del proyecto,

desechándose los resultados del método. Posteriormente, estos materiales fueron reinterpretados por especialistas de la EGMC empleando para ello el programa de inversión Resis - 2D, con el que se detectaron claramente dichas vetas en las líneas L - 26, L - 28. También el complejo de métodos geofísicos estuvo integrado en esa ocasión por la exploración magnética y el método electromagnético de baja frecuencia VLF, detectándose con el primero zonas intensas negativas principalmente en la dirección NW-SE y E-W que responden a las zonas tectónicas donde se emplazan las vetas de cuarzo enriquecidas en oro nativo y en segundo lugar ejes de dirección NE-SW y N-S que las cortan. Se realizaron trabajos geoquímicos de muestreo de suelo en una red de 200 m x 200 m detallándose hasta 100 m x 100 m.

Para las perforaciones se utilizó una máquina de tipo IKS Boyles BBS-25A Wireline montada sobre patines y luego se le incorporó una segunda máquina con iguales características hasta el final de la campaña. La dirección de los pozos fue de 300° con ángulo de inclinación que varió entre los 42° y 90°, todos se perforaron con diamante, empleando en la zona mineral el triple tubo con el objetivo de lograr una recuperación mayor al 90 %. Los diámetros empleados fueron el NQ para los pozos de exploración y el HQ para aquellos que tuvieron por objetivo no solo la exploración sino también la toma de una muestra tecnológica; el líquido empleado durante la perforación fue CNNC. Después de concluidos los pozos fueron monumentados con su inscripción (número de pozo, profundidad y fecha de terminación) y amarrados topográficamente.

Durante la exploración en la veta El Limón Nuevo se realizaron 13 trincheras, seis raspados, un pozo criollo y una galería, todos fueron ubicados instrumentalmente por la topografía y orientados con una dirección aproximada de 30°. Las trincheras y los raspados se confeccionaron con ayuda de un buldócer SHANTUI. En el caso de las trincheras se utilizó una cuchilla de 4,0 m de ancho para la profundización de los rusters; la longitud total de las trincheras fue de 384,7 m mientras que la de los raspados fue de 204,60 m. Las trincheras alcanzaron una profundidad máxima de 5,0 m, hasta descubrir la roca madre atravesando la capa eluvial o aluvio-deluvial.

La documentación de todas las trincheras se realizó en la pared NW de SW-NE; se hizo una descripción de los cambios litológicos, sus coloraciones, textura, estructura, alteraciones, etc., así como también de los elementos de yacencia y el agrietamiento; luego las trincheras fueron muestreadas y tapadas con ayuda del buldócer. La profundidad máxima de los raspados fue de 0,5 m para quitar la capa vegetal con el fin de seguir en el terreno el desarrollo de la zona de alteración.

Para la construcción del pozo criollo se empleó un martillo neumático y para la galería a partir de los 17 m hubo que emplear, además, el sistema de voladura debido al incremento de la dureza de la roca en la zona mineral. Se utilizó la fortificación en aquellos lugares donde las propiedades físico-mecánicas de las rocas no eran favorables y podía existir el riesgo de derrumbe. El pozo criollo y la galería fueron documentados en su totalidad y muestreada solo la galería, pues el pozo criollo estaba ubicado en las rocas de caja donde ya estaba comprobado por los pozos de exploración que no existía mineralización. En estas labores también se realizaron observaciones ingeniero-geológicas; se tomaron muestras para las determinaciones de humedad, resistencia a la compresión y peso volumétrico; se realizaron determinaciones de peso volumétricos in situ y de coeficiente de esponjamiento.

### **Análisis petrográfico y minerográfico**

Para la realización de los análisis petrográficos se confeccionaron secciones delgadas. Las descripciones petrográficas se realizaron tanto con nicoles cruzados como paralelos. Para dicho análisis se tuvieron en cuenta los parámetros ópticos: color, forma, pleocroísmo, birrefringencia, ángulo de extinción. Las características petrográficas y minerográficas de los minerales presentes en las muestras seleccionadas fueron analizadas en el microscopio lupa binocular acoplada con la video-cámara SONY, modelo SSC-C 370 e interface YS-W150, utilizando para ello el analizador de imágenes.

Para la descripción petrográfica de las rocas volcánicas y vulcanoclásticas se tomó en cuenta el criterio de varios especialistas (Streckeisen, 1980; Le Maitre, 1989). Se emplearon las siguientes abreviaturas: Plag-plagioclasa, Cl-clorita, Px-piroxeno, Clpx-clinopiroxeno, Ca-carbonato, Q-cuarzo, Alb-albita, Ep-epidota, Horn-hornblenda, Fenoc-fenocristales, Py-pirita.

### **Difracción de rayos X (DRX)**

Debido a la granulometría en micrones de algunas muestras analizadas fue difícil determinar ciertos minerales bajo el microscopio, por lo que se estudiaron con ayuda del método de difracción de rayos-X. Para ello se hizo incidir un haz de rayos X de radiación monocromática sobre la muestra de roca finamente pulverizada, la cual se extiende por la superficie de un vidrio porta usando una pequeña cantidad de aglomerante adhesivo.

Las variaciones de intensidad en los rayos reflejados se obtienen gráficamente en un registro denominado difractograma en el cual se ven manifestados los diferentes picos de reflexión provenientes de la muestra. La altura de los picos es directamente proporcional a las intensidades de las reflexiones que las provocaron. Los registros difractométricos se realizaron por el método de polvo en un equipo Philips PW 1710 con los siguientes parámetros de operación:

Tabla 1. Parámetros de operación para la realización de los registros difractométricos

Goniómetro	Vertical
Sistema de focalización	Bragg-Brentano
Fuente de Radiación - X	Fe $K\alpha$
Filtros	Mn
Diferencia de potencial aplicada	30 kV
Corriente anódica	20 mA
Calibración del equipo	Patrón externo silicio
Registro angular	6-900 ( $2\theta$ )

Todos los difractogramas se registraron según la variante de medición punto a punto; paso angular de 0,050 y tiempo de medición en cada posición de tres segundos. Los resultados numéricos de intensidades relativas y ángulos de difracción se convirtieron en difractogramas continuos con el empleo del programa Origin 7.0. Las distancias interplanares se determinaron con el programa Ttod para PC. El análisis cualitativo de fases se realizó con la utilización de la base de datos PCPDFWIN; versión 1.30, JCPDS-ICDD/2002, compatible con Windows 98 para Office 2000.

### **Análisis químico**

Los análisis químicos de elementos mayoritarios y trazas se determinaron según el Manual de Procedimientos de la DCM/CIPIMM, para lo cual se emplearon los métodos de disolución ácida y fusión con metaborato de litio para la preparación de las muestras. Se empleó un espectrómetro de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado (ICP-AES), modelo Spectroflame, de la firma SPECTRO de Alemania, con las características o parámetros instrumentales que aparecen a continuación:

#### **Ópticas**

- 128 canales analíticos
- cinco sistemas ópticos
- Montaje Paschen–Runge
- Diámetro del círculo de Rowland de 750 mm
- Red holográfica de Zerodur

## Monocromador

- Acceso directo a longitudes de onda
- cuatro ranuras de entrada con obturadores conectados mediante fibra óptica a la fuente de luz
- Segmento móvil con seis ranuras de salida y fotomultiplicadores
- Generador
- Potencia máxima de 2,5 kW
- Rutina automática de encendido del plasma estabilizado en potencia
- Frecuencia 27,12 MHz

Las condiciones instrumentales para este equipo se consideran óptimas cuando se obtienen los mejores valores posibles de la relación señal/ruido en las correspondientes zonas del espectro, para lo que existe una metodología descrita en el manual de operaciones del equipo. Se utilizaron además equipos y utensilios de laboratorio de alta pureza.

## Mineralogía

Para el estudio mineralógico de las muestras se comenzó con la trituration por debajo del tamiz de 2 mm en el molino de quijada, luego se pesaron y cuartearon las muestras, conservando un duplicado de las mismas. Le sucedió el análisis granulométrico por los tamices 1 mm y 0,08 mm. La clase granulométrica < 0,08 mm se archivó. La clase granulométrica > 0,08 mm se pesó, pasándose por la mesa de concentración tantas veces como fue necesario para enriquecer la clase de minerales pesados.

Se obtuvo en la mesa de concentración una fracción pesada y una fracción ligera, secándose y pesándose cada una. La fracción pesada se separó con el imán permanente de campo variable en tres fracciones: magnética, paramagnética y diamagnética. La fracción diamagnética se separó en líquido denso (bromoformo), peso específico:  $2,89 \text{ g/cm}^3$ , obteniéndose dos fracciones: una fracción pesada y una fracción ligera (con respecto a la densidad del líquido). Luego se procedió al análisis mineralógico completo (cuando hay presencia de oro nativo) y aleatoriamente a las muestras donde no había contenido de oro nativo, procediendo a su descripción mineralógica. Por último, se hizo una medición y conteo de granos de oro nativo.

## Características geológicas

La orientación del sistema de vetas Jacinto sugiere que este se formó en la etapa tardía de la evolución del arco, posiblemente durante la transición desde un segmento tectónico de composición típica del vulcanismo del arco a un régimen tectónico de expansión asociado con la formación de la cuenca sedimentaria Maraguán. Las vetas forman un sistema conjugado con un rumbo de  $320^\circ$  y un grupo secundario con un rumbo  $290^\circ$ . El arco volcánico tiene aproximadamente de  $305^\circ$  a  $310^\circ$ , el cual cortó con un ángulo agudo a este sistema conjugado y es generalmente paralelo al frente del arco de las grandes Antillas; en esta área la orientación de las vetas en los sistemas epitermales en el norte de América reflejan a gran escala los controles tectónicos. Se ha notado que las vetas que se forman en un régimen tectónico de compresión son generalmente orientadas paralelamente a la dirección de máxima compresión y groseramente perpendiculares al margen de colisión de la cual ellas forman parte.

El hecho de que el sistema de vetas Jacinto es groseramente paralelo en vez de perpendicular al arco de las Antillas sugiere que el sistema de vetas no se formó durante la fase de compresión tectónica en el área. En su lugar, el sistema de vetas pudo haberse formado durante la distensión normal del arco. Carlile y Mitchell (1994) notaron que la mayoría de los depósitos epitermales en los arcos se forman en un régimen de stress de distensión y que esta extensión o distensión comúnmente tiene lugar durante las etapas tardías de la evolución del arco, posiblemente relacionada al rápido hundimiento de la escama. Esta distensión fue acompañada por la rápida deposición de sedimentos que entonces protegió al sistema de vetas de una futura erosión. La veta El Limón Nuevo, con una dirección  $280^\circ$ - $290^\circ$ , representa una zona tectónica alineada con lo explicado anteriormente.

Esta región puede ser dividida en dos partes: la loma Jacinto y el sistema de vetas Jacinto, que se encuentra aproximadamente a 2,5 km al este de la loma, la cual se encuentra rodeada de  $2 \text{ km}^2$  aproximadamente de rocas volcánicas brechosas de la Fm. Camujiro que están silicificadas. La silicificación se extiende hacia el norte y está rodeada por alteración argílica y sericitica. Todas estas rocas están intemperizadas (la mayoría de los sulfuros están oxidados), haciendo difícil distinguir entre los efectos del intemperismo y la alteración hidrotermal actual en superficie. En la parte superior de la loma Jacinto, en la superficie, se han observado fragmentos de rocas con texturas similares a un sinter. Cambel & Vilinovič (1987) reportaron alunita y diáspora en la loma, sugiriendo que bajo la loma había zona de alteración argílica avanzada. Durante la campaña 1996-2000

esta observación no fue confirmada, además en una de las perforaciones realizadas fue descrita alteración propilítica.

## **Discusión de los resultados**

### **Petrografía del sector El Limón Nuevo**

#### Clastolavas

Estas han sido descritas con relativa abundancia en la Fm. Camujiro. En este caso, refiriéndose principalmente a rocas compuestas por fragmentos de lava, cementados por lava de diferente composición y textura. Para nombrar a este tipo de roca también se ha utilizado en la literatura geológica cubana el término de xenolava. La característica fundamental de esta roca es su naturaleza de lava (Vlodavets, 1984).

En las áreas de El Limón Nuevo las clastolavas son rocas muy comunes, encajante del sistema de veta de cuarzo con oro. En muestra de mano estas rocas no se observan fragmentarias, pero bajo microscopio en ellas se identifican raros fragmentos de lava con textura microlítica algo orientada, sin incremento de sílice secundaria en la matriz de pórfido andesítico; de listones finos y alargados, de textura microlítica gruesa y fina, de listones entrecruzados cristalinos y fragmentos holocristalinos de diorita con contorno irregular, algunos con tamaño de 2,5 mm y 4 mm.

Las lavas (clastolavas), con fragmentos de lava, tienen texturas generales porfídicas y glomeroporfídicas de matriz microlítica y microlítica-felsítica, los fenocristales de plagioclasa aparecen tabulares anchos, los de piroxeno y los de anfíbol en algunas muestras se encuentran poco desarrollados; todos muy alterados, rodeados por una matriz de microlitos de plagioclasa, cuarzo y clorita.

#### Lavobrechas

Son formadas por fragmentos angulosos de lava andesítica cementados en una matriz afectada por el fluido hidrotermal dominada por minerales de sericita-illita-cuarzo y cuarzo con poco carbonato y escasa sericita. Los fragmentos porfídicos tienen fenocristales de plagioclasa tabulares anchos fuertemente sericitizados y carbonatizados, se localizan abundantes granos de epidota y cuarzo; los minerales máficos se encuentran parcial y totalmente cloritizados. La matriz presenta escasos microlitos de plagioclasa. Este es un tipo de brecha hidrotermal indicativa de la

formación de los espacios abiertos para las venas. La lava andesito-dacítica presenta zonas cortadas por vetillas de anhidrita. Los clinopiroxenos se observan bastante frescos y maclados, son pocos los que están sustituidos totalmente por clorita y carbonato; alcanzan tamaños >1 mm.

### Tobas

Son rocas piroclásticas de cenizas fina a gruesa, su composición es vitrocrystalina, cristalovítrea y lapílica. Las tobas vitrocrystalina y cristalovitreas tienen granulometría en un rango de 0,05 mm a 1,6 mm. Las esquirlas de vidrio volcánico se encuentran entre 55 % y 60 %; curvas por diferentes lados, planas, alteradas por clorita, montmorillonita hojosa y cuarzo. Los cristales son de plagioclasa principalmente y máficos totalmente alterados por clorita pennina, carbonato y epidota; sus tamaños varían de 0,1 mm-1,08 mm.

La toba lapílica tiene fragmentos de roca volcánica de 3 mm y mayores, angulosos irregulares de pórfido andesítico, andesito-dacítico, lava andesítica con textura microlítica gruesa y fragmentos de toba vitrocrystalina; los cristales de feldespato se encuentran de forma predominante así como minerales máficos cloritizados. La matriz de la roca es vítrea con cuarzo y clorita y minerales metálicos en forma de sulfuros en un 3 %, alterado a smithsonita ZnCa.

### Interpretación de los análisis de difracción de rayos X

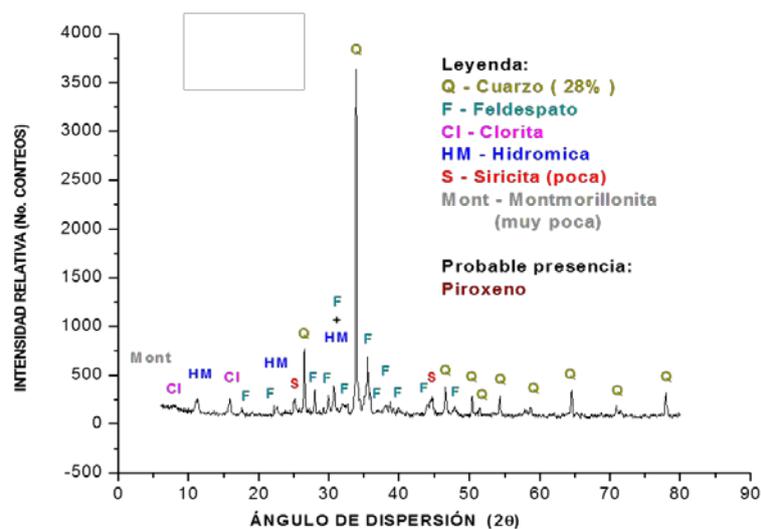


Figura 1. Difractograma muestra No: ELN-1.

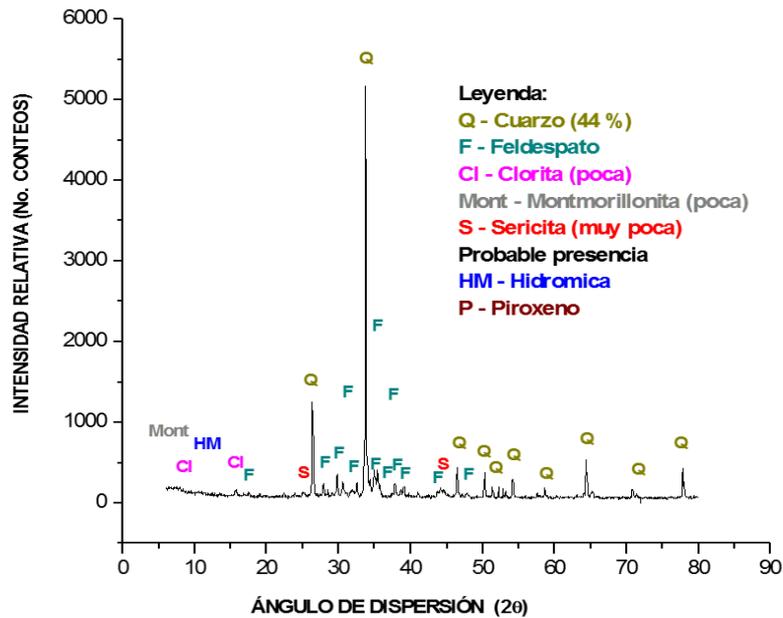


Figura 2. Difractograma muestra No: ELN-4.

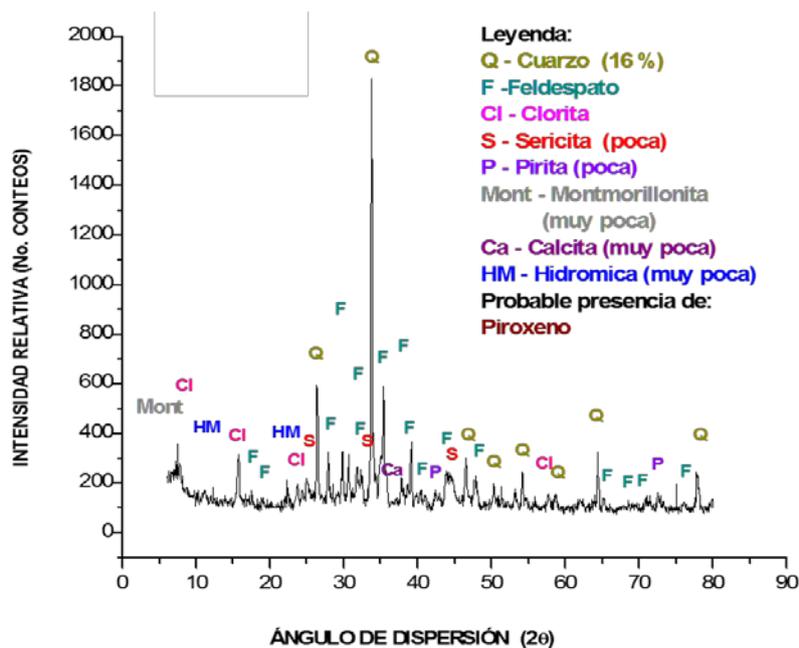


Figura 3. Difractograma muestra No: ELN-5.

A partir de los resultados de análisis de difracción de rayos x realizados a siete muestras, se identificó el cuarzo como fase mayoritaria y como fases secundarias, feldespatos potásicos del grupo de la ortoclasa (variedad adularia) y plagioclasas sódicas (variedad albita). Aparece, además, en la composición sustancial de las muestras, las arcillas, clorita en poca cuantía y la mica intemperizada a hidrómica y sericita, con aportes adicionales de calcita y de la arcilla esmectítica-montmorillonita.

En algunas muestras se evidencia la posible presencia de piroxenos del tipo augita, ya que los principales máximos de difracción se encuentran interferidos por la presencia de los feldespatos que se identificaron en las muestras, los que se encuentran en mayor contenido, por ello se hace necesario corroborar la existencia de esta fase con el empleo de otra técnica analítica complementaria, como microscopía óptica o petrografía.

### **Análisis minerográfico**

La mineralización metálica es muy escasa, llegando en ocasiones a ser nula; cuando se observa es mayoritariamente diseminada, la misma está constituida por: pirita, calcopirita, esfalerita, galena, tetraedrita y oro. El mineral metálico que mayormente se observa es la pirita que puede llegar a un 7 % en muestras puntuales, en el resto de las muestras oscila entre <1 y 2% y apenas se distingue el resto de los sulfuros. La roca de caja que sirve de hospedera a la mineralización es la lavobrecha de composición andesítica. Por las observaciones realizadas podemos dividir el proceso de mineralización en dos fases: una primaria endógena, en la cual se asocian primeramente la magnetita con la roca de caja y, posteriormente, la mineralización epitermal donde aparecen la pirita, calcopirita, esfalerita, galena, tetraedrita y oro. La segunda fase es la hipergénica, representada por goethita y hematita y otros óxidos e hidróxidos de hierro.

Pirita ( $\text{FeS}_2$ ): Es el mineral metálico más abundante, se observan dos variedades: una idiomórfica con formas euhedrales, subhedrales y, en menor medida, anhedrales que dan a los bordes apariencia cuadrática y triangular. Se puede encontrar en las cavidades dejadas por el cuarzo, dispersa en los minerales de ganga, a veces junto con magnetita. Algunos cristales están clataclastizados y fragmentados en granos muy finos, con poros.

Entre las texturas presentes se encuentra la de cristalización, relleno, completando pequeñas fracturas y grietas; la reticular, en forma de entrecrecidos en la ganga, principalmente en el cuarzo, de corrosión en contacto con calcopirita y esfalerita y de sustitución especialmente con esfalerita. Presenta pequeñas inclusiones de calcopirita y esfalerita con tamaños que oscilan entre 0,003 mm-0,0165 mm. Esta pirita en ocasiones se altera a goethita y hematita. La otra variedad de pirita presenta formas anhedrales, es la más abundante, menos cristalizada. Sus cristales se entrecrecen con la esfalerita y el material no metálico. Se observan inclusiones de calcopirita y esfalerita y, en ocasiones, es bordeada por la calcopirita de pequeño tamaño, alrededor de 0,088 mm.

Calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ): Es escasa, se encuentra diseminada, presenta texturas de sustitución, corrosión, cristalización. Se observan dos variedades: una de ellas forma finas inclusiones en algunos campos de esfalerita como resultado de un proceso de sustitución progresiva de este mineral por la calcopirita, dando lugar a la llamada calcopirita disease (Bente & Schmid, 1995; Gaspar, 1996). Este proceso de sustitución es conocido con el nombre de fractura térmica y se le atribuye temperaturas de formación de  $250^\circ\text{C}$  - $300^\circ\text{C}$  (Gaspar, 1996). La segunda variedad se presenta dispersa en la ganga o corroe a la pirita y la esfalerita, con formas anhedrales y tamaños que oscilan entre  $0,022\text{ mm}$ – $0,1485\text{ mm}$ .

Esfalerita ( $[\text{Zn}, \text{Fe}] \text{S}$ ): Sus granos alotriomórficos alcanzan dimensiones desde  $0,011\text{ mm}$ – $0,4375\text{ mm}$ ; en ocasiones se encuentra diseminada en los minerales de ganga o cementando los agregados de pirita. Se puede observar entrecrecida con pirita con textura reticular.

Otras texturas presentes son las de emulsión, cristalización y de corrosión, algunos granos anhedrales están incluidos en la pirita con tamaños de aproximadamente  $0,022\text{ mm}$ . Se presenta en forma anedral bordeando a la pirita y, a su vez, es corroída por la calcopirita, con tamaños que oscilan entre  $0,011\text{ mm}$ - $0,044\text{ mm}$ . También se encuentran granos anhedrales, con diámetro entre  $0,0875\text{ mm}$ - $0,4\text{ mm}$ , con inclusiones de calcopirita en forma de calcopirita disease y con rellenos de tetraedrita. Además, aparecen granos menores (en el orden de  $0,003\text{ mm}$ - $0,006\text{ mm}$ ) incluidos en los granos de pirita. La textura de emulsión son emulsiones de calcopirita (calcopirita disease), con tamaños que oscilan entre  $0,025\text{ mm}$ - $0,4375\text{ mm}$ .

Galena ( $\text{PbS}$ ): Su presencia es escasa, con forma xenomórfica, anedral. Se observa bordeando a la pirita y la esfalerita como textura de corrosión o dispersa en la ganga en forma de cristalización. Su tamaño oscila entre  $0,022\text{ mm}$ – $0,165\text{ mm}$ . Puede aparecer también como relleno entre las oquedades del cuarzo.

Tetraedrita ( $[\text{Cu}, \text{Fe}]_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ): Tiene escasa presencia, con textura aliotromórfica granular, de relleno en los poros que deja la pirita. También se encuentra como pequeñas emulsiones en la pirita y sustituyendo a la esfalerita; el tamaño de sus cristales oscila entre  $0,006\text{ mm}$ - $0,01645\text{ mm}$ .

Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ): Se halla como granos dispersos anhedrales, con poros y en forma de agregados euhedrales y subhedrales dispersos en la ganga, con tamaños que oscilan entre  $0,075\text{ mm}$ - $0,315\text{ mm}$  con lámelas de goethita.

Goethita ( $\text{FeO}[\text{OH}]$ ): Se encuentra oxidando a la pirita, en sus bordes, en los poros y en su interior, con textura esquelética y de sustitución. Presenta granos anhedrales dispersos con tamaños de alrededor de 0,0715 mm.

Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ): Se observa en agregados subhedrales y anhedrales dispersos en la ganga y entrecrecida con esta, porosa. Su presencia se hace más frecuente en zonas brechosas. Se encuentra también sustituyendo y corroyendo a la pirita en sus bordes y rellenando poros dejados por esta, presenta tamaños que oscilan entre 0,022 m-0,308 mm.

Oro (Au): Se localiza nativo muy diseminado, en estado libre y en raros casos incluido en pirita limonitizada, con formas anhedrales principalmente y en menor medida alargadas y ganchudas. El tamaño de sus cristales oscila entre <0,003 mm-0,0275 mm. Se nota la presencia de dos variedades de oro en cuanto a su coloración, algunos son más rojizos que el resto de los granos, quizás producto de impurezas en su estructura cristalina.

### **Alteraciones hidrotermales**

Sericita: Se encuentra alterando fenocristales de plagioclasa en finas escamas en la matriz y en vetillas. La sericita es acompañada por illita, clorita, carbonato, epidota, apatito, carbonato de Zn y granos de oro. Se hace más intensa en profundidad donde se encuentra una zona de alteración de cuarzo microcristalino, adularia y carbonato, la cual en su parte superior está compuesta por clorita, cuarzo, carbonato en veta, epidota y sulfuros y en la parte inferior cuarzo microcristalino, carbonato en veta con adularia en los bordes de esta y adularia en veta junto con carbonato y poco cuarzo, clorita, epidota y sericita como relictos en los fenocristales.

Carbonato: Se presenta como mineral predominante en diferentes intervalos, en agregado granular o vetillas monominerales, es posterior a la sericita, clorita y cuarzo, a veces dejando escasa presencia de estos minerales, o se encuentra en cavidades con adularia en los bordes.

Epidota: Se halla en agregado granular fino o prismático radial y en vetillas monominerales o junto con vetillas de albita, sustituye parcial o totalmente los fenocristales de plagioclasa y hornblenda. Es abundante por intervalos, a veces, enmascarando la textura original de la roca.

Clorita: La presencia de clorita altera a los minerales máficos y a la matriz de la roca, rellena cavidades. Se encuentra acompañada en menor proporción por epidota, albita, cuarzo, escasa actinolita, carbonato y sericita.

Anhidrita: Su presencia es muy escasa, aparece fundamentalmente en vetas y dispersa, alterando fenocristales y la matriz rocosa.

Apatito metasomático: Está representado por cristales prismáticos con tamaño que oscila entre 0,1 mm-0,26 mm. Se encuentra disperso en la matriz y asociado a fenocristales que fueron alterados a clorita.

### Conclusiones

Las rocas documentadas pertenecen al arco volcánico del cretácico, representadas por lavobrechas, en su mayoría, clastolavas y tobas; todas de composición andesítica.

Los minerales formadores son plagioclasa, cuarzo, piroxeno, hornblenda y metálicos: como magnetita, galena, pirita, calcopirita, tetraedrita, esfalerita y oro nativo.

La principal alteración hidrotermal identificada es la sericitización, cloritización, epidotización y carbonatización, en menor medida, y anhidrita y apatito metasomático con escasa presencia.

Se encontró una fuerte asociación cuarzo + sericita + oro; determinada por las paragénesis: cuarzo + sericita + clorita + pirita + esfalerita + tetraedrita + oro, cuarzo + sericita + clorita + pirita + oro, cuarzo + sericita + clorita + pirita + magnetita + oro, cuarzo + clorita + sericita + pirita + tetraedrita + oro, cuarzo + clorita + sericita + pirita + calcopirita + esfalerita + oro + goethita.

### Referencias bibliográficas

BENTE, K. & SCHMID, P. 1995. Experimental investigations on  $\text{CuS}_2$ - $\text{FeS}_2$  solid solution series. Mineral Petrol (in preparation).

CALVACHE, A. 1944. *Historia y desarrollo de la minera en Cuba*. Editorial Neptuno, La Habana.

CAMBEL, B. & VILINOVIČ, V. 1987. *Geochémia a petrológia granitoidných hornín Malých Karpát*. Veda, Bratislava, 148 p.

- CARLILE, J. C. & MITCHELL, A. H. G. 1994. Magmatic Arcs and Associated Gold and Copper Mineralization in Indonesia. *Journal of Geochemical Exploration* 50(1-3): 91-142.
- FONT, L. R. 1985. *Proyecto de exploración de explotación del yacimiento Nuevo Potosí, Aguas Claras: Moa, Cuba*. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Trabajo de diploma. 60 p.
- GASPAR, O. C. 1996. Microscopía e petrología de minérios aplicados dos sulfuretos maciços dos jazigos de Ajustrel e Neves - Corvo. *Estudos, Notas e Trabalhos* 38: 3-195.
- GEOMINERA CAMAGÜEY. 1996. Informe de interpretación estructural y evaluación metalogénica mediante interpretación de los datos geofísicos del territorio Ciego–Camagüey-Las Tunas.
- LE MAITRE, R. W. 1989. Clasificación de las rocas según el diagrama TAS para rocas volcánicas.
- PIMENTEL-OLIVERA, H.; PIÑERO-PÉREZ, E. & BALVIS-FILIBERTO, C. 2009. Actualización de la evaluación geólogo–económica para la veta aurífera Beatriz (resumen). En: III Convención de Ciencias de la Tierra. La Habana, Cuba.
- SIMMONS, G.; RUSSELL, N.; BELL, D.; KESLER, S. E.; HALL, C. M. & PIÑERO, E. 1999. Epithermal gold mineralization in an old volcanic arc: the Jacinto deposit, Camaguey District, Cuba. *Economic Geology* 94(4): 487–506.
- SOTO, L. 1981. *Apuntes sobre la historia de la minería cubana*. Editorial Oriente, Santiago de Cuba.
- STRECKEISEN, A. 1980. Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites and melilitic rocks IUGS Subcommission on the systematics of igneous rocks. *Geologische Rundschau* 69(1): 194-207.
- VLODAVETS, V. I. 1984. *Manual de vulcanología*. Nauka, Moscú.