



**MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE MOA
FACULTAD DE GEOLOGIA Y MINERIA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA-PETROGRÁFICA DE LAS ALTERACIONES HIDROTERMALES DEL YACIMIENTO ORO BARITA, SANTIAGO DE CUBA.

Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Geología

Maestría en Geología, 10^{ma} Edición.

Mención Prospección y Exploración de Yacimientos Minerales Sólidos

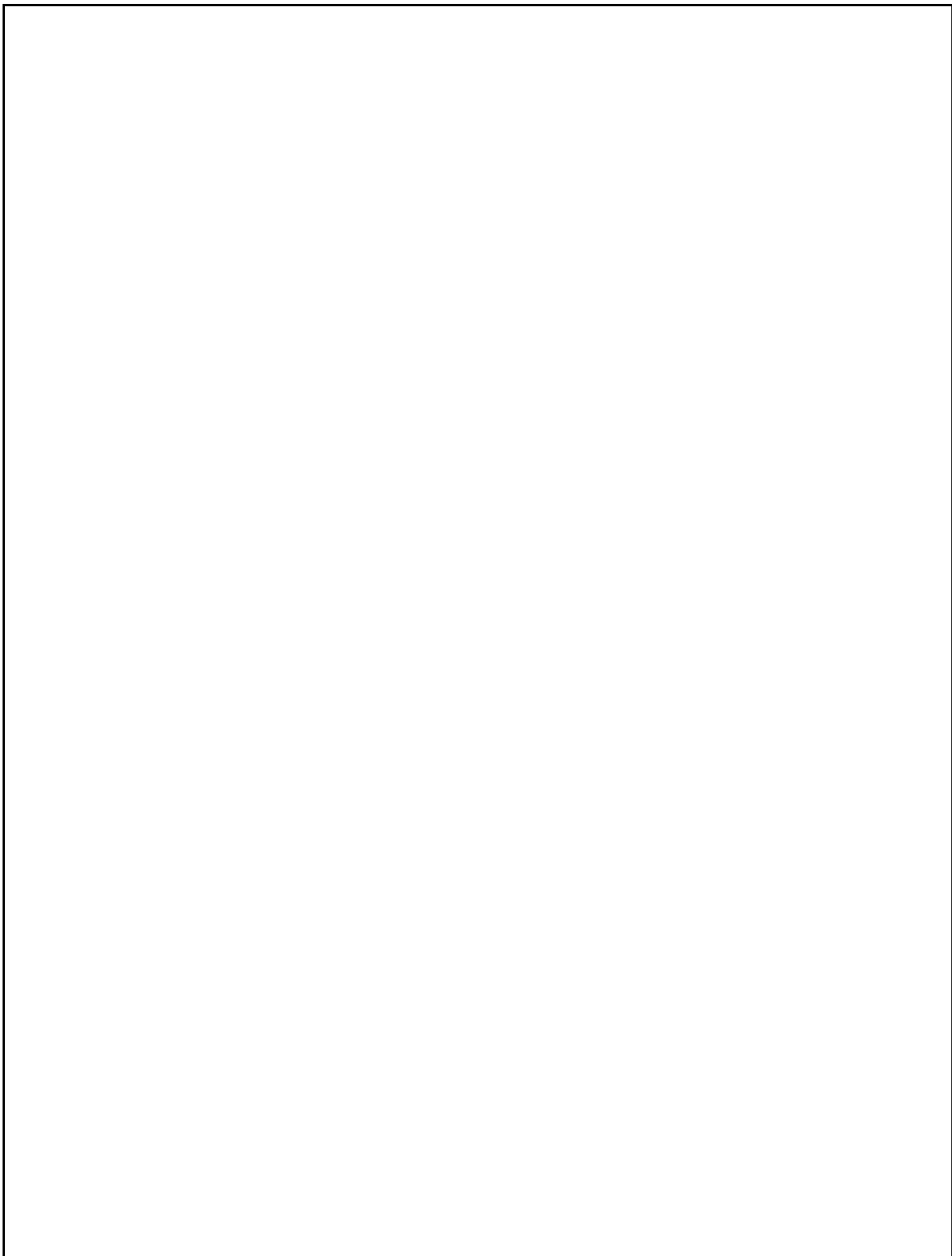
Autor: Ing. Yosvani Naranjo Alarcón.

Tutor(es): Dr. C. José Nicolás Muñoz Gómez.

Ing. Ángel Medina Batista.

Ing. Martha Gutiérrez Herrero.

Moa, 2018



PENSAMIENTO

Las ideas

"[...] Para que una idea triunfe hay que empezar a pensarla bien, hay que predicarla, hay que defenderla, hay que persuadir a mucha gente, y entonces al final la idea triunfa [...]"

"[...] La gran verdad es que las ideas surgen después que los problemas existen [...]"

"[...] Cada idea nueva puede ser un peldaño hacia las más altas cimas en el progreso humano [...]"

Fidel Alejandro Castro Ruz

Vocación

"[...] Hay que luchar por una vocación, por un deseo, sin esperar recompensas de ninguna clase, ni moral ni material [...]"

Fidel Alejandro Castro Ruz

*Estamos siempre conquistando la naturaleza,
Porque Naturaleza es el nombre que tenemos
Para aquellos que hemos conquistados en un sentido.*

C. Lewis.

*Cuando se es joven, se crea
Cuando se es inteligente, se produce.*

José Martí.

*No hay trabajos difíciles a realizar,
Difíciles son los compromisos diarios que realizar...*

Anónimo

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Declaro que soy autor(a) de este trabajo de tesis y que autorizo al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

Firma: _____



Yosvani Naranjo Alarcón
yosvani.naranjo@scoro.minem.cu

Yosvani Naranjo Alarcón autoriza la divulgación del presente trabajo de maestría bajo licencia Creative Commons de tipo **Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada**, se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de las obras y no realice ninguna modificación de ellas. La licencia completa puede consultarse en: 1

Yosvani Naranjo Alarcón autoriza al departamento de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa a distribuir el presente trabajo de tesis en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de materiales didácticos disponible en: <http://geologia.mineria.edu.cu/textuales/tesis>

Yosvani Naranjo Alarcón autoriza al departamento de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa a distribuir el presente trabajo de tesis en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en la biblioteca digital del ISMM disponible en: <http://bibliotecadigital.ismm.edu.cu>

AGRADECIMIENTOS

Agradecer **Dios** por estar en cada espacio y momento de mi vida.

A todas las personas que de una forma u otra han tenido que ver con mi formación profesional, científica y han colaborado en la realización de esta investigación para que salga a la luz.

A mis tutores Dr. C. José Nicolás Muñoz Gómez y al Ing. Ángel Medina Batista que me tomó como hijo adoptivo en las ciencias, al Dr. C. Alain Carballo Peña por sus ayudas incansables y en especial al Ing. Humberto Barrabi Díaz por haberme enseñado a trabajar en los proyectos geológicos cuando era un pollo pelón, recordando la frase que siempre me decía " se puede tropezar, pero no ha dejarse caer en la vida".

A mis compañeros de combate y de trabajo, a la Ing. Zulema Galán, Ing. Rafael Enríquez de Jesús, Ing. David Fernández Counta que durante estos diez años de lucha y de deber han estado a mi lado.

Al personal del laboratorio CIPIMM, en La Habana, a la MSc. Marcela Figueredo Frías y la Msc. Ileana Cabrera Díaz.

En la Empresa Geominera Oriente a la Ing. Martha Gutiérrez Herrero, al Ing. Rubén Ruiz y al Tec. Ángel Valdés.

A todos, les reitero las gracias

DEDICATORIA

A la Revolución que me dio la oportunidad de formarme como Ingeniero, de crear, innovar y hacerme un hombre de bien para la sociedad.

A mis padres, que me enseñaron a ser fuerte en cada momento de la vida y en especial a mi esposa Leisis Escalona y mis hijos Manuel Ángel y Alejandro.

A mis hermanos menores Yordanis y Gilberto por su gran apoyo y amistad por seguir mi ejemplo por esta razón doy lo mejor de mí en cada momento de mi vida a las metas que me trazo.

A todas aquellas personas que compartieron estos momentos de mi vida, los conocimientos y que hicieron de este trabajo una experiencia única.

RESUMEN

Esta investigación se realizó con el objetivo de caracterizar las alteraciones hidrotermales a partir de la composición mineralógica, petrográfica y química de las rocas encajantes portadoras de la mineralización aurífera, con la finalidad de esclarecer el ambiente de formación de las menas auríferas - baríticas. Se tomaron 35 muestras de fragmentos superficiales de una muestra tecnológica, otras 20 muestras de las zonas de alteración y 10 muestras de testigos de perforación a columna (nivel +149 hasta +128). Estas muestras fueron analizadas con técnicas convencionales por difracción de rayos X, microscopía electrónica de barrido con analizador de rayos X (SEM-EDS), microscopía Raman Confocal, análisis Químico y análisis Térmico Diferencial (ATD). Previamente, se realizaron descripciones petrográficas y minerográficas sistemáticas para la caracterización cuantitativa y cualitativa de las alteraciones estudiadas. Fueron identificados dos tipos de alteraciones principales, el primero, relacionado con los procesos de meteorización de la zona de oxidación, caracterizado por óxidos e hidróxidos de hierro (hematita y goethita) como producto de la alteración de los minerales sulfurosos en las rocas silicificadas y baritizadas y el segundo, compuesto por las alteraciones hidrotermales, clasificadas como: silicificación, argílica avanzada, argílica intermedia, argílica propiamente dicha, fílica y propilítica. Estos resultados demuestran que las condiciones de formación del depósito Oro Barita corresponden a condiciones oxidantes con rangos de temperatura de baja a media, presumiblemente entre los 50-270°C, demostrado por las paragénesis o fases mineralógicas presentes.

Palabras claves: alteración hidrotermal, ambiente de formación, mineralización aurífera, Oro Barita.

ABSTRACT

This research was carried out with the objective of characterizing the hydrothermal alterations from the mineralogical, petrographic and chemical composition of the encapsulating rocks carrying the auriferous mineralization, in order to clarify the formation environment of the auriferous - baritic ore. Thirty-five samples of surface fragments of a technological sample were taken, another 20 samples of the zones of alteration and 10 samples of drill core to column (level +149 to +128). These samples were analyzed with conventional techniques by X-ray diffraction, scanning electron microscopy with X-ray analyzer (SEM-EDS), Confocal Raman microscopy, Chemical analysis and Differential Thermal Analysis (DTA). Previously, systematic petrographic and mineralogical descriptions were made for the quantitative and qualitative characterization of the alterations studied. Two main types of alterations were identified, the first, related to the oxidation processes of the oxidation zone, characterized by iron oxides and hydroxides (hematite and goethite) as a result of the alteration of sulphide minerals in silicified and baritized rocks and the second, composed of hydrothermal alterations, classified as: silicification, advanced argillic, intermediate argillic, argillic proper, phyllic and propylitic. These results show that the conditions of formation of the Oro Barita deposit correspond to oxidizing conditions with low to medium temperature ranges, presumably between 50-270°C, demonstrated by the paragenesis or mineralogical phases present.

Key words: hydrothermal alteration, formation environment, gold mineralization, Oro Barita.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I - MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	4
INTRODUCCIÓN	4
1.1. BASES TEÓRICAS.....	5
1.1.1. Las alteraciones hidrotermales.....	5
1.1.2. Procesos de alteración hidrotermal	6
1.1.3. Factores que intervienen en las alteraciones hidrotermales.....	7
1.1.4. Clasificación de las alteraciones hidrotermales	9
1.1.5. Relación de las alteraciones hidrotermales con depósitos minerales.....	11
1.1.6. Relación del control hidrotermal de los fluidos con la tectónica de placa en la formación de depósitos minerales.	13
1.1.7. Antecedentes.....	15
CAPITULO II- CARACTERÍSTICAS ECONÓMICO-GEOGRÁFICAS DE LA REGIÓN Y DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	18
2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.	18
2.1.1. Infraestructura.	18
2.1.2. Características geomorfológicas.	19
2.1.3. Clima, suelos.	19
2.1.4. Vegetación y fauna.....	19
2.1.5. Hidrografía.....	19
2.1.6. Vías de comunicación.....	20
2.1.7. Características económicas.....	20
2.2. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS REGIONALES Y DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	21
2.2.1. Geología.....	21
2.2.2. Magmatismo y volcanismo.	23
2.2.3. Tectónica.	24
CAPÍTULO III- METODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS.	27
INTRODUCCIÓN	27
3.1. TRABAJOS DE GABINETE.....	29
3.2. TRABAJOS DE CAMPO.	29
3.2.1. Caracterización macroscópica y preparación de muestras	29
3.3. ESTUDIOS POR TÉCNICAS CONVENCIONALES UTILIZADAS:.....	30
3.3.1. Estudio petrográfico y mineragráfico.	30
3.3.2. Composición mineralógica de las menas con luz reflejada	30

3.3.3. Análisis mineralógicos	31
3.3.4. Difracción de Rayos -X (DRX)	31
3.3.5. Microscopía electrónica de barrido, con análisis de rayos X (SEM-EDS) ..	32
3.3.6. Microscopía Raman Confocal	32
3.4. TÉCNICAS ANALÍTICAS CONVENCIONALES	33
3.4.1. Análisis químicos (AQ).	33
3.4.2. Análisis térmico diferencial (ATD) y DTG.	33
3.4.3. Análisis Granulométrico (AG).	34
CAPITULO IV - RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	35
INTRODUCCIÓN	35
4.1. CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS.	35
4.1.1. Análisis de fragmentos de rocas superficiales	35
4.1.2. Análisis de los testigos de perforación	36
4.1.3. Análisis Granulométrico (AG).	38
4.1.4. Análisis mineralógicos	39
4.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS PETROGRÁFICO.	39
4.2.1. Petrografía	39
4.2.2. Características petroquímicas de las rocas encajantes del yacimiento.	48
4.3. COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE LAS MENAS.	53
4.4. ANÁLISIS DE FASES A TRAVÉS DE LA DIFRACCIÓN DE RAYOS-X (DRX) Y LA (SEM+EDS).	63
4.4.1. Análisis de roca total	63
4.4.2. Microscopía electrónica de barrido, con análisis de rayos X (SEM-EDS) ..	64
4.4.3. Caracterización de las fases a través del análisis térmico diferencial (ATD).	66
4.5. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LAS ALTERACIONES HIDROTERMALES.	66
4.5.1. Descripción y distribución de minerales de alteración.	67
4.6. TIPOS DE ALTERACIÓN Y ASOCIACIONES MINERALES.	73
4.6.1. Alteración superficial	74
4.6.2. Alteraciones hidrotermales	76
4.7. PARAGÉNESIS MINERAL Y GANGAS ASOCIADAS EN EL YACIMIENTO ORO BARITA.	83
4.7.1. Mineralogía de las menas	83
4.7.2. Mineralogía de ganga	83
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES	90
BIBLIOGRAFIA	91

LISTA DE LAS ABREVIATURAS UTILIZADAS

Abreviatura	Significado	Abreviatura	Significado
(K)	Caolinita	(Cal)	Calcita
(Al)	Alunita	(Fp)	Feldespatos
(Qtz)	Cuarzo	(Pg)	Plagioclasas
(Ser)	Sericita	(Gyp)	Yeso
(Sm)	Esmeclita	(Ep)	Epidota
(Ms)	Muscovita	(Ab)	Albita
(Chl)	Clorita	(Bio)	Biotita
(Óx)	Óxidos	(Dic)	Dickita
(Ja)	Jarosita	(Dsp)	Diásporo
(Hm)	Hematita	(Zeo)	Zeolita
(Gth)	Goethita	(Pent)	Pentlandita
(Ill)	Illita	(Po)	Pirrotina
(Lau)	Laumontita	(En)	Enargita
(Cv)	Covelina	(Mar)	Marcacita
(Py)	Pirita	(Cb)	Carbonato
(Ga)	Galena	(Px)	Piroxeno
(Cpy)	Calcopirita	(Vv)	Vidrio volcánico
(Sph)	Esfalerita	(Pi)	pirargirita
(Bo)	Bornita	(Ten)	Tennantita
(Cc)	Calcosina	(AS)	Alta sulfuración
(Cup)	Cuprita	(BS)	Baja sulfuración
(Ag)	Plata nativa	(S)	Sur
(Au)	Oro nativo	(E)	Este
(Ele)	Electrum	(W)	Oeste
(Mor)	Mordenita	(km)	Kilómetro
(Mt)	Magnetita	(°C ⁻¹)	Grado celsius
(Ilm)	Ilmenita	(mm)	Milimetro
(Ac)	Acantita	(µm)	Nanómetro
(An)	Andesítica	(m)	Metro
(Ba)	Barita	(ha)	Hectárea
(Trd)	Tridimita	(DRX)	Difracción de rayos- X
(Ep)	Epidota	(SEM - EDS)	Microscopía electrónica de barrido con rayos-X
(Å)	Angstrom	(Ru)	Rutilo

ÍNDICE DE FIGURAS

- 1) Figura 1.1. Asociaciones de minerales de alteración común en sistemas hidrotermales. Tomado de Corbett & Leach (1998) y modificado por (Townley B., 2006).
- 2) Figura 1.2. esquema comparativo de la estructura, procesos, tipos de alteración, volátiles liberados, temperaturas, pH, tipos de fluidos y reacciones involucradas en la formación de los depósitos epitermales de baja y alta sulfuración con el esquema de la composición mineralógica de las alteraciones hidrotermales asociadas a la formación de depósitos minerales epitermales, mesotermales y porfídicos, según el pH de las soluciones mineralizantes (modificado y simplificado de Corbett y Leach, 1998). Tomado de (Camprubí et al., 2003).
- 3) Figura. 1.3. Esquema de zonación de alteración en depósito pórfido-epitermal. Tomado de Sillitoe (2010).
- 4) Figura 1.4. Estilos y geometría de los depósitos epitermales. Modificado de (Sillitoe, 1993a) y (Hedenquist et al., 1996) por (González, 2009).
- 5) Figura 1.5. Depósitos de oro y su clasificación según (Robert et al., 1997).
- 6) Figura 2.1. Mapa de ubicación económico – geográfica de la región.
- 7) Figura 3.1. Diagrama de flujo que representa la metodología empleada.
- 8) Figura 3.2. Fotografía del equipo de difracción de rayos-X, marca PANalytical modelo X'PERT-3.
- 9) Figura 4.1. Muestras YN-1.4 de la zona de alteración superficial (Silicificación – Oxidación) rellenando espacios abiertos, cavidades y fracturas.
- 10) Figura 4.2. Muestra totalmente alterada a una alteración argílica avanzada.
- 11) Figura 4.3. Muestras de perforación a columna de diferente profundidad. Pozo P-7.15, P-6.10.
- 12) Figura 4.4. Muestras de perforación a columna de diferente profundidad. Pozo P-7.17, P-7.16.
- 13) Figura 4.5. Muestras mineralógica tomada en la superficie.
- 14) Figura 4.6. Muestra macroscópica de un fragmento de dacita.
- 15) Figura 4.7. Microfotografía de una sección delgada de una muestras petrográfica de una dacita alterada.
- 16) Figura 4.8. Fotografías (a, b) y Microfotografías (1, 2, 3, 4) de secciones delgadas de muestras petrográficas de superficies de una roca andesíticas alterada.
- 17) Figura 4.9. Muestra macroscópica de un fragmento de riolita en la cota +140.00 en el SW de la cantera.

- 18) Figura 4.10. Muestra macroscópica de un fragmento de toba cercana al límite de la cantera.
- 19) Figura 4.11. Microfotografías de secciones delgadas de muestras petrográficas de toba vítrea cuarcificada alteradas.
- 20) Figura 4.12. Muestra macroscópica de un fragmento de toba ignimbrítica cercana al límite de la cantera.
- 21) Figura 4.13. Microfotografía de una sección delgada de una toba ignimbrítica.
- 22) Figura 4.14. Diagrama de clasificación TAS (SiO_2 vs. Total álcalis) para una serie de muestras de rocas extrusivas y su simbología respectiva. Tomado de Le Maitre *et al.*, (1989) y modificado por Middlemost (1994).
- 23) Figura 4.15. Diagrama de variación de SiO_2 vs. K_2O . Se han representado los límites de Middlemost (1994) para los distintos tipos de series calcoalcalinas y para la serie shoshonítica.
- 24) Figura 4.16. Diagrama de clasificación de rocas volcánicas del yacimiento según las proporciones cationicas de $\text{Al-Fe}_{\text{tot}}+\text{Ti-Mg}$ (Rickwood, 1989).
- 25) Figura 4.17. Microfotografía de secciones pulidas documentando las relaciones paragenéticas del yacimiento Oro Barita. a y b) corresponden a microfotografía de la muestra YN-1.2 (2) (muestra superficial).
- 26) Figura 4.18. Microfotografía de secciones pulidas documentando las relaciones paragenéticas de varios evento de alteración/mineralización en el yacimiento Oro Barita. a y b) corresponden a microfotografías de las muestras P-7-17(5); c y d) P-7-17(3), (15.90 m).
- 27) Figura 4.19. Microfotografía de secciones pulidas documentando las relaciones paragenéticas de varios evento de alteración/mineralización en el yacimiento Oro Barita. a, b, c, y d) corresponden a microfotografía de la muestra YN- 1-21(2B) (superficial).
- 28) Figura 4.20. Microfotografía por SEM documentando las relaciones paragenéticas del yacimiento Oro Barita. Las microfotografías corresponden a la muestra YN-1.11 (muestra superficial).
- 29) Figura 4.21. Microfotografía de secciones pulidas documentando las relaciones paragenéticas del yacimiento Oro Barita. a-b) corresponden a microfotografía de la muestra YN- 1. 23 (6) (superficial).
- 30) Figura 4.22. Microfotografía de secciones pulidas documentando las relaciones paragenéticas del yacimiento Oro Barita. a-b) corresponden a microfotografías de la muestra Ht_B-5-3(3) (superficial).
- 31) Figura 4.23. Imágenes de SEM de algunas de las partículas de oro asociadas a pirita y a otros minerales.

- 32) Figura 4.24. Imágenes de SEM y espectros EDS de minerales analizados asociado a la Pirita. Se aprecia su hábito cubico. Nótese las concentraciones de Au/ Ag y Fe como elemento traza.
- 33) Figura 4.25. Veta de caolinitas rellenando una zona de fractura en roca brechosa silicificada y su respectivo gráfico de ATD.
- 34) Figura 4.26. Fotografías más representativas de las zonas de alteración del yacimiento epitermal Oro Barita.

INDICE DE TABLAS

- 1. Tabla 4.1. Composición química de las muestras de la zona de alteración del yacimiento Oro Barita.
- 2. Tabla 4.2. Caracterización de rocas principales según composición en SiO_2 .
- 3. Tabla 4.3. Minerales identificados durante DRX, se muestran los 3 principales picos en Å con las respectivas intensidades.
- 4. Tabla 4.4. Síntesis de las alteraciones analizadas con su respectiva asociación mineralógica en el yacimiento Oro Barita y una breve descripción.
- 5. Tabla 4.5. Principales asociaciones mineralógicas de alteración y su relación con los minerales de mena.
- 6. Tabla 4.6. Principales asociaciones mineralógicas y tipos de alteración para el yacimiento Oro Barita.

INTRODUCCIÓN

En la naturaleza, la gran mayoría de los depósitos minerales metálicos están, de una u otra forma, ligados a procesos hidrotermales. La fuente, composición y características termodinámicas de un fluido hidrotermal pueden ser variables y dependen en gran medida de las características de su fuente, de la distancia de transporte y su modificación durante éste, y de las propiedades de las rocas huéspedes.

Los efectos de los procesos hidrotermales quedan evidenciados en asociaciones de minerales de alteración y en tipos de menas, los que permiten interpretar, dentro de parámetros termodinámicos restringidos, las condiciones de un fluido hidrotermal en el pasado.

Para una interpretación de este tipo es necesaria la clara identificación de las asociaciones de los minerales de alteración y de mena y la secuencia paragenética entre ellas.

Un conocimiento de las asociaciones compatibles/incompatibles, además de las relaciones de contacto/corte, es, muchas veces, la clave para una buena interpretación paragenética, necesaria para la comprensión de la evolución de un fluido hidrotermal en un sistema de alteración dado. La evolución termodinámica de un fluido hidrotermal juega un rol directo sobre la capacidad de transporte/precipitación de metales, por ende, tiene un rol fundamental en la formación de un depósito mineral.

Durante la ejecución de los trabajos de reconocimiento e itinerarios geológicos y el muestreo de trincheras en el campo menífero El Cobre, se lograron los primeros resultados de la presencia de oro, los mismos fueron corroborados por Nikolai - Ushakov. y Barrabi (1986) y Luna (1992). Con los resultados de los análisis de las muestras tomadas en trincheras y en los pozos criollos se realizó la estimación de recursos geológicos, arrojando un valor de 3605,4 Mt de mena con contenido medio de 1,92 g/t de oro y 7,37 g/t de plata (Meriño y Rozhkov, 1984).

El yacimiento Oro Barita forma parte del campo mineral El Cobre compuesto por varios depósitos unidos por una zona mineralizada que es controlada por un sistema de fallas de dirección NW- SE donde la tectónica juega un papel importante en el control de la mineralización, manifestándose en facies de diques y cuerpos subvolcánicos durante el comienzo de la actividad volcánica en el Paleoceno-Eoceno medio. Este período está marcado por fallas profundas de larga duración en el tiempo con dirección latitudinal. Las fallas y el intenso agrietamiento constituyen el canal de ascenso de cuerpos subvolcánicos y soluciones hidrotermales

mineralizadas hacia los horizontes superiores, como se muestran en el campo menífero El Cobre (Cobre Norte, Mina Grande, Gitanilla, Mina Blanca y el depósito Oro Barita al suroeste).

Los enormes precios alcanzados por este precioso metal han centrado la atención de numerosas compañías en el mundo dedicadas a la prospección y exploración de depósitos auríferos. De ahí, la necesidad de incrementar el conocimiento geológico de las manifestaciones minerales asociadas a este metal en nuestro país, con el fin de prospectar futuros depósitos minerales.

Problema: Necesidad de caracterizar las alteraciones hidrotermales del yacimiento Oro Barita, para esclarecer el ambiente de formación de las menas auríferas - baríticas.

Objeto de estudio: Alteraciones hidrotermales de la mineralización aurífera en el yacimiento Oro Barita.

Campo de acción: Las características mineralógicas y petrográficas de las alteraciones hidrotermales de la mineralización aurífera.

Objetivo general: Caracterizar las alteraciones hidrotermales a partir del estudio de la composición mineralógica, petrográfica y química de las rocas encajantes portadoras de la mineralización aurífera.

Hipótesis

Si se realizan estudios petrográficos, mineralógicos y de la composición química de las rocas hidrotermalmente alteradas, entonces se podrán caracterizar las alteraciones hidrotermales que acompañan a la mineralización aurífera – barítica en el yacimiento Oro Barita.

Objetivos específicos

1. Caracterizar petroquímicamente las rocas encajantes del yacimiento.
2. Identificar los tipos de rocas y minerales presentes, así como las gangas.
3. Establecer los tipos de alteración y las paragénesis minerales.
4. Identificar las texturas y estructuras de las rocas alteradas, así como el tamaño y morfología de los granos de oro.
5. Elaborar un mapa esquemático de alteración con su correspondiente perfil de alteración hidrotermal.

Métodos y técnicas

Para lograr el desarrollo de la investigación y los resultados antes mencionados, se deberá emplear y realizar un conjunto de métodos de análisis y síntesis, éstos permiten la comprensión y sistematización de la información geológica, a través de publicaciones e informaciones científicas relacionadas con el desarrollo de las alteraciones hidrotermales y su ambiente de formación, apoyada en el muestreo sistemático de taludes, trincheras y frentes de extracción durante los trabajos de campo y laboratorio.

Se emplean los siguientes métodos y técnicas analíticas tradicionales: descripciones macroscópicas, petrográficas, mineragráficas, análisis químico, difracción de rayos-X, así como la microscopía electrónica de barrido con analizador de rayos-X (SEM-EDS) y microscopía Raman confocal; éstos permitieron la obtención de los resultados a partir del objetivo de caracterizar las alteraciones hidrotermales y del estudio de la composición mineralógica, petrográfica y química de las rocas encajantes portadoras de la mineralización aurífera.

CAPÍTULO I - MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Introducción

En este capítulo se tratarán las Generalidades Teóricas y Conceptuales de las alteraciones hidrotermales y su relación con algunos depósitos minerales, se realiza un análisis de los diferentes aspectos o criterios, que han sido ampliamente estudiados en cuanto al papel que juegan en la generación de depósitos metálicos.

Las alteraciones hidrotermales presentes en varios tipos de sistema de depósitos minerales en Cuba, no han sido estudiadas con profundidad, por lo que es necesario hacer énfasis en cuanto a su formación, ambiente, clasificación, minerales asociados y extensión ya que pueden ser índice geológico para la búsqueda y clasificación de depósitos minerales.

Para la elaboración de éste capítulo fue necesario la revisión bibliográfica de artículos (nacionales e internacionales), de informes geológicos de levantamientos, libros, tesis, revistas científicas, publicaciones especializadas, boletines geológicos y mineros, así como de páginas en Internet y archivos de las empresas mineras. Se puede señalar que la literatura consultada es amplia, por lo que fue necesario seleccionar un volumen de más de 100 fuentes de diferentes temáticas a tratar.

Para el desarrollo de esta investigación, se ha empleado la clasificación de las alteraciones hidrotermales realizadas por varios autores desde la década de los setenta del siglo pasado por Rose y Burt (1979). Esta terminología ha sido utilizada frecuentemente para designar el ambiente de formación y de clasificación sobre los tipos de depósitos minerales incluyendo los depósitos del tipo pórfidos cupríferos (Meyer y Hemley, 1967; Rose, 1970; Lowell y Guilbert, 1970; Gustafson y Hunt, 1975; Bean y Titley, 1981), depósitos tipo skarn (Burt, 1974; Einaudi *et al.*, 1981; Meinert, 1987; Kwak, 1994), depósitos tipo sulfuros masivos o VMS (Riverin y Hodgson, 1980; Franklin *et al.*, 1981; Urabe *et al.*, 1983; Lydon, 1984), depósitos tipo vetítico mesotermiales (Roberts, 1987; Colvine *et al.*, 1988; Groves y Foster, 1991; Mueller y Groves, 1991; Hodgson, 1993), depósitos tipo epitermales y de sistemas geotermiales (Browne y Ellis, 1970; Buchanan, 1981; Heald *et al.*, 1987; Reyes, 1990; Henley, 1991; Sillitoe, 1993; Arribas, 1995). El resultado de estas clasificaciones puede ser útil para interpretar la geometría de los sistemas minerales y proporcionan guías para la búsqueda de mineralización.

1.1. BASES TEÓRICAS.

1.1.1. Las alteraciones hidrotermales

Los primeros acercamientos a la clasificación de la alteración hidrotermal fueron resumidos por Rose y Burt (1979), basándose en la identificación del mineral más importante dentro de la alteración, forma del mineral o de los cambios químicos que sufren durante los procesos de alteración. La clasificación de los minerales de alteración o de las formación de los mismos, sólo son observadas por estudios petrográficos, mineragráficos, apoyados en algunos casos por técnicas analíticas (microscopía electrónica, difracción de rayos-X) que proporciona el acercamiento genético más simple a las alteraciones.

Para clasificar la alteración por los cambios químicos se requiere de un conocimiento de la roca de caja y de los procesos que intervienen en la formación de cada tipo de alteración en la roca. Bajo estas circunstancias, la mineralogía se puede utilizar para documentar gráficamente las condiciones que cambian los componentes químicos o los índices de actividad de éstos componentes (Hemley y Jones, 1964; Rose, 1970; Rose y Burt, 1979; Barton *et al.*, 1991; Beane, 1994; Burt, 1994).

Guilbert & Park (1986) definieron como alteración a cualquier cambio a dentro de la composición mineralógica de una roca a partir de cambios físico-químicos producidos en las rocas por la interacción de soluciones calientes, soluciones acuosas frías y gases calientes.

Por otro lado, las alteraciones hidrotermales abarcan cambios mineralógicos en la textura y composición química de la roca, provocando cambios en los componentes de las rocas al disolver, substituir o recrystalizarse para formar nuevos minerales al precipitarse o cambiar su radiación isotópica, donde la porosidad y la permeabilidad pueden reducir o aumentar, las texturas primarias se transforman en nuevas texturas por substitución o reemplazamiento. Resultando una transformación de la roca alterada en una alteración (Riverin y Hodgson, 1980).

Browne y Simmons (1997) definen la alteración como el resultado de la transformación de la mineralogía original primaria de la roca en una nueva asociación de minerales secundarios que son más estables bajo las condiciones hidrotermales de temperatura, presión y sobre todo de la composición de fluidos. Las reacciones producidas por la interacción del agua caliente, vapor o gas (fluido hidrotermal) con las rocas que cortan, dan lugar a la formación de nuevos minerales primarios o secundarios con diferente composición química, mineralógica y textural con respecto a los minerales originales de las rocas.

Mientras que Corbett y Leach (1998), definen como una alteración hidrotermal al producto de un proceso metasomático, donde la roca sufre un cambio químico,

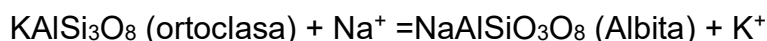
mineralógico y morfológico. Este proceso se debe al intercambio químico ocurrido durante la interacción de un fluido hidrotermal y la roca, éstos cambios producen asociaciones de minerales que permiten obtener información acerca de las condiciones de formación como: composición del fluido hidrotermal, composición de la roca, temperatura, pH, Eh y la relación agua/roca.

Se entiende como proceso de alteración hidrotermal al intercambio químico ocurrido durante la interacción fluido hidrotermal-roca. Esta interacción conlleva a cambios químicos, mineralógicos y texturales en la roca afectada, productos del desequilibrio termodinámico entre ambas fases (roca-fluido), Cueva y Hernández (2016).

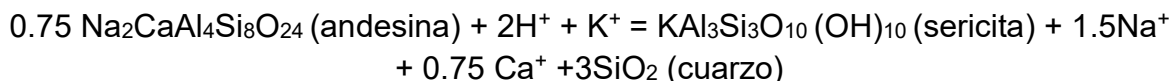
1.1.2. Procesos de alteración hidrotermal

Según Browne y Simmons (1997), los procesos de alteración hidrotermal son cambios mineralógicos ocurridos en el interior de los campos geotermales, producto de la interacción fluido - roca y éstos pueden ser generados por distintos procesos:

- a) **Precipitación directa:** ocurre cuando los minerales precipitan directamente a partir de los fluidos hidrotermales sobresaturados, principalmente en vetas, cavidades, poros y fisuras. Este fenómeno está controlado por la permeabilidad de las rocas y la solubilidad de los minerales en el fluido hidrotermal.
- b) **Lixiviación:** es producida principalmente cuando los fluidos hidrotermales ácidos atacan químicamente la roca generando como resultado la disolución de aquellos minerales que no son estables bajo las condiciones físico-químicas de los fluidos. Debido a este proceso ocurre un incremento de la permeabilidad de las rocas alteradas.
- c) **Reemplazo:** ocurren cuando los minerales primarios no son estables bajo las nuevas condiciones físico-químicas, entonces puede ocurrir un proceso de reemplazo de los minerales de acuerdo con su estabilidad al cambio en las condiciones de temperatura, pH, permeabilidad de éstos por nuevos minerales los cuales serán estables bajo las nuevas condiciones (Browne, 1984).
- d) **Intercambio iónico:** es producido en las reacciones que involucran un intercambio iónico entre los fluidos hidrotermales y el mineral. El intercambio iónico consiste en el intercambio de cationes que se produce en la transformación de ortoclasa a albita:



Otro ejemplo: involucra el consumo de H₂O durante la interacción de los fluidos hidrotermales con minerales silicatados (hidrólisis). Estas reacciones se presentan en la alteración de feldespatos (plagioclasas) a mica potásica:



La ocurrencia de éste y el resto de los procesos mencionados generan cambios en la composición química de las rocas y fluidos hidrotermales. En el caso de éstos últimos, dichos cambios afectan al pH y la actividad de solutos disueltos en la solución (Pirajno, 2009).

1.1.3. Factores que intervienen en las alteraciones hidrotermales

En estudios realizados sobre la mineralogía de las alteraciones hidrotermales en campos geotermales, Browne (1984) estableció que la alteración hidrotermal está controlada por una serie de factores, entre los que se destacan: el tipo de roca, la temperatura del fluido, presión confinante, permeabilidad de la roca, duración, edad de la actividad hidrotermal y la composición del fluido hidrotermal. Donde la composición de los fluidos geotermales y su relación con la alteración hidrotermal se define por la concentración de aniones, cationes y solutos neutros (SiO_2 , NH_3) en la fase líquida; el contenido de gases disueltos en la fase líquida (H_2S , CO_2); la proporción líquido-vapor y el valor de pH de la solución. Dichas características tienen efecto sobre la naturaleza de la alteración hidrotermal ya sea como productos de alteración o como minerales precipitados a partir de los fluidos hidrotermales (Browne, 1984, 1991; Reyes, 1990; Browne y Simmons, 1997).

En estudios realizados por Nicholson (1993) durante la clasificación de distintos tipos de aguas termales, demostró que las características químicas, la ocurrencia, manifestaciones superficiales y el tipo de alteración hidrotermal esta comúnmente asociada a fluidos hidrotermales.

De esta manera se establece una relación entre las características químicas de las aguas geotermales y la mineralogía de alteración. Así generalmente, se tiene que aquellos fluidos hidrotermales de carácter cercanamente neutro (pH entre 6-8), generan una alteración hidrotermal de tipo propilítica y en algunos casos de tipo argílica. Por otro lado, aquellos fluidos de carácter ácido ($\text{pH} < 6$), generan una alteración hidrotermal de tipo argílica a argílica avanzada.

Las asociaciones minerales para cada alteración hidrotermal se ordenan relativas al pH, temperatura y profundidad de formación. En el diagrama (Figura 1.1) se visualizan las posibles alteraciones hidrotermales que pueden encontrarse en un sistema tipo pórfido cuprífero, asumiendo que el fluido inicial, a alta temperatura y de pH neutro-alkalino, produce una alteración potásica en la roca, evolucionando hacia uno de menor temperatura y menor pH produciendo una alteración fílica, argílica y argílica avanzada (Corbett y Leach, 1998); (Townley, 2006).

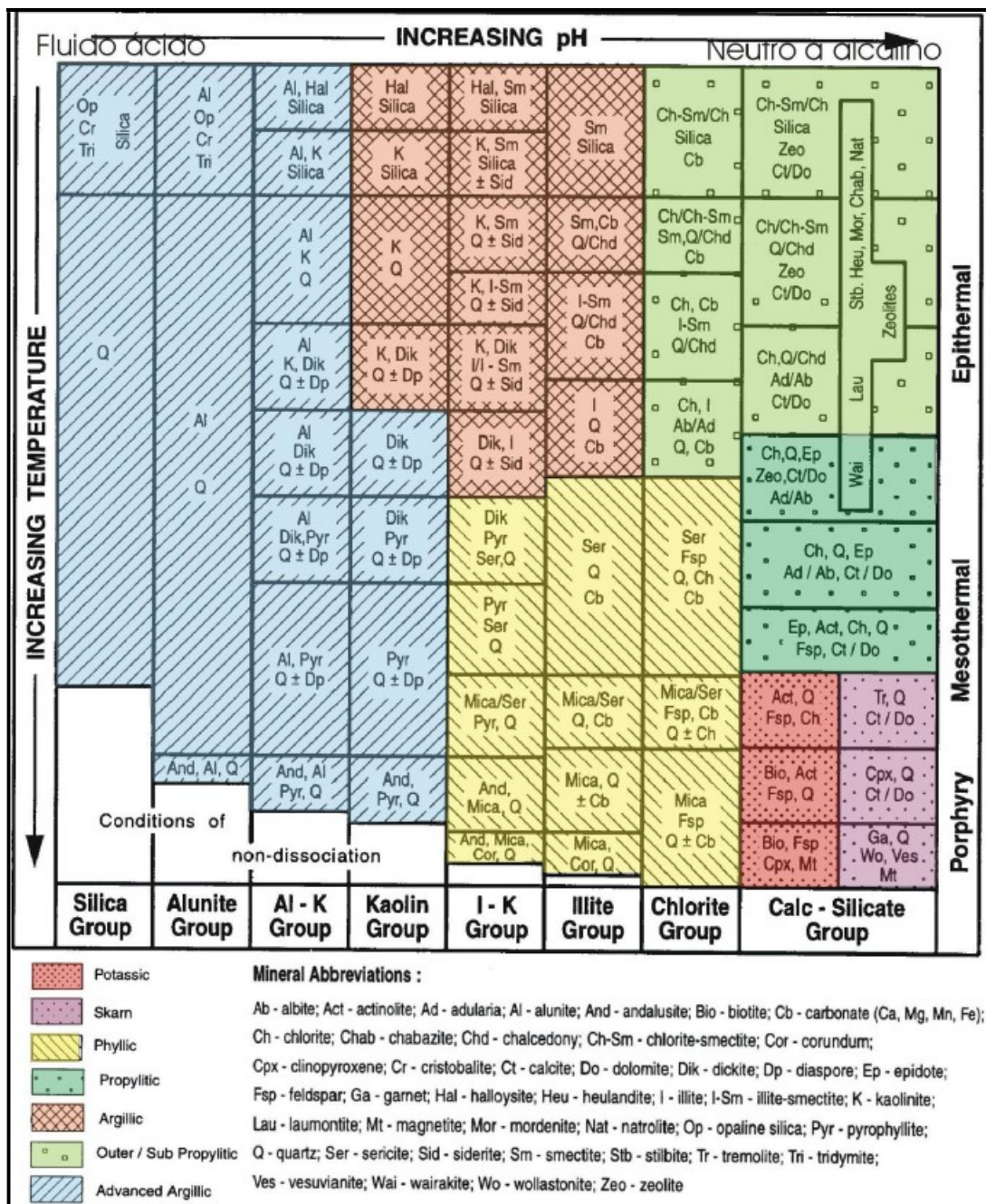


Figura 1.1. Asociaciones de minerales de alteración común en sistemas hidrotermales. Tomado de Corbett & Leach (1998) y modificado por (Townley, 2006).

1.1.4. Clasificación de las alteraciones hidrotermales

Meyer y Hemley (1967) clasificaron las alteraciones hidrotermales en los siguientes tipos: propilítica, argílica intermedia, argílica avanzada, sericítica y potásica.

❖ **Propilítica:** presencia de epidota y/o clorita y ausencia de un apreciable metasomatismo catiónico o lixiviación de álcalis o tierras alcalinas; H_2O , CO_2 y S que pueden agregarse a la roca, presentan albita, calcita y pirita. Este tipo de alteración representa un grado bajo de hidrólisis de los minerales de las rocas y por lo mismo su posición en zonas alteradas tiende a ser marginal.

❖ **Argílica Intermedia:** presencia de caolinita, montmorillonita, smectita o arcillas amorfas, principalmente reemplazando a plagioclasas; puede haber sericita acompañando a las arcillas; el feldespato potásico de las rocas puede estar fresco o argilizado. Hay una significativa lixiviación de Ca, Na y Mg de las rocas. La alteración argílica intermedia representa un grado más alto de hidrólisis relativo a la alteración propilítica; ejemplo (hidrólisis, lixiviación de álcalis y tierras alcalinas, K, Na, Ca, Mg), caolinita, montmorillonita, muscovita, calcita.

❖ **Sericítica o cuarzo-sericítica:** ambos feldespatos (plagioclasas y feldespato potásico) transformados a sericita y cuarzo, con cantidades menores de caolinita. Normalmente los minerales máfico también están completamente destruidos en este tipo de alteración.

❖ **Argílica avanzada:** gran parte de los minerales de las rocas están transformadas a dickita, caolinita, pirofilita, diásporo, alunita y cuarzo. Este tipo de alteración representa un ataque hidrolítico extremo de las rocas en que se rompen los fuertes enlaces del aluminio en los silicatos originando sulfato de Al (alunita) y óxidos de Al (diásporo). En casos extremos la roca puede ser transformada a una masa de sílice oquerosa residual ("vuggy silica" en inglés).

❖ **Potásica:** alteración de plagioclasas y minerales máficos a feldespato potásico y/o biotita. Esta alteración corresponde a un intercambio catiónico (cambio de base) con la adición de K a las rocas. A diferencia de las anteriores este tipo de alteración no implica hidrólisis y ocurre en condiciones de pH neutro o alcalino a altas temperaturas en el rango $350^{\circ}C$ - $550^{\circ}C$. Por esta razón, frecuentemente se refiere a la alteración potásica como tardimagmática y se presenta en la porción central o núcleo de zonas alteradas ligadas al emplazamiento de plutones intrusivos.

Otras clasificaciones:

❖ **Alteración Propilítica:** Corresponde a la asociación mineralógica clorita, epidota, calcita, con cantidades subordinadas de actinolita y magnetita (Sillitoe, 2000).

❖ **Alteración Potásica Cálctica (K-Ca):** Lang *et al.* (1995) la definen como el producto de la asociación o mezcla entre las alteraciones potásica y cáctica, las cuales en este caso no pueden ser identificadas de manera independiente.

Resumen de los tipos de alteraciones según Meyer y Hemley (1967) y Reed (1997):

1. **Propilítica** (hidrólisis, hidratación, carbonatación) epidota, clorita, albita, carbonatos, montmorillonita.
2. **Potásica** (metasomatismo de K⁺, hidrólisis) feldespato K, biotita.
3. **Filica (sericítica)** (hidrólisis, lixiviación de tierras alcalinas; Ca, Mg), muscovita (sericita), cuarzo (pirita, caolinita).
4. **Argílica** (hidrólisis, lixiviación de álcalis y tierras alcalinas, K, Na, Ca, Mg), caolinita, montmorillonita, muscovita, calcita.
5. **Argílica avanzada** (hidrólisis, lixiviación de álcalis y tierras alcalinas, K, Na, Ca, Mg), caolinita, dickita, pirofilita, muscovita, alunita, diásporo.
6. **Sodico-cáctica** (cambio de base, hidrólisis) albita, epidota, actinolita, clorita.
7. **Skarn** (silicificación, hidratación, metasomatismo alcalino y de tierras alcalinas), anhidros: granate, clinopiroxeno, wollastonita, clorita, tremolita-actinolita, epidota, carbonatos.
8. **Greisen** (hidrólisis, lixiviación de álcalis y tierras alcalinas, K, Na, Ca, Mg, adición de flúor), muscovita, topacio, fluorita, turmalina, cuarzo, feldespatos. Se asocia a facies neumatolíticas de rocas graníticas y ocurre a temperaturas mayores de 250°C, generalmente en las porciones apicales o cúpulas de batolitos graníticos, donde se atribuye a la acumulación de volátiles provenientes del magma o por incorporación de fluidos provenientes de la deshidratación de las rocas instruidas.
9. **Carbonatación** (adición de CO₂) constituida por la presencia de carbonatos (calcita, dolomita, ankerita, siderita, sericita, albita). Los carbonatos se encuentran en un amplio rango de pH y de temperatura y se asocian con caolín, illita, clorita y fases calco-silicatadas. Una zonación de minerales carbonatados que se correlaciona con el aumento de pH se encuentra en muchos sistemas hidrotermales. Carbonatos de Fe-Mn (siderita, rodocrosita) coexisten con caolín y arcillas del grupo de la illita, mientras que carbonatos de Ca-Mn-Mg-Fe mezclados (rodocrosita- ankerita-kutnahorita-dolomita) coexisten con arcillas del grupo de la illita y cloríticas y los carbonatos de Ca-Mg (calcita-dolomita) coexisten con clorita-minerales calco-silicatados. Esta zonación se interpreta como el reflejo de la decreciente movilidad del Fe, Mn y Mg al aumentar progresivamente el pH del fluido. Los carbonatos se presentan típicamente en todos los niveles de sistemas hidrotermales, desde la superficie hasta ambientes de tipo pórfido o skarn (Meyer y Hemley, 1967).

10. **Silicificación** (adición de sílice, lixiviación de álcalis, lixiviación de Al), cuarzo, calcedonia, jaspe. Estos son los únicos minerales estables en forma significativa en fluidos de pH bajo ($< \text{pH } 2$), donde la sílice opalina, cristobalita y tridimita ocurren en ambiente superficial de un sistema hidrotermal a temperaturas menores de 100°C , donde el cuarzo es el mineral principal a mayores temperaturas. A pH más altos se forma sílice amorfa con la misma temperatura. El cuarzo está siempre presente prácticamente a temperatura mayor de 100°C , pero se puede formar sílice amorfa de un fluido a 200°C si éste se enfría rápidamente. La calcedonia generalmente se forma en el rango $100^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$ (Stoffregen, 1987).

1.1.5. Relación de las alteraciones hidrotermales con depósitos minerales.

Para establecer las relaciones de las alteraciones hidrotermales con depósitos minerales hay que mencionar los sistemas epitermales, VMS y los porfíricos como los depósitos más importantes y comunes a nivel mundial, éstos han sido los mayores portadores de fuentes de minerales preciosos y metales base surgidos a partir de grandes zonas con desarrollo de las alteraciones hidrotermales, reflejando con mayor magnitud y variedad los ambientes geológicos, asociaciones litológicas y estructuras tectónicas. La mayoría de estos depósitos son del Cenozoico y se encuentran preferentemente a lo largo del cinturón del Pacífico, cubriendo áreas de escala muy variable desde $<10 \text{ km}^2$ hasta $>100 \text{ km}^2$, Simmons Stuart F. et al. (2005).

En estudios realizados en la década de los 90 se demostró que los depósitos epitermales ocurren en sitios muy localizados donde los fluidos ascendentes cambian rápidamente su composición dentro de un kilómetro o muy cerca de la superficie. En la actualidad se sabe que estos cambios son causados por la ebullición, que es el proceso que más favorece la precipitación de oro a partir de complejos biosulfurados. La ebullición y el enfriamiento rápido actuando conjuntamente provocan la precipitación de sílice, adularia y calcita hojosa y la formación de vapor - agua caliente que crea alteración argílica avanzada según Sillitoe (1993) y Hedenquist et al. (2000).

Por su parte Berger y Henley (1989) propusieron el término caolinita-alunita en sustitución de ácido-sulfato para destacar los minerales de alteración predominante en los fluidos hipogénicos oxidados y de acidez temprana.

Camprubí *et al.* (2003) hace una comparación en un perfil de alteración hidrotermal entre depósitos del tipo epitermal y los porfíricos de Cu, Au, Mo con las alteraciones hidrotermales que lo caracteriza con respecto al comportamiento de las temperaturas, pH, profundidad de formación, tipos de fluidos y el grado de acidez en la roca de caja

Sillitoe (2010) propuso un esquema de alteración en depósito pórfido cuprífero - epitermal (Figura 1.3), donde las alteraciones hidrotermales presentan una zonación espacial asociada. Desde la base al techo, se encuentran las alteraciones calcosódicas-potásicas, clorita-sericíticas, fílicas y argílica avanzadas y en las zonas más distales se encontrarían las alteraciones cloríticas y propilíticas.

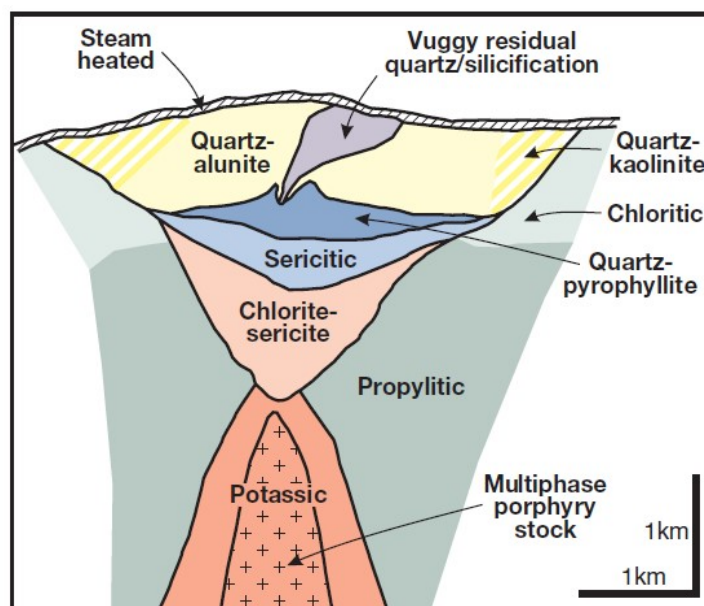


Figura. 1.3. Esquema de zonación de alteración en depósito Pórfido - epitermal. Tomado de Sillitoe (2010).

1.1.6. Relación del control hidrotermal de los fluidos con la tectónica de placa en la formación de depósitos minerales.

Los sistemas hidrotermales están frecuentemente relacionados con magmatismo calco-alcálido a alcalino, en ambientes de arcos volcánicos de márgenes convergentes, en intraarco, en trasarco y en ambiente de rift post-colisional (Simmons Stuart F. et al., 2005).

Las estructuras juegan un papel considerable en los depósitos minerales (Figura 1.4), las fallas y/o fracturas, brechas y porosidad producidas por procesos geológicos anteriores o contemporáneos al hidrotermalismo, serán los conductos necesarios para que los fluidos mineralizantes sean fácilmente transportados, formando vetas, stockworks, disseminaciones y vetilleo, principalmente, favoreciendo a procesos de recarga de agua meteórica (fría) que entra al ciclo convectivo hidrotermal (White y J.W., 1995).

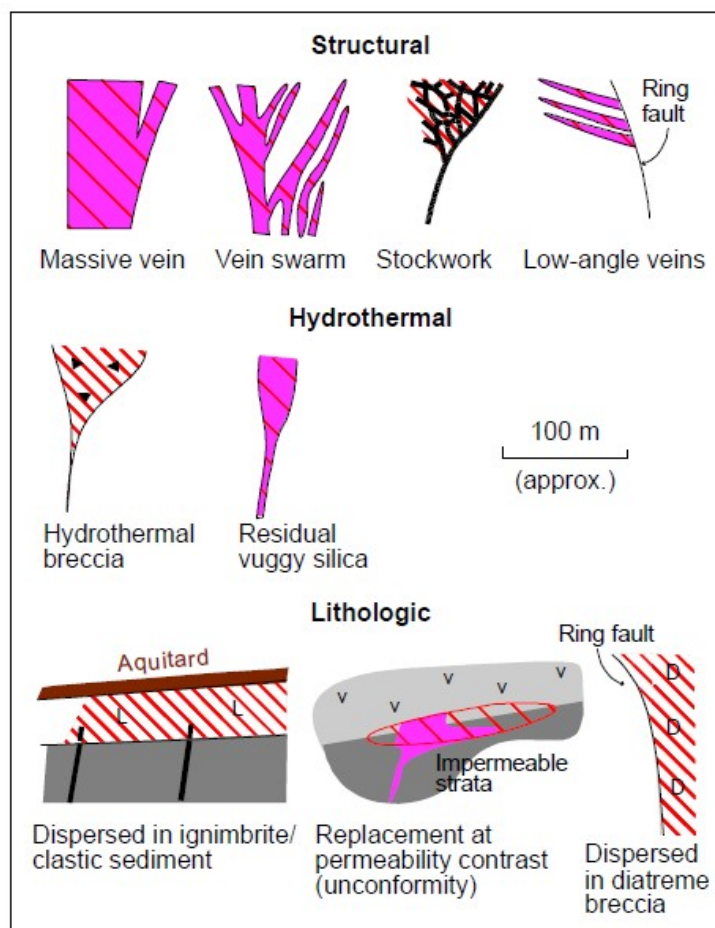


Figura 1.4. Estilos y geometría de los depósitos epitermales, ilustran la influencia estructural, hidrotermal y permeabilidad litológica. Modificado de (Sillitoe, 1993a) y (Hedenquist *et al.*, 1996) por González (2009).

La formación de la alunita es el resultado de la alteración de rocas feldespáticas, químicamente involucra la introducción de S y H₂O y la remoción de SiO₂, Na, Ca, Mg, Fe; esta alteración puede ser hipogénica o supergénica, suele vincularse a depósitos de Au “ácido sulfato” y generalmente está asociada a rocas volcánicas intermedias – ácidas (Milton, 2013).

En estudios realizados sobre metalogenia en Argentina, se describe que las asociaciones de minerales en la fase de alteración argílica intermedia (esmectita, illita, caolinita, halloysita), silíceo (calcedonia), carbonática con menor proporción potásica en fase adularia, son producidas por fluidos hidrotermales de temperaturas bajas a intermedias (100 - 200°C) y pH bajo (Williams, 2010).

Según la clasificación de Robert *et al.* (1997) de los yacimientos de oro, donde describen en 16 tipos de depósitos de oro por el ambiente de formación, profundidad, minerales principales, rocas asociadas y el tipo de alteración hidrotermal (Figura 1.5).

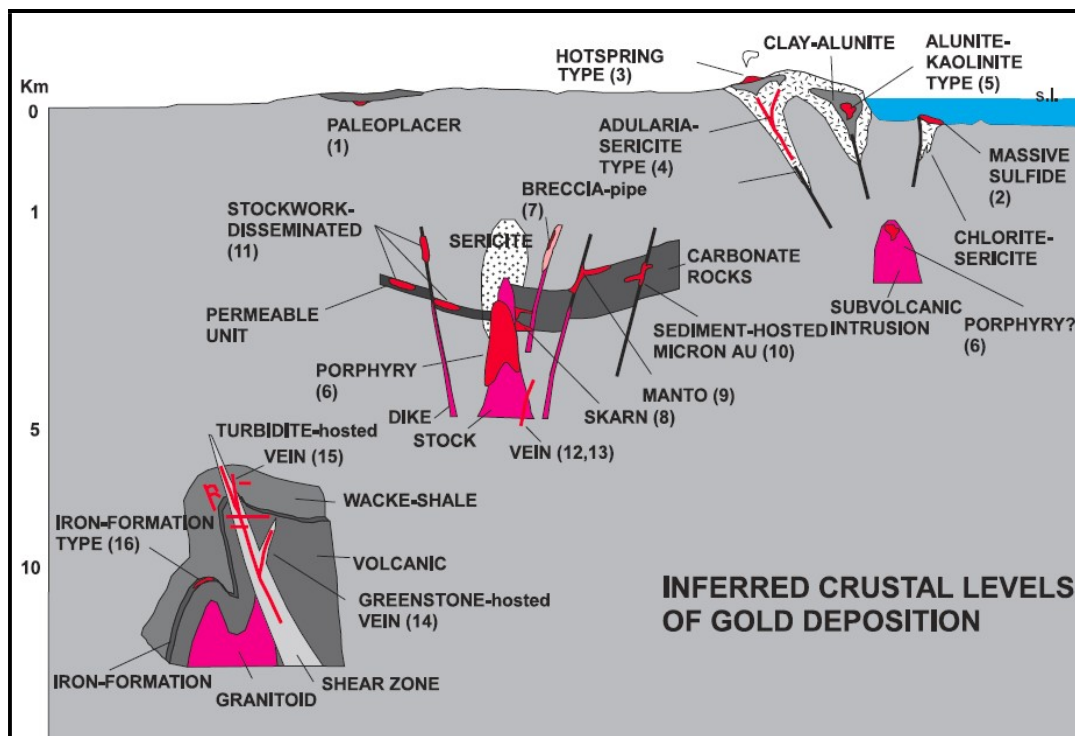


Figura 1.5. Depósitos de oro y su clasificación según (Robert *et al.*, 1997).

1.1.7. Antecedentes.

En el año 1982 el depósito Oro Barita ha sido estudiado con trabajos que van encaminados a los estadios de prospección hasta la exploración detallada los cuales concluyeron en el año 2001. La descripción geológica más detallada de encuentra en el informe de búsqueda y levantamiento a escala 1:10 000 por Bogdanov (1963), donde se describen las estructuras de los cuerpos minerales, así como la composición petrográfica, mineralógica y química, estos trabajos permitieron realizar una subdivisión más detallada de las rocas piroclásticas.

El campo menífero El Cobre está formado por rocas vulcanógenas-sedimentarias del Paleógeno (miembro Hongolosongo) cortada por los cuerpos subvolcánicos andesíticos, diques y dioritas del Eoceno medio, la mineralización es controlada por la tectónica disyuntiva localizándose en las cercanías de los cuerpos subvolcánicos de composición andesítica a lo largo de los contactos de los diques de composición diabásica y andesítica (Gaev y Guriev, 1974).

El yacimiento El Cobre se reconoce como una manifestación mineral de menas diseminadas y de vetillas diseminadas en las zonas tectónicamente debilitadas y de dislocaciones. Este yacimiento representa el típico de los yacimientos filoneanos con la localización de la mineralización en las cavidades abiertas de las fallas tectónicas

y las zonas de trituración de veta enlazada (Gaev y Guriev, 1974). Estas acotaciones también fueron expresadas antes por geólogos norteamericanos (Emerson, 1918), el cual vincula la formación del yacimiento al brechamiento ocurrido a través de la falla El Cobre, condicionada por un evento intrusivo de andesitas, donde la mineralización aprovechó los espacios vacíos que posteriormente son rellenados por vetas de cuarzo con sulfuros y son desplazados por eventos tectónicos, lo que evidencia el carácter epigenético de la mineralización, la cual es sin duda alguna postvolcánica, vinculada a una actividad hidrotermal ocurrida probablemente en el Eoceno superior (Zikin y Larionov, 1968) y Ariosa (1990).

La mineralización del yacimiento, de forma general, está vinculada a la falla El Cobre que se comporta como un sistema abierto, por donde ascendieron las soluciones hidrotermales tardías rellenando las fisuras en vetas y filones de cuarzo con sulfuro que presentan textura en forma de drusas y en los bordes de los cuerpos minerales se observan las texturas de sílice oquerosa tipo vuggy, la mineralización principal de esta falla es pirítico-calcopirítica vinculada con la mineralización de Cu-Au-Ag, mientras que la presencia de Zn y Pb es un subproducto que aparece fundamentalmente en los flancos del yacimiento, relacionada con fallas de segundo orden que desplazan a la falla El Cobre (de menas impregnadas) y forman finos lentes entre los estratos de las ignimbritas (Cazañas y Melgarejo, 1998).

Desde el punto de vista estratigráfico la presencia de rocas piroclásticas e ignimbríticas en todo el campo mineral El Cobre ha sido establecida durante los trabajos de levantamiento geológico de Grechanik y Norman (1970), Bogdanov (1963), Izquierdo *et al.* (1991) y Luna (1992), que no han sido tomados en cuenta en trabajos anteriores para definir el ambiente de formación del depósito y que tienen sin dudas gran relevancia, ya que las facies presentes denotan una formación en condiciones subaéreas a litorales someras y no de condiciones submarinas, las mismas están presentes en todo el corte del miembro Hongolosongo.

Durante la ejecución de los trabajos de reconocimiento e itinerarios geológicos y de muestreo de trincheras en el campo menífero El Cobre, se lograron los primeros resultados de la presencia de oro, los mismos fueron corroborados por Nikolai - Ushakov y Barrabi (1986) y Luna (1992). Con los resultados de muestras en trincheras y los pozos criollos se realizó una estimación de recursos geológicos, arrojando un valor de 3605,4 Mt de mena con contenido medio de 1,92 g/t de oro y 7,37 g/t de plata (Meriño y Rozhkov, 1984).

En trabajos geológicos realizados por Luna *et al.* (1992) en el campo mineral El Cobre, se hace alusión a tres zonas de alteraciones, clasificándolas en: zona cuarzo – sericítica, cuarzo y sericita con o sin clorita; la segunda en las zonas de transición (cuarzo, sericita, clorita, minerales arcillosos e hidromicáceos, minerales

microfélsicos (cuarzo, feldespato, carbonato, yeso y anhidrita)) y por ultimo en la zona de argilitización (presencia de minerales arcillosos e hidromicáceos, presencia de yeso y anhidrita, óxidos e hidróxidos de Fe y de carbonatos).

Del 1994 al 1996 la A. E. Geominera S. A. Joutel Resources LTD, concluyó la fase de prospección de oro en el depósito Oro Barita, realizando un contorno completo con trincheras y pozos de perforación (1859,0 m) la mineralización de oro en profundidad.

En los trabajos de exploración detallada dirigidos por Luna (2001), se perforaron 7183 m, con el resultado de éstos, se realizó la estimación de los recursos geológicos del yacimiento Oro Barita con 4098.6 Mt de mena con un contenido medio de oro de 1,73 g/t y 7,10 g/t de plata. Llegando a ejecutar un estudio tecnológico y de prefactibilidad económica.

CAPITULO II- CARACTERÍSTICAS ECONÓMICO-GEOGRÁFICAS DE LA REGIÓN Y DEL ÁREA DE ESTUDIO.

2.1. Ubicación geográfica.

El área de estudio está localizada en la región El Cobre en el extremo centro - oriental de la cordillera de la Sierra Maestra, a 22 km de la ciudad de Santiago de Cuba, limita al norte con el municipio San Luís y al sur con el municipio Guamá, al este con el consejo popular Agüero - Mar Verde y al oeste con el consejo popular Dos Palmas (Figura 2.1).

El yacimiento Oro Barita se ubica en la hoja Cartográfica No 5076-III-C-2 de Geocuba escala 1:10 000, El Cobre, en el sistema de coordenadas Lambert, Cuba Sur, perteneciente al municipio Santiago de Cuba y ocupa un área total de 0.11477 km² (11.477 ha).

Vértices	Coordenadas	
	X	Y
1	591533.26	154887.72
2	591926.99	154887.72
3	591926.99	154596.22
4	591533.26	154596.22
5	591533.26	154887.72

2.1.1. Infraestructura.

La región cuenta con una población de 11964 habitantes, en el área urbana viven cerca de 9751 pobladores que representa el 82,0 %, mientras que la población rural asciende a 2213 habitantes para un 18,0 %. Los asentamientos rurales más importantes son El Pajuil, al noreste, La Caridad al norte y El Turquino al oeste con una población total de 250 habitantes, la cual se encuentra dispersa. El poblado El Cobre cuenta con servicio de salud pública gratuito, tiene 23 consultorios del médico de la familia, policlínico, servicio para urgencias, clínica estomatológica, un hogar materno y el hospital Ambrosio Grillo Portuondo que presta servicios como hospital docente y clínico quirúrgico.

2.1.2. Características geomorfológicas.

El relieve es montañoso y ondulado, rodeado de alturas bajas que oscilan entre 600 - 800 y 400 m sobre el nivel del mar, el valle se encuentra situado entre los 100 y 400 m sobre el nivel del mar. Destacando la Sierra del Cobre, perteneciente a la cordillera montañosa Sierra Maestra.

2.1.3. Clima, suelos.

El clima de la zona es tropical - húmedo con temperaturas entre 15°C - 35°C. El régimen de lluvias es irregular, con dos temporadas bien definidas entre los meses de mayo-junio y septiembre-octubre mientras que la seca: se extiende desde el mes de diciembre hasta marzo, la media anual de precipitación es de 1400 mm. Los suelos son fundamentalmente sialíticos y fersialíticos, debido a la alteración de rocas volcánicas y volcánicas-sedimentarias que se encuentran en el lugar.

Existe un suelo poco potente y de color pardo, su composición textural limosa a limoarcillosa, el cual ha experimentado la influencia de la actividad minera y la tala indiscriminada de árboles. En la actualidad los suelos son pobres y dan asiento a pastos y matorrales con aislados árboles y zonas estériles con afloramientos de rocas.

2.1.4. Vegetación y fauna.

La vegetación local es poco abundante, la mayor parte está constituida por matorrales y pastos con aislados parches de vegetación más densa asociada a las elevaciones montañosas o a los bordes de corrientes de agua. Hay diversidad de árboles frutales pero predomina el mango, anoncillo, guásimas y palmas, dentro de los arbustos se destaca el marabú. La fauna de la zona está representada por aves, reptiles, moluscos, anfibios, mamíferos (murciélagos y jutias) de forma general.

2.1.5. Hidrografía.

Existen varias corrientes fluviales de curso muy corto con gastos poco significativos. La corriente fluvial más importante es el río El Cobre con gastos estimados de 30 - 60 m³ por hora y cruza el poblado dividiéndolo en dos. Las corrientes superficiales del río El Cobre nacen en la Sierra de Puerto Pelado y desembocan en la bahía de Santiago de Cuba con una longitud de 18.0 km, en su curso inferior se encuentra el embalse Paradas, el cual sirve de fuente de abasto a una parte de la población de Santiago de Cuba. El suministro de agua potable se obtiene del acueducto que suministra el agua a Santiago de Cuba y se realiza por tres vías fundamentales: agua tratada y potabilizada en planta y suministrada por gravedad desde ríos, manantiales y pozos.

2.1.6. Vías de comunicación.

La vía principal de acceso al área es la carretera central, que va desde la ciudad de Santiago de Cuba a unos 22 km al este del sector, hasta el municipio Palma Soriano. El poblado El Cobre pertenece al municipio Santiago de Cuba, siendo Santiago la segunda ciudad más importante del país con una gran infraestructura económica y la existencia de un puerto marítimo, terminal ferroviaria y un aeropuerto internacional. También existe una red de caminos en buen estado desde el poblado El Cobre hasta el área de estudio. La energía eléctrica del poblado El Cobre está conectado a la red nacional

2.1.7. Características económicas.

La población de El Cobre tiene una tradición minera, parte de su fuerza laboral se empleaba en la actividad minera paralizada en el año 2001 y activada nuevamente en diciembre de 2008 con la minería del oro. En estos momentos se construyen dos hoteles cuatro estrellas y la entrada de nuevas compañías mineras generará nuevos empleos para el territorio.

Las principales fuentes de empleo en el poblado son: la minería, agricultura, servicios, salud y la fábrica de pienso; cuenta con 58 centros laborales de ellos 44 de carácter económico; otros centros e instituciones como casa de cultura, unidades de comercio y gastronomía, ganaderías, UBPC, CPA, UEB, trabajadores sociales, sala de computación, sala de videos, cine, funeraria, acueducto, INDER, acopio, oficina de ETECSA, farmacia, librería, registro civil, banco, cádeca, peluquería y barbería y otros .

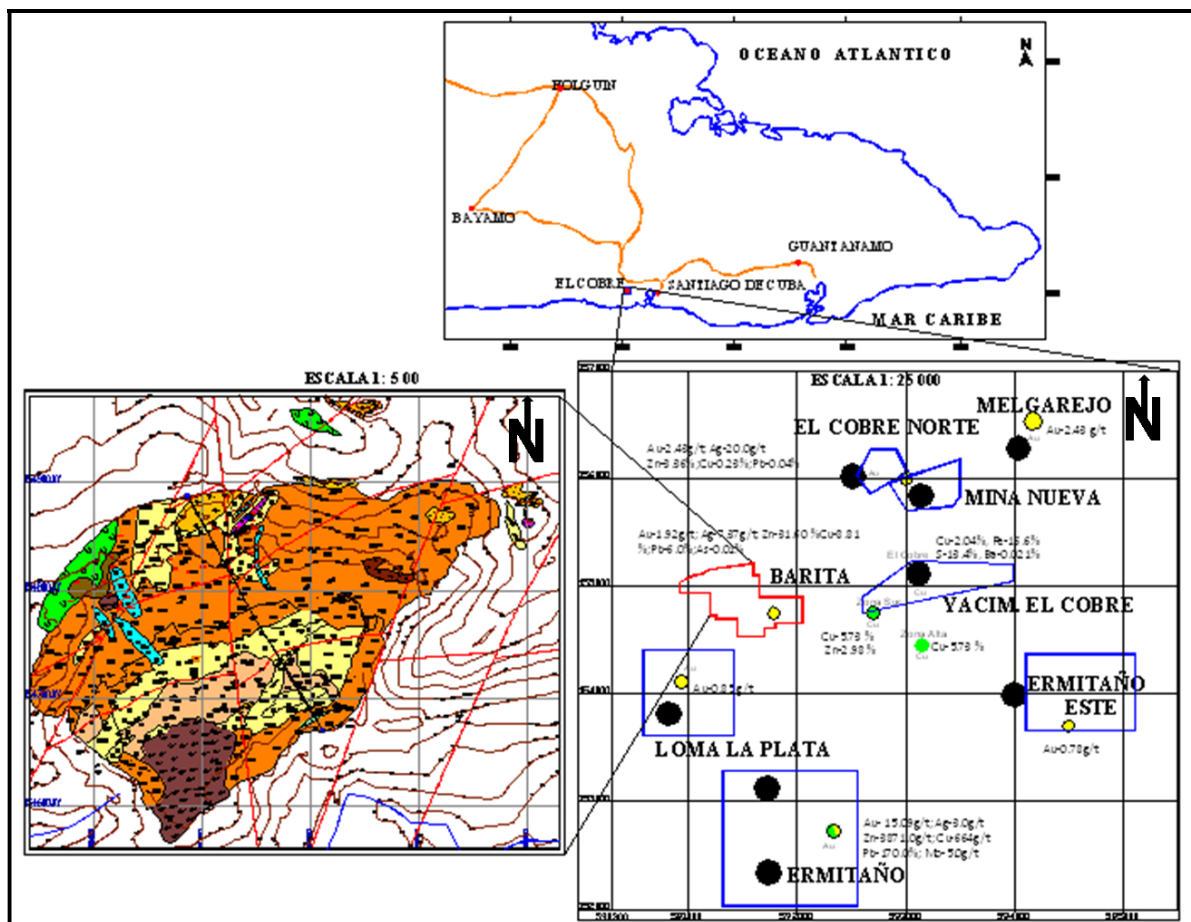


Figura 2.1. Mapa de ubicación económico – geográfica de la región.

2.2. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS REGIONALES Y DEL ÁREA DE ESTUDIO.

2.2.1. Geología.

La zona de estudio ocupa la parte central del arco volcánico Paleógeno de la Sierra Maestra que se ubica a todo lo largo de la costa norte del mar Caribe.

El yacimiento Oro Barita, situado al NNW de la ciudad de Santiago de Cuba, en las mediaciones de la localidad de El Cobre, se desarrolla en rocas volcánógeno - sedimentarias fuertemente afectadas por la tectónica. Esta secuencia pertenece al Grupo El Cobre, del Paleoceno inferior al Eoceno superior. Las mismas están compuestas por aglomerados tobáceos, tobas, ignimbritas y cuerpos subordinados de lavas y lavabrechas andesíticas y cortadas por cuerpos subvolcánicos andesíticos, a veces con tendencias dacíticas, abundando los diques de porfiritas andesíticas y andesito – dacito – diabásicas (Anexo Gráfico.1). En esta secuencia, los aglomerados y conglomerados tobáceos son las rocas más abundantes, siendo

las rocas brechosas y fragmentarias cuarcificadas y alteradas las portadoras de la mineralización.

En la región se desarrolla el arco volcánico Paleógeno, estando presente numerosas estructuras volcano - tectónicas, cuerpos intrusivos y subvolcánicos, surcada a su vez por fallas de rumbo NW y NE, siendo también de gran importancia las fallas de rumbo sublatitudinal, entre las cuales figura la falla El Cobre, a la cual está asociada al yacimiento Oro Barita. Es una zona de frecuente actividad sísmica, su origen se relaciona a la zona sismogeneradora Bartlet-Caimán ubicada frente a la costa sur de la Sierra Maestra y de la ciudad de Santiago de Cuba.

La geología está representada por secuencias de rocas volcánicas que pertenecen al Grupo El Cobre de edad Paleoceno-Eoceno medio y a las rocas magmáticas intrusivas y subvolcánicas del Eoceno que las intruyen, vinculadas al arco de Islas volcánicas del Paleógeno.

El esquema estratigráfico de la región es tomado del levantamiento geológico realizado a escala 1: 50 000 por Grechanik y Norman (1970) ya que es el más detallado que se ha realizado hasta el momento.

Litológicamente se describen fundamentalmente las rocas pertenecientes a la Fm. El Caney (P_2^{2a} ecy); Hongolosongo medio (P_1^{2+3} Hg) y Yarayabo superior (P_2^2 Yn) pertenecientes al grupo El Cobre (P_1^1 - P_2^{2a} ec), según Grechanik y Norman (1970). Los símbolos de las edades han sido actualizados por la tabla de tiempo geológico para Cuba, según el IGP (2002).

Las rocas predominantes en el área pertenecen a las secuencias inferior, media y superior del miembro Hongolosongo de edad Paleoceno-Eoceno medio, están representadas por rocas medias y ácidas (andesitas hasta riolitas) destacándose tobas andesíticas de diferentes granulometrías hasta aglomeradas, brechas volcánicas, mantos de lavas andesíticas y dacíticas, tobas, areniscas, calizas e ignimbritas. El buzamiento general es noroeste de 330° , con un ángulo de inclinación desde 0° - 40° .

Se destacan dos tipos de formaciones magmáticas: intrusivas y volcánicas. A las formaciones volcánicas se refieren stock, capas intrusivas, neks y cuerpos en forma de diques, la composición fundamental es andesítica, andesito-dacítica y dacíticas.

Miembro medio Hongolosongo (P_1 - P_2^{1+2} Hg). Posee el mayor desarrollo en la región predominando las vulcanitas de composición ácida, así como las rocas volcánicas de composición media-ácida (andesitas hasta riolitas) destacándose tobas andesíticas de diferente granulometría hasta aglomerados, brechas volcánicas, ignimbritas, mantos de lavas andesíticas y dacíticas y lentes de caliza. La edad que se asigna es Paleoceno-Eoceno inferior.

Miembro Superior Hongolosongo (P_2^{1+3} Hg). Se desarrolla en la parte norte de la región y yace concordantemente sobre el miembro subyacente, está compuesto por conglomerados, areniscas, tufitas y tobas de composición ácida. Las rocas buzcan al noreste (NE) con azimut de buzamiento de 250° - 330° , se le asigna una edad Eoceno inferior – medio.

Por debajo de la secuencia superior se localiza la secuencia media, representada por rocas volcánicas con fuerte alteración hidrotermal, observándose en la parte alta del corte tobas andesíticas argilitizadas y sericitizadas con pirita diseminada, grietas y vetillas rellenas de yeso en diferentes direcciones.

2.2.2. Magmatismo y volcanismo.

El magmatismo de la Sierra Maestra y las zonas adyacentes se caracteriza por diferentes facies de variada composición. Alioshin (1975) asignó al complejo volcánico-plutónico las facies intrusivas (desde gabros hasta plagiogranitos aplíticos). Por otro lado, las facies subvolcánica y efusiva al basamento toleítico hasta la riolita sódica fueron estudiadas por (Kuzovkov, 1976).

El grupo volcánico El Cobre está compuesto por rocas volcánicas y volcánico-clásticas. Los materiales volcánicos están compuestos por lavas, flujos piroclásticos, diques subvolcánicos y diques de basamento, Cazañas y Melgarejo (1998); Iturralde-Vinent (1996d); Kysar (2001); Rojas-Agramonte. *et al.* (2006). La mineralización existente en el depósito El Cobre fue atribuida a un origen mesotermal según Cabrera *et al.* (1983) y epitermal por Kesler *et al.* (1990).

El magmatismo intrusivo se manifestó en dos facies: subvolcánica e hipoabisal de edades distintas; los cuerpos subvolcánicos son los más representados en el área, su edad se ha datado como Paleógeno, se han observado en la cuenca del río Cobre y a lo largo del arroyo Ermitaño. Su composición es señalada por andesitas porfíricas, andesitas-dacitas porfíricas y dacitas porfíricas.

Se puede concluir que el Grupo El Cobre de edad Paleoceno-Eoceno inferior es representado por tobas aglomeradas, lavas aglomeradas, lavas andesíticas, andesito-dacíticas, dacíticas y raramente riolíticas, riodacíticas y basálticas con intercalaciones de calizas, Cobiella (1988); Quintas *et al.* (1994); Méndez (1997) e Iturralde-Vinent (1988, 1994, 1996). Las rocas volcánicas de las series inferior y media del Grupo El Cobre, en la Sierra Maestra, presentan una tendencia toleítica con bajos contenidos en K, típica de arcos volcánicos toleíticos pobres en K según Cazañas y Melgarejo (1998).

2.2.3. Tectónica.

En la región de la Sierra Maestra, según Alioshin (1975) y Kuzovkov (1976), la tectónica juega un papel muy importante por su carácter controlador de la mineralización, así como los movimientos de soluciones hidrotermales mineralizadas desde los canales de ascenso de los cuerpos subvolcánicos hasta la superficie.

Existen dos sistemas de fallas que originan estructuras en bloques, formando nudos estructurales y grandes bloques, las cuales pueden ser formadoras y controladoras de la actividad mineral. Estos nudos estructurales son el resultado de concentraciones de rocas intensamente falladas, en las que coinciden complejas zonas lineales de vetas entrelazadas que contienen las concentraciones más importantes de mineral.

Las estructuras de la Sierra Maestra son el resultado de la superposición de al menos tres eventos tectónicos diferentes:

- 1) Compresivo.
- 2) Transcurrente simple.
- 3) Transgresivo.

Según Pérez-Pérez y García-Delgado (1997), la deformación se desarrolló en un contexto muy superficial y la mayor parte de las estructuras son frágiles.

El evento compresivo se manifestó en una zona de subducción ubicada al sur con buzamiento norte, Cobiella (1988); Iturralde-Vinent (1988, 1994, 1996), que provocó el desarrollo de un arco volcánico entre el Paleoceno (Thanetiense) y el Eoceno medio. En las etapas iniciales del arco pudieron formarse sistemas de fallas de dirección E-W, que en etapas más tardías pudieron funcionar como volcanes fisurales Alioshin (1975); Kuzovkov (1976) y Golovkin et al. (1981); pero, en general, lo único que pudiera considerarse como una evidencia de estas fallas son las cadenas de intrusivos y diques alineados en dirección E-W.

Durante la parte alta del Eoceno inferior, fue cuando la actividad volcánica comenzó a disminuir, se formó un nuevo sistema de fallas de dirección NW-SE (Pérez-Pérez y García-Delgado, 1997). Este sistema puede ser el resultado de una compresión N-S, por cuanto la mayoría de las fallas tuvieron un funcionamiento normal; no obstante con posterioridad se reactivaron con una componente transcurrente que se manifiesta en la actualidad. Estas fallas pueden haber controlado la sedimentación de las cuencas de piggy - back.

El segundo evento comienza en la parte superior del Eoceno medio y continúa hasta el Eoceno superior (Pérez-Pérez y García-Delgado (1997). Una vez concluida la actividad volcánica hubo un cambio apreciable en el régimen tensional, al disminuir la

compresión N-S apareciendo la transcurrancia de dirección E-W asociada a la apertura de la fosa Caimán (Calais et al., 1998), generándose las fallas transcurrentes de dirección N-S que podrían ser el resultado más reciente de la falla Oriente.

El tercer evento comienza en el Eoceno superior y dura hasta el presente, el mismo es originado por la acción simultánea de dos factores: a) la compresión que provoca el movimiento convergente de América del Sur y América del Norte en dirección global N-S a razón de 0.7 cm/año; b) la transcurrancia de la Placa Caribe y la Placa Norteamericana a lo largo de la falla Oriente a razón de unos 2 cm/año (Mann et al., 1991).

En esta región el arco volcánico Paleógeno, presenta numerosas estructuras volcano-tectónicas, cuerpos intrusivos y subvolcánicos surcados a su vez por fallas de rumbo NW y NE, siendo también de gran importancia para la formación de minerales. En la zona se desarrollan las secuencias volcánico – sedimentarias del Grupo El Cobre cortadas por cuerpos intrusivos andesíticos, la misma contiene dos áreas de alto potencial de recursos, ambas vinculadas a nudos tectónicos. La principal está asociada a una falla regional profunda que atraviesa la zona por su parte occidental con rumbo NNW.

En el mapa geológico esquemático del campo mineral El Cobre de Golovchenko et al. (1967) y Bogdanov (1963) a escala 1: 10 000, se representan con mayor precisión y detalle las estructuras y las rocas que acompañan la mineralización polimetálica de oro, plata y de metales base (Anexo Gráfico 1).

En el campo menífero El Cobre la tectónica juega un papel importante tanto como controladora de la mineralización como de las facies de diques y cuerpos subvolcánicos, que se manifiestan desde el mismo comienzo de la actividad volcánica en el Paleoceno, este período está marcado por fallas profundas de larga duración en el tiempo con dirección latitudinal. Las fallas y el intenso agrietamiento constituyen el canal de ascenso de cuerpos subvolcánicos y soluciones hidrotermales mineralizadas hacia los horizontes superiores, como se muestran en el yacimiento El Cobre, Zona Alta, Cobre Norte, etc.

La hipótesis sobre la estructura escalonada y en bloque del yacimiento El Cobre, señaló la presencia de los desplazamientos verticales a lo largo de las fallas de rumbo noroeste, hizo notar que el bloque levantado occidental Mina Blanca (por una intrusión granítica) está relacionado con la mineralización de cobre (Salton, 1961).

La presencia de dos sistemas de fallas (EW y NW) origina estructuras en bloques como el sistema Barita cuya edad no sobrepasa el Eoceno inferior, estas zonas forman nudos estructurales compuestos por concentraciones de rocas intensamente

falladas, en las que coinciden complejas zonas lineales de vetas entrecruzadas que controlan las concentraciones más importantes de mineral (Proenza y Melgarejo, 1998).

En el yacimiento Oro Barita existe un intenso agrietamiento que tiene influencia sobre el desplazamiento de la mineralización. Al noroeste de la zona mineralizada (observada en superficie y pozos), aparece una falla con dirección NE-SW que limita la zona mineralizada (aurífera), observándose la alteración argílica con piritita diseminada en contacto con las rocas volcánico-sedimentarias del miembro superior de Hongolosongo, sin mineralización alguna (Rojas-Agramonte *et al.*, 2006).

La reactivación de los movimientos tectónicos seccionaron los cuerpos subvolcánicos y zonas mineralizadas en bloques, donde se han producido desplazamientos tanto horizontales como verticales que dificultan la localización de las zonas minerales y complica el esquema tectónico del campo menífero.

En esta secuencia, los aglomerados y conglomerados tobáceos son las rocas más abundantes, siendo las rocas brechosas, fragmentarias, cuarcificadas y alteradas las portadoras de la mineralización.

La zona de fractura regional tiene 4.5 km de largo y un ancho de 40 a 240 m, compuesta por brechas cataclastizadas intruidas por diques de porfiritas andesíticas y diabásicas. La misma tiene rumbo sublatitudinal buzando entre 70° y 85° al Sur. A lo largo de esta zona de fractura el bloque meridional desciende entre 80 y 100 m, los cuerpos minerales cortantes principales están asociados a esta zona de fractura y a las fallas de plumaje, ubiándose en los nudos tectónicos. Los diques que acompañan a los cuerpos subvolcánicos tienen entre 1 - 10 m de potencia, presentan yacencia abrupta, su longitud por el rumbo oscila entre 50 - 200 m para los mayores.

Los cuerpos subvolcánicos predominantemente andesíticos, por su parte, se asocian con la tectónica profunda y de gran extensión por el rumbo. A ellos se asocia la mineralización cuprífera cortante del sector Mina Grande (parte central del yacimiento El Cobre) muestra bien la conjunción de los tres factores controladores de la mineralización; litológico (rocas volcanoclásticas), tectónico (fallas regionales y nudos tectónicos) y magmático (cuerpos ígneos de composición medio – ácida principalmente subvolcánicos).

CAPÍTULO III- METODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS.

Introducción

De acuerdo con los objetivos de la investigación, se ha propuesto una metodología que va encaminada fundamentalmente a caracterizar las alteraciones hidrotermales a partir del estudio de la composición mineralógica, petrográfica y química de las rocas encajantes portadoras de la mineralización aurífera.

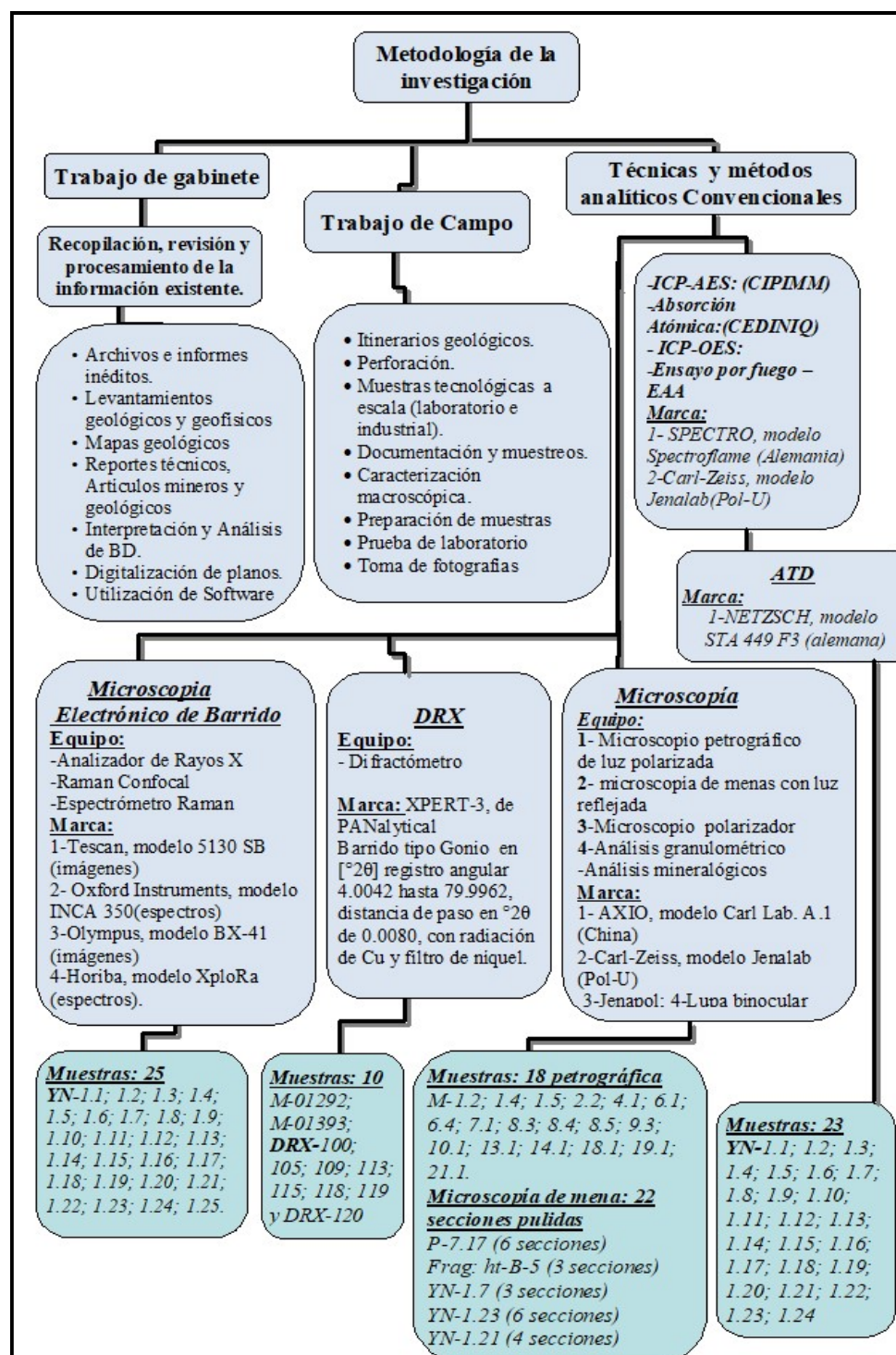
La misma está sustentada a partir de los trabajos realizados durante la exploración de explotación y la explotación de la cantera del yacimiento Oro Barita donde se han realizado varios trabajos de toma de muestras (perforaciones, muestras tecnológicas, frentes de extracción, afloramientos, etc) para estudiar las características que no habían sido esclarecidas por trabajos anteriores.

Durante el muestreo desarrollado en la investigación, se tomaron 35 muestras de fragmentos superficiales de una muestra tecnológica, otras 20 muestras de las zonas de alteración (nivel +149 hasta +137 de la cantera) y 10 muestras provenientes de la perforación a columna (nivel +149 hasta +128). Estas muestras fueron analizadas con técnicas convencionales para su caracterización por ejemplo: difracción de rayos- X, microscopía electrónica de barrido con analizador de rayos-X (SEM-EDS), microscopía Raman confocal, análisis químico y análisis térmico diferencial (ATD).

Previamente a la aplicación de las técnicas analíticas convencionales, se realizaron descripciones petrográficas y minerográficas de manera sistemática y cuidadosa para identificar las asociaciones minerales y texturales fundamentales para la determinación cualitativa y cuantitativa de las alteraciones estudiadas.

La metodología utilizada para desarrollar la investigación, se realizó por etapas: trabajos de gabinete, trabajos de campo y trabajos de laboratorio. A continuación se describen las actividades desarrolladas en cada una de estas etapas.

Figura 3.1. Diagrama de flujo que representa la metodología empleada en la caracterización mineralógica-petrográfica de las alteraciones hidrotermales del yacimiento Oro Barita.



3.1. Trabajos de gabinete.

Previo a los análisis de las muestras del yacimiento, se realizó una recopilación bibliográfica de la zona de estudio y la revisión de los archivos e informes geológicos de levantamientos inéditos, mapas geológicos, reportes técnicos mineros, artículos, así como la interpretación y análisis de la base de datos. Los datos de la geología y la estratigrafía del yacimiento fueron tomados de varios informes geológicos y del léxico estratigráfico actualizado y aprobado por el Instituto de Geología y Paleontología (IGP) en el 2013.

3.2. Trabajos de Campo.

Partiendo de la cartografía existente, se procedió a realizar diversos itinerarios que cortan la zona de alteración hidrotermal del yacimiento a distinta escala (1:500 y 1:1000) donde se realizaron varias tareas de campo durante la explotación de la mina y los trabajos de exploración de explotación (perforación, muestreos, prueba de laboratorio, etc.), realizándose tomas de muestras y documentación de fragmentos de rocas en las zonas de alteración hidrotermal identificada. Estas zonas se ubican dentro del área de la concesión minera y fuera del diseño de la mina (Anexo Gráfico.2).

La primera comprende, el área que está en explotación a cielo abierto, así como a los trabajos de perforación realizados por Cubanex a columna, en zonas no estimadas para su explotación. Por otro lado, las zonas ubicadas en los límites del diseño de la cantera corresponden a afloramientos y taludes. A continuación se muestra la distribución de las zonas de alteración hidrotermal identificadas y los puntos de muestreos efectuados (Anexo Gráfico.2).

3.2.1. Caracterización macroscópica y preparación de muestras

Se realizó una descripción a escala macroscópica de todas las muestras recolectadas en la investigación, identificando las propiedades físicas del tipo de roca, color, minerales que la forman y las respectivas estructuras. Estos trabajos se llevarán a cabo en la muestrería de roca de la mina.

La preparación de las muestras para análisis químico para 10 elementos (por el método ICP-OES y Ensayo por fuego – EAA), se realizó en el laboratorio Elio Trincado de Santiago de Cuba para un total de 30 muestras. También se prepararon 25 muestras de fragmentos (superficiales) y dos muestras tecnológicas, donde se tomaron muestras para análisis químico, minerográfico, mineralógico y análisis granulométrico, las mismas fueron analizadas en el laboratorio del CIPIMM de La Habana, también se prepararon 10 muestras petrográficas (sección delgada) de

pozos de perforación del año 2017. En el ISMM de Moa se prepararon 5 muestras para mineragrafía (Figura 3.1), obteniéndose 22 sección pulidas, las mismas fueron utilizadas para análisis de microscopía de mena (con luz reflejada).

3.3. Estudios por técnicas convencionales utilizadas:

3.3.1. Estudio petrográfico y mineragráfico.

Se ha realizado el estudio microscópico mediante luz reflejada y transmitida de numerosas secciones delgadas y pulidas, a partir de las muestras de superficie tomadas en el campo y del subsuelo, procedentes de los testigos de sondeos ya mencionados. El estudio ha permitido la caracterización mineralógica, petrográfica, así como determinar la textura y estructura de las rocas. En el estudio, se prestó especial atención a la mineralogía de las menas y las alteraciones asociadas, así como a las texturas de deformación relacionadas con la mineralización.

La microscopía óptica ha servido de base para la planificación de otras técnicas complementarias, tales como los análisis químicos, estudios de microscopio electrónico de barrido (SEM-EDS), microsonda electrónica, etc.

En la Empresa Geominera Oriente (EGMO), se realizaron las descripciones petrográficas a 18 muestras, utilizando un microscopio petrográfico de luz polarizada marca AXIO, modelo Carl Lab. A.1 de procedencia China en el laboratorio de petrografía. Las descripciones petrográficas se realizaron tanto con nicoles cruzados como paralelos, trabajando con los objetivos 5X/0.15 Pol, foco 17.13 mm y una distancia de trabajo aproximada de 7.316 mm.

Para dicho análisis se tuvo en cuenta la determinación de los parámetros ópticos siguientes: color, forma, pleocroísmo, birrefringencia, ángulo de extinción, exfoliación, tamaño de los granos e índices de refracción. También se determinaron los principales tipos de texturas de las rocas, las descripciones fueron apoyadas con el uso de bibliografías tales como: mineralogía óptica, (Kerr, 1984), atlas de asociaciones minerales en láminas delgadas de Joan Charles Melgarejo (digital), entre otras. Las imágenes fueron captadas con una cámara digital marca AXIO Cam ERC-5S acoplada al microscopio.

3.3.2. Composición mineralógica de las menas con luz reflejada

Para la ejecución de los análisis de microscopía de menas, se prepararon las muestras de rocas en el taller del ISMMM, estas fueron analizadas bajo el microscopio de luz reflejada por el modelo JENALAB (Pol-U) de la Carl-Zeiss de la ex - República Democrática Alemana en el laboratorio de microscopía de menas de la misma institución. Los análisis se realizaron tanto con nicoles cruzados como

paralelos, trabajando con los objetivos 10X y 20X. Para que la muestra pueda ser analizada microscópicamente (luz reflejada), se cortaron fragmentos representativos de la misma con una cortadora de rocas, posteriormente devastarla hasta dejar una superficie pulida.

En el análisis de luz reflejada se aplicaron los parámetros ópticos siguientes: color, forma, pleocroísmo, birrefringencia, ángulo de extinción, exfoliación, tamaño de los granos e índices de refracción (n). Además de los parámetros ópticos anteriormente expuestos, se identificaron los principales tipos de texturas de las rocas. Las imágenes fueron captadas con una cámara marca SONY digital de 7.2 Mpx.

3.3.3. Análisis mineralógicos

Por otro lado, en el Centro de Investigaciones para la industria minero metalúrgica (CIPIMM), fueron investigadas 25 muestras, se realizaron los análisis mineralógicos de la roca de alteración utilizando la lupa binocular MEIJI con cámara digital SONY (Ver Anexo Textual B y Anexo Textual B-1).

3.3.4. Difracción de Rayos -X (DRX)

La técnica por difracción de rayos-X (DRX) es una técnica altamente empleada para la caracterización e identificación de las fases mineralógicas, especialmente de los sedimentos y rocas con composición arcillosa. La técnica se basa en la interferencia de los rayos-X con la muestra a analizar y su respectiva red cristalina, gracias que el método presenta una longitud de onda similar al espacio interplanar de las estructuras cristalinas.

La preparación previa de las muestras, consistió, en molerla hasta un diámetro de - 0.074 mm que fuese lo suficientemente fino, esta tarea se llevó a cabo en el laboratorio Elio Trincado de Santiago de Cuba, luego cada muestra fue llevada al CEDINIQ para su determinación y ensayo en un difractómetro de rayos-X.

Los análisis mineralógicos por difracción de rayos X (DRX) por el método de polvo, se ejecutaron a 13 muestras, en el Centro de investigaciones del níquel (CEDINIQ), utilizando un equipo de difracción de rayos marca X: XPERT-3, de PANalytical, configuración Reflection - Transmission Spinner, con radiación de Cu ($1.54060 \text{ \AA}$) y barrido tipo Gonio, intervalo angular $[\theta]$ de 4.0042° hasta 79.9962° por escaneo continuo, con distancia de paso en 2θ de 0.008° con radiación de Cu y filtro de níquel. La diferencia de potencial es de 45 kV y corriente de 40 mA.



Figura 3.2. Fotografía del equipo de difracción de rayos-X, marca PANalytical modelo X'PERT-3.

3.3.5. Microscopía electrónica de barrido, con análisis de rayos X (SEM-EDS)

La microscopía electrónica SEM (Scanning Electron Microscopy, por las siglas en inglés) es una técnica con alta resolución para caracterizar partículas o superficies de minerales que no pueden ser identificadas en microscopía óptica, el rango de aumentos que pueden ser utilizados en la técnica abarca de los 20X hasta los 100,000X, el límite de resolución es de $0.01\ \mu\text{m}$, (Carretero y Pozo, 2007). Esta técnica ha servido para el reconocimiento y análisis de cristales, así como la composición mineralógica, morfología, dimensión y composición química de partículas de minerales en escala de micrómetros (μm) y nanómetros (nm).

Los análisis se realizaron mediante microscopía electrónica de barrido con espectrometría de rayos-X dispersiva de energías, labor que ha generado la realización de 815 análisis en 25 muestras, analizadas en el Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM), las muestras seleccionadas, imágenes y espectros realizados se obtuvieron mediante el empleo de un microscopio marca TESCAN, modelo 5130 SB y un analizador de rayos-X de la marca OXFORD INSTRUMENTS modelo INCA 350, se trabajó bajo las condiciones siguientes: **La microscopía:** detectores (de electrones secundarios y retrodispersados), voltaje de aceleración (20 kV), distancia de trabajo (23 mm), corriente del haz (en posición 8), inclinación de platina (0°).

3.3.6. Microscopía Raman Confocal

Las imágenes y espectros se obtuvieron mediante el empleo de un microscopio marca OLYMPUS, modelo BX-41 y un espectrómetro Raman de la marca HORIBA modelo XploRa, se trabajó bajo las condiciones siguientes: la microscopía (objetivos, 10x, 20x y 50x), iluminación (incidente y transmitida), filtro (25 %), rendija ($100\ \mu\text{m}$), orificio confocal hole ($300\ \mu\text{m}$), LASER ($534\ \text{nm}$) y rango de trabajo ($60\text{-}1900\ \text{cm}^{-1}$).

Para la interpretación se utilizó el software LabSpec 6 y la listas de minerales de la IMA y los espectros de la base de datos internacional RRUFF, de acceso libre en Internet.

Con vistas a profundizar en los contenidos de minerales pesados en las muestras, se realizaron 23 concentrados mediante líquidos densos y en 10 análisis, no se efectuaron concentrados a dos de las muestras por el predominio de baritina como mineral formador. Para la determinación de los principales minerales formadores y accesorios se prepararon 10 secciones semi-pulidas que se consideraron representativas del total.

3.4. Técnicas analíticas convencionales.

3.4.1. Análisis químicos (AQ).

Los análisis químicos de elementos mayoritarios se determinaron según el manual de procedimiento de la DCM/CIPIMM. La preparación y determinación de los análisis de las 25 muestras se realizaron en el mismo laboratorio antes mencionado. Los resultados de los óxidos para elementos mayores se muestran en la Tabla 4.1.

Se empleó un espectrómetro de emisión Atómica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-AES) modelo Spectroflame de la firma SPECTRO de Alemania, bajo las condiciones siguientes: **Ópticas:** 128 canales analíticos, 5 sistemas ópticos, montaje Paschen – Runge, diámetro del círculo de Rowland de 750 mm, **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. Se utilizaron además equipos y utensilios de laboratorio de alta pureza.

La interpretación y procesamiento de los resultados de los análisis químicos se realizaron a partir de una serie de diagramas o gráficos generados mediante el software **Winrock**.

Por otro lado, en el centro de investigaciones del Níquel (CEDINIQ), se realizaron análisis químicos a 10 muestras de las treces que se les realizó difracción de rayos-X, a las mismas se le realizaron 10 determinaciones (SiO₂, Al, Mg, Ni, Co, Mn, Cr, Zn, Cu y Fe) por Absorción Atómica.

3.4.2. Análisis térmico diferencial (ATD) y DTG.

El análisis térmico diferencial se utiliza para determinar la fracción arcillosa mediante los termogramas simultáneos CDB-TG-D1TG, éstos se obtuvieron en un equipo de la firma alemana NETZSCH, modelo STA 449 F3, utilizándose los siguientes

parámetros de operación: masa del material de referencia ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$), material del horno (Si C, temperatura ambiente hasta 1500°C). El gas utilizado en la cámara de calentamiento (aire), flujo del gas protector de la termobalanza (20.0ml/min (Ar)), velocidad de calentamiento (10.0 K/min), sensibilidad de la termobalanza ($0.001\text{ g} - 35.0\text{ g}$), sensibilidad de las curvas DSC y TG ($0.001 - 5000\text{ }\mu\text{V/mg}$), tiempo total de medición ($1\text{h}37\text{min}10\text{s}$), rango de temperatura de trabajo ($28\text{-}1000^\circ\text{C}$). Todos los datos experimentales (calorimétricas (CDB) y termogravimétricas (TG)), se convierten en termogramas continuos con el empleo del programa "Proteus", el cual se utiliza para el procesamiento de datos termo-analíticos (versión 5.2.1/07.04.2011). (Anexo Textual C y Anexo Gráfico.5).

3.4.3. Análisis Granulométrico (AG).

Para los análisis granulométricos se tomaron seis tamices, solo se realizaron a las muestras que se molieron por debajo de $1,0\text{ mm}$, se homogenizó y cuarteó tomándose dos porciones, la primera para análisis granulométrico y la segunda para molerla por debajo de $-0,074\text{ mm}$ para los estudios de las arcillas y determinaciones de ATD, MEB y análisis químicos.

CAPITULO IV - RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Introducción

Se presentan los resultados experimentales que confirman la presencia de las alteraciones hidrotermales en la mineralización aurífera epitermal del yacimiento Oro Barita localizado dentro del campo mineral El Cobre, a través de la caracterización detallada de las muestras de rocas superficiales y testigos de perforación. Estos trabajos se realizaron siguiendo la metodología del capítulo anterior. Primeramente se procedió a realizar una caracterización detallada macroscópica de las propiedades físicas, estructurales y mineralógicas de las muestras para poder entender el contexto geológico en que se han originado, modificado y/o alterado las rocas. Posteriormente, se empleó el microscopio petrográfico para conocer la mineralogía y su relación con las texturas de las rocas, después se identificó y caracterizó toda la mineralogía con la difracción de rayos-X y por último se trabajó utilizando el microscopio electrónico de barrido (SEM o MEB) para confirmar la presencia de minerales y la química.

4.1. Caracterización macroscópica de muestras.

4.1.1. Análisis de fragmentos de rocas superficiales

Se describieron 20 muestras macroscópicas de superficie y de afloramiento (talud de explotación) de la cantera (Anexo Textual 2), las mismas presentan un grado de silicificación variable, algunas se presentan totalmente silicificadas mientras que en otras la silicificación es menos predominante o presentan características de otro tipo de alteración (argílica avanzada). La mayoría de las rocas superficiales están alteradas por procesos de oxidación, presentándose en el relleno de espacios abiertos, poros de disolución, fracturas, vesículas y vetillas. Los minerales de oxidación son hematita y goethita principalmente (Figura 4.1 y Anexo Textual 1). En los poros de las rocas alteradas existen crecimientos irregulares y semicirculares de cuarzo cristalino de hasta 2 mm de tamaño, asociados a costras y patinas de óxidos de hierro.



Figura 4.1. Muestra YN-1.4 de la zona de alteración superficial silicificación – oxidación relleno de espacios abiertos, cavidades y fracturas.

Debido a la intensa silicificación en la mayoría de las rocas, no se puede distinguir la textura y mineralogía primaria, sin embargo, ocasionalmente se pueden observar algunas plagioclasas muy alteradas en la roca original.

En varias muestras se observa la alteración argílica avanzada compuesta por la asociación de caolinita, illita (discriminadas posteriormente mediante DRX) y alunita con cuarzo abundante (Figura 4.2).



Figura 4.2. Muestra de la alteración argílica avanzada.

4.1.2. Análisis de los testigos de perforación.

Se realizaron estudios a 16 muestras procedentes de 13 pozos perforados a columna (P-7.15, P-7.16, P-7.17, P-5.16, P-14.17, P-8.15, P-18.19, P-6.10, P-6.16, P-15.16, P-7.10, P-4.16). Las muestras pertenecientes a los pozos (P-7.15, P-7.16 y P-7.17) presentan silicificación en su totalidad, cortando una veta de 18 m de roca silicificada desde el nivel +146 hasta +128 m, las coloraciones varían desde un tono gris claro a rosáceo - amarillento, con moteado color blanco. Se observan eventos múltiples de silicificación de varias generaciones, de color gris claro a blanco-amarillento, donde

la sílice es masiva, reemplazando a toda la roca, muy tectonizada y brechada (Figura 4.3 c-d).

En los restantes testigos de perforación se observa una intensa zona de brechas con fragmentos de cuarzo de algunos milímetros a centímetros, la presencia de clastos brechoso silicificados acompañan a los minerales (caolinita y plagioclasas) que rellenan los espacios vasio o cavernoso de las rocas ácidas, donde su tamaño puede llegar hasta los 6.0 cm (Figura 4.3a). Las rocas presentan alteración tipo sílice oquerosa (vuggy silica), alunitización y en menor medida caolinitización, una con mayor intensidad que otras producto de la lixiviación de las rocas quedando los espacios vacíos rellenos por minerales oxidados, mientras que en la zona de vetillas y grietas se observan minerales sulfurosos (pirita, calcopirita, esfalerita y en menor medida galena) en forma de agregados y diseminados en la brecha. También se pueden apreciar zonas de oxidación muy marcadas en los intervalos de menor profundidad.

Uno de los minerales que se encuentra notoriamente en las muestras de testigo es la alunita, se muestra en formas diferentes como alunita terrosa de color rosado-amarillento de forma dispersa en las cavidades de la roca o mezclada con minerales de arcilla y/o emplazándose en oquedades a la roca que tienen forma tabular (Figura 4.3).

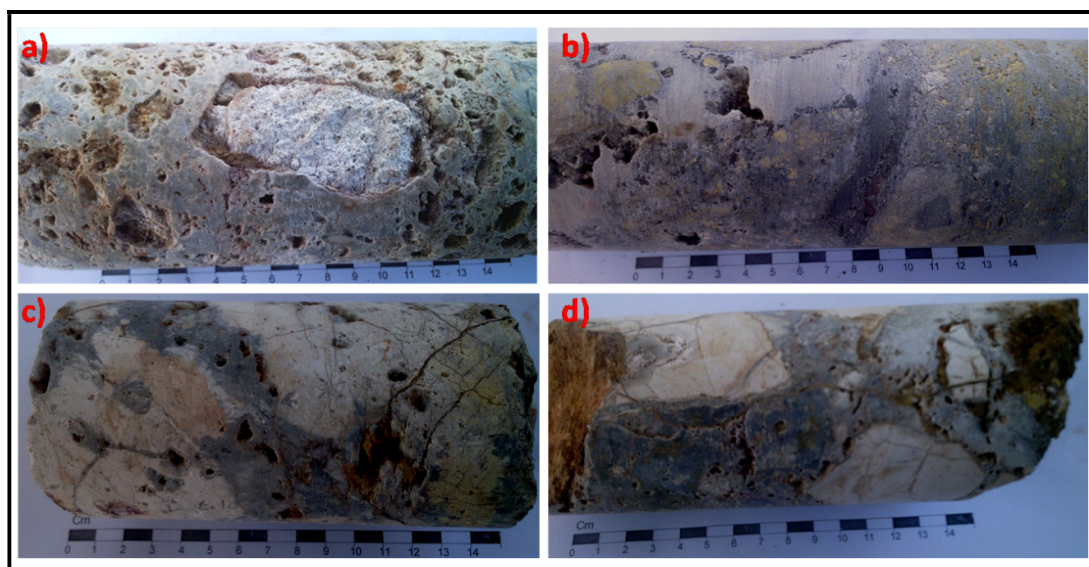


Figura 4.3. Muestras de perforación a columna de diferente profundidad. Izquierda a derecha, a) P-7.15 alteración tipo sílice oquerosa con oquedades rellenas de caolín (color blanco); b) silicificación masiva con oquedades rellenas de drusas de cuarzo cristalino (segunda generación), vetilleo relleno de sulfuros diseminados y vesículas rellena de caolín; c) P-6.10 roca silicificada brechosa, con vetillas rellenas de alunita, oquedades con pátina de alunita y drusas de cuarzo; d) P-4.16 brecha de roca silicificada, con vetillas y grietas rellenas de alunita rosada - amarillenta en forma granular .

En el resto de los testigos de perforación (P-5.16, P-14.17, P-8.15, P-18.19, P-6.10, P-6.16, P-15.16, P-7.10, P-4.16), las muestras presentan características muy similares y la silicificación es muy marcada en su totalidad. En algunas muestras se pueden observar brechas con clastos de sílice masiva con evidencias de cuarzo cristalino en forma de drusa. La mineralización presente está marcada por una asociación paragenética de sulfuros acompañando al cuarzo, minerales arcillosos y sulfatos, observándose pirita + esfalerita $\pm$ calcopirita + cuarzo + caolín $\pm$ alunita, (Figura 4.4).



Figura 4.4. Muestras de perforación a columna de diferente profundidad. Izquierda, a) P-7.17 alteración tipo sílice masiva con pequeñas oquedades y vetillas de sulfuros diseminados (pirita, esfalerita) y oquedades rellenas por caolín y drusas de cuarzo cristalino; b) P-7.16 silicificación masiva con vesículas rellenas de alunita y caolín, también se observa vetilla y grietas rellenas con sulfuros (esfalerita y pirita).

En cuanto a las asociaciones minerales, se observa que la pirita y la esfalerita están estrechamente ligadas a la alunita y a la sílice, ocurre preferencialmente entre los clastos que conforman la brecha. Los minerales arcillosos presentan diferentes tonalidades (gris, beige, amarillo y blanco), están relacionadas principalmente con la alunita y las cavidades de las rocas. También, se observan vetillas, grietas y bandas de sulfuros.

Adicionalmente a lo anterior, se puede reconocer la alunita supergénica en varias muestras, en especial las más superficiales, su coloración es naranja a rosada en vetillas conjugadas y en oquedades, por ejemplo P-7.15 (muestra-0114391).

4.1.3. Análisis Granulométrico (AG).

Los resultados se observan en el Anexo Textual E, la mayoría de las muestras generadas presentan gran cantidad de material fino llegando a la clasificación de las arcillas, producto de la meteorización de las mismas, éste material se concentra en la fracción entre 1,0 mm a -0,074 mm.

4.1.4. Análisis mineralógicos

En el estudio mineralógico se pudo observar que las muestras presentan un alto contenido de cuarzo, barita y material arcilloso, éste último constituido por talco, minerales micáceos y nontronita, además de dickita, feldespato, plagioclasas y otros. Los minerales metálicos están representados por óxidos e hidróxidos de hierro amorfos, hematita, esfalerita, galena, calcopirita, y pirita (Anexo Textual B-2). En el estudio de una fracción pesada se observó pirita con un grano de oro libre.

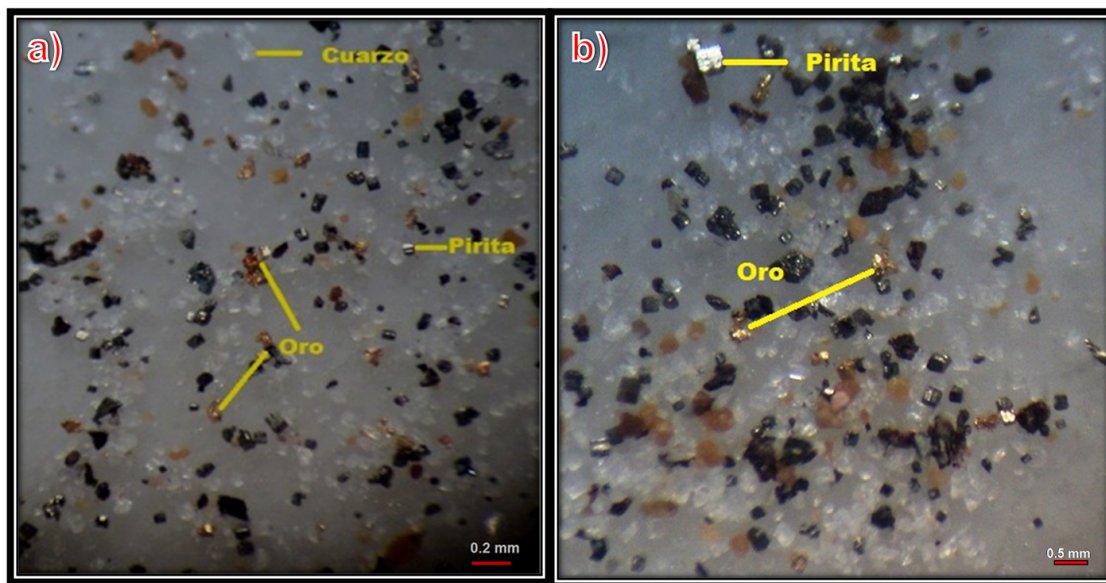


Figura 4.5. Muestras mineralógicas tomada en la superficie. a-b) (YN-1.2) Muestra-054887, roca brechosa de color gris claro, verdoso, carmelita y blanco tomada de una fracción pesada de +0.074mm, se observan sulfuros diseminados (pirita) acompañada de varios granos de oro libre.

4.2. Resultados del análisis petrográfico.

4.2.1. Petrografía

Para el estudio petrográfico, se utilizaron 18 secciones delgadas del proyecto de la exploración detallada (1996), las mismas fueron ubicadas geográficamente (Anexo Textual 4a), reinterpretadas y analizadas con un microscopio de mayor precisión, donde los cortes petrográficos realizados para esta investigación sustentan las descripciones realizadas por Fernández, R., (1996), observándose nuevas texturas y minerales relacionados con los procesos de alteración hidrotermal del yacimiento, entre las que se destacan: texturas tipo cuarzo oqueroso (vuggy silica), texturas de recristalización, de reemplazamiento (mosaico). Las rocas mineralizadas presentan una silicificación muy marcada, ésta pueden correlacionarse con las asociaciones

minerales de las muestras de microscopía de mena (Anexos textuales 3 y 4) y las paragénesis minerales estudiadas en la investigación.

Según el mapa geológico (Anexo Gráfico 1), la litología el campo menífero El Cobre está representado por la presencia de andesitas, dacitas, riolitas, brechas, areniscas, tobas de diversas composición y granulometría, tobas vítreas, ignimbritas y lavas andesíticas. A continuación se caracterizan los diferentes tipos de rocas.

Grupo A: Dacita

Roca ígnea volcánica, de carácter intermedio y alto contenido en hierro, equivalente de la granodiorita, posee una textura entre afanítica y porfídica con cristales de tamaño considerable, redondeados y corroídos.

Descripción macroscópica

Es una roca volcánica de coloración generalmente gris claro, microlítica, afanítica, formada principalmente por plagioclasas, con abundante vidrio y fenocristales de cuarzo, plagioclasas y minerales ferromagnesianos. No se observan cristales de ortosa. Las dacitas son lavas viscosas que dan estructuras en agujas, estando asociadas tanto a las andesitas como a las riolitas. Se asocia a magmas calcoalcalinos por asimilación de la corteza en zonas de subducción (Figura 4.6).



Figura 4.6. Muestra macroscópica de un fragmento de dacita.

La muestra observada (Figura 4.6) presenta por lo general colores claros a verde grisáceo, en ocasiones gris pardo, y más raramente, gris violáceo o crema. La mineralogía corresponde en su mayoría a plagioclasas alteradas y fracturadas de baja proporción. El cuarzo como fenocristales limpios y claros, formando parte de la matriz. El anfíbol es escaso y difícil de reconocer. La biotita presente, como fenocristal, suele encontrarse muy alterada y presentando colores de oxidación.

Las alteraciones fundamentales son: la sericitización y cloritización. De forma subordinada existen procesos de oxidación y silicificación, raramente de carbonatización.

Descripción microscópica

Las muestras se caracterizan por tener una composición que varía entre 64,07 % y 72,32 % de SiO_2 . Es una roca efusiva alterada, de textura afanítica y porfídica, masa microlítica relíctica, lepidoblástica con cristales de gran tamaño y color variado, asociada a magmas calcoalcalinos. La textura predominante es la felsítica, se observa como una matriz cristalina formada en su mayoría por feldespato y cuarzo, los cuales son indistinguibles unos de otros; con nicols paralelos se observa un color claro. Los componentes primarios son fenocristales de plagioclasas («45,0 %»), en ocasiones están alterados a sericita y saussuritizados («25,0 %»), el cuarzo («5,0 %») con cantidades subordinadas de hidrómica alterada por clorita («22,0 %») y vidrio oxidado («3,0 %»). Los microlitos de plagioclasas relícticas son los de mayor tamaño y desarrollo, frecuentemente presentan maclas polisintéticas y tienen forma prismática (Figura 4.7).

La sericita ha sido identificada en la mayoría de las muestras estudiadas por petrografía y ATD (Anexo Textual.4, Anexo Gráfico 5 y Anexo Textual C). Desde el punto de vista petrográfico, se observa micas blancas del tipo moscovita-paragonita como agregado de grano fino de baja temperatura, típicamente en la alteración de las plagioclasas.

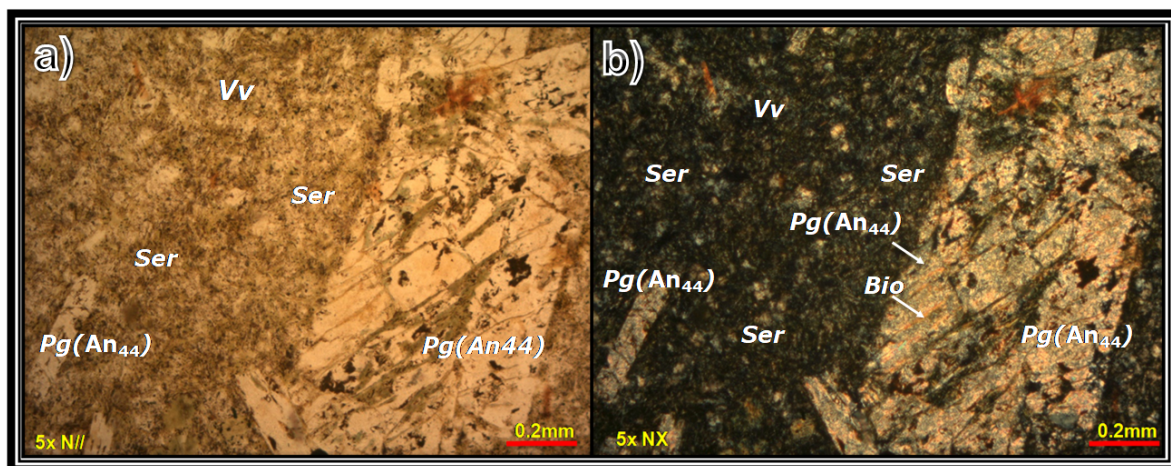


Figura 4.7. Microfotografía de una sección delgada de una muestra petrográfica de una dacita alterada. **a-b)** Microfotografía con objetivo 5x con nicols // y cruzados de la muestra M-6-4, está constituida por fenocristales de plagioclasas (andesina An44), en ocasiones zonadas, pelitizadas y alteradas a hidrómica. También se observan minerales metálicos oxidados y diseminados. La textura en la masa, microlítica relíctica es porfírica, lepidoblástica.

Grupo B: Andesita

La andesita es una roca ígnea volcánica de composición intermedia, de textura afanítica o porfírica, generalmente de color verde, pudiendo variar a rojizo, violáceo y otros colores, adquiridos por la alteración de los minerales ferromagnesianos. Su composición mineral comprende generalmente plagioclasas, hornblenda y otros minerales ferromagnéticos como piroxenos, biotita. También puede haber cantidades menores de sanidina y cuarzo. Los minerales más grandes, como la plagioclasa, suelen ser visibles a simple vista, mientras que la matriz suele estar compuesta por granos de minerales finos o vidrio. En el área de estudio la andesita es la tercera roca predominante, se documentó y muestreó en cuatro puntos diferentes (Anexo Textual 2).

La andesita es una roca muy común desarrollada en todo el corte del arco volcánico del Paleógeno de la Sierra Maestra. Es la más abundante en la composición de los cuerpos subvolcánicos. En ella predomina la fase mineralógica plagioclasa tanto en fenocristales como en la masa. El clinopiroxeno y la hornblenda son elementos escasos y raros en la roca.

La plagioclasa se presenta zonada en ocasiones, es de composición andesina a labrador, con procesos de desanortización y albitización. Estas rocas se caracterizan por texturas variadas en su masa principal, predominando la intersertal, pilotaxítica y microlítica. Son rocas muy afectadas por los procesos de cloritización, epidotización, silicificación y sericitización. Con menor desarrollo, aparece la carbonatización, pelitización y oxidación. Más raramente están afectadas por la zeolitización, prehnitización, anfíbolización y otras alteraciones.

Según Toselli y Aceñolaza (2009-2010), las andesitas se presentan en asociaciones con basaltos, dacitas y riolitas en arcos de islas volcánicas y márgenes continentales orogénicos. También en los arcos de islas, que no tienen corteza continental, están asociadas con abundantes basaltos y escasas dacitas y riolitas. En regiones volcánicas, con corteza continental, los basaltos son menos abundantes que las dacitas y riolitas.

Descripción macroscópica

Las muestras observadas (Figura 4.8 a-b) presenta por lo general colores claros a verde azul producto de las alteraciones hidrotermales, son roca volcánica microlítica fluidal con vidrio poco abundante, frecuentemente vesicular, de aspecto ligeramente escoriáceo y con vesículas rellenas de cristobalita y tridimita, secundariamente, de calcita y minerales del grupo de la zeolita. Su origen es debido al vulcanismo, está ligado a zonas de subducción (Cobiella, 1988); (Iturralde-Vinent, 1988, 1994, 1996; Iturralde-Vinent, 1996d). La estructura es generalmente masiva, densa, compacta, en ocasiones se observan pequeñas grietas rellenas de óxido e hidróxidos de hierro

producto de la alteración de los sulfuros, la misma presenta una granulometría de fina a media, los granos minerales son generalmente variables.

Descripción microscópica

La muestra (Figura 4.8 a-b) se caracteriza por tener una composición que varía entre 58,75 % y 60,43 % de SiO_2 . Se puede observar la presencia de texturas granoblástica y lepidoblástica, cristales y fenocristales de plagioclasas los cuales ocupan del 67,0 %-75,0 % de la muestra, en ocasiones, las plagioclasas están sericitizadas y saussuritizadas. Los fenocristales de cuarzo ocupan del 5,0 % al 7,0 % de la muestra y el diámetro de los mismos alcanzan desde 0.09 mm hasta 0.14 mm. Las plagioclasas presentan su característico maclado polisintético, Figura 4.8 (3-4).

Se observan procesos de alteración donde los cristales de hornblenda han sido sustituidos por clorita en un 80,0 %, también se observa cuarzo y sericita, (Figura 4.8 (1-2)).

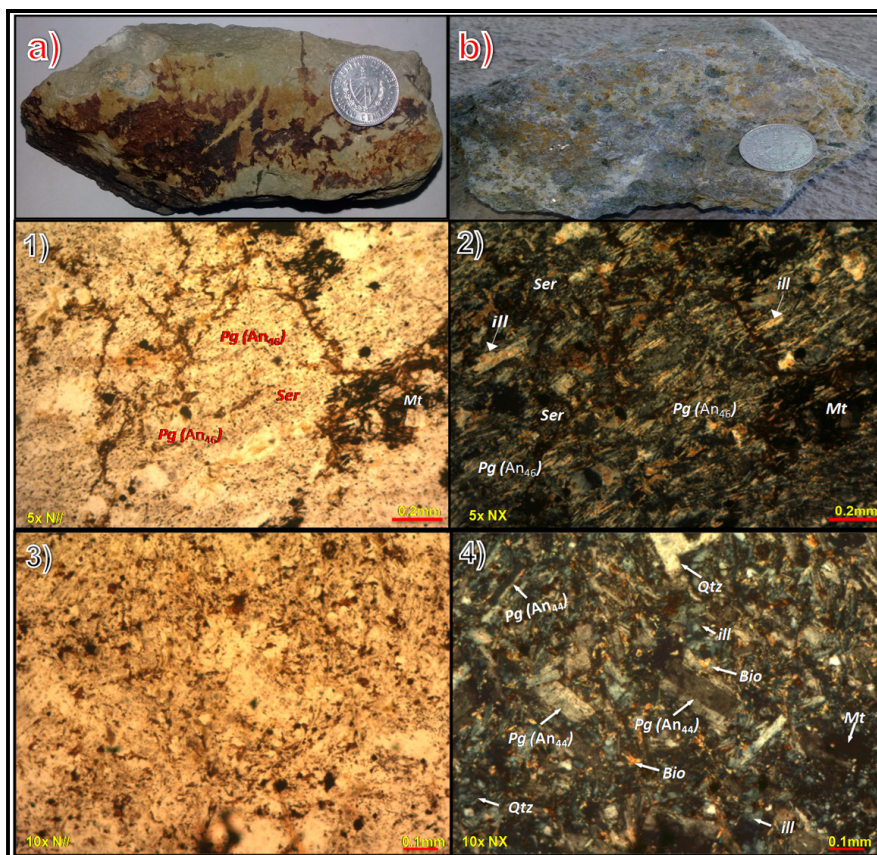


Figura 4.8. Fotografías (a, b), Microfotografías (1, 2, 3, 4) de secciones delgadas de muestras petrográficas de superficie de una roca andesítica alterada. Con nicols paralelos (izquierda) y cruzados (derecha). La muestra M-8-5 (1-2) con objetivo 5x, está constituida por fenocristales de plagioclasas tipo andesina (Pg- An₄₆), en ocasiones pelitizada, sustituidos por cuarzo (Qtz) y en

algunos casos por hidrómica (ill) y la masa formada por microlitos de plagioclasas que aparecen orientados en una dirección. La roca está alterada a minerales hidromicáceos, algo cuarcificada, observándose minerales metálicos oxidados. Su textura es porfírica en masa pilotaxítica. Por otro lado, La muestra M-14-1(3-4) con objetivo 10x, está constituida por fenocristales de plagioclasas andesina (Pg- An44), en ocasiones zonada, pelitizada y alterada a hidrómica, en la masa se observa microlitos de plagioclasas, hidrómica y cuarzo. También se observan minerales metálicos oxidados y disseminados, su textura es porfírica en masa microlítica. Diámetro de la moneda 2.1 cm.

Grupo C: Riolita.

La riolita es el equivalente extrusivo del granito, está esencialmente compuesta por silicatos claros, presenta colores que suelen ser de marrón claro a rosa, a veces, un gris muy claro, con tonalidades violáceas y cremas. En los afloramientos se presenta con estructuras porfíricas y masivas, más raramente son fluidales y vesiculares. La riolita es afanítica y contiene frecuentemente fragmentos vitreos y huecos que indican un rápido enfriamiento en un ambiente superficial. Presenta vetillas finas, de aspecto dendrítico, con pirita. Las muestras observadas presentan por lo general colores rojizos a pardos producto de las alteraciones hidrotermales.



Figura 4.9. Muestra macroscópica de un fragmento de riolita.

Tomada en la cota +140.00 m al SW de la cantera. Diámetro de la moneda 2.1 cm.

Descripción microscópica

Se caracteriza por tener una composición que varía entre 74,0 % – 84,0 % de SiO_2 . La composición mineralógica encontrada corresponde en su mayoría a la plagioclasa presente en baja proporción, se encontraron plagioclasas alteradas y fracturadas. El cuarzo, como fenocristales limpios, claros, forma parte de la matriz. El anfíbol es escaso, muy pocas veces contienen óxidos de hierro, apatito y esfena-leucoxeno. Raramente aparece feldespato potásico. Las alteraciones fundamentales son la sericitización, silicificación, en ocasiones se desarrolla la anfíbolización, oxidación y pelitización. Existe además la presencia de hidrómicas y clorita (Figura.4.9). La fase

mineralógica fundamental como fenocristales es la plagioclasa de composición albita. De forma subordinada se observa el cuarzo, no aparece el feldespato potásico.

Grupo D: Piroclásticas.

Toba - Roca ígnea volcánica, producto de la consolidación de los materiales piroclásticos, bombas, lapilli, cenizas, con material sedimentario que favorece su cementación. Su composición es variable de acuerdo al origen del magma, contiene muchos poros y oquedades, (Dávila, 2011).



*Figura 4.10. Muestra macroscópica de un fragmento de toba.
Diámetro de la moneda 2.1 cm.*

Descripción macroscópica

Son rocas piroclásticas, faneríticas, de color pardo gris claro a marrón, su color varía según su composición, se presentan masivas, con estratificación fina, laminada y con características fluidales, presentan relictos de plagioclasas remplazados por minerales arcillosos sericitizados y cuarzo, la matriz es fina, varía entre un 15,0 % y 80,0 %. La composición de la matriz puede variar o ser completamente vitrea, donde la mayoría de los fragmentos se encuentran alterados, ya sea por clorita o en estado de desvitrificación.

Su composición es variada desde basáltica a riolítica o mezclada (ejemplo, tobas andesíticas, tobas riolíticas). Por lo general, están alteradas y afectadas por procesos fuertes de intemperismo y oxidación. Los cristales son de plagioclasas ácidas a básicas muy alteradas, junto con el clinopiroxeno, minerales máficos y cuarzo. Los fragmentos líticos, por lo general, son de rocas efusivas, variadas por su composición y textura.

Estas rocas presentan una gran distribución y desarrollo en el territorio, formando grandes estratos o bloques que pueden llegar a decenas de metros. Su

granulometría varían desde aglomerados y brechas piroclásticas a tobas de lapilli y de ceniza de grano fino a grueso. Predominan las tobas de granulometría lapílica y ceniza gruesa (Figura 4.11 (a-b)).

Descripción microscópica

Son tobas vítreas cuarcificadas, de color abigarrado, gris con tonalidades pardo amarillenta, estructura y textura masiva, fragmentada, granolepidoblástica, vítreo, cristalolítica, relícticas y hipocristalina, el mineral que más abunda el cuarzo (50,0 % - 60,0 %), se presenta en granos anhedrales (alotriomórficos), la textura es inequigranular porfídica ($\ll 0.1$ mm) y los de mayor tamaño ($\ll 0.5$ mm). Las plagioclasas tiene formas subhédricas poco visible, con dimensiones de hasta 0.05 mm. Generalmente las rocas están intensamente alteradas por sericita, como producto de alteración de las plagioclasas y constituidas por cuarzo (55,0 % - 60,0 %), sericita (25,0 %), mezcla de minerales arcillosos ($\ll 10,0$ %), hidrómica (2,0 % - 5,0 %), óxidos e hidróxidos de Fe y polvo metálico ($\ll 2,0$ %). También se observan las formas relícticas de los fragmentos de roca, los cristolaclastos y vidrio se presenta generalmente fluidal, etc. Estas muestras pertenecen a la zona de transición entre la zona cuarzo sericítica y argilítica.

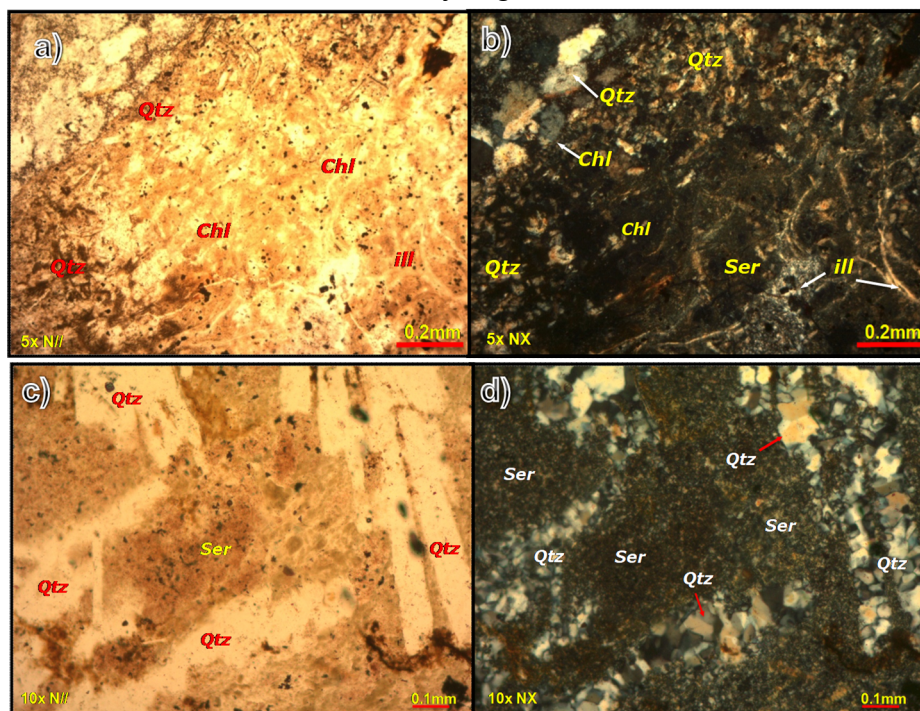


Figura 4.11. Microfotografías de secciones delgadas de muestras de tobas vítreas cuarcificadas, alteradas. En nicols paralelos (izquierda) y cruzado (derecha), con presencia de cuarzo como mineral de alteración. **a - b)** muestra M-7-1 con objetivo 5x con cuarzo en agregados micro-cristalinos con textura granolepidoblástica, vítreo, cristalolítica y vitrocrystalina. La muestra presenta alteración

sericítica (Ser), silicificación (Qtz), minerales de arcilla (Ser-ill) y clorita (Chl). Por otro lado, **c-d**) muestra M-6-1, toba volcánica (10X), formada por grandes cristales de cuarzo (en forma de drusas y de mosaico) y plagioclasa (poco observada) incluida dentro de un cemento de polvo de sílice, sericita (Ser) y clorita (Chl). Textura en vetilla de cristales de cuarzo euhedrales paralelos entre sí y cúmulo de cuarzo de recristalización dentro de la matriz de cuarzo microcristalino. La muestra está intensamente alterada, constituida por cuarzo, sericita, mezcla de minerales arcillosos con óxidos e hidróxidos de Fe, polvo metálico y óxidos diseminados. Esta muestra pertenece a la zona de transición entre la zona cuarzo sericítica y argilítica.

❖ Tobas ignimbritas

Roca piroclástica ácida, los minerales esenciales son: cuarzo, feldespatos alcalinos, biotita y otros. Tobas incandescentes, reconsolidadas en el lugar por efecto de la plasticidad de los minerales y por la acción de los gases.



Figura 4.12. Muestras macroscópicas de fragmentos de tobas ignimbríticas del norte del yacimiento. Muestra- 2 (derecha) corte transversal de la muestra-1 (izquierda).

Descripción macroscópica y microscópica

Son rocas de color crema, gris claro a gris verdosa. De estructuras masivas, clásticas, pseudofluidal, esquistosas, fragmentarias hasta brechosas. La textura es generalmente ignimbrítica, con cemento microfelsítico, amigdaloidal y microgranoblástico.

Las ignimbritas son rocas compuestas fundamentalmente por cristaloclastos fluidales que abarcan un 50,0 % - 75,0 % en la muestra, se presentan desvitrificadas a clorita, cuarzo, calcita, zeolitas y sericita. La figura 4.13 está formada por pequeños cristales de cuarzo («15,0 %), clorita («20,0 %), sericita («25,0 %) y como máfico acompañante es la biotita («5,0 %), también se observan minerales metálicos muy diseminados de granulometría fina de óxidos e hidróxidos de Fe («2,0 % - 5,0 %). En su composición también se encuentran presentes litoclastos de rocas efusivas de texturas microlíticas, amigdaloidal, microfelsítica que ocupan de un 25,0 % - 50,0 % aproximadamente en las muestras. Los cristaloclastos son más escasos,

representados por plagioclasas y clinopiroxenos alterados a minerales sericíticos, arcillosos, clorita y minerales hidromicáceos con procesos de oxidación.

El proceso de anhidritización es abundante en este tipo de rocas, así como la presencia de yeso y barita, se presentan tanto en el cemento como en los vitroclastos.

Como minerales accesorios están presentes esfena, leucoxeno, esfalerita, pirita en forma de grano y diseminada, mientras que la magnetita es el mineral oxidado observado.

La composición de estas rocas varía de media a ácida, las ácidas son más escasas. La característica más relevante, es la presencia de fragmentos de vidrio volcánico en forma de llamas (flammes) y en formas angulosas, desvitrificados e incluidos en un cemento vitreo desvitrificado de minerales microfelsíticos, clorita, anhidrita y yeso.

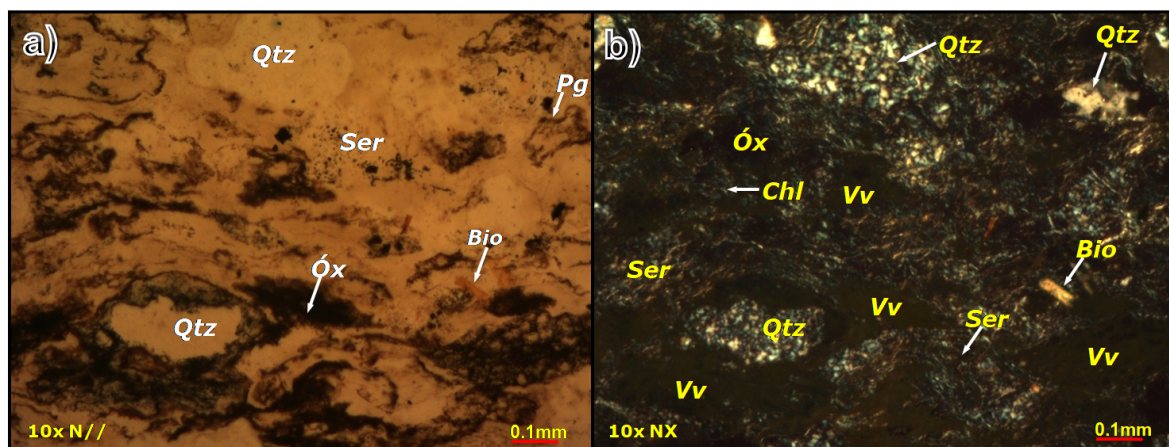


Figura 4.13. Microfotografía de una sección delgada de una toba ignimbrítica. Izquierda (a) con nicolas paralelos y derecha (b) cruzados, muestra M-1-2, con objetivo (10X). Roca piroclástica formada por pequeños cristales de cuarzo (Qtz), clorita (Chl), sericita (Ser), el máfico acompañante es biotita (Bio), también se observan minerales metálicos muy diseminados de granulometría fina de óxidos e hidróxidos de Fe (Óx). Textura criptocristalina, fragmentaria relíctica, microfelsítica en cristales de cuarzo anhedral. La roca está alterada a minerales arcillosos y a un agregado de minerales microfelsíticos (posible sílice) y a cuarzo en forma de mosaico. Se observan las formas relícticas de algunos fragmentos de vidrio en forma de llama (Vv). La muestra corresponde a la zona de argilitización.

4.2.2. Características petroquímicas de las rocas encajantes del yacimiento.

Para el estudio de la caracterización petroquímica de las rocas de caja del yacimiento, sólo se escogieron 24 muestras de las 25 analizadas de la zona menos alterada (fresca), realizándose análisis químicos de óxidos para elementos mayores (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Composición química de óxidos para elementos mayores de las rocas encajantes del yacimiento Oro Barita.

No.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	PPI	Suma	Tipo de Roca
YN-1.1	54.70	17.77	2.60	1.60	3.15	2.66	0.82	4.80	1.87	0.89	1.25	92.11	Andesito Basalto
YN-1.2	76.26	9.98	0.69	0.39	1.97	2.78	0.25	1.18	2.79	2.49	0.65	99.43	Riolita
YN-1.3	64.07	14.30	1.27	0.37	3.88	3.08	1.38	2.18	3.77	1.23	1.28	96.81	Dacita
YN-1.4	58.92	18.74	2.34	2.34	5.39	4.12	-	0.18	4.59	3.22	-	99.84	Traquiandesita
YN-1.5	67.73	9.12	0.21	-	1.53	1.38	0.50	0.18	2.67	7.84	2.56	93.72	Traquita
YN-1.6	58.69	13.73	0.57	0.57	7.58	6.83	-	0.18	4.51	4.94	1.23	98.83	Traquiandesita
YN-1.7	58.75	13.14	1.97	0.97	3.25	3.45	0.49	4.18	2.69	0.57	2.77	92.23	Andesito
YN-1.8	64.28	12.52	1.17	0.27	3.68	3.02	0.68	2.38	4.32	1.25	1.25	94.82	Dacita
YN-1.9	54.43	19.05	4.28	0.28	5.41	4.67	0.58	3.79	4.06	0.32	1.25	98.12	Andesito Basalto
YN-1.10	68.17	13.89	0.35	2.07	3.76	3.05	-	2.39	3.98	1.55	0.36	99.57	Dacita
YN-1.11	74.23	10.18	0.82	0.22	1.87	2.07	0.20	0.98	3.75	2.64	1.29	98.25	Riolita
YN-1.12	60.51	8.21	1.09	1.09	10.36	9.13	0.65	0.18	4.41	3.64	-	99.27	Traquiandesita
YN-1.13	60.32	16.02	1.74	0.74	3.10	2.00	0.57	4.18	3.58	0.87	3.76	96.88	Andesito
YN-1.14	67.88	9.27	0.39	0.39	6.91	5.22	0.63	0.18	6.26	2.34		99.47	Traquidacita
YN-1.15	78.07	9.02	0.97	0.03	2.10	1.89	-	1.18	2.07	1.37	2.50	99.20	Riolita
YN-1.16	78.57	7.31	0.95	0.55	1.50	1.35	-	1.68	2.38	1.43	2.35	98.07	Riolita
YN-1.17	68.51	12.76	1.77	0.77	2.61	1.32	-	1.95	3.98	1.82	1.10	96.59	Dacita
YN-1.18	60.43	12.90	1.43	2.43	3.72	3.25	0.61	3.08	4.83	0.90	2.64	96.22	Andesito
YN-1.19	74.73	9.07	0.97	0.38	1.91	2.12	-	2.52	4.16	1.95	1.16	98.97	Riolita
YN-1.20	72.32	11.01	1.97	0.97	3.51	2.96	-	2.68	2.98	0.80	0.70	99.90	Dacita
YN-1.21	52.49	19.22	1.75	0.75	5.12	3.91	1.17	4.35	4.94	2.39	2.47	98.56	Traqui Andesito-basalto
YN-1.22	66.90	10.49	2.85	0.18	4.50	2.25	-	4.25	5.18	0.65	1.56	98.81	Dacita
YN-1.23	85.70	6.20	0.98	0.52	-	-	-	1.23	2.10	0.57	0.56	97.86	Silexita
YN-1.24	76.19	10.71	0.66	0.32	1.72	2.12	0.18	1.18	2.84	1.40	1.10	98.42	Riolita

La tabla 4.1 muestra un fuerte incremento en las concentraciones de sílice, alúmina, óxido de sodio y los óxidos de hierro; disminución de óxido de titanio, óxido de magnesio y óxido de manganeso; mientras que el óxido de potasio no muestra variaciones apreciables, el carbonato solo tiene valores altos a medios en el grupo de las rocas de composición media a básica (andesita, traqui andesita-basalto y andesita-basalto). Las muestras con contenidos de sílice mayor de un 85% representan las rocas que han sufrido transformación por los procesos hidrotermales, mientras que el aumento de alúmina representa el tipo de alteración (cuarzo-illita y argílica).

Tabla 4.2. Caracterización de rocas principales según composición en SiO₂

Nombre de roca extrusiva	Komatita	Basalto	Andesita basáltica	Andesita	Dacita	Riolita
SiO ₂ (wt%)	<45	45-52	52-57	57-63	63-68	>68
Muestras			YN-1.1 YN-1.9 YN-1.21	YN-1.4 YN-1.6 YN-1.7 YN-1.12 YN-1.13 YN-1.18	YN-1.3 YN-1.5 YN-1.8 YN-1.22 YN-1.14	YN-1.10 YN-1.17 YN-1.20 YN-1.23 YN-1.11 YN-1.15 YN-1.16 YN-1.19 YN-1.24 YN-1.2

La tabla 4.2 muestra la caracterización de las rocas extrusivas principales, según su composición química de SiO₂ wt%, clasificándolas desde andesita basáltica hasta riolita. Las rocas dacíticas y riolíticas son las más representativas del yacimiento con concentración del contenido de sílice mayor del 63,0 %, clasificándose como una roca ácida, mientras que el grupo de las andesitas su contenido de sílice es de 57,0 – 63,0 % clasificándose como una roca de composición intermedia. Estos resultados corroboran los estudios realizados por (Méndez, 1997) en el arco volcánico del Paleogeno de la Sierra Maestra.

El diagrama TAS (Figura 4.14), gráfica la relación del SiO_2 con los álcalis ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$) de las rocas volcánicas efusivas del yacimiento Oro Barita, representada por andesita basáltica hasta riolita.

La distribución de las muestras analizadas en este diagrama indica que existe un predominio de las series subalcalinas/toleíticas de las rocas de composición ácida con respecto a las básicas, con una distribución preferente de dacitas y riolitas. El valor medio de las muestras expresa la tendencia de las rocas al campo de las traquidacitas.

La serie de datos se pueden dividir en dos grandes grupos: en la parte superior se observa la serie alcalina representada por el 25,0 % del total de las muestras, mientras que en la parte inferior a la línea discontinua se observa la serie subalcalina/toleítica, representada por el 75,0 % del resto de las muestras, dividiéndose en dos familias: riolitas y dacitas. También existen datos que colocan muestras en el campo de las andesitas.

Además existe un ligero aumento del contenido en álcalis a medida que aumentan los valores de sílice.

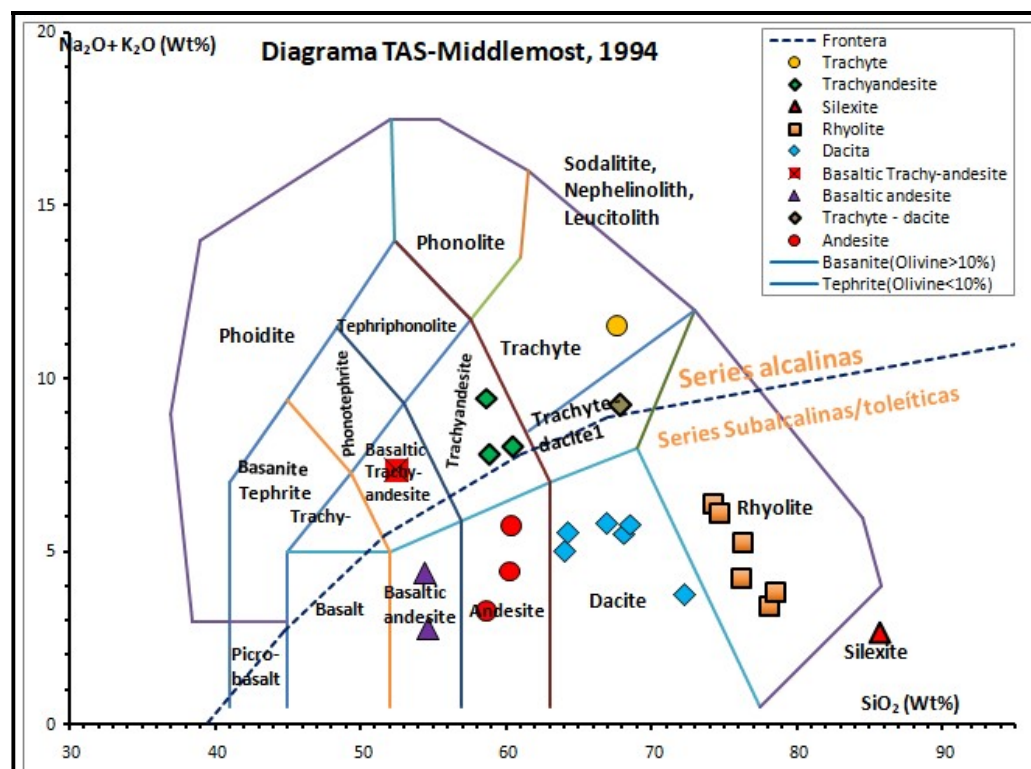


Figura 4.14. Diagrama de clasificación TAS (SiO_2 vs. Total álcalis) para una serie de muestras de rocas extrusivas y su simbología respectiva. Tomado de Le Maitre *et al.* (1989) y modificado por Middlemost, 1994.

De acuerdo con la representación de la figura 4.15, las muestras ubicadas en la parte inferior se clasifican preferentemente en la serie toleítica, representa el 41 % del total de las muestras, mientras el 38 % de las muestras corresponden a la serie calco-alcalina de K medio. Lo anterior permite apreciar una tendencia toleítica bien marcada tendiéndose a la serie Calco-alcalina de potasio medio, lo cual es corroborado con la posición del valor medio en el gráfico dentro de la zona de la serie calco-alcalina, estos resultados coincide con trabajos realizados anteriormente dentro del campo mineral El Cobre (Méndez, 1997) y (Rodríguez, 1997).

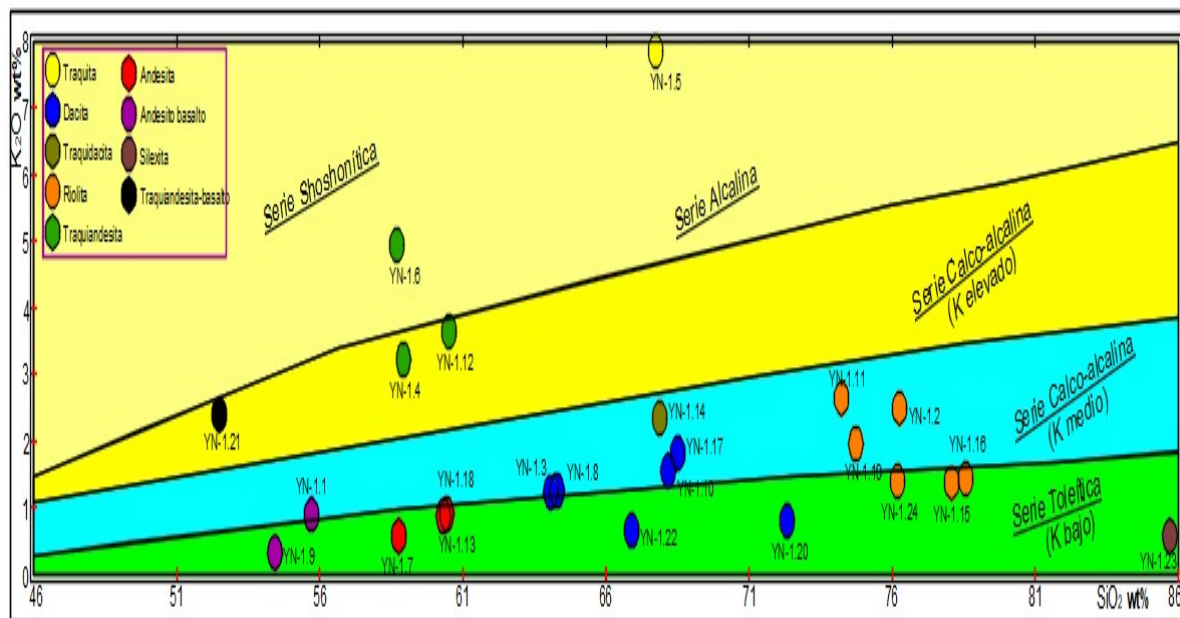


Figura 4.15. Diagrama de variación de SiO_2 vs. K_2O . Se han representado los límites de Middlemost (1994) para los distintos tipos de series calcoalcalinas y para la serie shoshonítica.

En la figura 4.16, se observa que la mayoría de las muestras es clasificada como de la serie toleítica representada por rocas encajantes de composición dacítica y riolítica de alta acidez, lo que ratifica su tendencia toleítica. Apenas dos muestras se clasifican en el límite entre las andesitas y las dacitas con una tendencia a dacita; por otro lado, una muestra se encuentra en la litología de las riolitas de la serie calco-alcalina, aunque muy próxima al límite de las riolitas toleíticas

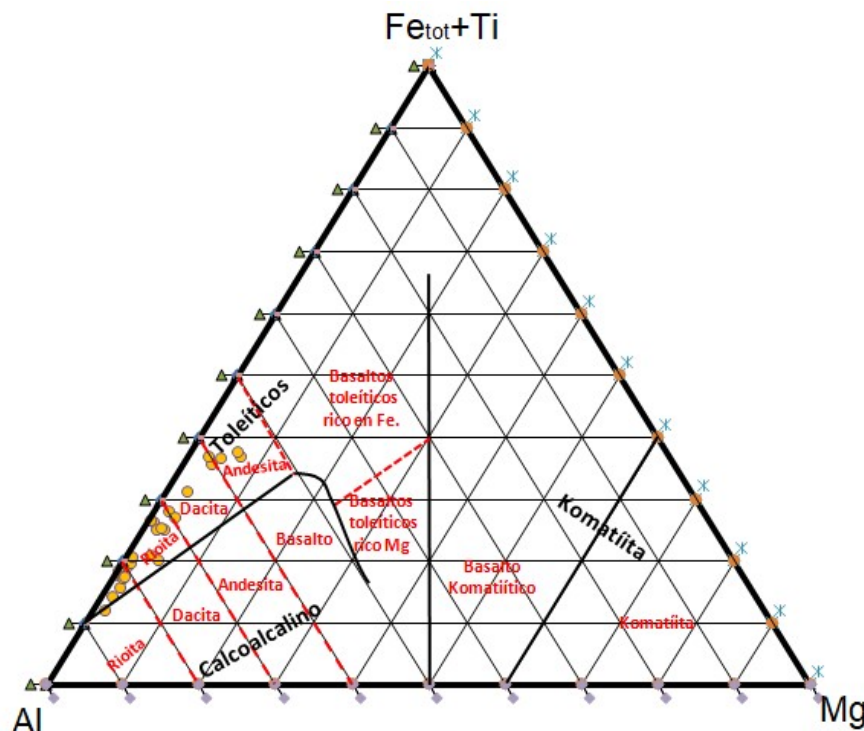


Figura 4.16. Diagrama de clasificación de rocas volcánicas del yacimiento según las proporciones cationicas de **Al-Fe_{tot}+Ti-Mg** (Rickwood, 1989).

4.3. Composición mineralógica de las menas.

La caracterización de los minerales opacos mediante el microscopio de luz reflejada se considera una de las técnicas más importantes para la identificación de los minerales que componen las menas. Los resultados de la caracterización de las relaciones texturales, conduce a la determinación de la paragénesis del yacimiento a partir de muestras tomadas de testigos de perforación y fragmentos de rocas superficiales (Anexo Textual 3).

La mineralización aurífera en el área se encuentra genéticamente relacionada con la secuencia inferior y media del miembro Hongolosongo (Grechanik y Norman, 1967-1969). El estudio de secciones pulidas, microscopía óptica de luz reflejada y microscopía electrónica de barrido (SEM) ha permitido conocer la naturaleza de los minerales metálicos que acompañan las rocas durante su alteración (sericitización, cuarcificación, cloritización), además de caracterizar la mineralización del yacimiento.

A continuación se muestran las descripciones minerográficas de la composición mineralógica de las menas:

Oro nativo (Au): este mineral se observó en cinco de las quince secciones analizadas de las muestras estudiadas en epígrafes anteriores, caracterizadas como tobas andesíticas brechosas, dacitas y riolitas (Figuras 4.6 a 4.9). La mineralización está representada fundamentalmente por oro nativo y plata nativa, esta última solo fue observada por microscopía electrónica y por trabajos anteriores (CIPIMM, 2017); mientras que el oro nativo está estrechamente relacionado o acompañado con la mineralización cuarzo-sulfurosa (pirita, esfalerita, calcopirita).

Según resultados de microscopía electrónica el oro nativo está asociado, fundamentalmente, a los sulfuros en un 70,0 % (28,2 % con la esfalerita, 11,96 % con calcopirita, 5,98 % con pirita, el 23,95 % en agregados complejos de dos o más sulfuros) y al cuarzo en un 30,0 %. También se presenta en granos muy pequeños (<20 μm) e irregulares formando vetillas finas de coloración amarilla intensa. La presencia de oro nativo fue observada en las grietas, en los contactos o bordes de los granos de diferentes minerales sulfurosos que en ocasiones se presentan en pequeñas inclusiones dispersas junto a un mineral parecido al telurio de oro y plata (AgAuTe_2) submicroscópico y distribuido muy irregularmente en las menas.

La forma de ocurrencia del oro nativo, así como las características de la mineralización cuarzo-sulfurosa, sugieren la existencia de una estrecha relación genética entre ambos, probablemente con cierto desplazamiento en el tiempo.

Según determinaciones por el microscopio electrónico de barrido (SEM), el oro nativo se presenta de dos formas: libre, en forma de gancho o irregulares con un tamaño entre 800 nanómetros (nm) y 111 micras (μm) o incluido en la estructura cristalina de la pirita como agregados o individuos anhedrales de tamaño medio 38.2 micras; mientras que las partículas de oro de menor tamaño 10.0 nm, se observó una tendencia a formas esferoidales (Figura 4.23 y Figura 4.24).

En el estudio de minerales opacos mediante el microscopio de luz reflejada se identificó el oro nativo como cristales de color amarillo, donde las tonalidades varían dependiendo del por ciento de plata que lo acompaña hasta alcanzar un color más pálido, es isotrópico, careciendo de birrefringencia y reflejos internos, se encuentra muy diseminado con un diámetro de 0.5-0.8 μm , a veces zonado. El oro aparece en granos submicroscópicos dispersos en cuarzo y dentro de la estructura cristalina de la esfalerita de granos anhedrales, la textura predominante es cristalización, agrietamiento y remplazamiento o sustitución, donde la esfalerita está remplazando a la calcopirita masiva cristalina (parte centro superior de la imagen). La calcopirita se

observa en agregados allotriomorficos dispersos en los minerales de ganga y a su vez bordeando la esfalerita. En la zona central de la imagen se observa una grieta rellena de calcopirita que corta a la esfalerita en toda su extensión, esto parece ser que han ocurrido varios eventos de mineralización en la roca que le dio origen (Figura 4.17). La paragénesis mineral está constituida por: **oro + esfalerita + calcopirita + cuarzo ± calcita ?**.

La ganga está formada por cuarzo, barita, calcita y minerales del grupo de las arcillas. Las texturas están representadas por: masiva, diseminada, de corrosión, remplazamiento, relíctica.

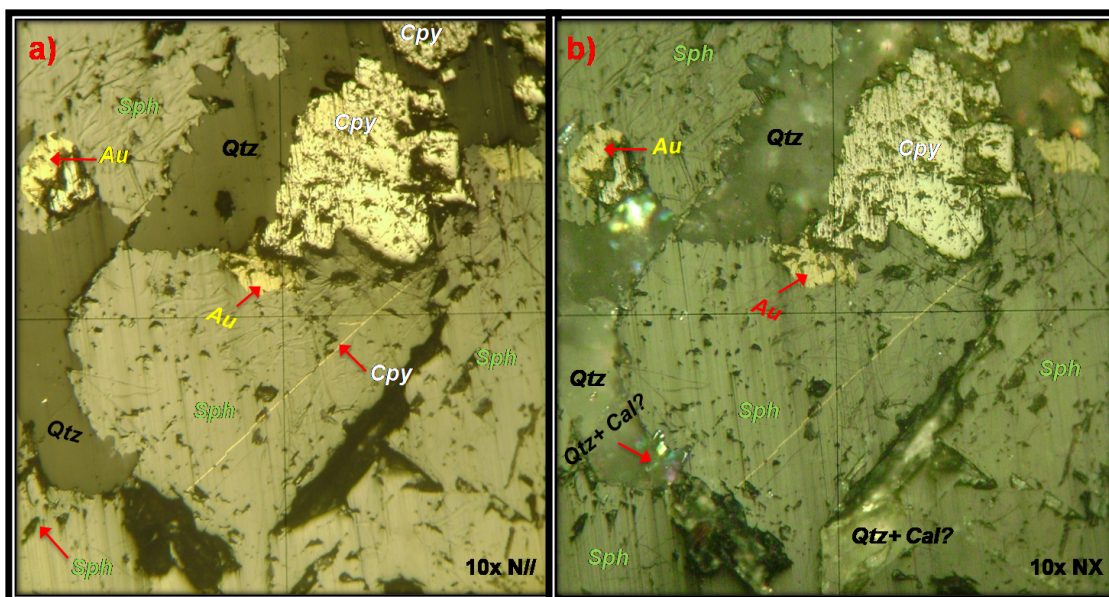


Figura 4.17. Microfotografías de secciones pulidas documentando las relaciones paragenéticas del yacimiento Oro Barita. **a y b)** Corresponden a microfotografía de la muestra YN-1.2 (2) (muestra de fragmento). La calcopirita idiomórfica o euédral (amarilla oscura, centro superior) tiene inclusiones de silicatos (centro derecha) y está rodeada por esfalerita y cuarzo. El cuarzo es el principal silicato presente (arriba centro). Sección pulida, luz reflejada, x10. También se observan partículas de oro (Au) intersticial entre los granos de cuarzo (Qtz) y esfalerita (Sph).

Plata nativa (Ag): en el yacimiento, se observaron minerales argentíferos (plata nativa, yodargirita, querargirita), siendo los últimos un yoduro de plata y cloruro de plata respectivamente. Por otro lado, parece ser que la plata está contenida principalmente en pirita, galena y oro.

En las menas que contienen pirita y galena por lo general se presentan altos tenores de plata. La yodargirita aparece como mineral secundario en las zonas oxidadas, normalmente por quedar descubiertos a la intemperie. Este mineral solo fue determinado por (SEM).

Pirita (FeS_2): es el mineral sulfuroso principal observado en el 95,0 % de las muestras de fragmentos estudiadas en epígrafes anteriores (Figuras 4.6 a 4.9). La pirita en general aparece en granos idiomórficos, ocurre en forma subhedral cúbica, diseminada, rellenando vetillas y forma estructuras dendríticas dentro de la roca. Su color es amarillo latón pálido hasta amarillo blancuzco, su color varía en presencia de otros minerales, es débilmente isotrópico, pero se distingue, variando entre verde azulado y rojo anaranjado. Depende de la calidad del pulido y la textura del mineral, carece de birrefringencia y reflejos internos. Los granos muy diseminados de diámetro de hasta 0,1 mm. También forma granos minerales irregulares con un diámetro de 0,2-1,5 mm. Se presenta en dos generaciones, la primera generación son individuos euhedrales y subhedrales, rara vez anhedrales de hábito cúbico y en agregados alargados, masivos o granulares asociados a magnetita, goethita e ilmenita (Figura 4.21), algunas veces se observan inclusiones de oro, calcopirita y pirrotina, esta última solo fue observada por DRX y trabajos anteriores.

La pirita secundaria aparece en granos euhedrales, está asociada a muchas de las texturas antes descritas, pues se encuentra en las zonas de alteración supergénica alterándose a hematita, goethita, ilmenita y jarosita (según DRX), también se ha encontrado en las vetillas de cuarzo-alunita, así como en los intersticios entre los granos de cuarzo recristalizado como una matriz microcristalina. Por lo general la pirita presenta textura de cristalización, sustitución y agrietamiento

La paragénesis mineral esta constituida por:

- 1) **Pirita+esfalerita+calcopirita+covelina.**
- 2) **Pirita+esfalerita+galena + cuarzo.**

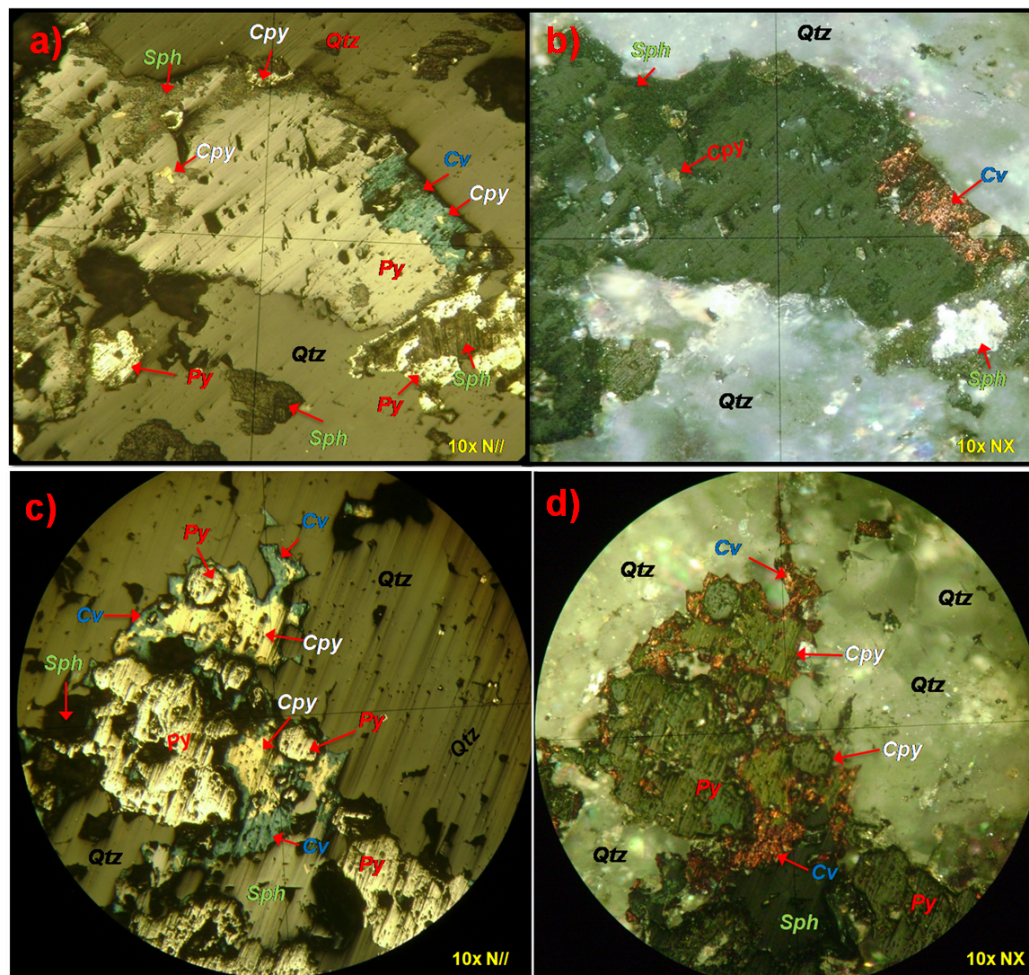


Figura 4.18. Microfotografías de secciones pulidas documentando las relaciones paragenéticas de varios eventos de alteración/mineralización en el yacimiento Oro Barita. **a y b)** Corresponden a microfotografías de la muestra P-7-17(5) (15.90 m). La pirita subhedral a anhedral (amarilla pálida a blanca, derecha inferior) tiene inclusiones de silicatos (centro derecha) y está rodeada por esfalerita y cuarzo, también se observa calcopirita (amarilla, centro), que está alterada a covelina de grano fino (azul, centro derecha). La covelina muestra birreflectancia y pleocroismo de reflexión de azul oscuro a azul claro (centro). El cuarzo es el principal silicato presente (arriba centro). Sección pulida, luz reflejada, x10. **c y d)** Corresponden a microfotografía de la muestra P-7-17(3) (15.90 m). De las asociaciones minerales (cuarzo (Qtz)+pirita (Py)+esfalerita (Sph)+calcopirita (Cpy)+covelina (Cv)). La pirita subhedral a anhedral (amarilla pálida a blanca) tiene inclusiones de silicatos (centro izquierda) y está rodeada por calcopirita (amarilla, centro) y alterada a covelina de grano fino (azul, centro derecha). La covelina muestra birreflectancia y pleocroismo de reflexión de azul oscuro a azul claro (centro). El cuarzo es el principal silicato presente (arriba centro). Sección pulida, luz reflejada, x10.

Esfalerita (ZnS): se observó en la mayoría de las secciones analizadas, constituye el segundo mineral sulfuroso más abundante. Se presenta en granos irregulares y con menor frecuencia se observan cristales. La coloración varía desde incoloro a café muy oscuro a claro debido al bajo contenido de hierro, es isotrópica, careciendo

de birrefringencia, siempre es visible en reflejos internos, se encuentran en cristales euhedrales con un diámetro de 0,1 - 1,5 mm. Se presenta en forma de vetillas y nidos, a veces, en intervalos, es masiva. Con frecuencia, la esfalerita contiene exsolución de calcopirita en forma de finas partículas que se localizan en la periferia de los granos. La esfalerita es el sulfuro que presenta una relación más estrecha con el oro nativo que se localiza en los bordes de los granos, en los contactos entre la esfalerita y otros sulfuros o el cuarzo y en forma de pequeñas inclusiones dispersas.

Calcopirita (CuFeS_2): es el tercer mineral en abundancia entre los sulfuros, presentándose en forma de nidos y vetillas acompañado generalmente de esfalerita y con menor frecuencia galena. En forma de cristales euhedrales, diseminados y rellenando vetillas, aunque a veces como inclusiones dentro de pirita, esfalerita. La sustitución de la calcopirita por la pirita y covelina se observa en algunas muestras con intensidad moderada (Figura 4.19 a-b). La calcopirita aparece cementando los cristales de pirita o rellenando las grietas de éste mineral. Además forma inclusiones muy finas de exsolución en la esfalerita.

Con frecuencia la calcopirita está acompañando al oro nativo, tanto en vetillas finas, nidos en el cuarzo, en asociación con esfalerita y otros minerales. La paragénesis mineral está definida por el posible orden de formación de los minerales:

a-b)- Calcopirita+pirita±covelina±bornita.

c-d)- Esfalerita+calcopirita+pirita.

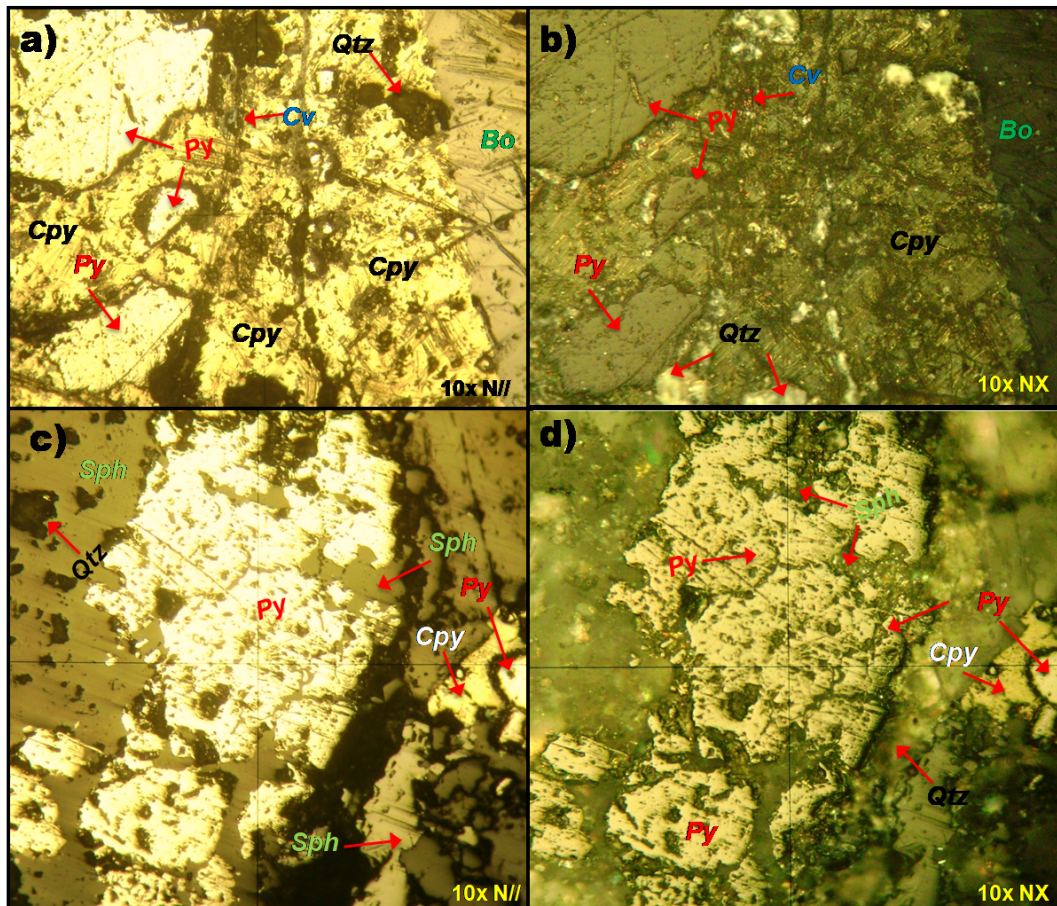


Figura 4.19. Microfotografías de secciones pulidas documentando las relaciones paragenéticas de varios eventos de alteración/mineralización en el yacimiento Oro Barita. a, b, c, y d) Corresponden a microfotografía de la muestra YN- 1-21(2B) (superficial). Pirita (py) y covelina (Cv) remplazando la calcopirita (Cpy), ubicada en la zona de enriquecimiento secundario.

Galena (PbS): es el mineral menos abundante. Se presenta siempre rellenando espacios vacíos en la esfalerita y menos frecuentes en calcopirita. De estructura masiva e irregular, grisácea, asociada a los sulfuros como pirita, esfalerita y calcopirita de primera generación, en el yacimiento se observa en forma de pequeños bolsones dentro de las arcillas esmectíticas. Frecuentemente aparece muy corroída por el cuarzo y es poco frecuente su asociación con el oro nativo (Figura 4.20). Textura presente en la microfotografía está representada por cristalización allotriomórfica granulosa – reemplazamiento, donde la esfalerita es reemplazada por galena en cristales irregulares. La posible paragénesis mineral está definida por: **galena+esfalerita+pirita**.

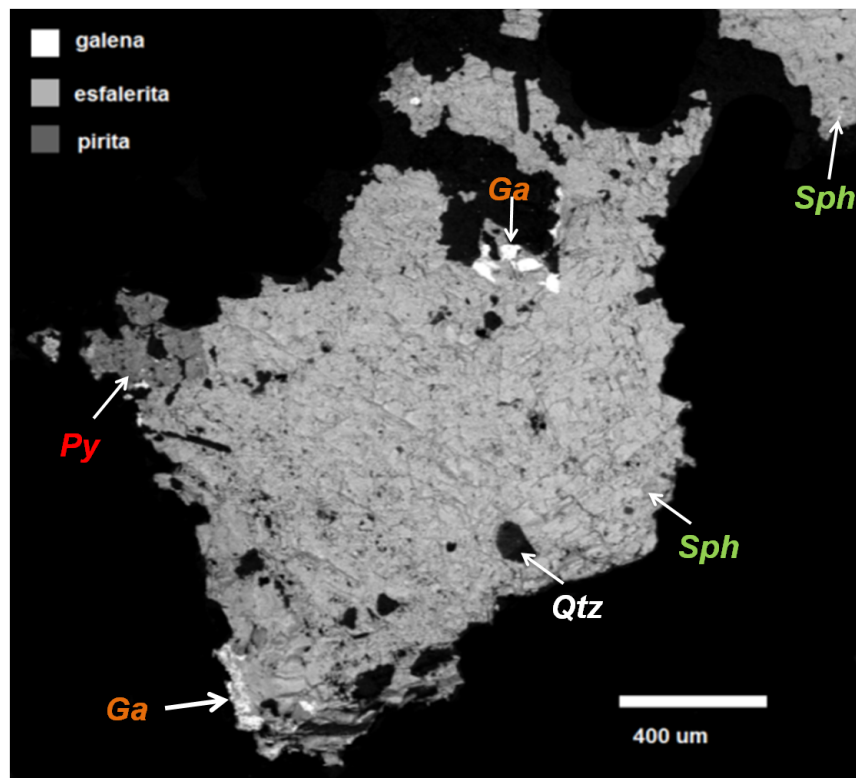


Figura 4.20. Microfotografía por SEM documentando las relaciones paragenéticas en la muestra YN-1.11 (de fragmento). Minerales presentes: pirita (py), esfalerita (Sph), galena (Ga) y cuarzo (Qtz). Textura de reemplazamiento, la pirita y la galena están reemplazando a la esfalerita.

Magnetita (Fe_3O_4): se observó en una sola muestra. El cristal de magnetita constituye el 20,0 % de la muestra, tienen una coloración grisácea-parduzca, cristaliza en el sistema cúbico y no tiene reflejos internos. Se observa un cristal en forma anhedral a subhedral de hábito octaédrico, algunas veces fracturado o como agregados granulares aislados asociados a calcopirita, esfalerita y a pirita de primera generación. En la figura 4.21 se aprecia textura laminar en forma escalonada donde los mismos dan un efecto de paralelismo que se va por la línea de clivaje, su tamaño es 1.88 mm. También se puede decir que la microfotografía presenta en general textura de cristalización alotriomorfa granulosa, reemplazamiento y agretamiento, así como agregados de granos gruesos y cristales idiomórficos. Son frecuentes la zonación y el maclado. La paragénesis mineral de la microfotografía está representada por: **magnetita + pirita + calcopirita + esfalerita**

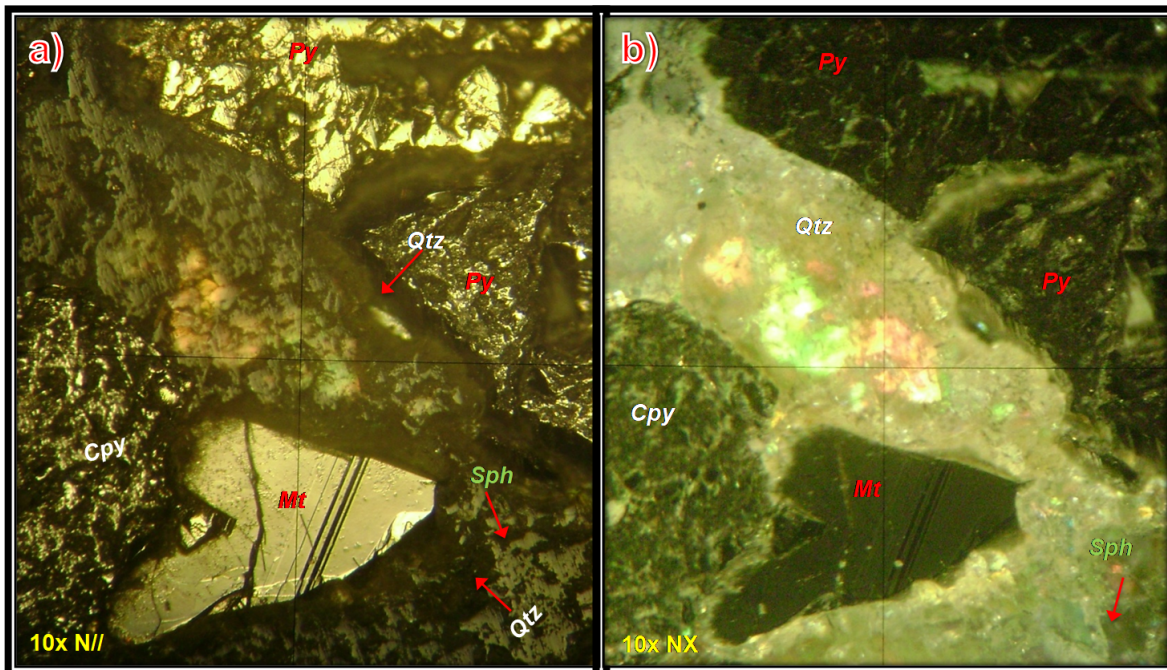


Figura 4.21. Microfotografías de secciones pulidas documentando las relaciones paragenéticas del yacimiento Oro Barita. **a, b)** Corresponden a microfotografías de la muestra YN- 1.23(6) (superficial). Se observa un cristal de magnetita (Mt) con clivaje escalonado y con pequeñas fracturas, la calcopirita (Cpy) está corroída acompañando la esfalerita (Sph) y el cuarzo (Qtz). Textura corrosión, agretamiento y remplazamiento.

Hematita (Fe_2O_3): mineral principal de la zona de oxidación observado en el 10,0 % de las secciones pulidas analizadas. La hematita en general aparece en cristales anhedrales, puede aparecer en forma de oolitas o pisolitas, como finas láminas cristalinas o como lentes orientadas subparalelas a la estratificación, a veces se observa la hematita laminar tardía respecto de la primaria, con dimensión de cristales de hasta 300 μm , que se presenta como reemplazo (Figura 4.22). Su color es castaño rojizo a gris oscuro, es débilmente anisotrópica, pero se distingue, por su variado color rojo oscuro con nicoles cruzados, es débil de birrefringencia y los reflejos internos son de color rojo oscuro.

Han sido reconocidos dos tipos de cuarzo, el primero es cuarzo primario de la zona de oxidación del gossan donde él forma parte de la paragénesis mineral con los sulfuros, éstos son alterados a óxidos e hidróxidos de hierro y el cuarzo queda inerte o libre en la zona de pre-mineralización, también se puede notar que los sulfuros no tienen continuidad quedando relictos en el proceso de alteración con partículas de oro libre (Figura 4.22), usualmente observados en niveles someros. El segundo tipo corresponde a una cristalización de cuarzo de mayor tamaño con formas subhedrales a anhedrales, algunas veces de aspecto sacaroide o cuarzo lechoso

masivo, de formación más tardía y sincrónica con la mena primaria de sulfuros en paragénesis con la esfalerita, pirita y calcopirita como mineral sulfurado de mayor importancia. Por otra parte, la calcita es observada como textura primaria, de recristalización o reemplazamiento selectivo de fenocristales primarios de cuarzo.

Las texturas predominantes están representadas por la relíctica, cristalización, reemplazamiento y de descomposición de soluciones sólidas de pirita en la masa de la hematita. La paragénesis mineral está definida por la posible edad de formación: **pirita+hematita+oro**.

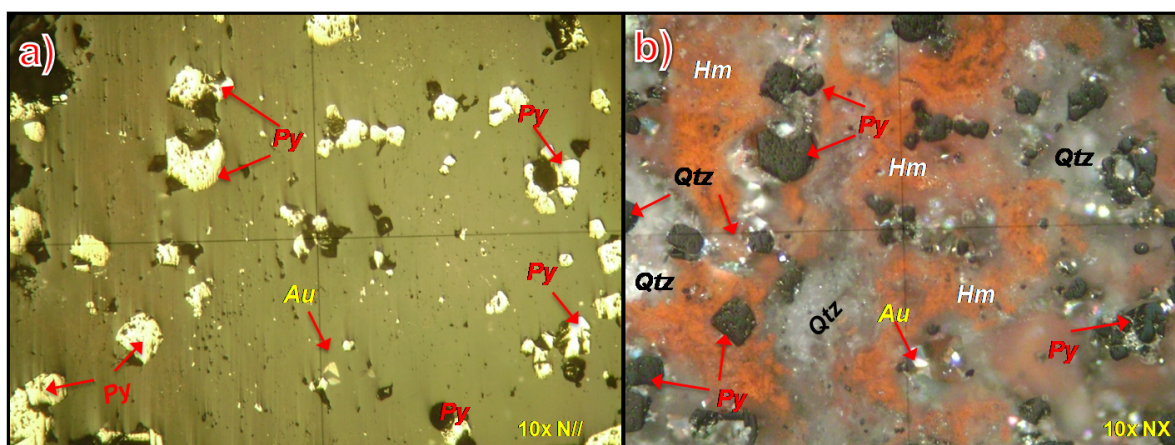


Figura 4.22. Microfotografías de secciones pulidas documentando las relaciones paragenéticas del yacimiento Oro Barita. **a, b)** Corresponden a microfotografía de la muestra Ht_B-5(3) (superficial). Minerales presentes: oro (Au), pirita (Py), hematita (Hm) y cuarzo (Qtz). Textura relíctica, cristalización, reemplazamiento y de descomposición de soluciones sólidas de pirita en la masa de la hematita.

Covelina (CuS): es el mineral más frecuente de la zona de enriquecimiento secundario. Se presenta en granos irregulares y con menor frecuencia se observan cristales, así como fracturas en las zonas de contacto cuarzo-calcopirita, cuarzo-pirita y pirita-calcopirita. Reemplazando la mayoría de éstos minerales (Figura 4.18). La coloración varía desde el azul oscuro hasta el blanco azulado, es muy anisotrópico, su alta birrefringencia es la característica más distintiva, se encuentran en cristales alotriomórficos o anhedrales con un diámetro de 2.5 mm. En la figura 4.18, se observa, que la calcopirita reemplaza a la covelina y la pirita en un primer estadio, mientras que en el según estadio la calcopirita reemplaza a la esfalerita y la pirita. Por otro lado, en la figura 4.18 (c-d) la calcopirita es reemplazada por la covelina, perteneciendo a la zona de enriquecimiento supergénico, también se observa textura de cristalización, agretamiento, corrosión. La paragénesis mineral está constituida por: **Pirita + esfalerita + calcopirita + covelina; Pirita + esfalerita + galena + cuarzo**.

4.4. Análisis de fases a través de la difracción de Rayos-X (DRX) y la (SEM+EDS).

4.4.1. Análisis de roca total

A continuación se presentan los resultados de los análisis de fases por Difracción de rayos-X de cada muestra y los difractogramas más representativos.

Para la interpretación de los difractogramas se utilizó la base de datos "PDF2.DAT-Minerals (database to XPowder use Cu AMCSD (70.0 to 1.65))", las líneas de difracción (picos) de cada mineral están clasificadas de acuerdo a su intensidad, por ejemplo, para el caso de la mordenita y laumontita (grupo de las zeolitas), illita, moscovita, cuarzo y pirita, son los minerales con picos de mayor intensidad (Tabla 4.3), ubicándose de forma consecutiva ejemplo: 13.55 Å, 9.04 Å y 6.58 Å, los cuales presentan intensidades de 100, 76 y 69, respectivamente.

De forma general, la interpretación de las muestras analizadas mostró un predominio de las fases del grupo de la zeolita (10,4 %), arcillas (19,2 %), silicificación (15,4 %), sulfurosa (30,0 %), jarosita (2,3 %), clorita (6,5 %), barita (3,8 %), alunita (2,0 %) y yeso (4,1 %), que representan el 93,7 % de las muestras.

Los minerales acompañantes (calcita, diásporo, enargita, albita, montmorillonita, entre otros menos importantes), representando un 2,0 % de las fases de los difractogramas (Anexo gráfico A). Las fases minerales identificadas con los tres respectivos picos de mayor intensidad son resumidas en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Minerales identificados durante DRX, se muestran los 3 principales picos en *angstrom* (Å) con las respectivas intensidades.

Mineral	Picos (intensidad)	Mineral	Picos (intensidad)
Cuarzo	3.34Å (100); 4.26Å (22); 2.28Å (9)	Pirita	3.13Å (100); 2.71Å (44); 2.71Å (40)
Barita	3.08Å (100); 3.42Å (98); 2.71Å (92)	Galena	2.97Å (100); 3.43Å (98); 3.41Å (98)
Dickita	7.16Å (100) ; 4.13Å (55); 3.58Å (65)	Alunita	4.99Å (70); 4.93Å (47); 3.01Å (100)
Caolinita	7.16Å (100); 4.36Å (52); 3.58Å (62)	Mordenita	13.55Å (100); 9.04Å (76); 6.58Å (69)
Diásporo	3.92Å (100); 2.28Å (64); 2.10Å (44)	Gismondina	7.28Å (83); 7.27Å (73); 4.27Å (100)
Yeso	7.59Å (78) ; 4.25Å (100) ; 4.48Å (97)	Chlorita	14.36Å (100); 13.97Å (100); 13.91Å (100)
Esfalerita	3.12Å (100); 1.91Å (57); 2.70Å (12)	Laumontita	9.58Å (100) ; 9.53Å (100) ; 9.50Å (76)

Jarosita	5.10Å (60); 5.07Å(70); 3.11 Å(68)	Illita	4.46Å (50); 3.35Å (100); 2.87Å (44)
Diópsido	2.98Å (100); 2.51Å (93) ; 2.56Å (43)	Moscovita	9.98Å (81) ; 4.46Å (96); 3.34Å (100)

La cuantificación de las fases realizadas mediante el software HighScore Plus versión 3.0.4 del 2011 de PANalytical mostró que en las muestras analizadas predominan los minerales con alta silicificación, donde los minerales más abundantes son : el cuarzo, mordenita, laumontita, clorita, esfalerita, illita y barita; mientras que las fases subordinadas son: moscovita, pirita, alunita, caolinita, gismondita y jarosita, terminando con las fases de escasa presencia por ejemplo: dickita, yeso y galena. Los difractogramas del anexo gráfico A muestran las asociaciones minerales y los respectivos picos característicos.

4.4.2. Microscopía electrónica de barrido, con análisis de rayos X (SEM-EDS).

Para observar relaciones texturales entre minerales e identificación de fases minerales y composicionales diminutas (del orden de micras) se hizo uso de la microscopía electrónica de barrido, en especial en aquellos casos en donde se tenía incertidumbre en la identificación de la fase mineral y/o conocer la composición química de algunos minerales debido a la asociación con el oro.

Además con esta técnica se observó la forma, tamaño, geometría, química de los minerales presentes, así como la pureza o fineza de los minerales precioso oro, plata y los elementos trazas (Figura 4.24).

En las figuras siguientes se muestra las imágenes obtenidas de un microscopio electrónico de barrido, con su respectivo espectro EDS (siglas en ingles), el cual muestra la energía de los rayos- X vs los impulsos detectados (Figura 4.23).

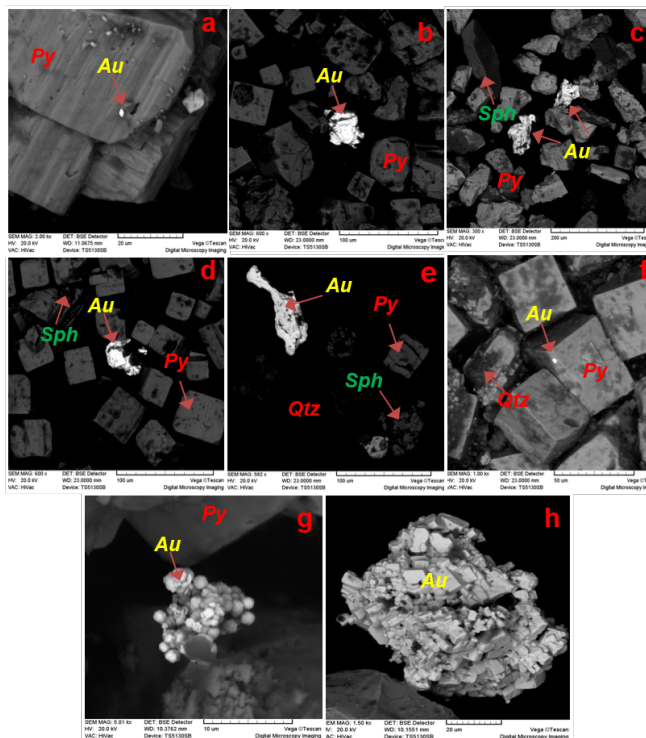


Figura 4.23. Imágenes de SEM de algunas de las partículas de oro asociadas a pirita y a otros minerales. Se organizan de izquierda a derecha el número de la muestra con el mineral asociado: a) YN-19 se observa un grano de oro asociado a la pirita en una muestra de donde la ganga es el cuarzo, b) YN-20 grano de oro asociados a la pirita y esfalerita en una muestra silicificada; c) YN-2 se observan dos granos de Au irregulares asociados a pirita y esfalerita; d) YN-4 mineral de oro asociado a pirita y esfalerita en rocas cloritizadas; e) YN-16 grano de oro libre, de gran tamaño en forma irregular asociado a esfalerita en zona silicificada y f) YN-5 pequeño granito de oro fuera de la estructura cristalina de los sulfuros. En todos los casos las partículas de oro (Au) son las brillantes, pirita (Py) y esfalerita (Sph); g) YN-1.6 un conglomerado de partículas de oro, se aprecia la esfericidad de la misma, así como su dimensiones en escala nanométrica; h) YN-1.2 partícula de oro de 75,9 μm, su morfología irregular. En ambos casos el oro aparece asociado a pirita.

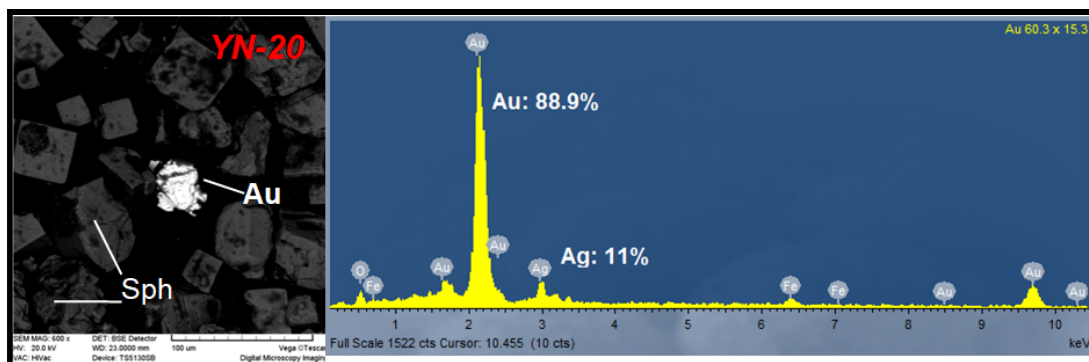


Figura 4.24. Imágenes de SEM y espectros EDS de minerales analizados asociado a la Pirita. Se aprecia su hábito cubico. Nótese las concentraciones de Au/Ag y Fe como elemento traza (0.10 %).

Respecto a la composición química de la muestra YN-20, se trata de una partícula de elevada pureza, donde los análisis de la microscopía analizados han determinado de forma puntual los porcentajes de oro, plata y otros elementos importantes que pueden ser considerados como trazas.

A partir de estos resultados obtenidos se pudo establecer la fineza del oro según clasificación de Antweiler y Campbell, (1982); tomado de (Alarcón y Fornari, 1994), basándose en la relación $F = \text{Au}/(\text{Au} + \text{Ag}) \times 1000$ que permite mostrar las relaciones de las posibles condiciones geológicas que se han formado en el depósito desde un punto de vista genético.

En base a los resultados obtenidos se puede considerar que el oro del depósito Oro Barita tiene una fineza muy alta cuyo valor es de 889,89 wt%, o sea los contenidos de plata en el oro son bajos llegando al 11,0 %, pero el oro tiene calidad del 88,9 % (Figura 4.24). Por otro lado, los elementos trazas encontrados en partículas de oro de este ambiente geológico corresponden básicamente a Sb, As, y en algunos casos particulares a Zn demostrados por análisis químico, donde un complejo sistema de vetas y brechas hidrotermales de tipo stockwork con sulfuros y sulfosales tienen una concentración promedio de algo más 1.74 g/t.

En muestras de oro en el yacimiento (zona de óxidos) se han realizado análisis que indican valores altos de oro y que podrían ser atribuidos a la lixiviación de la plata durante los procesos de alteración de los sulfuros, la fineza en el oro de esta zona es de 88,9 % según datos de SEM-EDS.

4.4.3. Caracterización de las fases a través del análisis térmico diferencial (ATD).

A través de los estudios de las muestra superficiales por ATD en fracciones finas, se obtuvieron los termogramas en el (Anexo Gráfico 5), éstos demuestran la diferenciación con relación a la concentración de las fases arcillosas y la concentración de los sulfuros. Además se detecta la goethita en la muestra no oxidada que presenta características típicas de una goethita más amorfa e hidratada. En el anexo tectual C, se presenta una tabla con los contenidos en por ciento de las muestras estudiadas.

4.5. Caracterización mineralógica de las alteraciones hidrotermales.

Se presentan los resultados de la mineralogía de alteración hidrotermal presente en la zona de estudio describiéndose, en primer lugar, la ocurrencia y distribución de cada uno de los grupos de minerales identificados: fases silíceas, filosilicatos (grupo de las arcillas y micas), sulfatos, sulfuros y óxidos.

4.5.1. Descripción y distribución de minerales de alteración.

1) Fases silíceas.

❖ Cuarzo

La información de las secciones pulidas, delgadas, descripciones macroscópicas y los resultados de DRX permitieron identificar su ocurrencia como el mineral más abundante del yacimiento llegando a 70,2 % en las zonas de alteración presente en el yacimiento, donde las vetas o filones de cuarzo han alcanzado 18,5 m de potencia con una longitud de decenas de metros cortados por pozos de perforación realizados en el 2017, donde su contenido de oro varía de 2,25 – 4,56 g/t. Este mineral tiene distintas ocurrencias:

- Debido a la alteración de la masa fundamental de tobas y lavas del miembro Hongolosongo, en agregados cristalinos subhedrales de grano fino con textura cristalina.
- Como agregados cristalinos de grano fino en forma de drusas con textura tipo peine reemplazando a una masa silícea de generación más antigua.
- En forma de vetas agrietadas y brechosas, rellenas por minerales sulfurosos, caolinitas y minerales del grupo de las zeolitas con texturas de reemplazamiento y criptocristalina rellenando vetillas más jóvenes como agregados cristalinos de grano fino subhedrales de hasta tres generaciones.
- En forma de cuarzo poroso y oqueroso con presencia de alunita y cristales de cuarzo bandeado y en forma dendrítica.

De esta manera, en la mayoría de las formas anteriormente mencionadas, la ocurrencia de las fases silíceas está asociada a un proceso de silicificación moderada a intensa. En particular el cuarzo se presenta frecuentemente junto a otras fases de filosilicatos tales como illita, sericita, muscovita, esmectita y caolinita, y con sulfatos tales como alunita, barita, jarosita entre otras.

2) Filosilicatos.

❖ Illita

En base a los resultados de DRX se ha identificado la ocurrencia de este mineral en las zonas de alteración correspondientes a rocas de composición media y ácida (andesitas hasta riolitas), así como a las arcillas de diversas coloraciones y a mantos de lavas andesíticas a dacíticas, pertenecientes al Miembro Hongolosongo, observándose como la segunda fase más abundante y representativa de las muestras analizadas donde los valores varían entre 24,0 - 33,0 %W (Figura 4.11), sin embargo considerando que las rocas afectadas corresponderían a lavas de

naturaleza andesíticas a dacíticas, entonces se puede establecer que la ocurrencia de la illita sería como producto de la alteración o meteorización de la moscovita y de los feldespatos en ambiente de meteorización hídrica y térmica.

En base a observaciones macroscópicas y a la información de las secciones delgadas, se ha identificado la presencia de sericita en agregados cristalinos de grano fino como producto de alteración de feldespatos, frecuentemente junto con cuarzo.

❖ **Muscovita**

De manera similar al caso de la illita, se ha identificado la ocurrencia de muscovita en base a los resultados de DRX. Estos indican que este mineral se presenta en agregados micro-cristalinos rellenando vetillas o como alteración de feldespatos en lavas andesíticas a dacíticas, frecuentemente junto a cuarzo, observándose como la tercera fase más abundante y representativa de las muestras analizadas donde los valores varían entre 18,0 - 28,0 %W. Se puede observar que la presencia de illita, sericita y muscovita está relacionada a la ocurrencia de cuarzo.

❖ **Caolinita**

En base a observaciones macroscópicas y a la información de los resultados de DRX y ATD se ha identificado la presencia de este mineral en vetas que cortan la zona de alunitización con dimensiones que llegan a 4.5 m de longitud y ancho de 25-30 cm, donde su concentración en las fases arcillosas es de un 60,0 % de caolinita, subordinadamente aparecen otros minerales como 24,0 % de dickita, 5,0 % de moscovita, y un 10,0 % de sulfato de hierro (Jarosita) según datos de ATD (Figura 4.25). También se ha observado caolinita rellenando la zona de falla en forma de parches o nódulos con diámetro de 10,0 - 15,0 cm dentro de las arcillas esmectíticas; así como en los frentes de extracción y en testigos de perforación rellenando vesículas, nódulos y grietas. Este mineral se presenta como agregado cristalino intercrecido con alunita y como alteración superficial de feldespatos en agregados terrosos. Se presenta frecuentemente junto con hematita, goethita, jarosita y alunita.

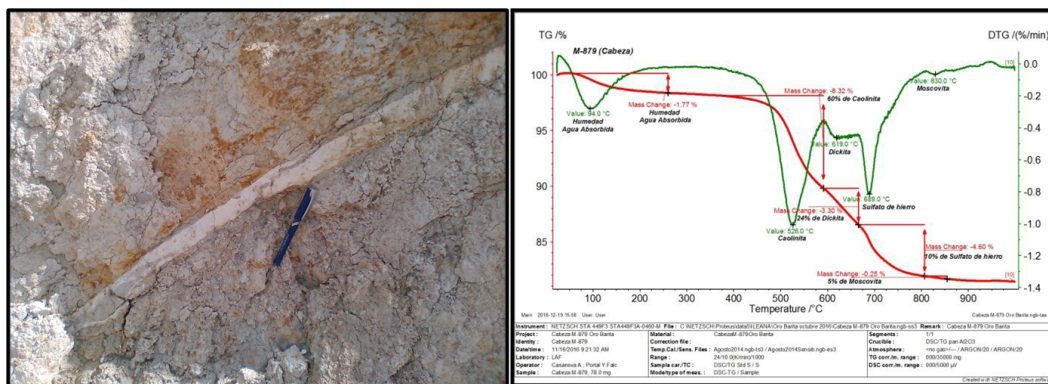


Figura 4.25. Veta de caolinita (color blanco) rellenando una zona de fractura en roca brechosa silicificada y su respectivo gráfico de ATD representado por jarosita, dickita y moscovita.

❖ Esmectita

En base a información de las propiedades ópticas de este mineral contenida en la bibliografía se ha identificado su presencia como producto de alteración de la matriz de roca de naturaleza piroclásticas. Este mineral se presenta como un grupo compuesto por: montmorillonita, pirofilita, talco, nontronita, vermiculita, sauconita, saponita y agregados diseminados de minerales sulfurosos principalmente pirita, se debe aclarar, que los tres últimos minerales del grupo de la esmectita, no fueron identificados en el yacimiento por el estudio realizado por DRX.

En observaciones macroscópicas, DRX y ATD se ha identificado la presencia de los minerales de la esmectita en lavas de naturaleza andesíticas, dacíticas y en tobos de composición media a ácida alteradas pertenecientes al miembro Hongolosongo. Este mineral se presenta como producto de una alteración de plagioclasas y feldespatos en agregados micro-cristalinos, comúnmente asociados a la ocurrencia de minerales tales como epidota (presente en el 60,0 % de las muestras estudiadas), calcita (detectada solo por DRX) y óxidos opacos (Figura 4.22 y Anexo Textual 3).

3) Sulfatos.

❖ Alunita

La alunita es generada por la acción del sulfato, que puede ser formado a partir de la pirita o bien por la acción de los sulfatos sobre las rocas ricas en aluminio del tipo de los feldespatos ortoclasas, normalmente acompañado de una caolinización y silicificación, asociado a cuarzo, pirita, caolinita, halloysita, yeso y diásporo.

La presencia de alunita se identificó comparando las propiedades físicas de las muestras tomadas con otras de otros yacimientos nacionales e internacionales y por la composición química que se describe en la literatura universal; las mismas fueron corroboradas a través de la aplicación de la técnica de difracción de rayos-X, análisis

mineralógicos y las descripciones macroscópicas; aunque en secciones delgadas se indica la presencia de alunita en forma de alteración como la argilitización. Este mineral se presenta como agregados cristalinos tabulares pseudo-aciculares al interior de estructuras tipo cavernosas (Figura 4.2 y Anexo Textual 1).

❖ **Jarosita**

Este mineral se forma en depósitos de mena por la oxidación de sulfuros de hierro. La aparición de jarosita se asocia a las aguas termales de carácter ácido (pH por debajo de 6); por tanto su presencia indica la existencia de agua durante su formación.

La jarosita en el yacimiento se identificó en los trabajos de exploración realizados en el año 2000, a través de la difracción de rayos-X y análisis térmico clasificándose como jarosita sódica (natrojarosita). Este mineral, es un sulfato de potasio y de hierro hidratado, constituye un indicador de meteorización química en condiciones oxidantes y es muy abundante en los sombreros de hierro de yacimientos de piritita, junto con limonitas, cuarzo, alunita, etc.

La información obtenida de los resultados de DRX y ATD, así como la comparación con otros yacimientos, permiten identificar la presencia de jarosita, como agregados cripto- a micro-cristalinos al interior de vetillas y estructura tipo cavernosa, en rocas andesíticas y dacíticas.

❖ **Anhidrita/Yeso**

Se ha identificado la presencia de anhidrita en los flancos del yacimiento, ubicado en el noroeste y junto con la zona de alteración cloritizada formando pequeñas capillas menores de 1.0 cm de espesor. En esta zona la anhidrita se presenta como cristales tabulares en agregados aciculares rellenando vetillas, junto con la presencia de yeso (Anexo Textual 1). Este último se presenta en forma de cristales, su diámetro puede llegar hasta 7.5 cm, tiene ocurrencia en agregados cristalinos anhedral que cuya presencia se debería a la alteración de la anhidrita, producto de un proceso de alteración superficial (hidratación). Autores como Cazañas (2000b) y Cazañas et al. (2008) atribuyen a la anhidrita/ yeso presente en el campo mineral El Cobre a las menas estratiformes de sulfatos (anhidrita, barita) y de óxidos de Mn, que se formaron por la descarga de los fluidos hidrotermales en el lecho marino.

4) Sulfuros

La mineralización sulfurosa se presenta con intensidad variable, en forma de vetas, nidos y diseminación. En algunos intervalos de las vetas los sulfuros alcanzan varios centímetros de espesor, ocupando casi todo el testigo y dándole el aspecto de una mena masiva, aunque no superan el 30,0 % en las rocas.

❖ Pirita

Se ha identificado la presencia de pirita como relleno en vetillas adopta forma de dendritas, en grietas y como masas granulares diseminadas de grano muy fino, en lavas y rocas correspondientes al miembro Hongolosongo. También se presenta en la zona de alteración arcillas esmectíticas, arcillas clorítica, vetas silicificada y en fragmentos de hematita u óxidos. En todos los casos, su presencia alcanza el 30,0 % en la masa rocosa, se presenta en tres variedades morfológicas: cristales, agregados irregulares y colomorfa, con frecuencia sustituida por marcasita.

❖ Esfalerita

Constituye el segundo sulfuro más abundante. Se presenta en granos irregulares y con menor frecuencia en forma de cristales. La coloración es oscura y en menor medida de colores claros, debido al bajo contenido de hierro. Presenta una distribución irregular. En su mayor parte es de forma masiva, alotriomórfica con reflexiones internas rojo oscuro. Con frecuencia la esfalerita contiene exsolución de calcopirita en forma de partículas muy finas localizadas preferentemente en la periferia de los granos, siempre está asociada a la pirita diseminada.

La esfalerita es un mineral tardío que cementa fracturas de calcopiritas y reemplaza a cristales de pirita. Está asociado con galena, calcopirita y pirita.

En correspondencia con su abundancia en las menas, la esfalerita es el sulfuro que presenta una relación más estrecha con el oro nativo que se localiza en los bordes de los granos, en los contactos entre la esfalerita y otros sulfuros o el cuarzo y en forma de pequeñas inclusiones dispersas.

❖ Calcopirita

Tercer mineral de sulfuro más abundante, aparece sementando cristales de pirita o rellenando las grietas de este mineral. Se presenta en forma de nidos y vetillas generalmente acompañada de esfalerita y con menor frecuencia por la galena. La sustitución de la calcopirita por la calcosina y covelina se observa en algunas muestras (Figura 4.18 y Figura 4.19(c-d)) con intensidad moderada.

La calcopirita en su mayor parte es masiva, aparece cementando los cristales de pirita o rellenando las grietas en este mineral y aislada en ganga, como mineral tardío, asociada con esfalerita, galena y pirita. Además, forma inclusiones muy finas de exsolución en la esfalerita. Frecuentemente la calcopirita está acompañando al oro nativo, tanto en vetillas finas y nidos en el cuarzo como en asociación con esfalerita y otros minerales.

❖ **Galena**

Se encuentra en poca cantidad en forma de cristales y agregados irregulares asociada a los otros sulfuros. Su forma más frecuente es masiva, llega a ser abundante en algunas zonas, es un mineral tardío, paragenético con calcopirita, esfalerita y cobres grises, aparece muy corroída por el cuarzo. Se encuentra como relleno de fracturas, junto con los minerales precedentes y cobres grises; también sustituye a cristales de pirita. La presencia de pirargirita está asociada a galena masiva. La asociación de la galena con el oro nativo es poco frecuente, generalmente en compañía de otros sulfuros.

5) Carbonatos.

❖ **Calcita**

Se ha identificado la ocurrencia de calcita por DRX, también se ha observado como cristales aislados subhedrales, de películas finas y como material cementante, rellenando vesículas y grietas de vetas de cuarzo, lavas y rocas alteradas del miembro Hongolosongo, a veces es confundible con la anhidrita. En ésta se presenta como producto de alteración de cristales de plagioclasas y feldespatos. La ocurrencia de éste mineral está siempre asociada a la presencia de clorita, epidota y óxidos (opacos).

6) Óxidos e hidróxidos.

❖ **Hematita**

En base a las observaciones realizadas y a la información de cortes transversales de fragmentos de rocas (análisis granulométrico, mineralógico y en secciones pulidas) se ha identificado la presencia de hematita en las rocas silicificadas principalmente y acompañando a la baritina, este mineral se presenta como agregado cristalino, de grano muy fino, rellenando vetillas y texturas del tipo cristalización, sustitución y hipidiomórfica granulosa (Figura 4.22). También se presenta, como relleno de vetillas y patinas de oxidación en oquedades.

❖ **Goethita**

La goethita en las muestras no oxidada presenta las características típicas de una goethita más amorfa e hidratada solo detectada por ATD y por estudio de composición mineralógica. Se ha identificado la presencia de goethita en muestras silicificadas contrario a la hematita. Este mineral se presenta, como agregado cristalino, de grano muy fino, como relleno de estructuras tipo oquerosa, como patinas de oxidación y de alteración superficial.

7) Óxidos opacos (magnetita, hematita e ilmenita).

En base a la caracterización mineralógica de las muestras superficiales estudiadas se ha identificado la presencia de minerales opacos como la magnetita subhédrica, en ocasiones leucoxenizada y en forma de polvo metálico representando por 2,36 %, mientras que la ilmenita solo se observó en la muestra M 054880 detectada por microscopía electrónica de barrido, los cuales han sido identificados como óxidos.

Se presentan en agregados cristalinos, de grano fino a muy fino, identificándose la ocurrencia de minerales opacos junto a la clorita y epidota, como producto de alteración de feldespatos y plagioclasas en las rocas volcánicas, tobas vítreas, vítreo líticas, lítico vítreas de composición media a ácida como cristales subhedrales de grano fino a medio (Anexo Textual 3).

De ésta forma en base a observaciones macroscópicas, información de secciones delgadas, pulidas, ATD, SEM-EDS y los resultados de DRX se han descrito las alteraciones hidrotermales presentes en la zona de estudio en términos de la ocurrencia y distribución de cada uno de los grupos minerales identificados.

4.6. Tipos de alteración y asociaciones minerales.

En base a la distribución y ocurrencia de los minerales se ha identificado que la zona de estudio ha sido afectada por distintos tipos de alteración.

La alteración en el yacimiento Oro Barita es típica de un sistema ácido-sulfato (alta sulfuración), sin embargo la alteración es intensa para la silicificación donde los valores oscila entre 54.43 % – 83,48 % (Tabla 4.1), compuesta por una zona con sílice porosa y sílice masiva que rodea todo el yacimiento alcanzando hasta 30.0 m de potencia; en la parte central y en los bordes del yacimiento se puede observar la variabilidad de sílice-alunita (argílica avanzada), arcilla-caolinita y sílice, clorita, pirita y calcita (propílica), este último confirmado por DRX (Anexo Gráfico. A). A continuación se establecen los distintos tipos de alteración identificados, describiendo su distribución, asociaciones minerales e intensidad de ocurrencia que las caracterizan.

En los análisis químicos de las muestras macroscópicas tomadas del yacimiento, indican los altos contenidos o porcentajes de SiO₂ presente en toda la potencia de las rocas volcanógenas y volcanógenas-sedimentarias e intrusivas, éstas indican las condiciones de extrema acidez de los fluidos hidrotermales que actuaron durante los procesos de alteración hidrotermal desde la profundidad hasta la superficie a través de dos sistema de fallas tectónicas (El Cobre) de dirección EW- NW-NE con yacencia 60°-70°/82°-87° de edad Eoceno medio a Eoceno superior y su plumaje, Luna et al. (2006) e Izquierdo *et al.* (1991) valoraron el control estructural como el

principal formador de la mineralización, por varios sistemas de fallas que dan origen a la zona de nudos tectónicos con dirección latitudinal que son atravesadas por fallas transversales de dirección noroeste, siendo las más perspectivas, observándose mineralización filoneana con emplazamiento vetítico a diseminado, donde los sulfuros están impregnados en las vetas de cuarzo y rocas altamente silicificadas, las cuales rellenan los espacios abiertos de la fracturación tectónica, dando origen a un yacimiento epitermal.

Por otro lado, las características estructurales del campo mineral El Cobre, está muy relacionada con los intrusivos subvolcánicos y facies de carácter de composición andesíticas y riolitas-dacíticas, así como su morfología y su estructura interna donde los cuerpos minerales buzcan en la misma dirección y ángulo que las rocas extrusivas o volcánicas caracterizadas por estructuras complejas, las cuales van variando según la profundidad, (Ariosa, 1990).

El control de la meniferación, es fundamentalmente, estructural aunque puede establecerse algún control litológico. La distribución espacial está determinada en lo fundamental por estructuras de grietas; donde las zonas meníferas tienen una gran extensión, tanto por su rumbo como por su buzamiento, destacándose los siguientes minerales: cuarzo, clorita, epidotas, calcita, yeso, anhidrita, barita, menas grises, sulfosales de bismuto y minerales hipergénicos. Las zonas meníferas se emplazan en rocas propilitizadas y cuarcificadas.

Entre los minerales hipogénicos de los filones meníferos del campo mineral El Cobre se reconocen: clorita, sericita, cuarzo, calcita, yeso, anhidrita, barita, pirita, calcopirita, pentlandita, pirrotina, galena, esfalerita, sulfosales de bismuto, oro, plata y otros.

4.6.1. Alteración superficial.

En el área de estudio no se considera una alteración hidrotermal como tal; pero se ha definido la ocurrencia de una alteración superficial la cual se presenta en toda la zona de estudio en los primeros metros de la superficie como la mena secundaria u oxidada con contenidos de oro y plata por encima de 1.52 g/t. Esta alteración está caracterizada por la presencia óxidos e hidróxidos tales como hematita y goethita como producto de la alteración de los minerales sulfurosos en las rocas silicificadas y baritizada principalmente.

También se observa la presencia de hematita y goethita como pátinas superficiales o relleno de vetillas, así como relleno de estructura tipo ramificada y oquerosa irregular (Anexo Textual. 1 y Figura 4.26). Esto podría llevar a concluir que la presencia de

éstos minerales estaría asociada a una alteración de tipo argílica avanzada. Sin embargo se ha identificado la presencia de minerales como pátinas y relleno de vetillas, hecho que permite inferir que su presencia al interior de dichas estructuras correspondería a una alteración superficial posterior a la alteración de tipo argílica avanzada.

De esta manera, se ha caracterizado la ocurrencia y distribución de los distintos tipos de alteración presente en la zona de estudio. Los resultados de los mismo se observa en el mapa de alteracion hidrotermal del yacimiento, sintetizando los tipos de alteración presentes en la zona de estudio (Figura 4.26, Anexo Gráfico.3 y 4).

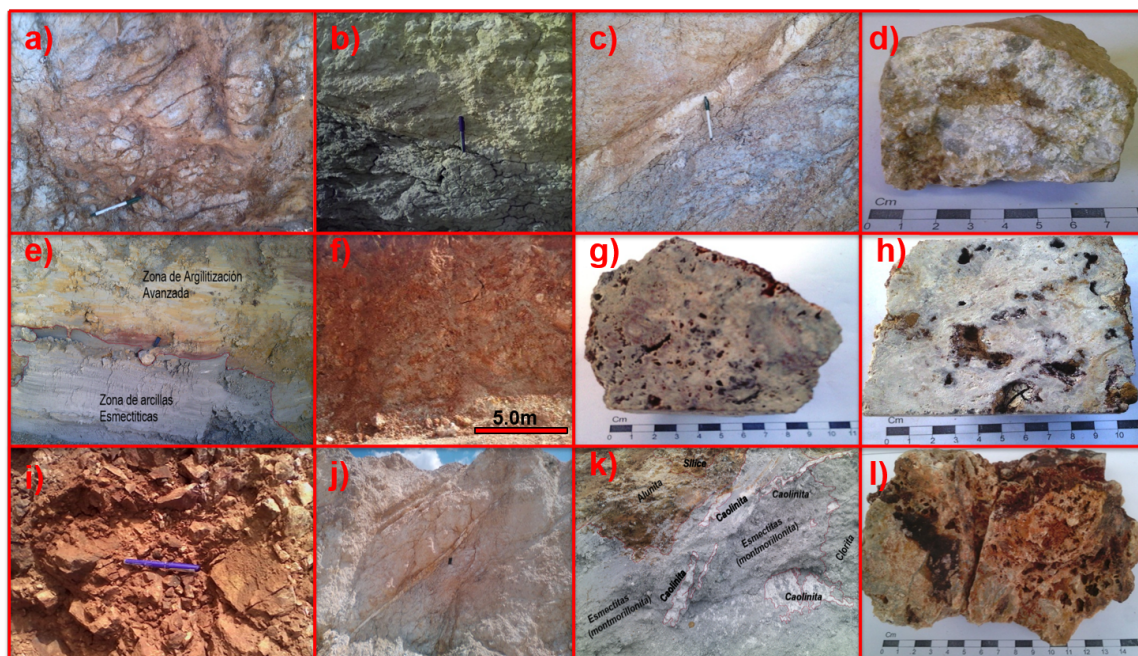


Figura 4.26. Fotografías representativas de las zonas de alteración del yacimiento epitermal Oro Barita. **a).** Vetillas de sílice en un stockwork que atraviesa a rocas dacíticas sericitizadas. **b).** Contacto entre la zona de alunita-caolinita (superior) con arcillas esmectíticas (montmorillonita). **c).** Venillas o intercalación de caolinita entre el contacto de la zona brechosa silicificada-alunitica (superior) y la zona de arcillas esmectíticas algo sericitizadas y cloritizada en un talud de la cantera. **d).** Zona argílica avanzada desarrollado sobre dacita silicificada y sericitizada. **e).** Contacto entre la zona argílica avanzada (superior) con la zona de arcillas esmectíticas (montmorillonita), en ambas es acentuada por una intensa zona rica en oro. **f).** Zona de oxidación de óxidos e hidróxidos de hierro desarrollada en rocas andesíticas silicificadas, brechosas alteradas. **g).** Fragmento de toba andesítica de composición medio-ácida, brechosa con alto grado de silicificación residual (cuarzo vuggy) de la zona de alteración propilítica. **h).** Fragmento de roca dacítica brechosa con alto grado de silicificación residual (cuarzo vuggy) y pequeñas drusas de cuarzo. **i).** Talud de la zona de oxidación desarrollada sobre tobas andesíticas muy tectonizada, vertiente norte de la cantera. **j).** Afloramiento de sílice brechosa muy tectonizada cortada por una vetilla de caolín, desarrollada sobre una zona de alteración argílica avanzada. **k).** Talud de la cantera donde se observa varios tipo de alteración hidrotermal; Izquierda-Derecha ((sílice masiva, argílica avanzada, argílica intermedia, alteración fílica (sericítica o cuarzo-

sericitica) y propilitica)). I). Fragmento de sílice masiva y sílice oquerosa tomada cerca de la zona de oxidación, observándose pequeñas drusas de cuarzo cristalino de segunda generación.

4.6.2. Alteraciones hidrotermales

En el yacimiento Oro Barita se desarrolla ampliamente la zona de oxidación con numerosos minerales secundarios de Cu, Fe y Mn. Mientras que las formaciones hidrotermales están desarrolladas por cuatro estadios:

- 1) Zonas de cloritización, sericitización y cuarcificación en las rocas y filones de cuarzo con pirita, esfalerita y calcopirita.
- 2) En éste estadio se formaron los principales cuerpos meníferos.
- 3) Filones de cuarzo y cuarzo-calcita con galena, esfalerita, calcopirita, sulfosales de bismuto y plata.
- 4) Vetillas de cuarzo y calcita (postmineralización).

1) Sílice masiva.

Alteración que le da a la roca una textura microcristalina y densa, ha sido reconocida superficialmente (Figuras 4.1), relacionado con la zona de mayor fracturación que con el aspecto litológico, pues afecta a todas las rocas sin excepción.

Según Sillitoe et al. (1996), está sílice se produce por interacción de aguas meteóricas frías de baja acidez, con fluidos ascendentes ácidos a alta temperatura, razón por la cual la sílice no profundiza. La alteración va asociada a minerales como el cinabrio, alunita blanca y algo de hematita, según estudios realizados por SEM.

2) Sílice oquerosa(“vuggy silica” en inglés)

Es el resultado de una masa porosa de cuarzo residual que se forma a partir de los componentes químicos que inciden sobre las rocas donde son extraídos por los fluidos hidrotermales de composición ácida al atravesarlas, particularmente cationes metálicos, de modo que la roca es deprimida en dichos componentes o lixiviada. En ciertas condiciones, como por ejemplo donde se condensa vapor acidificado por oxidación de H_2S , la solución ácida resultante (por la presencia de H_2SO_4) ataca las rocas, disolviendo los minerales primarios, pero sin reemplazar los huecos o cavidades resultantes que se producen, (Robert *et al.*, 1997) y (Camprubí *et al.*, 2003). En el yacimiento Oro Barita se observa este tipo de alteración desde la superficie hasta 15-20 m de profundidad, formando arco o abanico de dirección E-W alcanzando los 250 m de longitud por el rumbo.

Las figuras 4.24 (a, h, g), muestran las cavidades irregulares que varían de tamaños milimétricos hasta centímetros de diámetros rellenas por minerales arcillosos, óxidos e hidróxidos de hierro y alunita; mientras que existen formaciones de sílice de nueva

generación (drusas de cuarzos) de tamaños centimétricos, también se presenta pirita diseminada y alteradas en algunas cavidades. Esta sílice se asocia con cuarzo, cinabrio, barita y jarosita, con tendencia a predominar en la profundidad la jarosita.

3) Argílica avanzada.

El tipo de alteración argílica avanzada puede tener diferente composición en cuanto a las fases que la componen (cuarzo, caolinita, alunita, dickita, diáspora, pirofilita), depende de diversos orígenes y su estilo es importante para la exploración de depósitos epitermales, (Sillitoe, 1993) y (Camprubí y Albinson, 2006). Por otro lado, en el yacimiento Oro Barita la alteración argílica avanzada se puede caracterizar por las siguientes fases minerales (alunita-caolinita-montmorillonita-pirita-dickita). Según los resultados de los métodos y técnicas analíticas aplicadas, estas fases son abundantes, se ubica principalmente como secundario a la sílice, manifestándose en gran parte en los minerales de las rocas transformadas a cuarzo- caolinita- alunita.

La caolinita se forma a profundidades someras en condiciones de baja temperatura (<150-200 °C), mientras que la pirofilita se forma a profundidades mayores y a mayor temperatura, en un rango intermedio entre ambos se forma la dickita; la forma de los cuerpos de caolín es generalmente muy irregular como se observa en el yacimiento Oro Barita cambiando bruscamente la yacencia (inclinación, rumbo y potencia del cuerpo), presentándose en forma de lentes o fajas de escasos metros hasta decenas de metros de anchura, su longitud por lo general no sobrepasa los 300 - 600 m y se extiende hasta decenas de metros en profundidad como se aprecia en el perfil hidrotermal del yacimiento, (Medina y Naranjo, 2015).

Los óxidos de Fe y los sulfatos le confieren una coloración típicamente rojiza. La zona argílica está representada por amplia paragénesis de minerales arcillosos, minerales hidromicáceos, microfelsíticos, pudiendo observarse la presencia de sulfatos como yeso, anhidrita y barita. Las alteraciones en el sector de estudio presentan hacia la parte central amplias zonas silicificadas, con intercalaciones subordinadas de rocas con procesos de argilitización, hacia los flancos norte y noreste donde están más argilitizadas.

4) Argílica intermedia

Se aprecian, en importantes cantidades, caolinita, montmorillonita, smectita o arcillas, principalmente reemplazando a plagioclasas; puede haber sericita acompañando a las arcillas; el feldespato potásico de las rocas puede estar fresco o también argilizado. En la zona existe una significativa lixiviación de Ca, Na y Mg de las rocas. La alteración argílica intermedia representa un grado más alto de hidrólisis relativo a la alteración propilítica.

5) Alteraciones argílica y argílica avanzada

La zona de transición o de mezcla de las alteraciones de tipo argílica y argílica avanzada identificadas en el yacimiento está caracterizada por dos grupos de asociaciones de minerales: la primera esmectita-pirita-jarosita y anhidrita, respectivamente y la segunda cuarzo – alunita $\pm$ caolinita $\pm$ dickita $\pm$ diásporo – jarosita como mineral accesorio. Estas alteraciones se presenta controlada por estructuras tales como vetillas rellenas con jarosita-caolinita, en estructura tipo cavernosa o celular (boxwork, termino en inglés) con alunita-caolinita-jarosita, donde está completamente alterada con la presencia de cuarzo oqueroso, afectando toda la roca de modo tal, que obstruye la textura inicial de las rocas y en algunos casos controlada por estructuras, dada la ocurrencia de anhidrita/yeso como relleno de vetillas. De esta manera, en ambos tipos de alteración se tiene presencia de sulfatos secundarios como parte de su asociación mineral característica (Anexo Textual 1).

Según Zimbelman *et al.* (2005), establece que la mayoría de los sulfatos provienen de una mezcla de fluidos de origen magmático con aguas meteóricas superficiales. También establece que la asociación esmectita – jarosita presente en rocas volcánicas, evidencian una alteración débil que provienen de fluidos sulfatados cuyo origen está asociado a la oxidación supérgena ocurrida sobre el nivel de aguas subterráneas. Esta alteración ocurriría bajo restringidas condiciones de pH, actividad de sulfato, potasio, aluminio y temperatura. Así mismo, Rye *et al.* (1992) postula que la pirita hidrotermal proviene en grandes rasgos, de una interacción de gases magmáticos (H_2S) con el Fe contenido en la roca, lo que correspondería a un ambiente de tipo magmático-hidrotermal somero. Esta teoría coincide con la génesis del yacimiento Oro Barita, en ubicarlo en el grupo de los epitermales de metales preciosos de emplazamiento somero (Luna, 2001), corroborado por estudios realizados durante el procesamiento de una muestras tecnológicas (CIPIMM., 2017) .

6) Alteración fílica (sericítica o cuarzo-sericítica)

La alteración fílica tiene un gran desarrollo en el campo mineral El Cobre caracterizada por: cuarzo- sericita-clorita y cuarzo-zeolita-sericita con yeso (Golovchenko *et al.*, 1967). La primera está desarrollada por las metasomáticas cuarzo-sericita-clorita y las rocas que soportaron los cambios más intensos en las zonas de intersecciones de las fallas. El ancho de estas zonas varía de 200 m en el yacimiento Mina Grande (cercano al yacimiento Oro Barita, 1.5 km) hasta su acuñaamiento casi completo en la falla El Cobre en el sector Oriental Barita, es una franja estrecha de 100 m que acompaña a las fallas que encajan la mineralización en los límites de la zona alta y Mina Blanca.

La segunda fase de rocas cuarzo-zeolita-sericita conjuntamente con el yeso están desarrolladas fundamentalmente en los límites de los flancos norte y oeste de la zona en los sectores Mina Nueva y Oro Barita, estas formaciones se desarrollan en andesitas porfíricas y tobas de composición mixta. Según los datos de trabajos anteriores en el yacimiento El Cobre se desarrollan las rocas con aspecto de brecha de textura lepidoblástica o heteroblástica están compuestas por zeolita (30,0 % - 35,0 %), yeso (25,0 % – 45,0 %), anhidrita (2,0 % - 5,0 %), calcita (1,0 % – 3,0 %), pirita (1,0 % – 10,0 %) y esfena (7,0 % – 10,0 %).

La cantidad de SiO₂ alcanza 69,5 % en las rocas cuarzo-sericita y 4,17 % en las rocas compuestas por zeolita-yeso. La zeolita presente en el campo mineral el Cobre está representado por el grupo de la laumontita, (Gaev y Guriev, 1974), el cual se forma en un ambiente epitermal menos hidratado sub-propilítico a temperaturas bajas de <150-200°C. (Steiner 1977; Leach *et al.*, 1983).

En los estudios realizados en el yacimiento Oro Barita en 2017 por DRX, mineralógicos y la microscopía electrónica de barrido con analizador de rayos-X (SEM-EDS) han corroborado los resultados de los trabajos realizados por Golovchenko *et al.* (1967); Gaev y Guriev (1974) en el campo mineral El Cobre; donde las muestras analizadas del yacimiento Oro Barita están compuestas por el grupo de la zeolita [mordenita (2,0 % - 20,0 %), gismondina (12,0 % – 18,0 %) y laumontita (1,0 % – 10,0 %)]; el grupo de los sulfatos [yeso (2,6 % - 5,9 %), anhidrita (1,0 % - 2,8 %)], calcita (0,5 %). Por otro lado, se puede decir que la sericita solo fue hallada por los estudios de petrografía al igual que la calcita solo se detectó por DRX y por descripción macroscópica al reaccionar con el ácido clorhídrico en pequeñas laminillas o capillas.

De acuerdo con la literatura actualizada, el grupo del calco-silicato contiene minerales que se forman en condiciones de pH neutro levemente alcalino. En condiciones frías se forman zeolitas-clorita-carbonato y epidota como es el caso del depósito de Oro Barita. Las zeolitas son particularmente sensitivas a la temperatura. Las zeolitas hidratadas (natrolita, chabazita, mesolita, mordenita, stilbita, heulandita) predominan en condiciones frías, mientras que las menos hidratadas como la laumontita (150-200°C) y wairakita (200-300°C) se presentan progresivamente en niveles más profundos y calientes del sistema hidrotermal. En algunos sistemas se encuentra prehnita y/o pumpellita a temperaturas de 250-300°C, asociadas a veces con epidota.

7) Alteración propilítica

Esta alteración, que afecta a las lavas dacíticas, tobas de composición medio ácidas, brechosas con alto grado de silicificación, predominantemente vítreas del miembro Hongolosongo, Grupo El Cobre ubicada al sur y suroeste de la zona de estudio,

están caracterizadas por la asociación clorita + epidota + pirita ± montmorillonita ± calcita ± zeolitas y con escasa presencia de cuarzo en vetillas. Debido a que, en algunos casos, la alteración se encuentra restringida a los fenocristales de plagioclasas y en otros afectan tanto a los fenocristales como a la masa fundamental de las rocas.

Por otro lado, la presencia de clorita y la prácticamente ausencia de epidota (0.06 % – 2.99 %, según estudios SEM y DRX), se debe a la no presencia de un apreciable metasomatismo catiónico o lixiviación de álcalis o tierras alcalinas; H₂O, CO₂ y S que pueden agregarse a la roca, y comúnmente, presentan albita, calcita y pirita. Este tipo de alteración representa un grado bajo de hidrólisis de los minerales de las rocas y por lo mismo su posición en zonas alteradas tiende a ser marginal. Según la literatura la asociación mineral ya caracterizada, afecta a anfíboles y plagioclasas, donde las plagioclasas pueden ser ocasionalmente reemplazadas por grosularia y presentar un halo albítico en rocas andesíticas, (Juvenal Cárdenas, 2015). La mineralización de sulfuros se caracteriza por abundante pirita ocasionalmente asociada con calcopirita en vetillas.

A continuación se presenta una síntesis de las principales asociaciones de mineralización Au-Ag-Cu que pueden ser distinguidas en el yacimiento Oro Barita (Tabla 4.4).

Tabla 4.4. Síntesis de las alteraciones analizadas con su respectiva asociación mineralógica en el yacimiento Oro Barita y una breve descripción.

Tipo de alteración	Asociación mineralógica	Texturas y estructura	Descripción
Silícica-oxidación	1)-Oro – cuarzo – pirita – hematita – goethita – ilmenita y jarosita. 2)- Cuarzo– goethita. Trazas de hematita. 3)-Cuarzo – hematita. Trazas de alunita, rutilo, pirita, ilmenita, jarosita y magnetita.	1)-Cristalización, agrietamiento, reemplazamiento, corrosión. 2)-Masiva, vuggy silica (cavidades o oquedades), stockwork, vetillas y brecha hidrotermal.	Muestras que presentan textura silica masiva y en menor medida vuggy silica con minerales de la zona de oxidación(óxidos e hidróxidos de Fe) en fracturas, cavidades y en toda la roca. Pueden o no presentar pirita.
	1)- Minerales argentíferos (plata nativa, yodargirita, querargirita) – barita.		
	1)- Pirita-esfalerita-calcopirita-covelina. 2)- Pirita-esfalerita-galena – cuarzo. 3)-Cuarzo (Qtz) – pirita (Py) – esfalerita (Sph)-calcopirita (Cpy) – covelina (Cv).		
Silícica-argílica	1)- Oro nativo + esfalerita + calcopirita + cuarzo ± calcita ?.	1)- Masiva, diseminada, de corrosión, remplazamiento, reléctica, etc. 2)- Cuarzo de reemplazamiento, vetillas, cúmulos de recristalización y matriz microcristalina.	Muestran una fuerte silicificación (vuggy silica y/o silica masiva) con minerales del grupo de las arcillas distribuidas en toda la roca. La presencia de alunita es muy marcada en ésta zona. Pueden o no presentar alteración supergénica.
	2)-Cuarzo – caolinita – alunita – illita – sericita – esmectita – barita y goethita. 3)- Cuarzo– caolinita– dickita– hematita –goethita-alunita-diásporo y moscovita.		
Argílica intermedia	1)- Caolinita – montmorillonita – smectita, sericita o arcillas.	En forma de reemplazamientos, usualmente con desarrollo lateral importante y en menor frecuencia vetas, diseminaciones y brechas, aparte de un marcado control estructural.	Reemplazamiento de la plagioclasas; la sericita acompaña a las arcillas; el feldespato potásico puede estar fresco o argilizado. Existe una significativa lixiviación de Ca, Na y Mg de las rocas.

Silícica-argílica avanzada	1)- Cuarzo + alunita + caolinita ± dickita ± diásporo ± jarosita ± pirofilita ± sericita+ trazas de pirita, rutilo, etc.	En forma de reemplazamientos, usualmente con desarrollo lateral importante y en menor frecuencia vetas, diseminaciones y brechas, aparte de un marcado control estructural.	Muestran dickita que puede estar en concentraciones traza o no.
	1)- Pirita – enargita – calcosina – covelina – bornita – oro ± electrum; de forma subordinada aparecen: calcopirita+esfalerita+tennantita+galena +marcasita y sulfosales de plata y telururos.		
Alteración filica	1)- Cuarzo – sericita – clorita.	Reemplazamiento, diseminada, cristalización	-----
	1)- Cuarzo – zeolita – sericita con yeso.		Grupo de la zeolita (mordenita, gismondina, laumontita); el grupo de los sulfatos (yeso, anhidrita) y calcita.
Alteración propilítica	1)- Clorita + epidota + albita+ pirita+ illita ± montmorillonita ± calcita ± zeolitas ±sericítica ± jarosita ± presencia de cuarzo en vetillas	Reemplazamiento	La presencia de clorita y la prácticamente ausencia de epidota (según SEM y DRX), se debe a la no presencia de metasomatismo catiónico o lixiviación de álcalis o tierras alcalinas; H ₂ O, CO ₂ y S que pueden agregarse a la roca, y comúnmente, presentan albita, calcita y pirita.

4.7. Paragénesis mineral y gangas asociadas en el yacimiento Oro Barita.

4.7.1. Mineralogía de las menas.

En el yacimiento Oro Barita han sido identificados cuatro tipos de asociaciones con el oro, las cuales se asociaron a las tres primeras etapas del desarrollo de alteración/mineralización (Tabla 4.5).

Según los resultados de la aplicación de los métodos y técnicas analíticas para los estudios geológicos del yacimiento, se puede concluir que, han sido identificados cuatro tipos de asociaciones con el oro, las cuales se asociaron a las tres primeras etapas del desarrollo de alteración/mineralización (Tabla 4.5) donde la composición mineralógica de la mena primaria está caracterizada por los siguientes minerales: pirita, esfalerita y calcopirita como minerales principales, los que son acompañados por pirrotina, galena, bornita, calcosina, marcasita, covelina, ilmenita, magnetita, hematita, electrum, cobre gris, tennantita, telurobismutita, marcasita, oro nativo, plata nativa, barita y el grupo de la zeolita (mordenita, gismondina, laumontita), el grupo de los sulfatos (yeso, anhidrita) y calcita. La mena oxidada está caracterizada por: cuprita, galena, goethita, óxidos e hidróxidos de Fe.

La paragénesis mineral del yacimiento Oro Barita está constituida por los siguientes minerales: pirita, esfalerita, calcopirita, marcasita, galena, oro nativo. La calcopirita y la pirita se encuentran frecuentemente alteradas a minerales secundarios de cobre como covelina $\pm$ calcosina subdividiéndose en dos grupos:

- 1) **Minerales supergénicos:** hematita, goethita, covelina, bornita, calcosina, plata nativa.
- 2) **Minerales hipogénicos:** pirita, esfalerita, calcopirita, marcasita, galena, oro nativo, cuarzo, pirargirita.

4.7.2. Mineralogía de ganga

Los productos de alteración predominantes en el yacimiento Oro Barita incluyen principalmente: abundante cuarzo, barita, sericita, calcita, zeolita, minerales arcillosos, anhidrita y yeso en pequeñas cantidades.

Los minerales de la ganga están caracterizados por los siguientes minerales: cuarzo, caolinita, jarosita, clorita, sericita, moscovita, biotita, yeso, anhidrita, arcillas (Illita, caolinita, dickita, montmorillonita, nontronita), plagioclasa, diásporo, grupo de zeolita (laumontita, mordenita y gismondina) y calcita. La mayoría se presentan como masas granulares.

Cuarzo (9,3 % – 70,2 %). Cristales incoloros subhedrales a anhedrales, algunas veces de aspecto sacaroide o cuarzo lechoso masivo, también se presenta como agregados de aspecto sacaroide. En la figura 4.15, el cuarzo es remplazado por el carbonato presente, con aspecto de texturas primarias, de recristalización o reemplazamiento.

Plagioclasa (10,0 % – 20,0 %). Se encuentra fuertemente alterada a sericita y minerales arcillosos

Carbonatos (0,1 % – 3,0%). Su presencia se restringe a rellenar fracturas en el cuarzo, pero esto es más característico en las tobas cloritizadas en forma de laminillas.

Sulfatos (5,0 %). Aparece rellenando fracturas y venillas dentro de las rocas alteradas hidrotermalmente.

Tabla 4.5. Principales asociaciones mineralógicas de alteración y su relación con los minerales de mena.

Tipo de alteración	Mena	Ganga	Minerales de alteración
Supergénica	Au nativo+ Plata nativa+Qtz+Sph+ Cpy+ Py+ Hm + Gth	Sílice vuggy (Sílice cavernosa) + Ba + grupo de la arcilla	Hm +Gth ± Ilm ± Ja
		Cv+ Bo+ Cc± Ga± Fp	
Hipogénica	Au +Ag+Py+ Sph+ Cpy	Mar+ Ga+ Qtz± Pi.	k± Qtz+Al± Chl± Ze
	Py + (Au, Ag-Tel)	K+ Qtz+ Ba+ Chl	k+ Chl± Ep± Qtz
	Au nativo + Py± Qtz	Ba+ Hm+ Chl+ Ten+ Sph+ Cpy+ grupo de la arcilla (ill+Sm+K+Ser)	K+ Qtz+ Chl + Ep+ Ze

Abreviaturas: cuarzo(Qtz), clorita(Chl), esfalerita(Sph), epidota(Ep), goethita(Gth), covelina(Cv), calcosina(Cc), pirita(Py), calcopirita(Cpy), galena(Ga), feldespato(Fp), pirrotina(Pi), marcasita(mar), hematita(Hm), tennantita(Ten), barita(Ba), illita(ill), esmectita(Sm), caolinita(K), jarosita(Ja), sericita(Ser), oro nativo(Au), telurios(Tel), plata nativa(Ag), grupo de la zeolita (Ze) y alunita(Al).

Tabla 4.6. Principales asociaciones mineralógicas y tipos de alteración para el yacimiento Oro Barita.

No	Tipo de alteración	Asociación mineral de alteración	Mena	Ganga
865	Potásica	Chl+Se+K±Ms	Ga+Au+Py	Ba
	Cuarzo-sericita	Chl+Se+Qtz	Py+ Au+Py+Ga+Ru± Hem	Qzt+Pg+K+ Ba+Fp+Ms±Dc
867	Propilítica K	Chl+Dic+Se+K+Ms±Nont± Ze	Ght+Py+Sph+Ga+Au+Cv+Hem	Qzt+Pg+Chl+Ba+Fp+Ms+Bi± Ze
868	Silícica	Dic+Se+K±Ms+Nont	Py+Cpy+Hem+Sph+Ga	Qzt+Ba
869	Argílica avanzada	Dic+Se+K+Nont	Ga+Py+Sph	Fp
870	Argílica avanzada	Chl+Dic+K+Ja	Ga+Py	Ja+K+Chl
871	Argílica avanzada	Chl+Dic+K+Ja+ Nont	Sn+Ga+Au+Py+Sph+Ag	Qtz+K+Chl
872	Argílica Intermedia	Chl+Se+K	Ga+Sph+Py+Au	Qzt+Fp
873	Propilítica	Chl+Ja± Ze	Ga+Py	Chl+Qzt± Ze
874	Propilítica - argílica Intermedia	Chl+Se+Ja	Py	Ba
876	Propilítica	Chl+ Ze	Au+ Py+Ga+Ght+Cv	Ba+Qtz± Ze
877	Oxidación	Dsp	Au+Py	Ba
878	Argílica Intermedia	Se+K+Ms+ Ja	Cpy+Sn+Sph+Ga+Au+Py+Cv	K+ Al
879	Sílice oquerosa	Dic+K+Ms+Ja+Qtz+Al+ Ba+ Hem	Ten+Py+Ga+Ag	Ch+Qzt+ Ba+Fp

880	Propilítica	Chl+Nont	Mt+Ga+Ilm+Au	Qzt+Fp+Chl+ Ab+Bi+Ba± Ze
881	Propilítica	Chl+ Dic+Nont+ Ja	Sph+Au+Py	Qtz
882	Sericítica o cuarzo-sericítica	K+Ms+Nont	Sph+Cv+Ga	Qzt+Fp
883	Argílica avanzada	K+Ms+Ja	Mt+Py+Sph+Ga	Qzt+Fp
884	Potásica	K+Ms+Nont+ Ja	Cpy+Ga+Au	Qtz+ Gyp+Ba+ Ze
885	Propilítica	Chl+K+Ms+ Ja+Ze	Ga+Py	Ba+K± Ze
887	Argílica avanzada	Al+ K	Ga+Pi+Py+Au+Hem+Cup	Ba + Fp +Al+K
M-6-4	Propilítica	Pg+ Bio+ Se+ Vv± Ze	Py+Sph+Cpy	Pg+ Bio+ Se± Ze
M-8-5	Cuarzo-sericítica	Pg+ Bio+ Qtz± Ill± Mt	Mt+Py+Sph	
M-7-1	Cuarzo sericítica	Qtz+Se+ Ill+Chl	Py+Au+Hem	Qtz+Se+Ch
M-6-1	Argílica intermedia	Qtz+Se+Pg+Chl	Py+Hem	Qtz+Se+Pg+Chl
M-1-2	Argílica y cuarzo-Sericítica	Chl+Vv+Ser	Py+ Hem+ Mt	Ser+Bio+Pg
YN-1.2 (2)	Argílica avanzada	Qtz+ Al+ K	Au+Sph+cpy+CC	Ba + Fp +Al+K
P-7-17(5)	Brechas silicificada	Qtz+ Al+ K	Sph+Cpy+ Cv+Py	Qzt+Fp
P-7-17(3)	Argílica avanzada	Qtz+ Al+ K	Cpy+Py+Sph+Cv	Qzt+Fp
YN- 1-21(2B)	Argílica avanzada	Cpy+Py+Cv+Bo	Sph+Cv+Ga	Qzt+Fp
YN- 1-21(2B)	Argílica avanzada	Cpy+Py+Sph	Sph+Cv+Ga	Qzt+Fp

YN-1.11	Oxidación	Qtz	Py+Sph+Ga+ Hm	Qzt
YN-1.23(6)	Potásica	K+Ms+Nont+Ja	Cpy+Sph+Mt+Ga+Au	Qtz+ Gyp+Ba
Ht_B-5(3)	Propilítica	Chl+ Dic+Nont	Au+Hm+Qtz+Py	Qtz+k

Abreviaturas: (Al) alunita, (Dic) dickita, (Dsp) diápora, (Sm) esmectita, (K) caolinita, (Mt) magnetita, (Bi) biotita, (Pi) pirrotina, (Qtz) cuarzo, (Se) sericita, (Mor) mordenita, (Ja) jarosita, (Chl) clorita, (Ms) moscovita, (Nont) nontronita, (Ga) galena, (Ru) rutilo, (Hem) hematita, (Py) pirita, (Cpy) calcopitita, (Sph), esfalerita, (Au) oro nativo, (Cv), covelina, (Ght) goethita, (Ag), plata nativa, (Ba) barita, (Fp), feldespato, (Pg), plagioclasa, (Ten) tennantita, (Ilm) ilmenita, (Ab) albita, (Gpy) yeso.

Las paragénesis minerales identificadas en el área de estudio coinciden con otros trabajos elaborados anteriormente entre los que se encuentran Golovchenko *et al.* (1967), Gaev y Guriev (1974), (Ariosa, 2002), (Lavandero. *et al.*, 2001), (Ariosa y Martínez, 2001). El estudio de las paragénesis minerales y las alteraciones indican que, la formación del depósito ocurre en condiciones oxidantes con rangos de temperatura baja a media que puede estar entre los 50-270°C. ejemplo: la presencia de telururos de mercurio, oro, plata y bismuto, así como oro nativo, plata nativa, cinabrio, querargirita, yodargirita, capgaronnita/iltisita (AgHgClS) indican la presencia de una fase epitermal no solo en la parte alta del corte, sino que se extiende hasta los 400 m de profundidad según datos de pozos. (P-314 (189.0 m), P-367 (332.0 m) y P-362 (401.0 m), (Barrabí y otros, 1984). Los estudios actuales en el yacimiento Oro Barita con técnicas de ICP demuestran que existe un fuerte vínculo entre los contenidos de oro y telururo, además se aprecian contenidos significativos de Sb, As, Bi, Hg y Se.

CONCLUSIONES

1. Se caracterizó la composición petroquímica de las rocas encajantes del yacimiento Oro Barita en los siguientes tipos: traquiandesitas, andesitas, traquidacitas, traquitas, dacitas y riolitas, tobas e ignimbritas. Estas corresponden a las series subalcalinas/teofíticas.
 2. Se identificaron los minerales y se clasificaron según su ocurrencia y distribución en los siguientes grupos: la fase silíceas (cuarzo), filosilicatos (illita, moscovita, caolinita, esmectitas y el grupo de las arcillas, de las zeolitas (laumontita, mordenita y gimonidina) y micas en general), sulfatos (alunita, jarosita, anhidrita/yoso), sulfuros (pirita, esfalerita, calcopirita y galena), carbonatos (calcita) y óxidos (hematita, goethita, magnetita e ilmenita).
 3. Se identificaron dos tipos de alteraciones principales:
 - a) Alteración superficial: caracterizada por óxidos e hidróxidos (hematita y goethita) como producto de la alteración de los minerales sulfurosos en las rocas silicificadas y baritizadas, principalmente. Paragénesis (hematita, goethita, covelina, bornita, calcosina, plata nativa, cuarzo, barita).
 - b) Alteraciones hidrotermales, integrada por: **Silicificación** (sílice masiva, sílice oquerosa); **argílica avanzada** (cuarzo + alunita ± caolinita ± dickita ± diásporo ± jarosita ± pirofilita ± sericita); **argílica intermedia** (caolinita + montmorillonita + smectita ± sericita); **argílica** (esmectita + jarosita ± montmorillonita ± anhidrita); **filítica** (cuarzo + zeolita + sericita con yeso; cuarzo + sericitica + clorita); **propilítica** (cuarzo + clorita + pirita + albita + epidota + illita ± montmorillonita ± calcita ± zeolitas ± sericitica ± jarosita). **Paragénesis** (pirita, esfalerita, calcopirita, marcasita, galena, oro nativo, cuarzo, sericita, alunita, caolinita, clorita, anhidrita, zeolita, calcita, yeso y barita).
- Minerales de ganga: cuarzo, barita, sericita, calcita, minerales del grupo de las arcillas, micas, grupo de la zeolita, calcita anhidrita y yeso en pequeñas cantidades. Las texturas identificadas: masiva, diseminada, de corrosión, reemplazamiento, recristalización, relíctica.
4. Se identificaron las texturas (masiva, diseminada, de corrosión, reemplazamiento, recristalización, relíctica), se determinaron las estructuras, morfología y dimensiones de los agregados de oro nativo presentes en las rocas alteradas, mediante el empleo de la microscopía electrónica de barrido y luz reflejada.

5. Se elaboró el mapa esquemático de alteración del yacimiento Oro Barita, con su correspondiente perfil de alteración hidrotermal.

RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar investigaciones geológicas que permitan profundizar el conocimiento sobre la génesis de la mineralización epitermal en el arco volcánico del Paleógeno, Sierra Maestra.
- ✓ Profundizar en el estudio de la composición química de las arcillas, ya que éstas son perjudiciales al proceso tecnológico de la planta de oro.
- ✓ Realizar el estudio de inclusiones fluidas a las rocas del yacimiento Oro Barita.
- ✓ Hacer uso de los resultados alcanzados en esta investigación en trabajos posteriores.

BIBLIOGRAFIA

- Alarcón, H., & Fornari, M. (1994). Análisis de Oro por Microsonda (E.P.M.A.). En Depósitos Primarios de Oro de La Provincia, Metalogénica Andina de Bolivia, y su significado Genético. 304-312.
- Alioshin, V. (1975). *Informe sobre los resultados de los trabajos de Levantamiento Geológico y Búsqueda en escala 1:10 000 ejecutados en las montañas de la Sierra Maestra en la provincia Santiago de Cuba y Granma (1972-75). Sierra Maestra Nororiental I, (Inédito). Inventario #2980, archivo de la ONRM.*
- Ariosa, J. (1990). *Curso de Yacimientos Minerales Metálicos. Tipo Genéticos.*
- Ariosa, J. (2002). La modelación descriptiva de yacimientos minerales en Cuba. Moa, Cuba, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Tesis doctoral.
- Ariosa, J., & Martínez, R. (2001). Modelos de yacimientos minerales: tipologías y aplicaciones. *Revista Minería y Geología*. 18, 3-14.
- Bogdanov, Y. V., et al. (1963). *Informe sobre los resultados de los trabajos de levantamiento geológico a escala 1:10 000 y de búsqueda 1: 2000 en la zona del yacimiento El cobre.* (Inédito). (Inventario 1647. Archivo de la ONRM.).
- Browne, P. (1984). Lectures on geothermal geology and petrology. UNU Geothermal Training Programme. Reykjavik: National Energy Authority.
- Browne, P. R. L., & Simmons, S. F. (1997). Saline fluid inclusions in sphalerite from the Broadlands-Ohaaki geothermal system: a coincidental trapping of fluids boiled towards dryness. *Economic Geology*, 92, 485-489.
- Cabrera, R., Kramer, J., & Pantaleón, G. (1983). Vinculación del magmatismo y los yacimientos meníferos de Cuba. *Cienc Tierra Espac*, 9, 47-56.
- Calais, E., Perrot, J., & Mercier de Lépinay, B. (1998). Strike-slip tectonics and seismicity along the northern Caribbean plate boundary from Cuba to Hispaniola. In: Dolan, J.F., Mann, P. (eds.). Active strike-slip and collisional tectonics of the northern Caribbean plate boundary zone. Boulder, Colorado, USA, Geological Society of America, Special Paper. 326, 125-141.
- Camprubí, A., & Albinson, T. (2006). Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario, Revisión de Algunas Tipologías de Depósitos Minerales de México. *Tomo LVIII, núm. 4*, 27-81.
- Camprubí, A., González - Partida, E., Levresse, G., Tritlla, J., & Carrillo-Chávez, A. (2003). Depósitos epitermales de alta y baja sulfuración: una tabla comparativa. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 56, 10-18.
- Cazañas, X. (2000b). Depósitos volcanogénicos del Arco Paleógeno de la Sierra Maestra. El ejemplo del yacimiento El Cobre. Tesis de Doctorado en Geología. Departament de Cristallografia, Mineralogia i Depòsits Minerals. Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona.

- Cazañas, X., & Melgarejo, J. C., *et al.* (1998). Introducción a la metalogenia del Mn en Cuba. *Acta Geologica Hispanica*. 33 (1 - 4), 215 - 237.
- Cazañas, X., Pura, A., Melgarejo, J., Proenza, J., & Fallick, A. (2008). Geology, fluid inclusions and sulphur isotope characteristics of the El Cobre VMS deposit, Southern Cuba. *Mineralium Deposita*. 43, 805- 824.
- CIPIMM. (2017). Informe Preliminar del "Estudio Mineralógico de 25 muestras litológicas de la zona de Explotación del Yacimiento Oro Barita"(Inéditos) (pp. 41).
- Cobiella, J. (1988). El vulcanismo paleógeno cubano. Apuntes para un nuevo enfoque. *Revista Tecnológica*, 18, 25-32.
- Corbett, G. J., & Leach, T. M. (1998). Southwest Pacific rim gold-copper systems: Structure, alteration and mineralisation. *Society of Economic Geologists*, 6, 238.
- Cueva, M. S. M., & Hernández, B. J. J. (2016). Aplicación del método de difracción para la determinación y cuantificación de minerales de alteración hidrotermal del sondaje tel-01 del PROYECTO TELIMBELA, su relación con la litología y mineralización. Tesis de Grado en Geología. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Guayaquil – Ecuador, 137.
- Dávila, B. J. (2011). Diccionario Geológico. Diagramación: ARTH ALTUNA. Grouting, Geotechnical & Instrumentation. Arth Grouting S. A. C., #3, pág. 901.
- Gaev, A., & Guriev, A. (1974). *Informe de búsqueda y Exploración para cobre realizados en el campo menífero El Cobre y en el sector el Pajón durante los años 1971-1973.* (Inédito).
- Golovchenko, V., Porro, A., & Stepanov, V. M. (1967). *Título: Informe final del yacimiento El cobre. Cálculo correspondiente al I-VII-67, Inventario: 1663.* (Inédito).
- Golovkin, L. M., Sviridov, A. P., López, J. L., & Sojo, M. (1981). *Informe sobre los resultados del levantamiento geológico a escala 1:100 000 realizado en la parte oeste de la Sierra Maestra durante los años 1976 – 77: Inédito.*
- González, O. (2009). Características principales de los depósitos epitermales en el noroeste de México, un análisis y comparación. 11.
- Grechanik, & Norman. (1967-1969). Inventario - 1736 Informe sobre los trabajos geológicos de Levantamiento a escala 1:50 000 que se realizaron en la cuenca de los Ríos Cobre, Cañas y Cauto . Provincia de Oriente. .
- Grechanik, T., & Norman, A., *et al.* (1970). *Informe de los trabajos del Levantamiento Geológico Complejo a escala 1: 50 000 de las cuencas de los ríos Cauto, Cañas y Cobre en los alrededores de la mina de El Cobre. Inédito, Archivo de Oficina Nacional de Recursos Minerales.*
- Guilbert, J. M., & Park, C. F. (1986). The geology of ore deposits: New York, W.H. Freeman and Company. 985.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A. R., & González – Urien, E. (2000). Exploration for epithermal gold deposits: Reviews in Economic Geology. 7, 33.
- Hedenquist, J. W., Izawa, E., Arribas, A., & White, N. C. (1996). Epithermal gold deposits: styles, characteristics, and exploration: Resource Geology Special Publication. 1, 18.

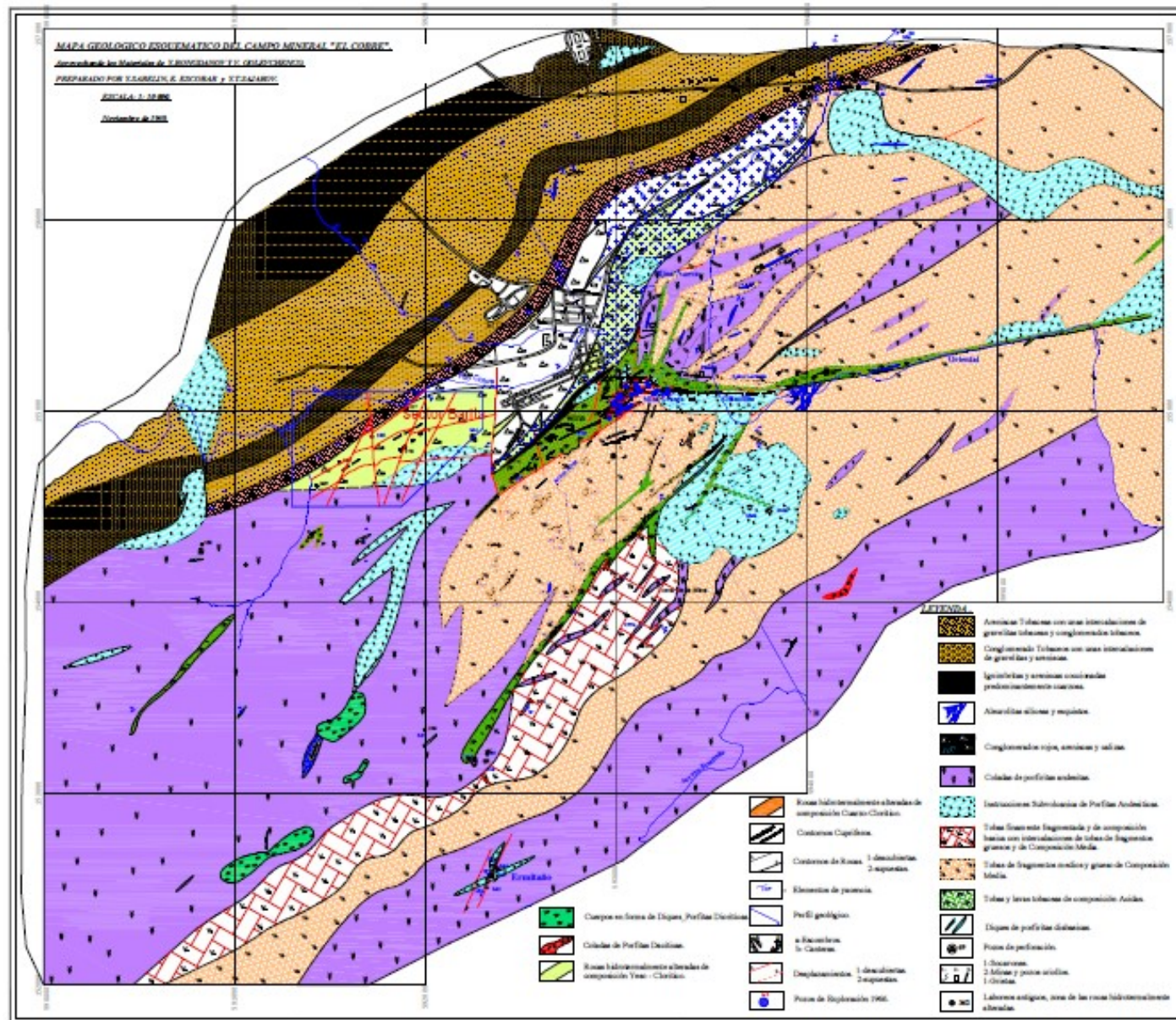
- Iturralde-Vinent, M. A. (1988, 1994, 1996). Introduction to Cuban geology and tectonics. In Iturralde-Vinent, M. A., Cuban ophiolites and volcanic arcs, IUGS/UNESCO International Geological Correlation Programme. Project 364, Special Contribution. (1), 3 – 35.
- Iturralde-Vinent, M. A. (1996d). Cuba: The Cretaceous volcanic arc. In Iturralde-Vinent, M. A., Cuban ophiolites and volcanic arcs, IUGS/UNESCO International Geological Correlation Programme. Project 364. Geological Correlation of Ophiolites and volcanic arcs in the Circumcaribbean Realm, Miami, Florida Special Contribution. (1), 179-189.
- Izquierdo, J., Sánchez, R., Shcherbinov, V., Fernández, A., Escobar, E., Donskij, V., . . . Cobo, J. (1991). *Informe del Tema 401-03 "Fundamentación de las Direcciones de Prospección Preliminar y Prospección Detallada para Cobre en la Región del Campo Menífero El Cobre, Incluyendo la Cuantificación de los Recursos Pronósticos"*. Archivo IGP. La Habana. (Inédito).
- Juvenal Cárdenas, E. E. (2015). *Caracterización Geoquímica y Mineralógica de Alteraciones Hidrotermales en Pórfido Cuprífero Escondida*. (Tesis de Maestría).
- Kerr, P. (1984). Mineralogía óptica.
- Kesler, S., Levy, E., & Martín, C. (1990). Metallogenic evolution of the Caribbean region. . In: Dengo G, Case JE (eds) *The geology of North America . Geological Society of America, Boulder, CO, (vol. H: the Caribbean region)*, 459–482.
- Kuzovkov, G. (1976). *Informe sobre el Levantamiento Geológico a escala 1:50 000 y búsquedas acompañantes ejecutados en el área de Sierra Maestra (Inédito)*. Inventario # 3044, archivo de la ONRM.
- Kysar, G. (2001). *The role of Paleogene magmatism in the evolution of the northern Caribbean margin. The Sierra Maestra (southern Cuba)*. Unpublished Ph.D. Thesis. George Washington University: 187.
- Lavandero, J., Moreira, J., Torres, J., Suárez, A., Montano, J., J., M., A., & Pantaleón, G. (2001). Potencialidades de recursos minerales para metales preciosos y base en la región oriental de Cuba (resumen), en IV Congreso Cubano de Geología y Minería: La Habana, Cuba. *Sociedad Cubana de Geología*, 1-10.
- Luna, A., et. al. (1992). *Informe P.D. Cobre Zona Sur. Archivo Técnico E.G.M.O. Materiales primarios de la A.E. Geominera S.A – Joutel Resources LTD en soportes magnético y el conocimiento geológicos de la zona con la experiencia de A. Luna en los trabajos realizados en el área. O.N.R.M.* (Inéditos).
- Luna, A., et. al. (2001). *Informe Exploración Detallada Oro Barita. Archivo de la EGMO (Inéditos)*.
- Luna, A., Medina, A., & Falero, R. (2006). Resultados de los trabajos de exploración en el depósito Oro Barita y las perspectivas de encontrar nuevos recursos. V CONGRESO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. (ISBN 959-7117-11-8), 9.
- Luna, A., Padró, T., & Gelian, B. I. (1992). *Informe prospección detallada Cobre Zona Sur: Inédito. Oficina Nacional de Recursos Mineral; EGMO*.

- Medina, A., & Naranjo, Y. (2015). Perfil de alteración epitermal del yacimiento Oro Barita *VIII Conferencia Internacional de Aprovechamiento de Recursos Minerales. CINAREM 2015. ISBN: 976-959-16-2982-1*.
- Méndez, I. (1997). Apuntes sobre el Vulcanismo del Paleógeno en la región Sierra Maestra y características de su composición química. EGMO.
- Meriño, M. R., & Rozhkov, L. (1984). Cálculo de Reservas Operativo del cuerpo mineral #1 del yacimiento El Cobre, según el estado del 01-01-84. Provincia Santiago de Cuba. Inv. 3181.
- Meyer, C., & Hemley, J. J. (1967). *Wall rock alteration, en Barnes, H.L. (ed.), Geochemistry of hydrothermal ore deposits: New York, E.U.A., Holt Rinehart & Winston*.
- Milton. (2013). Procesos de alunitización característico en depósitos epitermales de alta sulfuración. Tomado de internet el (<http://es.scribd.com/doc/138921182/Epitermales-de-Hs>).
- Nicholson, K. (1993). *Geothermal fluids: Chemistry and exploration techniques*. Springer Verlag.
- Nikolai - Ushakov., & Barrabi, H. (1986). Informe de la Exploración Orientativa hasta el horizonte-300 en los sectores de Mina Blanca, Mina Grande y Gitanilla del Yacimiento El Cobre, ONRM y EGMO.
- Pérez-Pérez, C. M., & García-Delgado, D. (1997). Tectónica de la Sierra Maestra (Sureste de Cuba). In: Furrázola-Bermúdez, G., Núñez Cambra, K., (eds.). *Estudios sobre Geología de Cuba*. La Habana, Centro Nacional de Información Geológica. 464–476.
- Pirajno, F. (2009). Hydrothermal process and mineral systems. Geological Survey of Australia, Perth, Australia: . *Springer., Chapter 5*.
- Proenza, J. A., & Melgarejo, J. C. (1998). Una introducción a la metalogenia de Cuba bajo la perspectiva de la tectónica de placas. *Geológica Acta*, 33, 89-131.
- Quintas, F., Hernández, M., & Blanco, J. (1994). Origen y evolución del arco de islas volcánicas Sierra Maestra. *Minería y Geología*. 11(1), 3-12.
- Reed, M. H. (1997). Hydrothermal Alteration and Its Relationship to Ore Fluid Composition. En: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, Tercera Edición, Hubert L. Barnes (ed.), John Wiley and Sons Inc. Publication 303-366.
- Robert, F., Poulsen, K. H., & Dubé, B. (1997). Gold Deposits and Their Geological Classification, Exploration Geochemistry. (In "Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration" edited by A.G. Gubins), 209-220. Retrieved from <http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/PROCESOS%20MINERALIZADORES.pdf>, on, mouse, down=return, rwt(this, 1'AFQjCN EPIpAYJga8hZXcXzthgR1vgGYXkg, 0ahUKEwjuweu5m4vTAhUD7iYKHc_oAb0QFgg aMAA, event), procesos mineralizadores – CEC= Buscar + con+ Google. website:
- Rodríguez, R., et. al. (1997). Características del magmatismo granitoideo en la Sierra Maestra. (Inédito).
- Rojas-Agramonte, Neubauer, F., Bojar, A., Hejl, E., Handler, R., & Garcia-Delgado. (2006). Geology, age and tectonic evolution of the Sierra Maestra Mountains, southeastern Cuba. *Geológica Acta*, 4, 123–150.

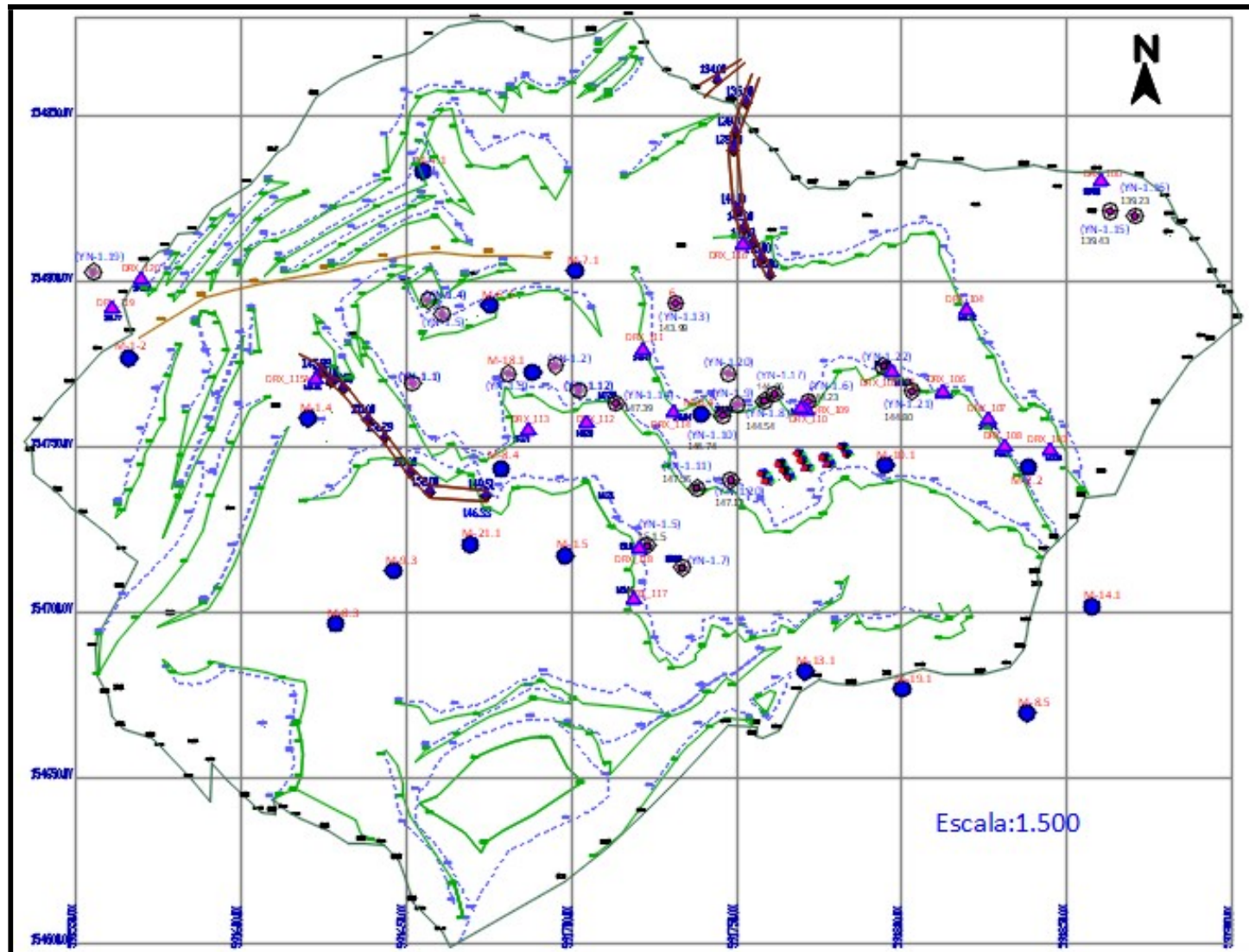
- Rye, R. O., Bethke, P. M., & Wasserman, M. D. (1992). The stable isotope geochemistry of acid sulfate alteration. *Economic Geology*. 87, 225-262.
- Salton, G. H. (1961). Reporte sobre Mina Grande el Cobre. Inv 1706, ONRM.
- Sillitoe, R. H. (1993). Epithermal models: genetic types, geometrical controls and shallow features, en Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., Duke, J.M. (eds.), *Mineral Deposit Modeling: Geological Association of Canada Special 40*, 403-417.
- Sillitoe, R. H. (1993a). Epithermal models: genetic types, geometrical controls and shallow features, en Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., Duke, J.M. (eds.), *Mineral Deposit Modeling: Geological Association of Canada Special 403-417*.
- Sillitoe, R. H. (2010). Porphyry copper systems: *Econ. Geol.*, 195, 3-41.
- Sillitoe, R. H., Hannington, M. D., & Thompson, J. F. (1996). High-sulfidation deposits in the volcanogenic massive sulfide environment: *Economic Geology*. 91, 204-212.
- Simmons Stuart F., White Noel C., & A, J. D. (2005). Geological Characteristics of Epithermal Precious and Base Metal Deposits, Society of Economic Geologists, Inc., *Economic Geology 100th Aniversary Volume*. 485-522.
- Stoffregen, R. (1987). Genesis of Acid-Sulfate Alteration and Au-Cu-Ag Mineralization at Summitville, Colorado, *Economic Geology*, vol. 82, 1575-1591.
- Toselli, A. J., & Aceñolaza, G. F. (2009-2010). *Elementos basicos de petrologia ignea. Consejo Nacional de Investigaciones Cientificas y Tecnicas. Universidad Nacional de Tucumán. Instituto superior de correlación geológica (INSUGEO). ISSN 1514 - 4836, ISSN 1668 - 3242 en línea*.
- Townley, B. (2006). Apunte Hidrotermalismo y Yacimientos minerales p. 9.
- White, N. C., & J.W., H. (1995). Epithermal gold deposits: Styles, characteristic and exploration. *Society of Economic Geologists, Newsletter*, 23, 1-13.
- Williams, D. K. (2010). Geology and mineralization of the Navidad ,Ag- Cu- Pb – Zn District, Chubut Province Argentina. Society Of Economic Geologists, Special Publication 15, 203 –227.
- Zikin, E., & Larionov, V. (1968). Informe sobre los resultados del estudio de las manifestaciones de mineral y de los trabajos de búsqueda para el cobre, realizados en 1965-67 en la Sierra Maestra. (Inédito). Inventario # 1718, archivo de la ONRM.
- Zimbelman, D. R., Rye, R. O., & Breit, G. N. (2005). Origin of secondary sulfate minerals on active andesitic stratovolcanoes. *Geochemistry of Sulfate Minerals: A tribute to Robert O. Rye. Chemical Geology*. 37-60.

Anexos Gráficos

Anexo Gráfico.1. Mapa geológico del Campo mineral El Cobre, escala 1:0000.



Anexo Gráfico.2. Ubicación de los puntos de muestreos en el yacimiento Oro Barita con su respectiva simbología.

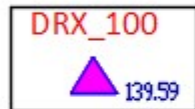


Leyenda geológica del anexo gráfico. 2.

SIMBOLOGIA



Muestra tecnológica del 2017.



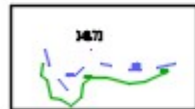
Muestra de DRX con su número de cota.



Muestra del estudio minerográfico, de 25 muestras tomada en el 2017.



Muestra petrográfica.

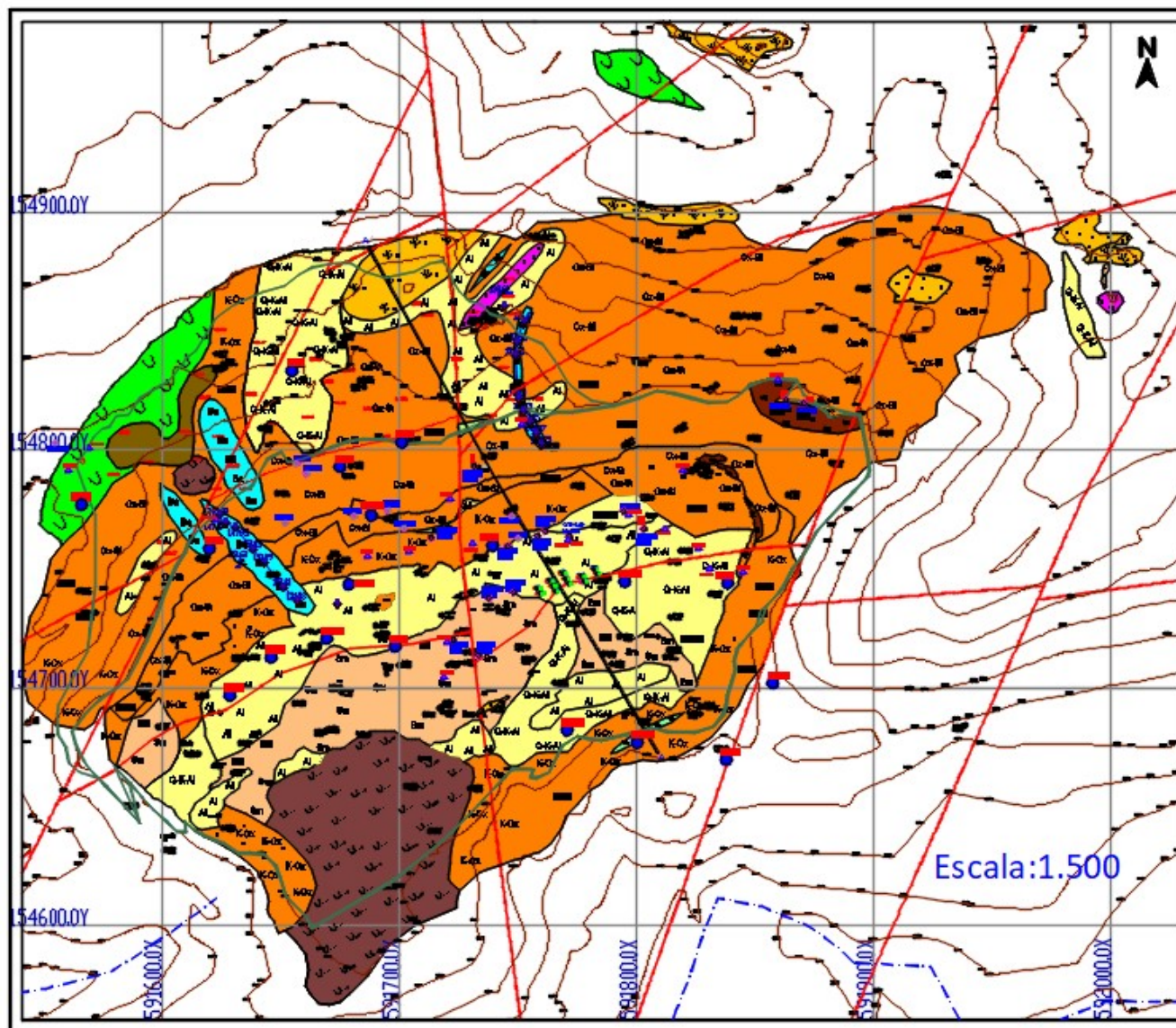


Actualización topográfica de la cantera.

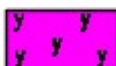
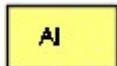
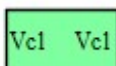
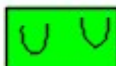
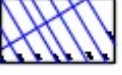
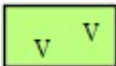
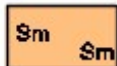
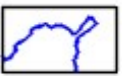
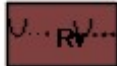


Muestreos en vetas de barita.

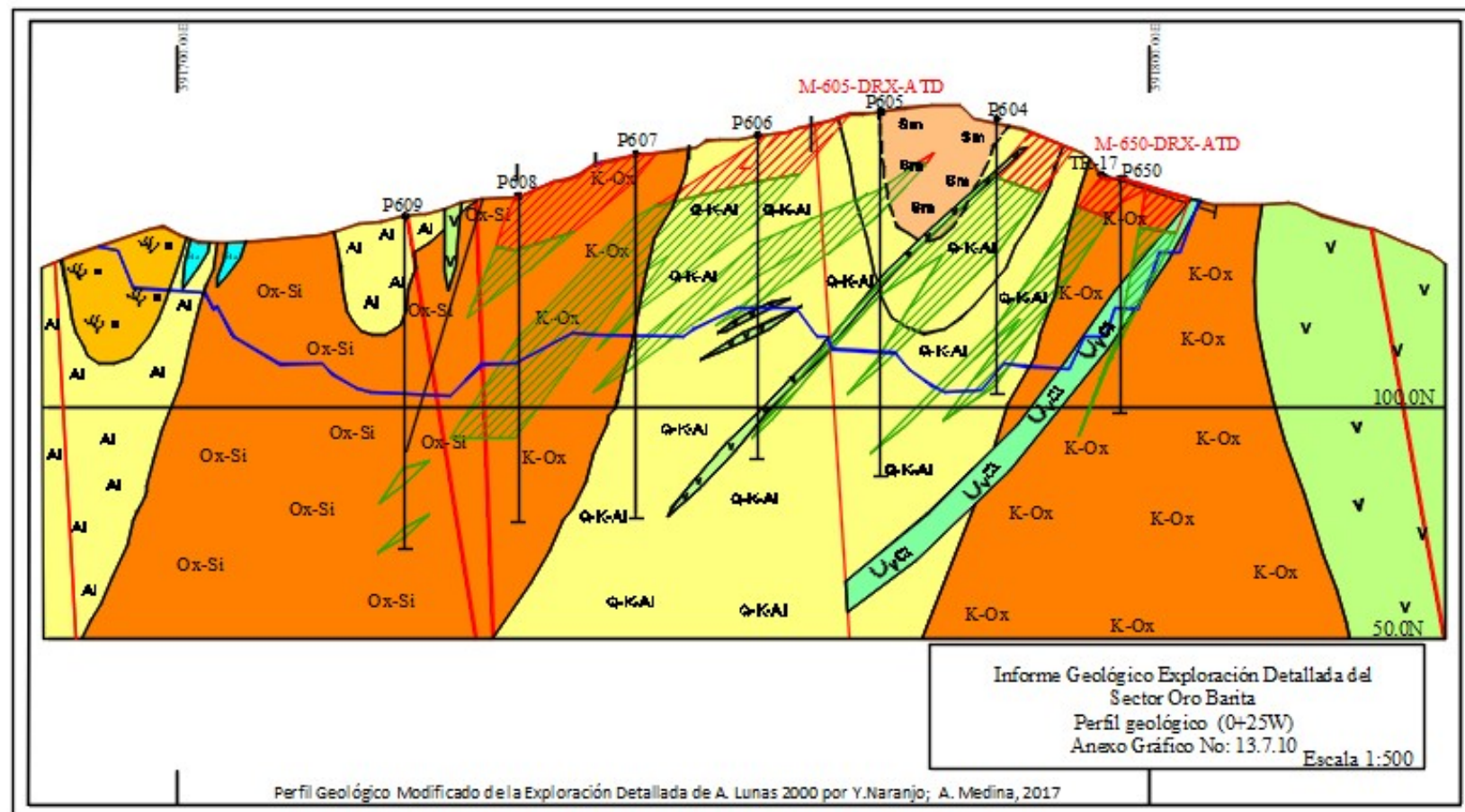
Anexo Gráfico.3. Mapa de alteración superficial del yacimiento oro barita.



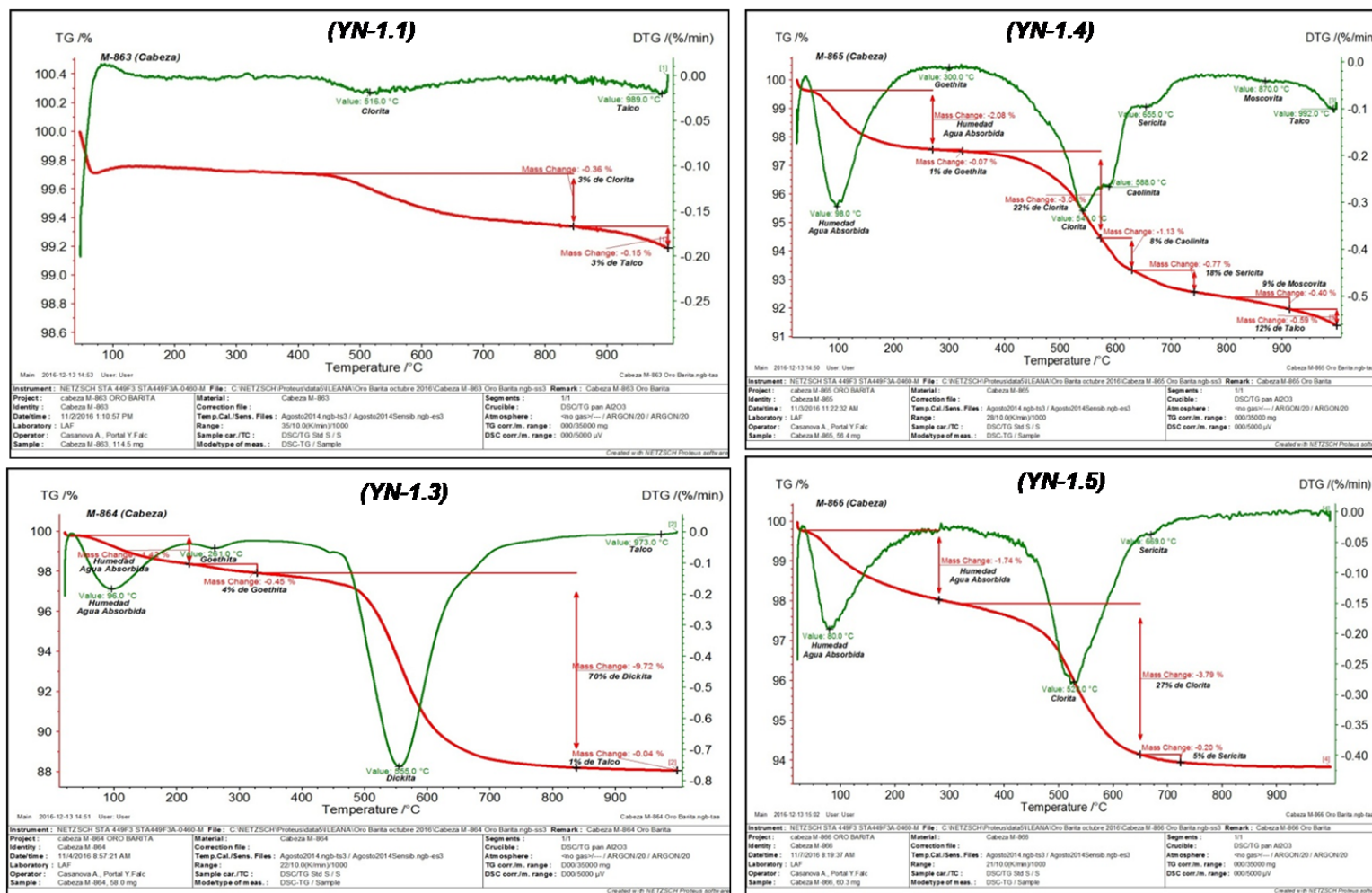
Leyenda geológica del anexo gráfico.3 de las alteraciones estudiadas.

<i>SIMBOLOGIA</i>		<u>Alteraciones hidrotermales:</u>			
	Perfiles geológicos.		Zona de alteración en un Stock work.		Yeso_Anidrita.
	Curvas de Niveles.		Zona de alteración Alunitización.		Zona de alteración Clorotización.
	Contados Geológicos.		Zona de alteración Alunitización_Caolinitización.		Yeso_Silice.
	Pozos de Exploracion Detallada.		Zona de alteración Oxidación_Silicificación.		Ignimbritas.
	Medición topográfica		Zona de Oxidación Clara(Jarosita).		Cuerpos o vetas de Barita.
	Perfiles y magistral		Roca Brechosa Silicificada.		Andesita.
	Río		Zona de alteración Arcillas_E smectitas.		
	Actualización Topográfica.		Zona de alteración Caolinitizada.		
	Fallas.		Zona de Areniscas Oscuras.		
			Rocas volcánicas_Sedimentarias.		

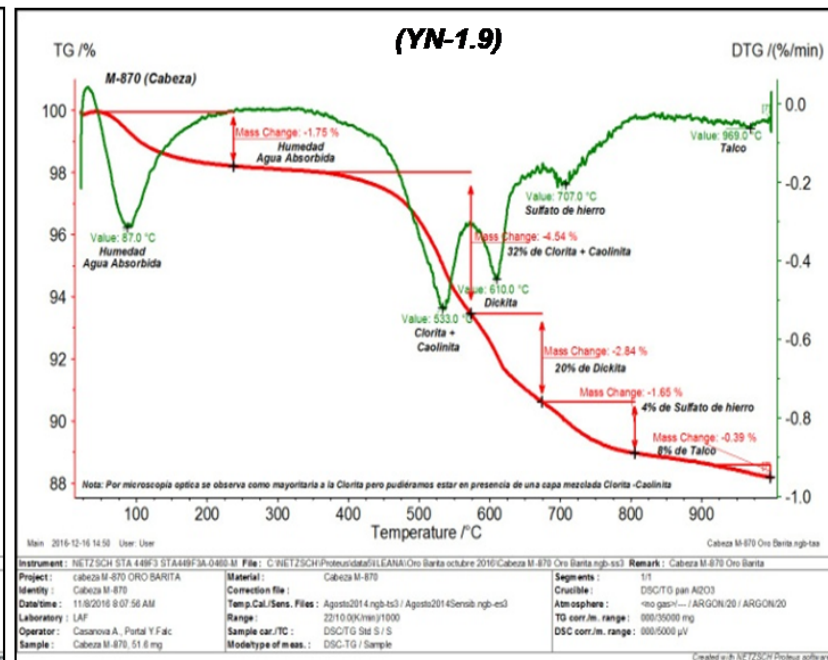
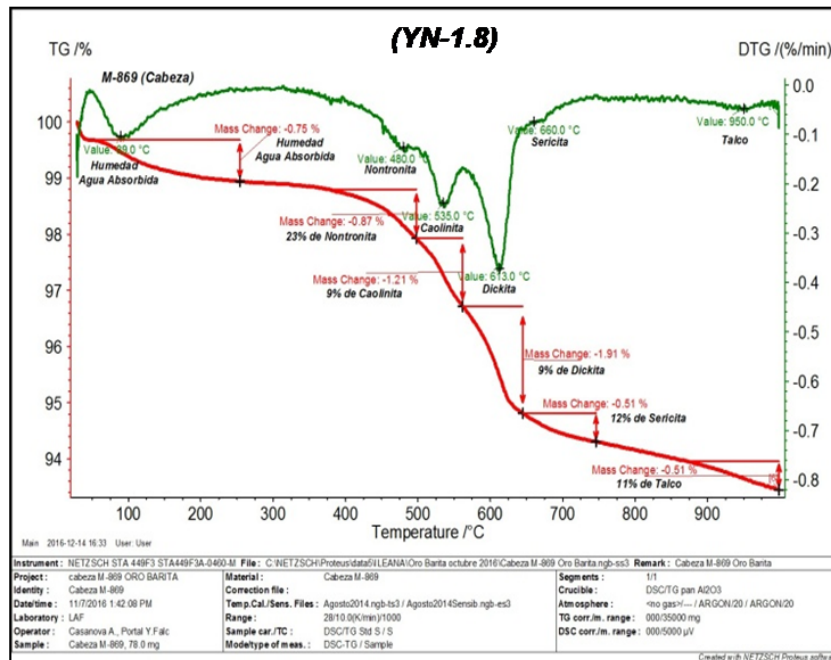
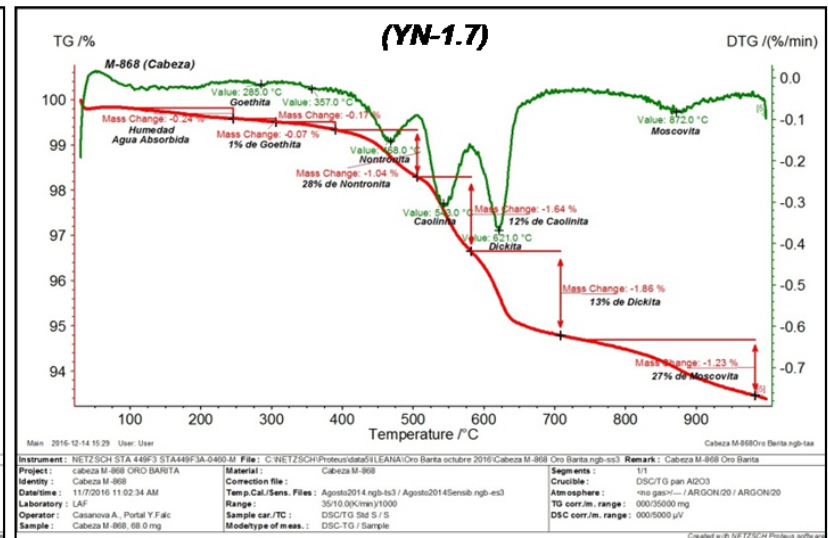
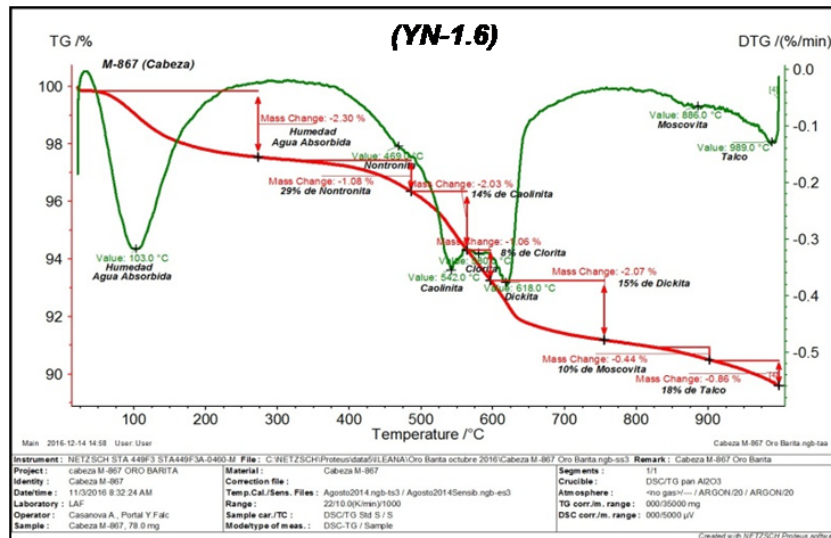
Anexo Gráfico.4. Perfil geológico de alteraciones hidrotermales del yacimiento Oro barita.

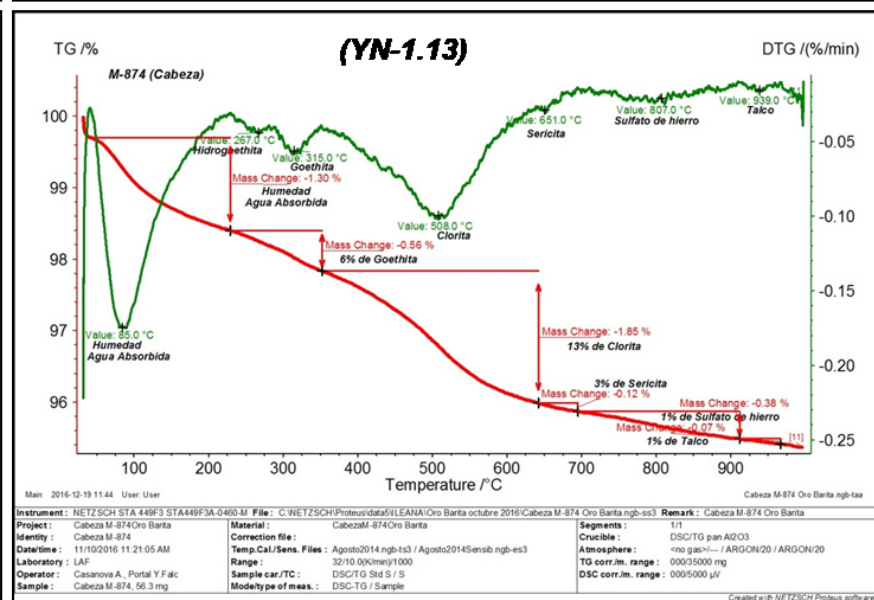
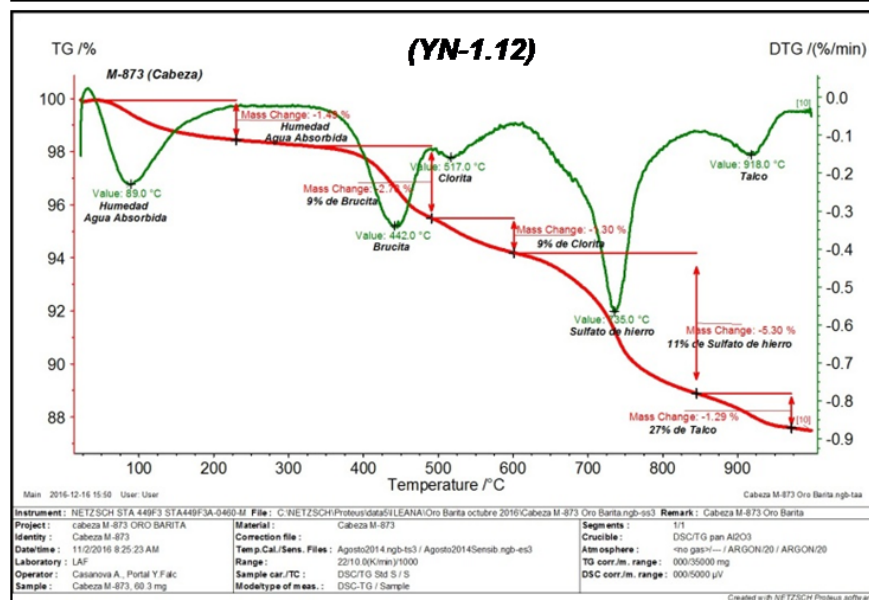
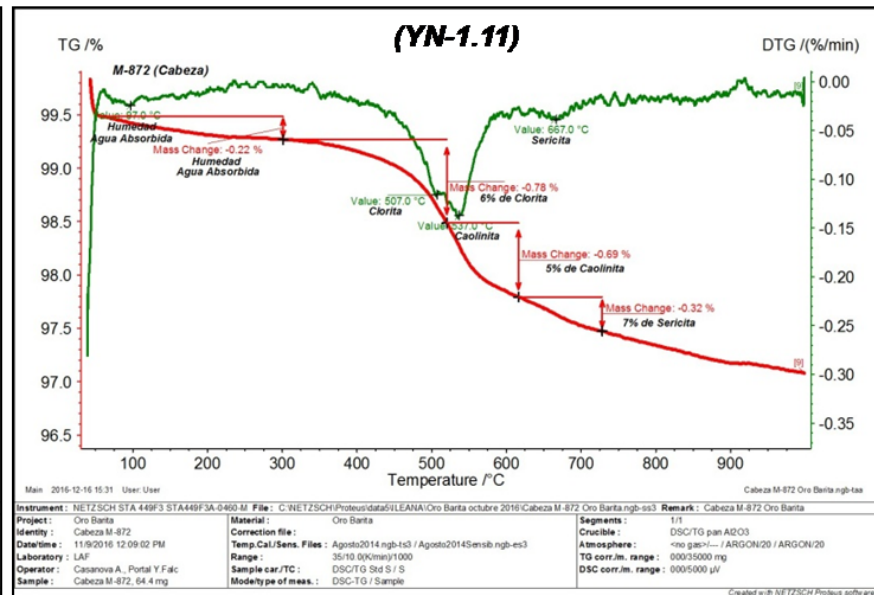
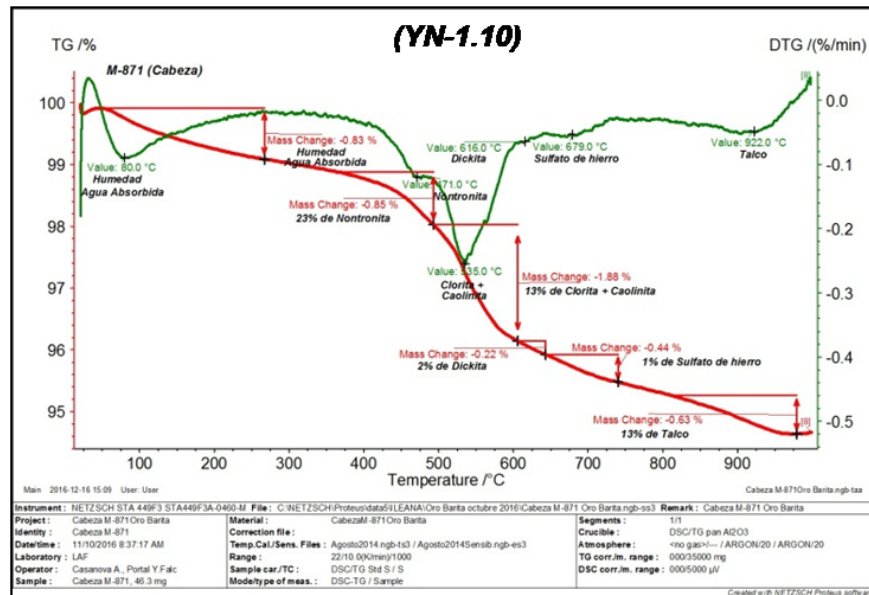


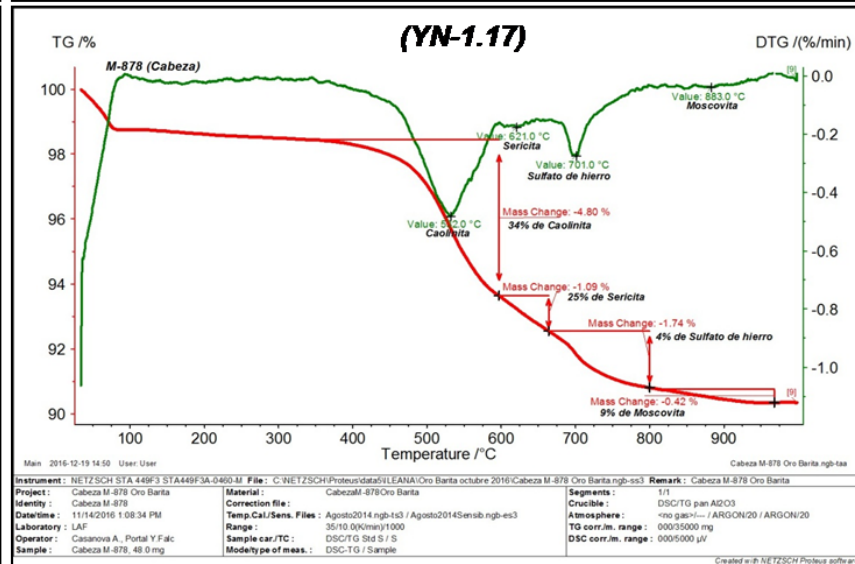
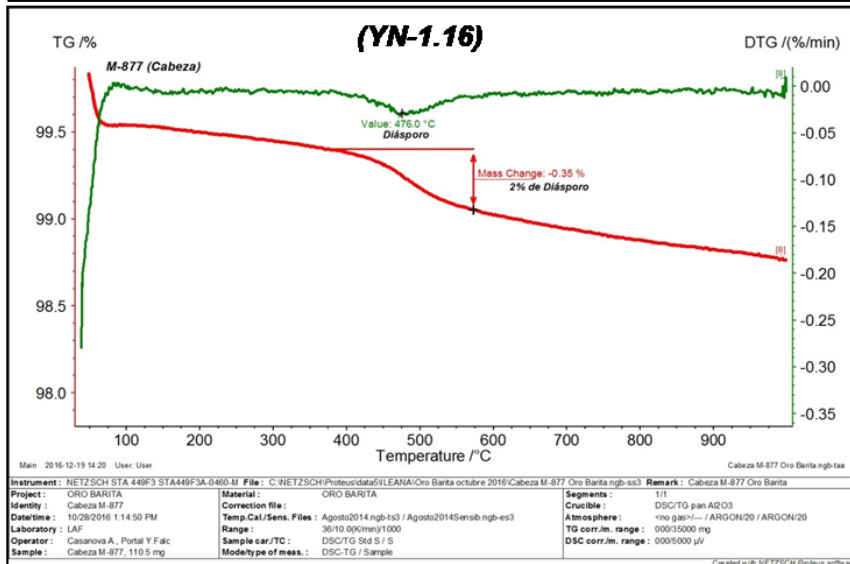
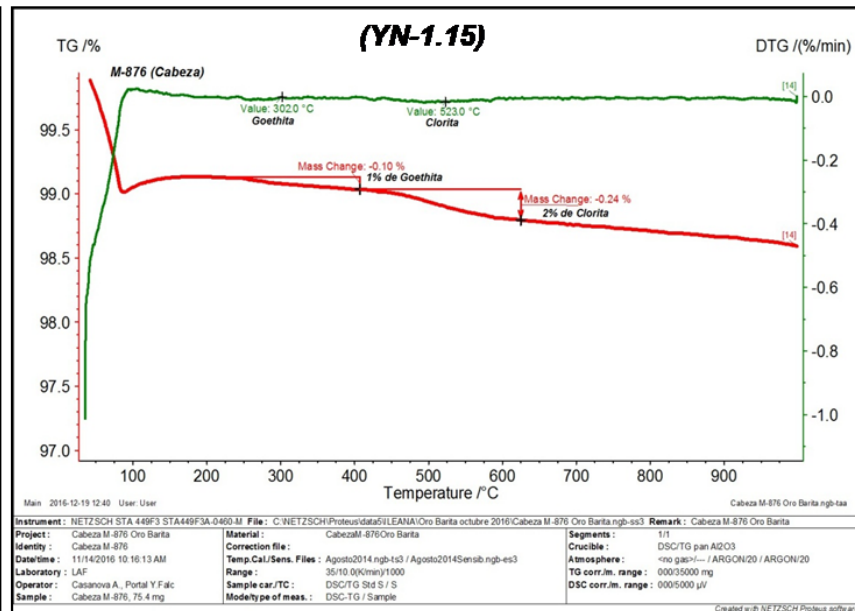
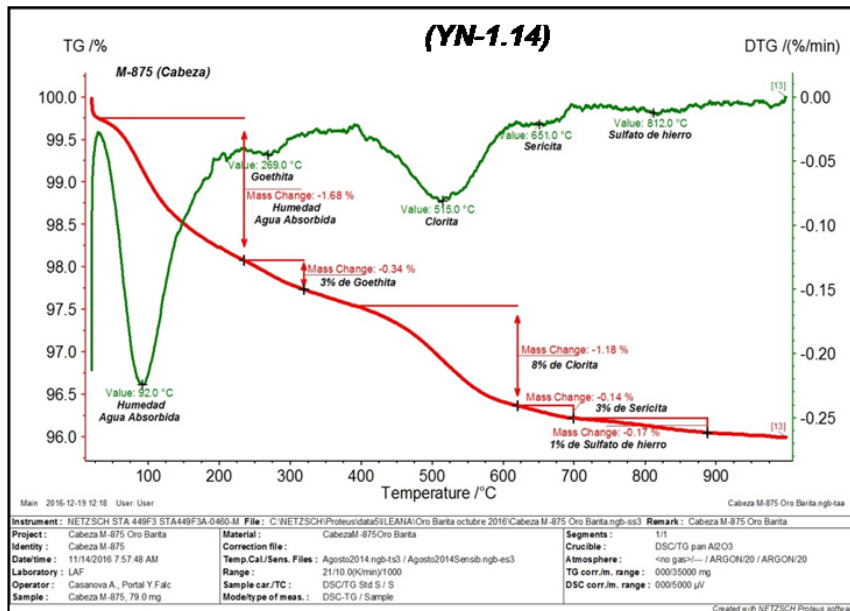
Anexo Gráfico.5. Resultados de los análisis de ATD en muestras de superficie del yacimiento oro barita (los resultados de los gráficos están ubicados en el Anexo Textual C).

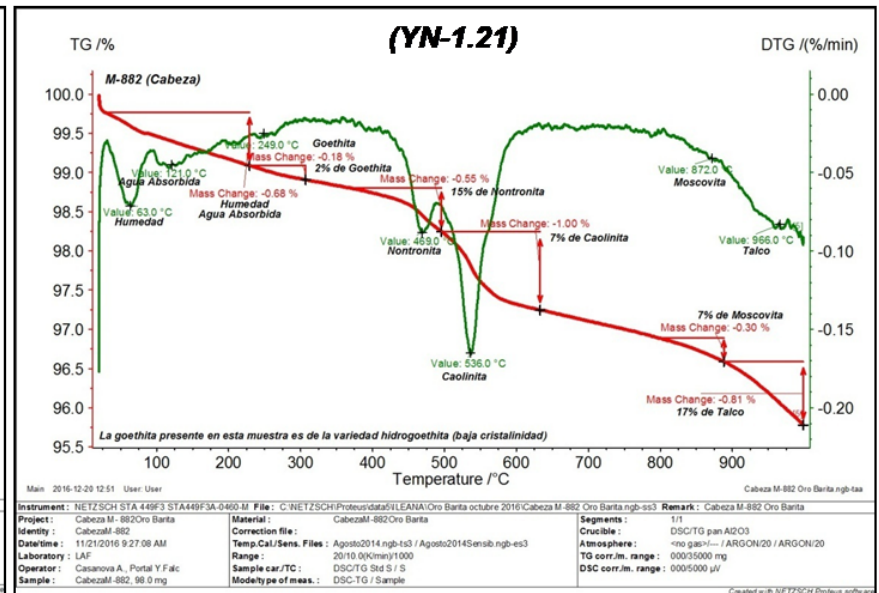
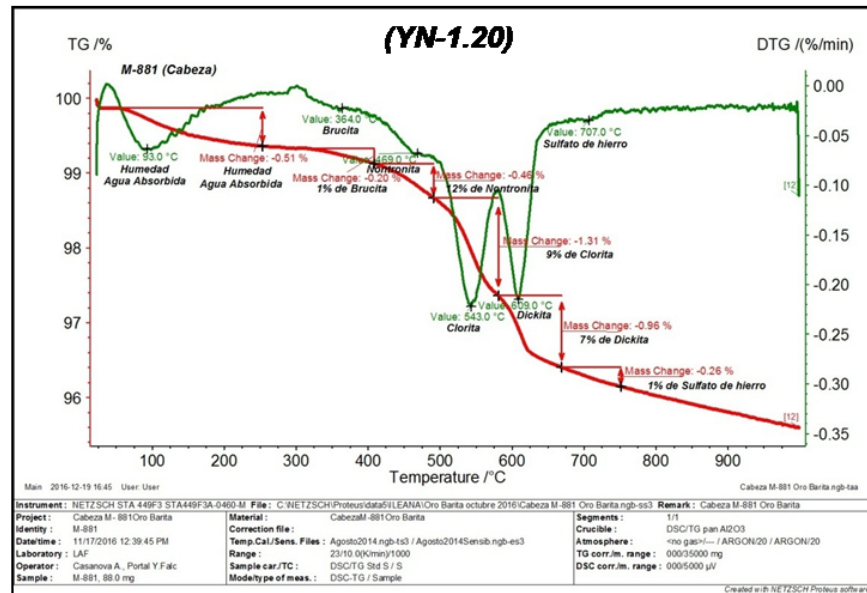
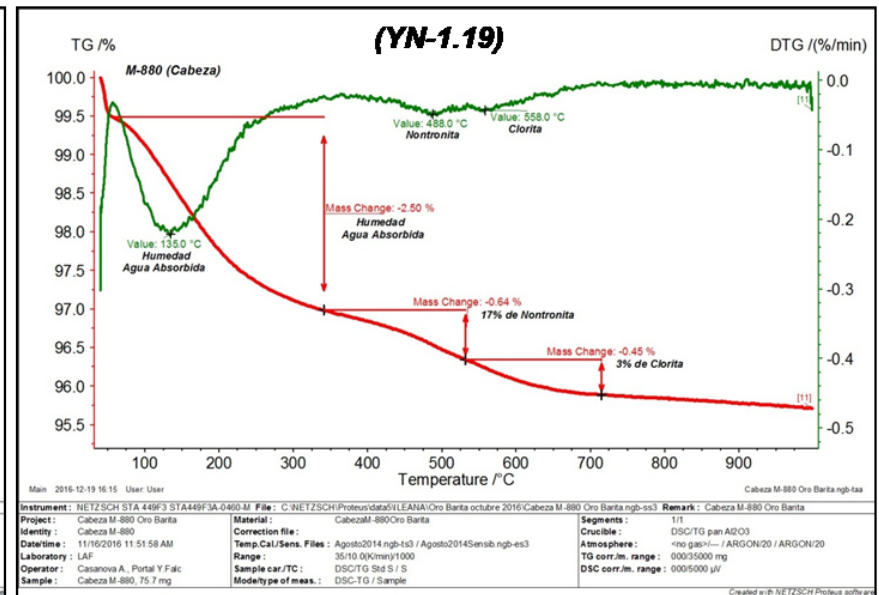
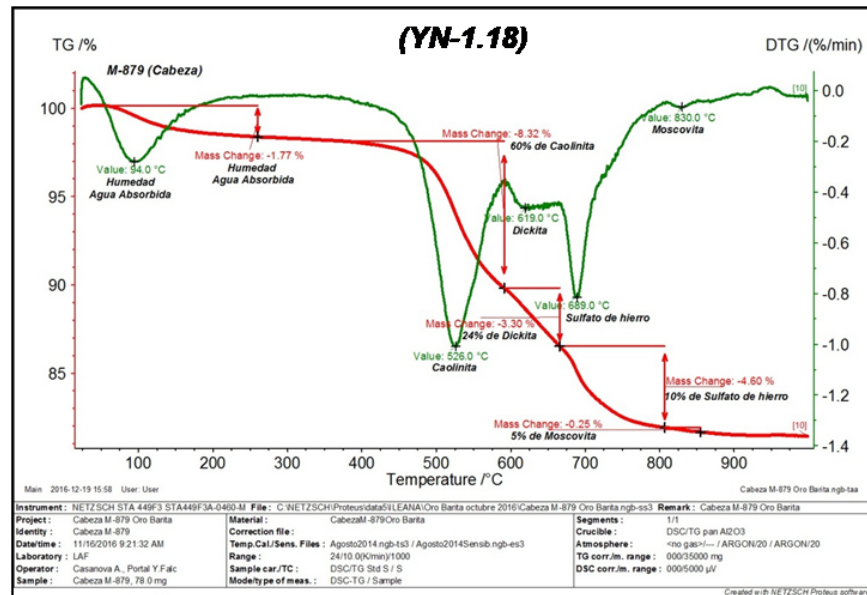


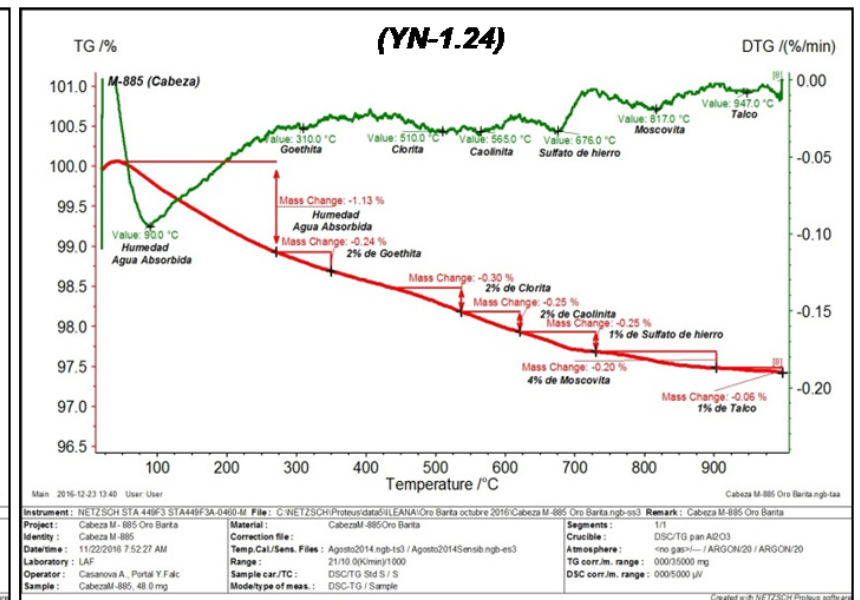
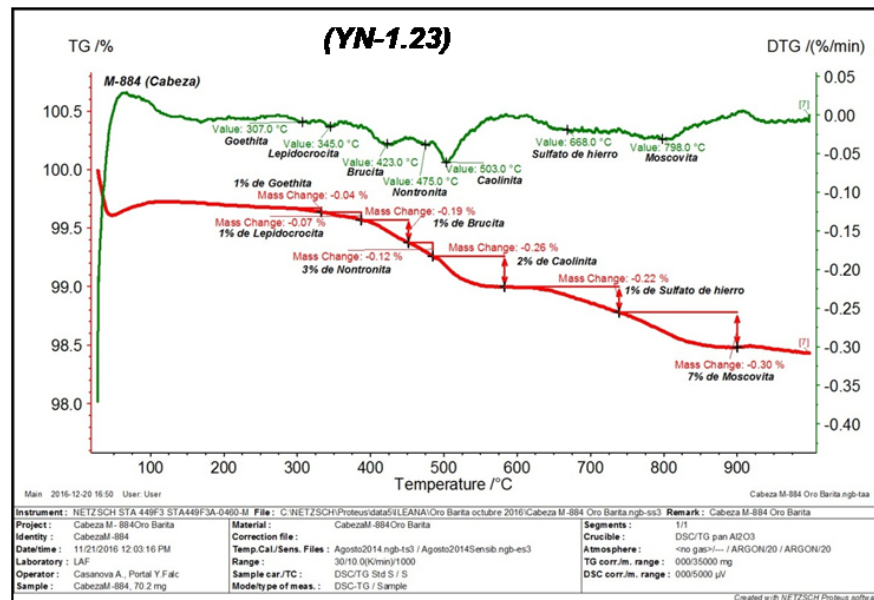
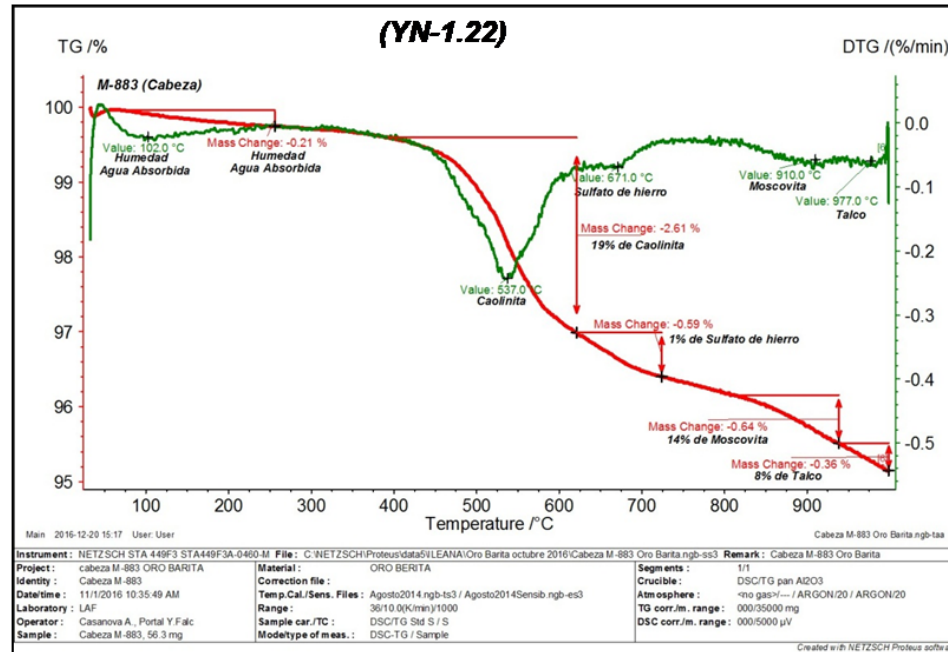
En las imágenes el nombre de las muestra (M-054863) coincide con el número del punto ((YN-1.1)) tomado en el campo, son enumeradas (izquierda a derecha). Ejemplo (YN-1.1) M-054863; (YN-1.4) M-054865; (YN-1.3) M-054864; (YN-1.5) M-054866.











Anexo A: Gráficos de difracción de rayos-X.

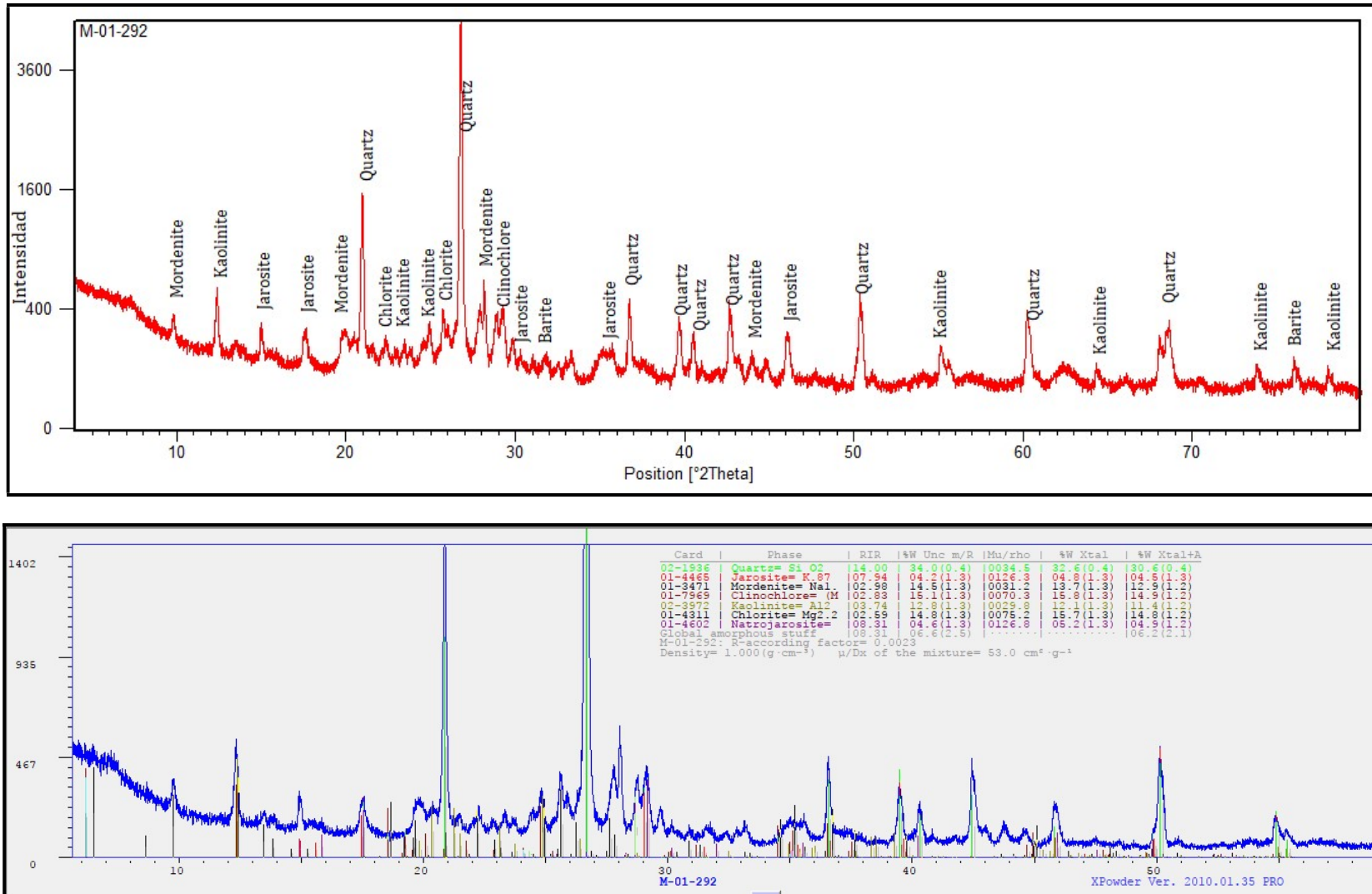


Figura M-01-292. a) Difractogramas de la muestra de toba brechosa cuarcificada, caolinitizada, cloritizada, empleando el software High Score Plus.

Figura M-01-292. b) Análisis cuantitativo de la muestra de toba brechosa cuarcificada, caolinitizada, cloritizada, con jarosita sódica, mordenita, trazas de clinoclrita obtenido por DRX empleando el software X Powder ver. 2010.01.35 PRO.

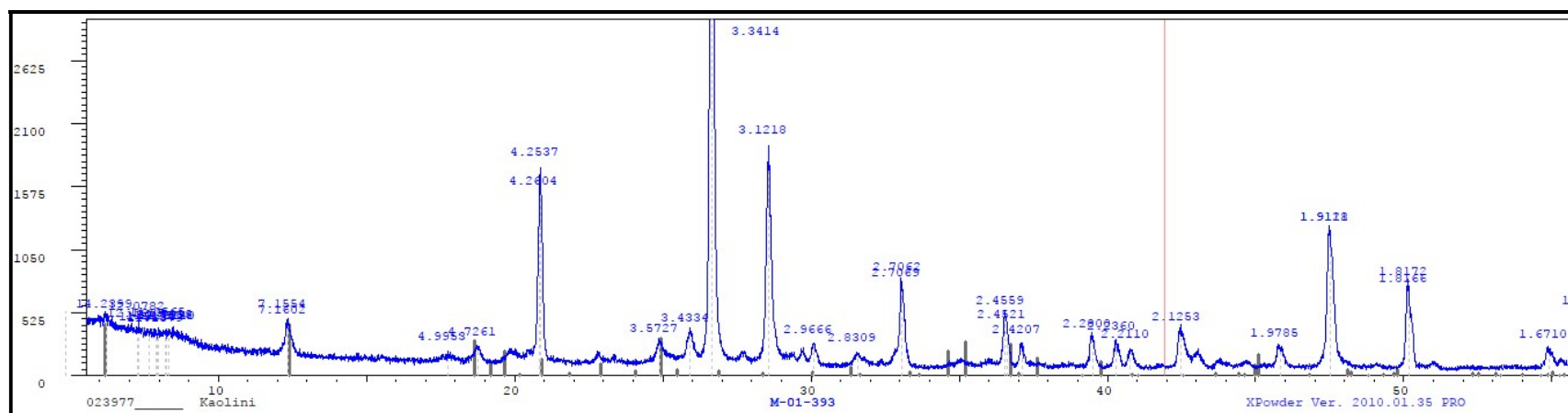
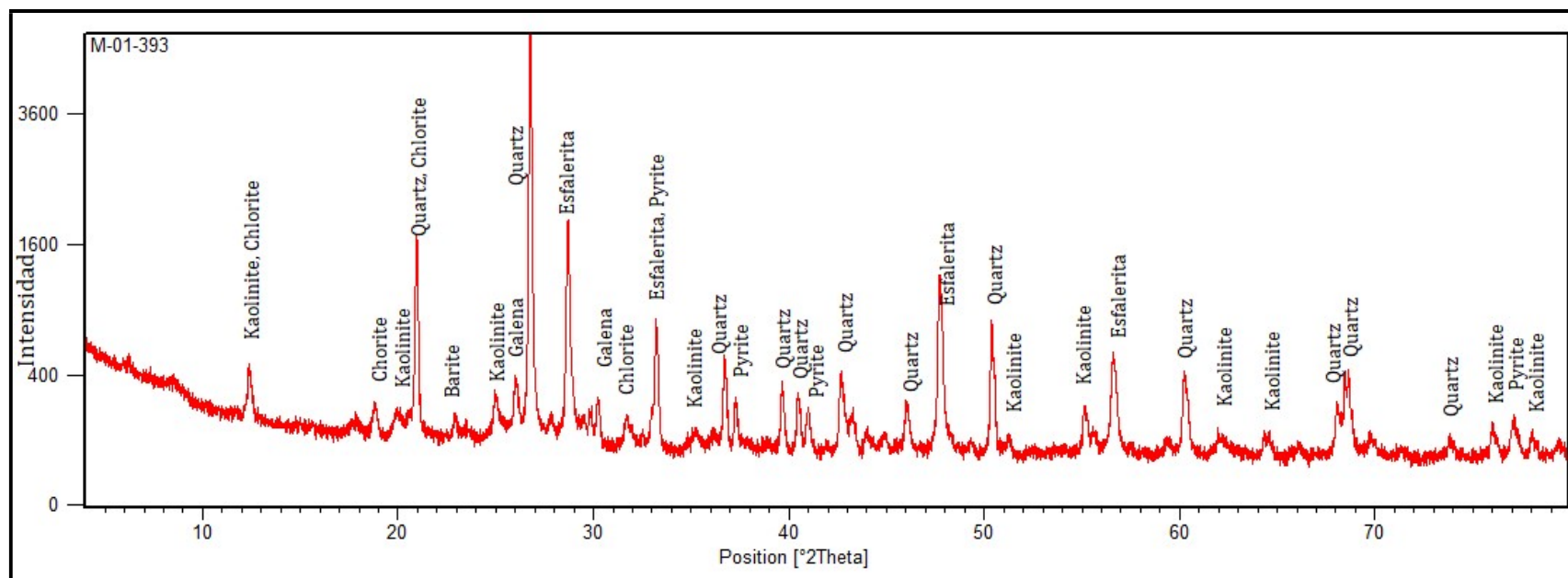


Figura M-01-393. a) Difractogramas de una toba riolítica muy alterada por minerales arcillosos y sulfuros, interpretada con el empleo del software High Score Plus.

Figura M-01-393. b) Difractograma resaltando la presencia de cuarzo. Nótese la mayor intensidad del pico a 3.341 Å y trazas de galena y pirita, obtenido por DRX empleando el software X Powder ver. 2010.01.35 PRO.

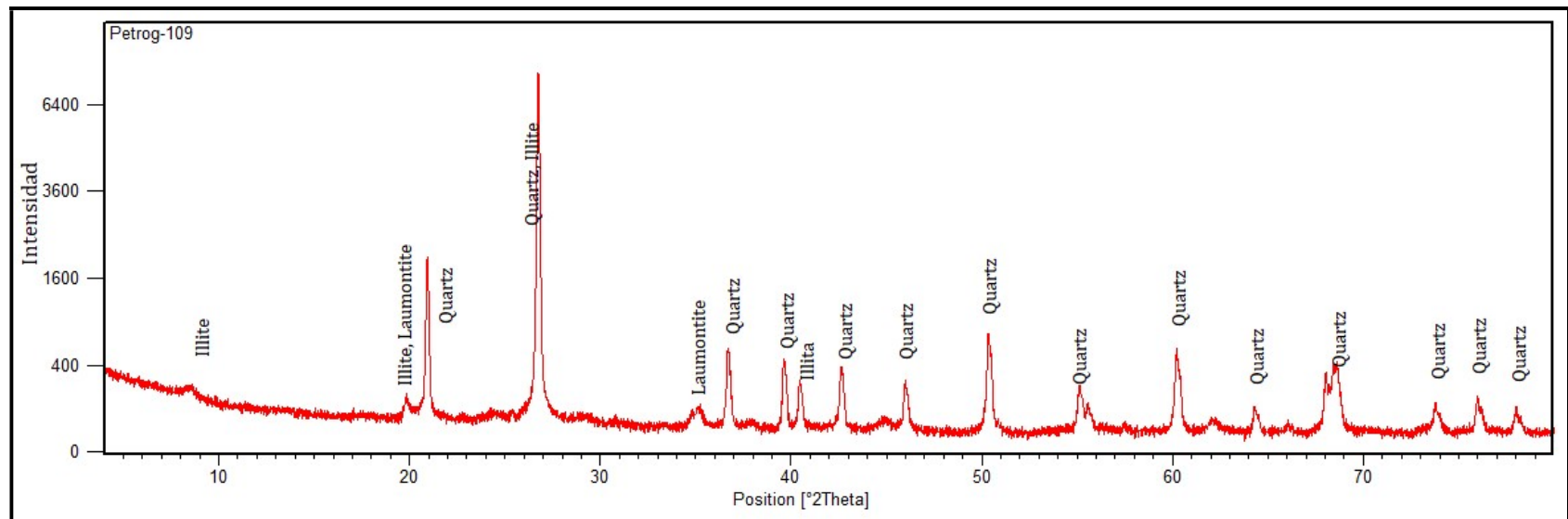


Figura Petrog-109. a) Difractogramas de una muestra de arcillas esmectíticas con fragmentos de cuarzo, empleando el software High Score Plus.

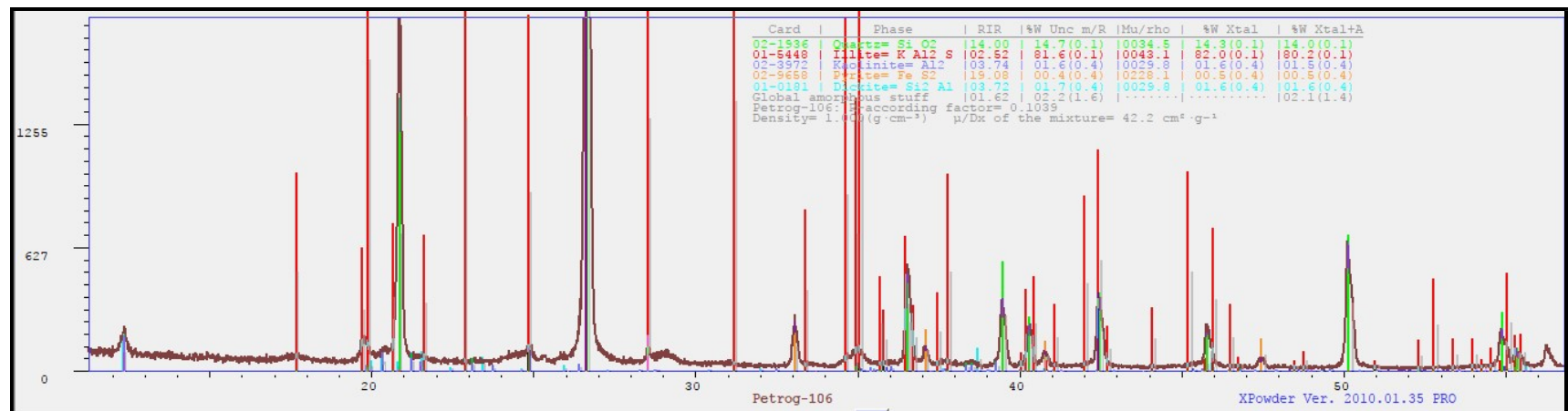


Figura Petrog-106. a) Difractogramas de una muestra de arcilla esmectítica, caolinitizada con presencia de cuarzo, illita, caolinita y diquita, la pirita se presenta como elemento traza, interpretada con el empleo del software High Score Plus.

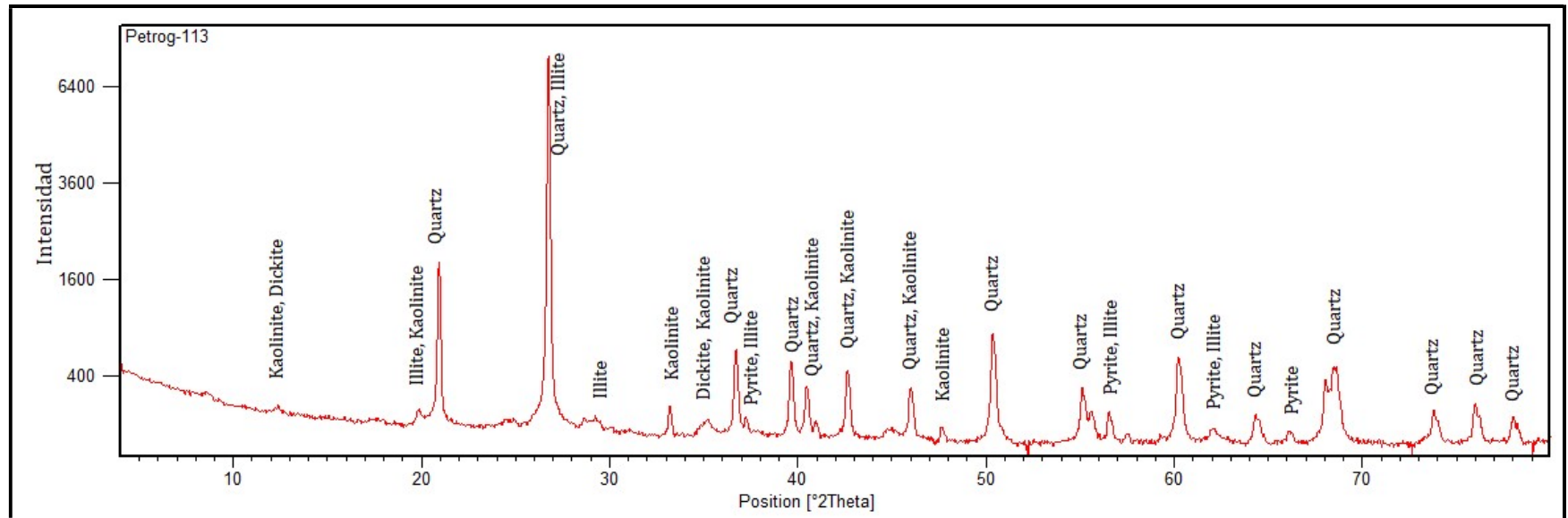


Figura Petrog-113. a) Difractogramas de una muestra de toba cuarcificada de grano grueso con matriz arcillosa de caolinita y esmectita, alterada por illita, caolinita y dickita, la pirita se presenta como elemento traza, interpretada con el empleo del software High Score Plus.

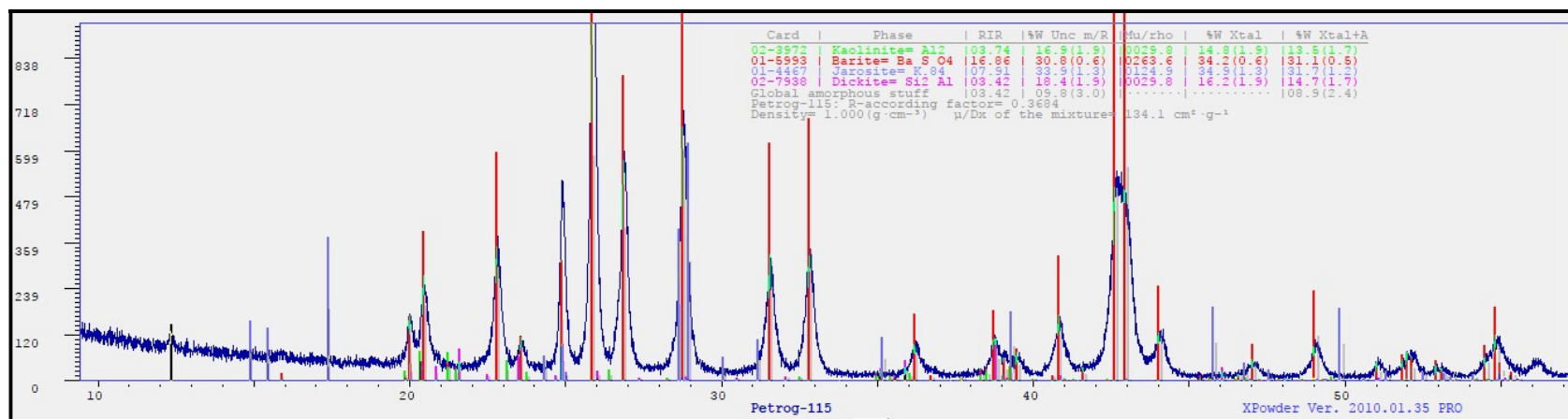
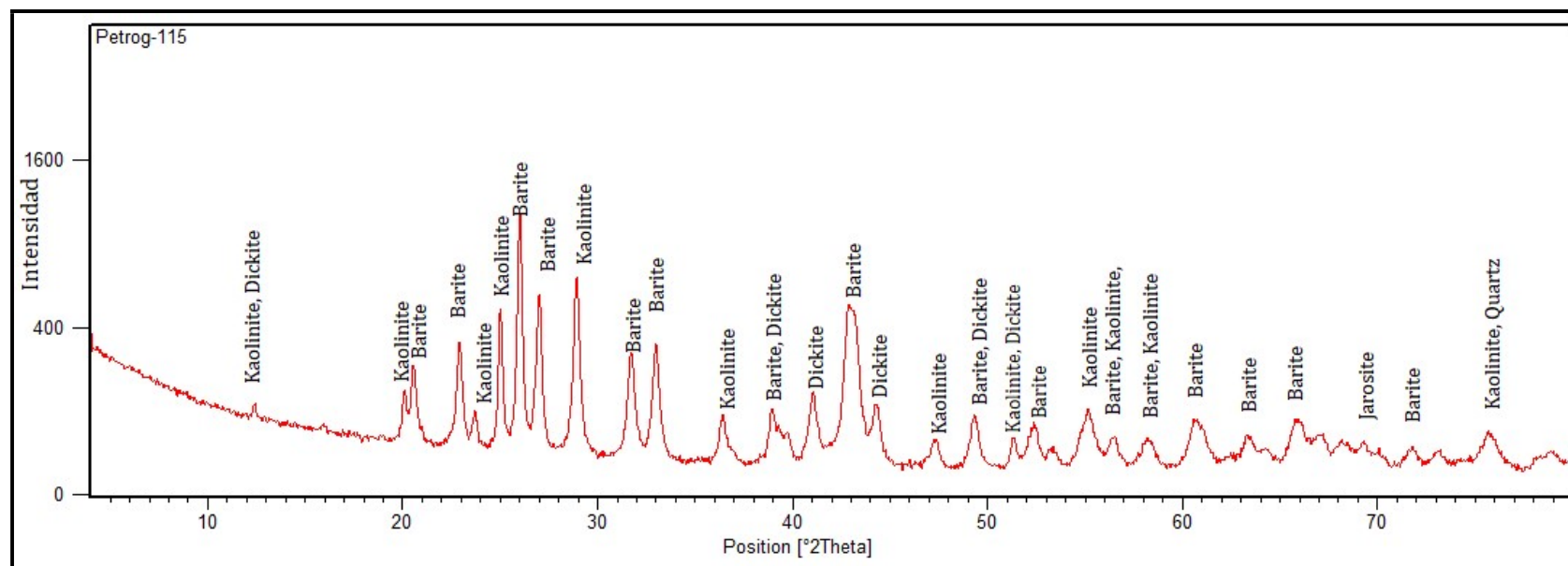


Figura Petrog-115. a) Difractogramas de una muestra de baritina alterada por jarosita, caolinita y dickita en zonas de vetas de barita cercana a la zona de oxidación ver anexo textual 2, interpretada con el empleo del software High Score Plus.

Figura Petrog-115. b) Análisis cuantitativo de una muestra de baritina caracterizada por la presencia de barita (31.1 %W), caolinita, jarosita, disquita, obtenido por DRX empleando el software X Powder ver. 2010.01.35 PRO.

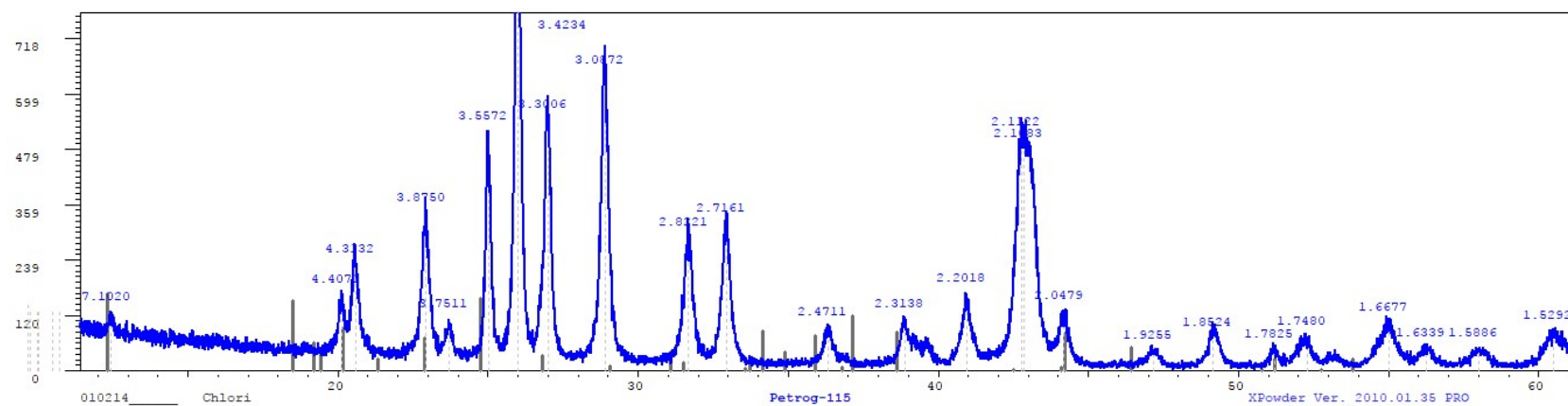


Figura Petro-115. Difractograma resaltando la presencia de Barita. Nótese la mayor intensidad del pico a 3.4234 Å y trazas de clorita.

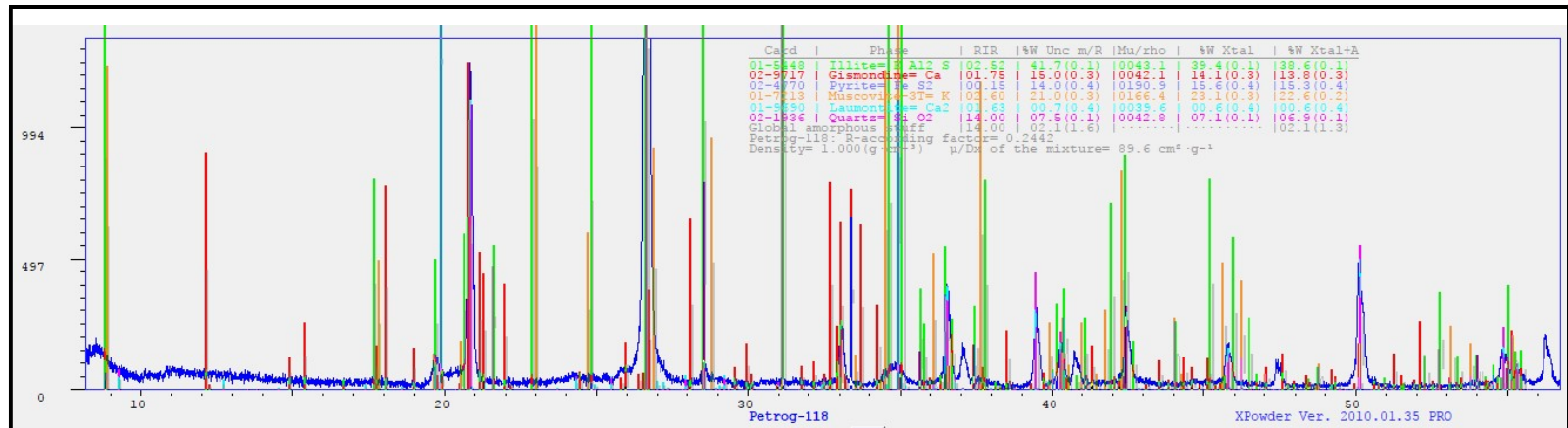
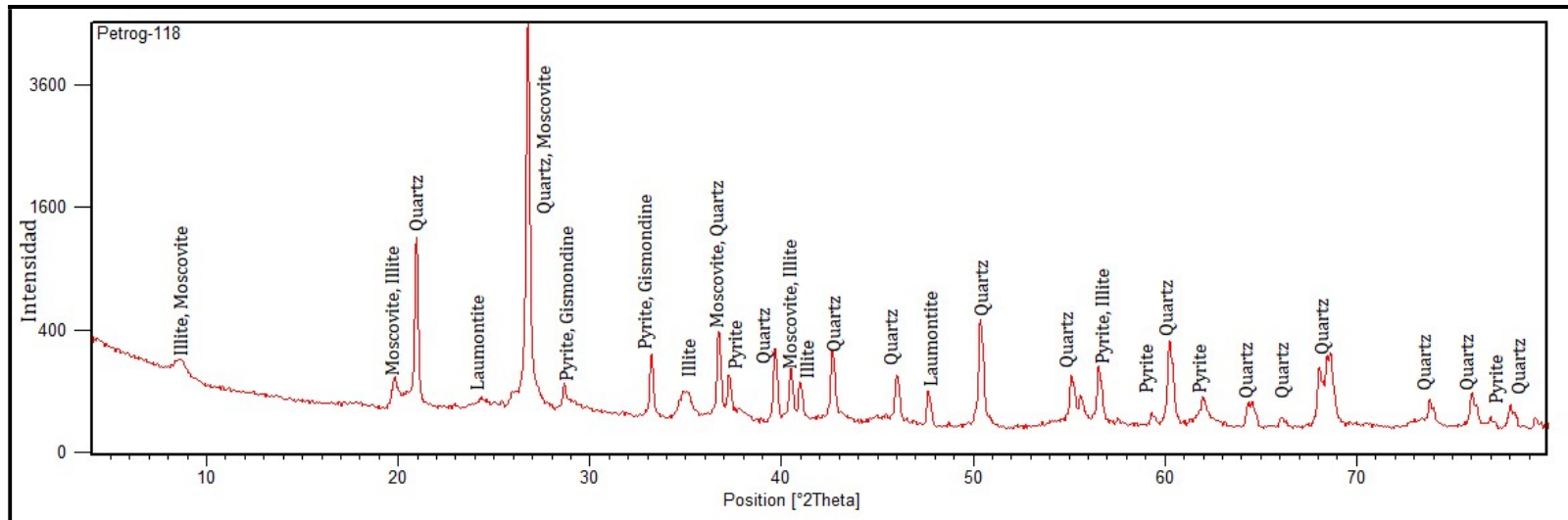


Figura Petrog-118. a) Difractogramas de una muestra de arcillas esmecticas con presencia de illita, moscovita, gismondina, cuarzo y pirit, interpretada con el empleo del software High Score Plus.

Figura Petrog-118. b) Análisis cuantitativo de una arcillas esmecticas caracterizada por la presencia de illita (30.6 %W), moscovita, zeolita (gismondina), cuarzo y pirit como elemento traza, obtenido por DRX empleando el software X Powder ver. 2010.01.35 PRO.

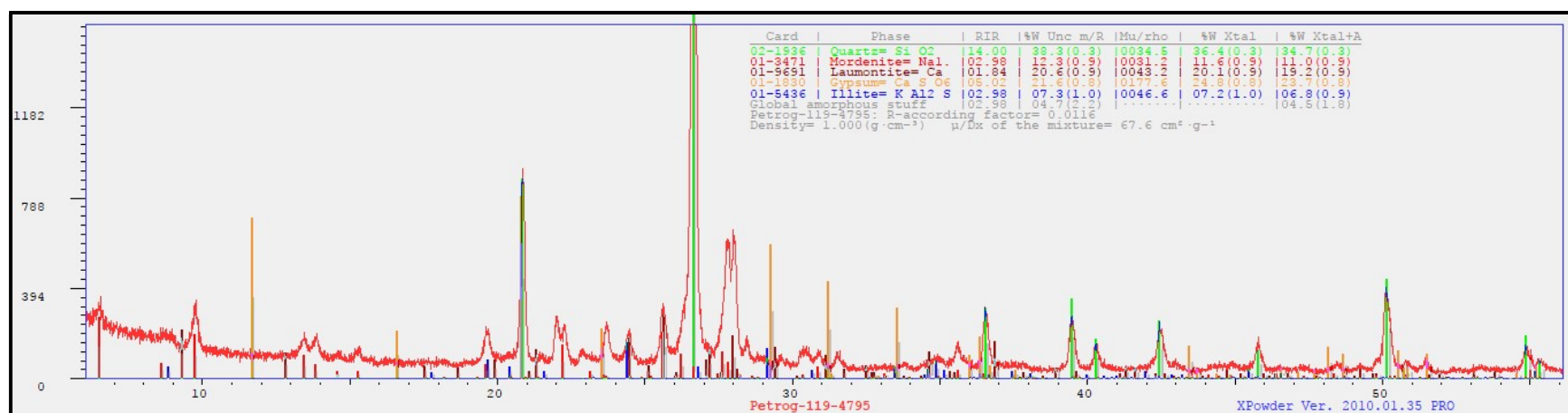
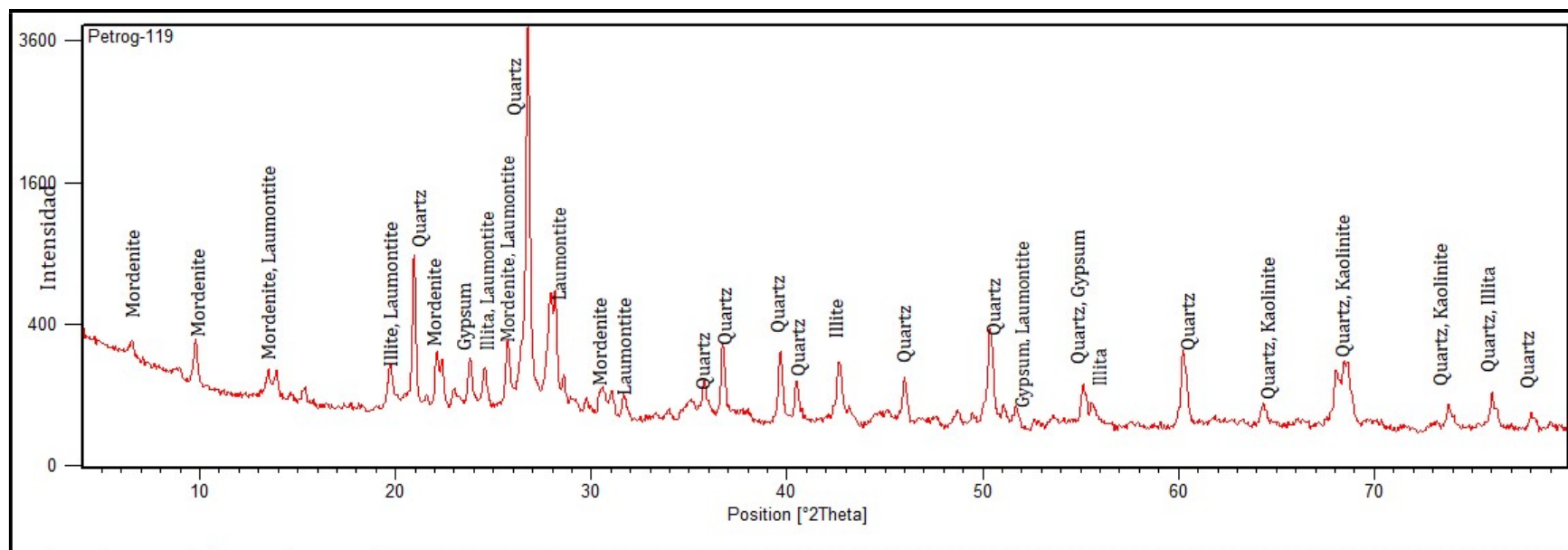


Figura Petrog-119. a) Difractogramas de una muestra de toba ignimbrítica, empleando el software High Score Plus.

Figura Petrog-119. b) Análisis cuantitativo de una toba ignimbrítica con presencia de mordenita, laumontita, cuarzo, illita y yeso; se puede decir que las tobas ignimbrítica presentan minerales del grupo de la zeolita, obtenido por DRX empleando el software X Powder ver. 2010.01.35 PRO.

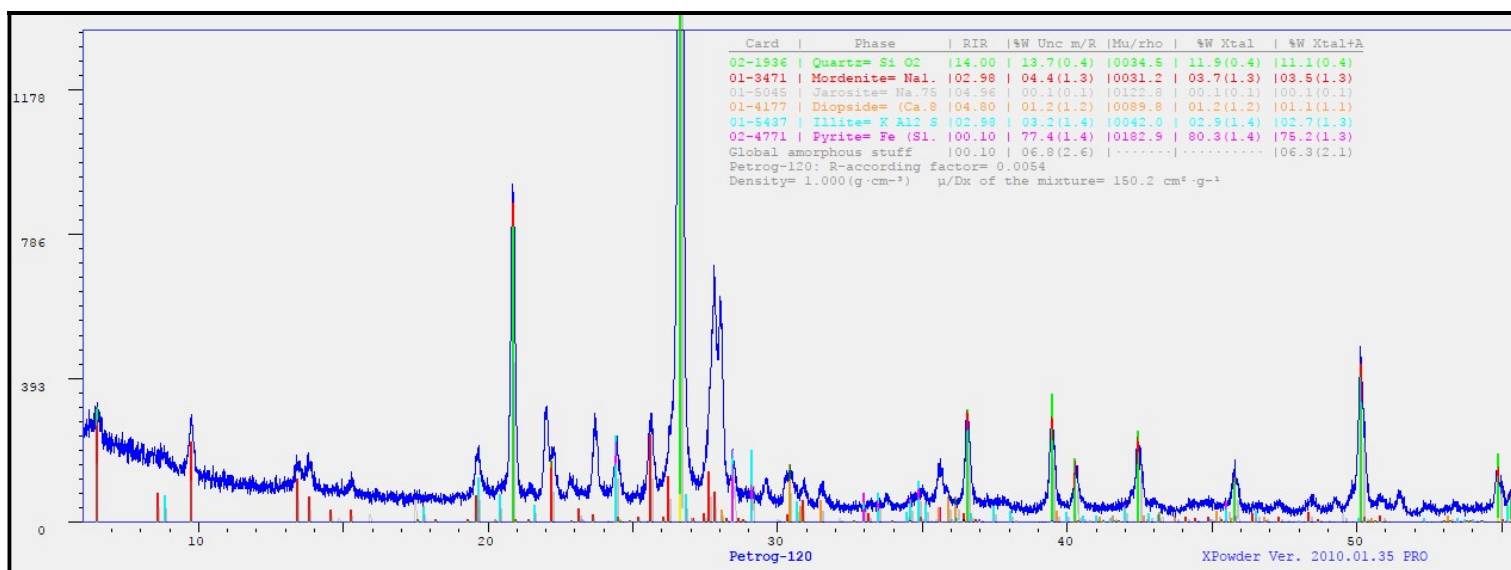
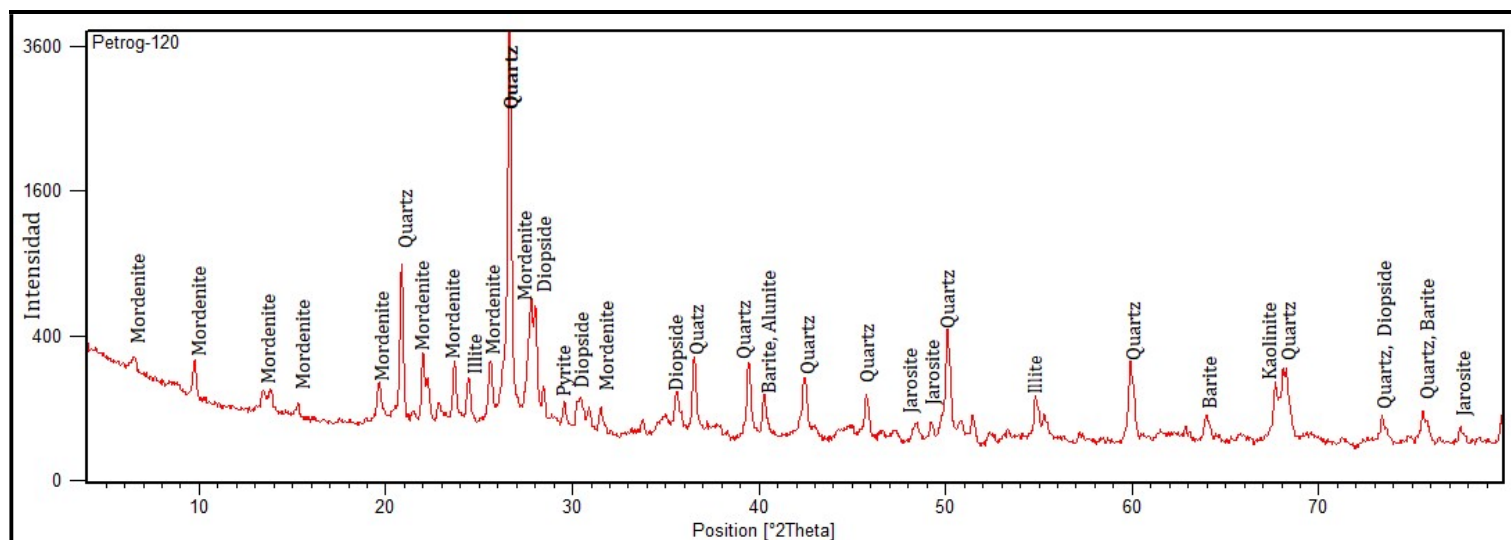


Figura Petrog-120. a) Difractogramas de una muestra de toba ignimbrítica, empleando el software High Score Plus.

Figura Petrog-120. b) Análisis cuantitativo de una toba ignimbrítica con presencia de mordenita, cuarzo, illita, piritita; la Jarosita y el diópsido como elemento traza obtenido por DRX empleando el software X Powder ver. 2010.01.35 PRO.

Anexo Textual. 1. Descripción macroscópica de las alteraciones presentes y tipo de roca. La descripción se ubica en la página siguiente.

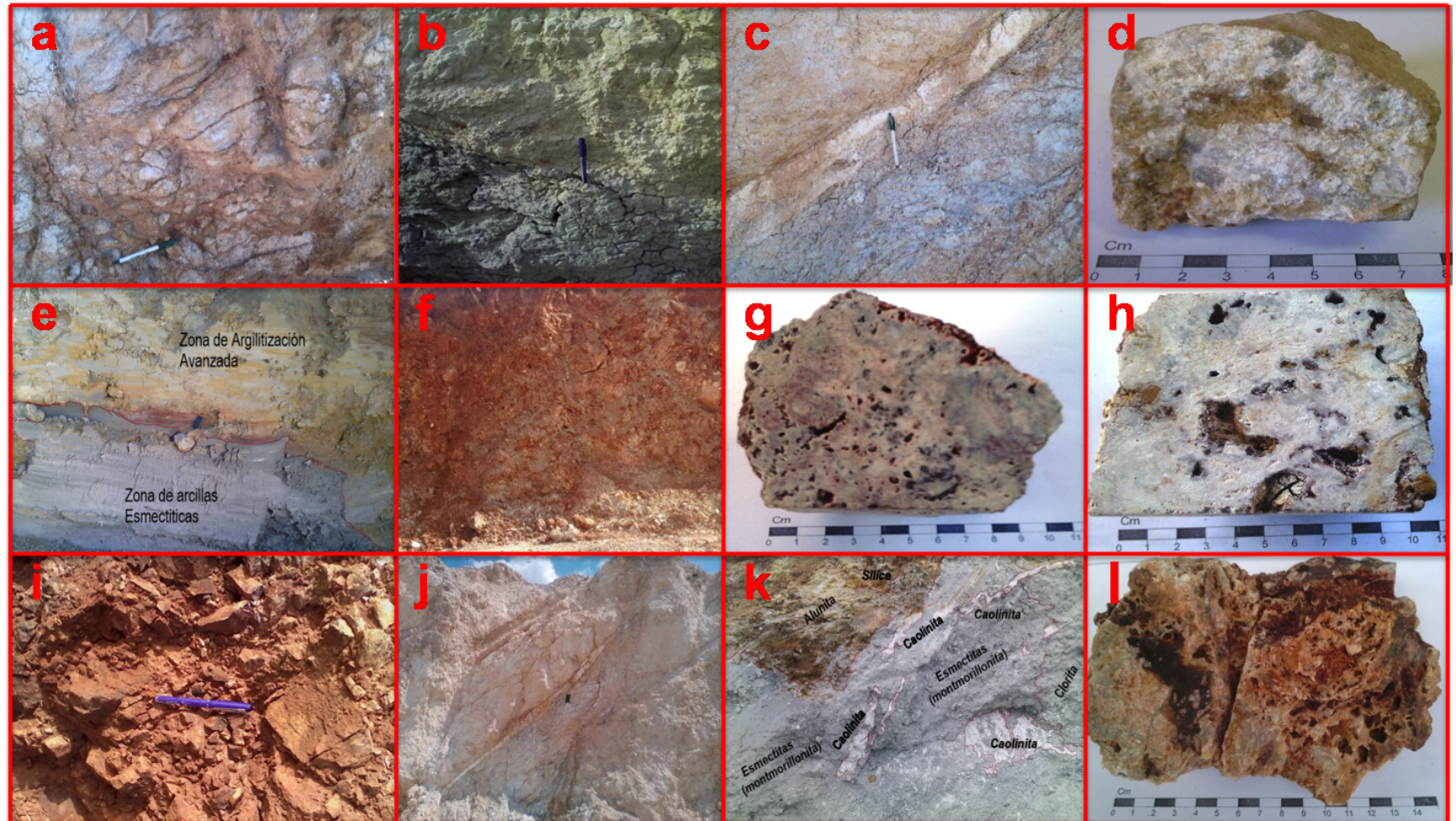


Imagen	Tipo de muestra	Descripción	Estructura
a)	Superficial	Venillas de sílice en un stockwork que atraviesa a rocas dacíticas sericitizadas. Mineral principal: caolín, cuarzo y óxidos e hidróxidos de hierro.	Stockwork y vetillas.
b)	Talud de la cantera	Contacto entre la zona de alunita-caolinita (superior) con arcillas esmectíticas (montmorillonita). Mineral principal: Caolinita, alunita, esmectita y pirita diseminada dentro de las arcillas.	Masiva cataclásticas.
c)	Afloramiento en la cantera	Vetillas o intercalación de caolinita entre el contacto entre la zona brechosa silicificada-alunitica (superior) y la zona de arcillas esmectíticas algo sericitizadas y cloritizada en un talud de la cantera.	Vetillas y brechamiento hidrotermal, tectonizada.
d)	Superficial	Zona argílica avanzada desarrollado sobre una toba andesítica silicificada y sericitizada. Alteración sílice Silica. Relleno de fracturas con alunita cristalizada y óxidos Fe.	Masiva, recristalizada
e)	Talud de la cantera	Contacto entre la zona argílica avanzada (superior) con la zona de arcillas esmectíticas (montmorillonita), en ambas se acentuadas por una intensa zona rica en oro. Mineral principal: Caolinita, alunita, esmectita y pirita diseminada dentro de las arcillas.	Tectonizada.
f)	Talud de una trinchera	Zona de oxidación de óxido e hidróxidos de hierro, desarrollada en rocas andesíticas silicificadas brechosas alteradas.	Tectonizada, brechamiento hidrotermal.
g)	Superficial	Fragmento de toba andesítica de composición medio-ácida, brechosa con alto grado de silicificación residual (cuarzo vuggy) de la zona de alteración propilítica.	Presenta textura vuggy silica por la disolución evidente produciendo cavidades.
h)	Superficial	Fragmento de roca dacítica brechosa con alto grado de silicificación residual (cuarzo vuggy) y pequeñas druzas de cuarzo.	Silica oquerosa superimpuesta brechamiento hidrotermal por óxidos Fe.
i)	Talud de la cantera	Talud de la zona de oxidación desarrollada sobre tobas andesíticas muy tectonizada y silicificada fuerte como cemento de brecha con textura en peine o en mosaico.	Brecha hidrotermal

j)	Afloramiento en la cantera	Talud al sur de la cantera oro barita, con dimensiones 3.5x15m. Son rocas silicificada brechada y tectonizada con presencia de alunita y caolinitas de tonalidades pardas y grises hasta amarillentas con matriz fina de sílice. Presenta una veta de caolín con buzamiento 45° y dimensión 10x0.20m (ver fig-siguiente), en la parte del pie del talud se observa illita (según DRX) de color gris claro azulado, en ocasiones es blanda, sedosa al tacto con presencia de sulfuro muy desimanado (pirita), no reacciona con ácido.	
k)	Talud de la cantera	Talud de la cantera donde se observa varios tipo de alteración hidrotermal; Izquierda-Derecha ((sílice masiva, argílica avanzada, argílica intermedia, alteración filica (sericítica o cuarzo-sericítica) y propilítica)).	
l)	Superficial	Roca silicificada y oxidada con evidente textura sílice residual oquerosa (vuggy silica), las cavidades varían de tamaño; pero dominan las de tamaño milimétrico, estas se encuentran rellenas por minerales arcillosos, óxidos y alunita; mientras que las de tamaños centimétricos existen formaciones de sílice de nueva generación (drusas de Cuarzos). También se presenta pirita diseminada en algunas cavidades ya alteradas.	

Anexo Textual. 1. Descripción macroscópica de las alteraciones presentes y tipo de roca. La descripción se ubica en la página siguiente.

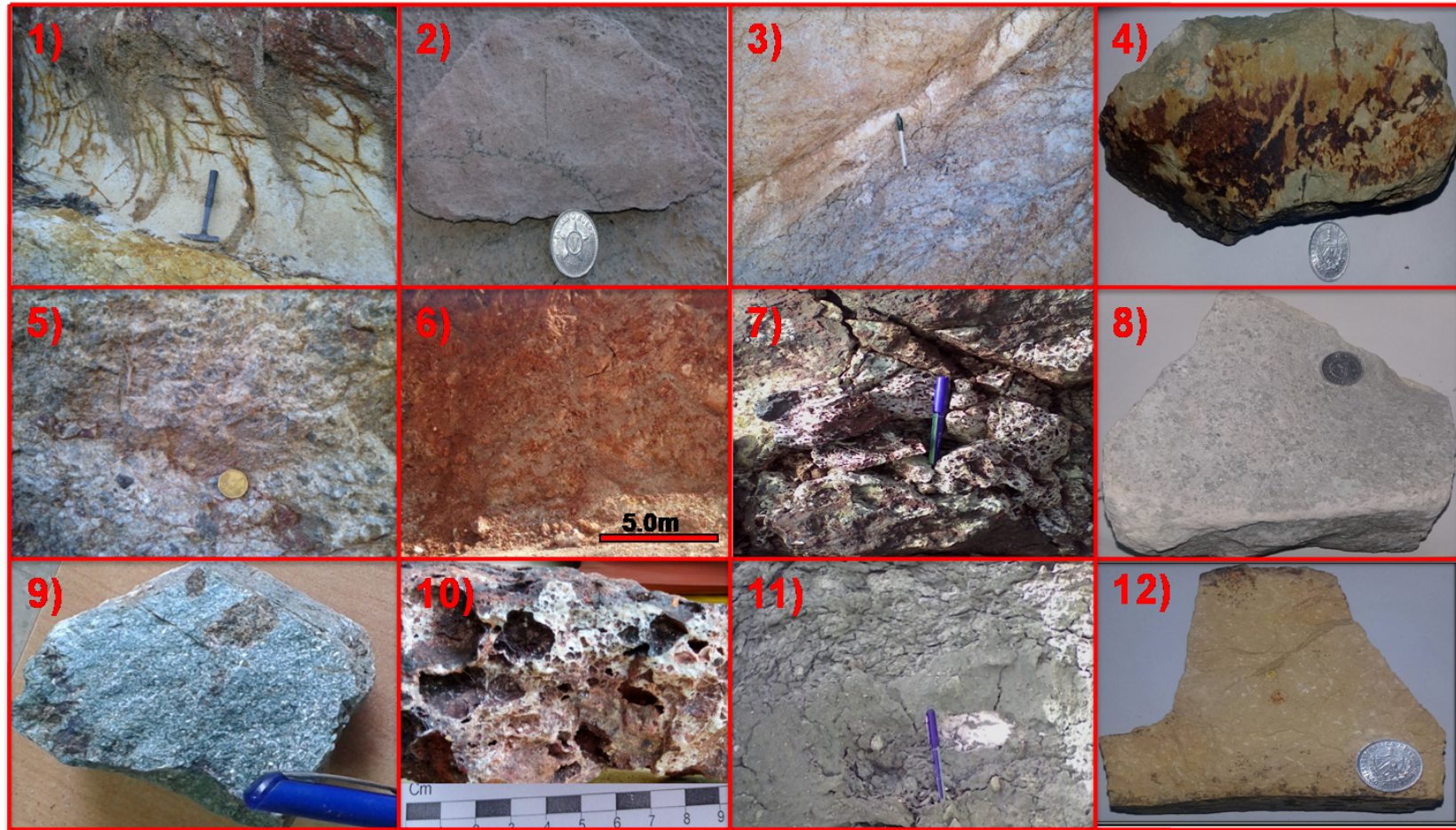


Imagen	Tipo de muestra	Descripción	Estructura
1)	Afloramientos	Venillas de cuarzo en un stockwork que atraviesa las esmectitas del yacimiento.	Vetillas, filón
2)	Superficial	Esta roca presenta colores que suele ser de marrón claro a rosa o, a veces, un gris muy claro, con tonalidades violáceas y cremas. Se caracteriza por tener una composición que varía entre 74-84 % de SiO ₂ y vetillas finas de aspecto dendrítico de pirita. Las muestras observadas presentan por lo general colores rojizos a pardos producto a las alteraciones hidrotermales.	Vetillas finas, dendríticas
3)	Afloramiento en la cantera	Vetillas o intercalación de caolinita entre el contacto entre la zona brechosa silicificada-alunitica (superior) y la zona de arcillas esmectíticas algo sericitizadas y cloritizada en un talud de la cantera.	Vetillas y brechamiento hidrotermal, tectonizada.
4)	Superficial	La roca está alterada, algo cuarcificada y alterada a minerales hidromicáceos observándose minerales metálicos oxidados. Su textura es porfírica en masa pilotaxítica.	
5)	Afloramiento en la cantera	Toba andesítica muy tectonizada, silicificada y alterada	Brecha hidrotermal
6)	Talud de una trinchera	Toba muy tectonizada, silicificada y alterada a jarosita (precisada por DRX)	Brechamiento hidrotermal, tectonizada
7)	Afloramiento	Sílice masiva blanca porosa y pardusca con oquedades rellenas de óxidos, se observa un nódulo de cuarzo gris con sulfuros y parches rosas de alunita de tamaños milimétricos y oxidación en la muestra.	
8)	Fragmento	Toba muy tectonizada, silicificada y alterada	
9)	Fragmento	Ignimbrita observada en las muestras, afloramientos y secciones delgadas. Los lentes son vítreos en forma de llamas o lenticulares. Los fragmentos de vidrio están compuestos por material criptocristalino no identificable, zeolitas e hidrómicas. Contienen cristales de plagioclasas de composición media básicas zonadas. También aparecen cristales de plagioclasas ácida y cuarzo. Se observan también litoclastos de rocas efusivas básicas o ácidas y de rocas intrusivas.	
10)	Fragmento	Sílice masiva de color gris claro a oscuro, presenta vetilleo tardío de cuarzo, se observan tonalidades rojas y pardas de oxidación, presenta textura vuggy sílica por la disolución evidente produciendo cavidades.	
11)	Afloramiento	Arcilla esmectítica de color gris claro a oscuro, muy plástica. Este mineral se presenta como producto de una alteración de plagioclasas y feldespatos en agregados micro-cristalinos, comúnmente asociados a la ocurrencia de minerales tales como epidota (presente en el 60 % de las muestras estudiada),	

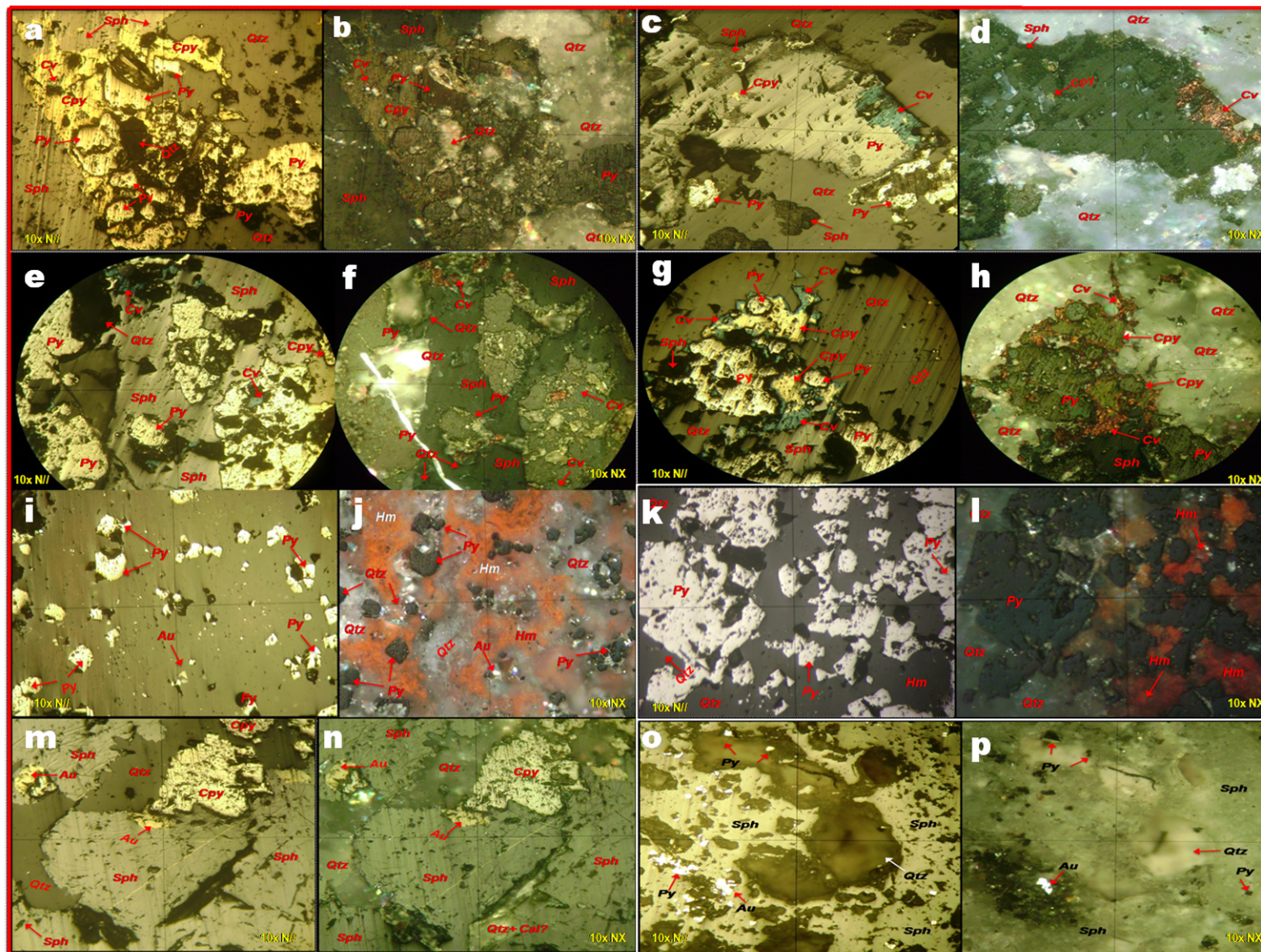
		<i>calcita (detectada solo por DRX). Al centro de la imagen se observa un nódulo de caolinita, su color es blanco. En el yacimiento siempre están unidos.</i>	
12)	<i>Fragmento</i>	<i>Estas rocas presentan una gran distribución y desarrollo en el territorio formando grandes estratos o bloques que pueden llegar a decenas de metros. Por su granulometría, van desde aglomerados y brechas piroclásticas a tobas de lapilli y de ceniza de grano fino y grueso. Predominan las tobas de granulometría lapílica. Su nombre es una toba de granulometría muy fina.</i>	

Anexo Textual. 2. Ubicación y descripción de las rocas de caja y tipos de alteración presentes.

No	Ubicación de las muestras	LITOLOGÍA	TIPOS DE ALTERACIÓN
YN-1.15	X: 591863.00 Y: 154821.30; Z:139.76	<i>Riolita</i>	Silicificación fuerte como cemento de brecha con textura en peine o en mosaico. Sericitización – argilización suave en venillas asociadas a minerales opacos y como reemplazo de fenocristales.
YN-1.13	X: 591731.59 Y: 154793.44; Z:143	<i>Andesita</i>	Silicificación fuerte en venillas con textura en peine a la que se asocia pirita. Sericitización-argilización suave a moderada en venillas y como reemplazo de cristaloclastos y matriz.
YN-1.8	X: 591758.34 Y: 154763.98; Z:144.54	<i>Dacita</i>	Sericitización fuerte y argilización moderada como reemplazo de fenocristales. Silicificación suave en venillas con textura masiva.
P-4.16	X:591600.61 Y: 154733.23, Z:143.25	<i>Volcanita</i>	Silicificación y sericitización - argilización muy fuertes, como reemplazo, en vetillas y como cemento de la brecha hidrotermal.
YN-1.2	X:591695.10 Y:154774.57 , Z:127.30	<i>Riolita</i>	Argilización fuerte y sericitización moderada de fenocristales (en ocasiones asociada a pirita). Silicificación suave en venillas con textura masiva. Cloritización subordinada como reemplazo de fenocristales.
P-7.15	X:591635.59 Y: 154747.65; Z:131.52	<i>Volcanita</i>	Silicificación muy fuerte como cemento de brecha con textura masiva o en peine (con pirita asociada), como reemplazo de los clastos y en difusas venillas con textura masiva. Sericitización - argilización moderada y cloritización suave como reemplazo de la matriz.
M-6-4	X:591739.35 Y: 154759.92, Z:144.64	<i>Dacita</i>	Propilitización dominada por fuerte cloritización de los fenocristales y la pasta y subordinadamente, por epidotización incipiente de los fenocristales. Sericitización-argilización fuerte de la pasta y los fenocristales.
YN-1.4	X: 591656.77 Y: 154794.35; Z:146.48	<i>Toba brecha</i>	Brechas silicificadas con oquedades. Brecha de fragmentos de sílice masiva gris con algunos fragmentos de cuarzo más claro y arcillas de tono blanco grisáceo, también se observa vetilleo de óxidos y presencia de pirita preferentemente entre los clastos.

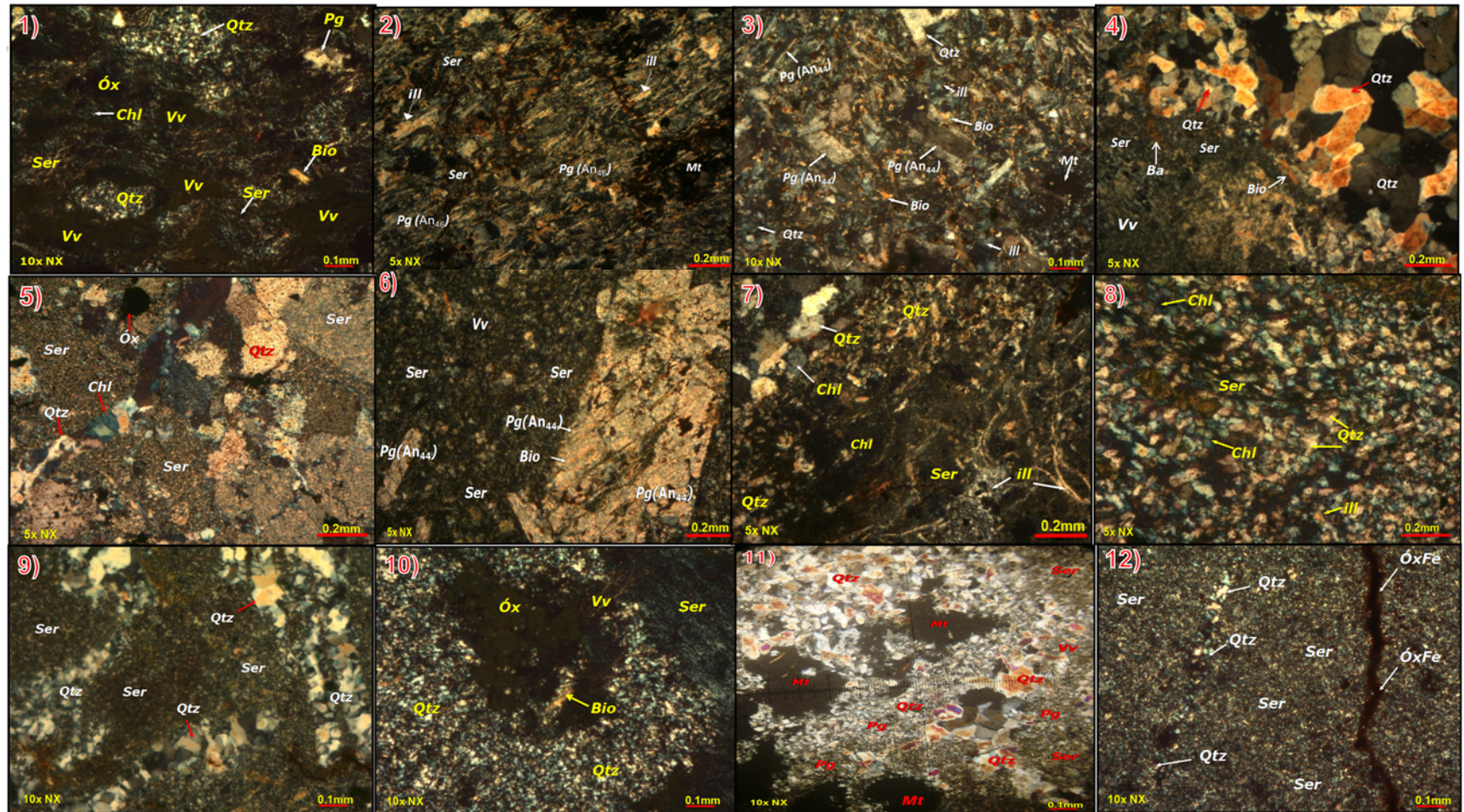
m-7-1	X: 591701.15 y: 154803.42; Z: 143.00	<i>Toba vítrea</i>	Silicificación muy fuerte como reemplazo de vitroclastos y de matriz conformando agregados masivos de cuarzo asociados a agregados de calcedonia; también como cemento de brecha hidrotermal y como relleno de venillas constituyendo agregados de cuarzo masivo y/o en peine. Argilización - sericitización fuerte como reemplazo de cristaloclastos y matriz.
P-7.15	X:591635.591 Y: 154747.654; Z:145.98	<i>Veta de cuarzo</i>	Roca silicificada y alterada de un testigo de perforación, observándose oquedades muy irregulares de 1.0 mm-2.0 cm rellenas de óxidos, alunita y clastos de caolinita. Presencia de sulfuros alterados y parches de alunita de tamaños milimétricos que rellenan los espacios vacíos. En la muestra se puede observar vesículas con sílice intercrecido de forma dentada o de druzas muy cristalina con evidente textura vuggy sílica, vetilleo tardío de oxidación, anhidritas o yeso que cortan la roca ácida. La pirita alterada se presenta de forma diseminada en algunas cavidades.
M-6-1	X:591675.25 Y: 154792.91; Z: 142.56	<i>Brecha piroclástica</i>	Silicificación muy fuerte como cemento de brecha hidrotermal, en venillas con textura en peine o cruztificación asociada a impregnaciones de óxidos de hierro o pirita. Sericitización subordinada como reemplazo de litoclastos y matriz.
M-8.4	X: 591678.7443 Y: 154743.33, Z:143.56	<i>Toba vítrea</i>	Roca de la zona de alteración cuarzo sericítica con mezcla de minerales arcillosos e intemperizada, silicificación fuerte en venillas con textura masiva. Argilización moderada. El metálico que está presente en esta roca está oxidado y diseminado en la roca, además vemos polvo metálico. En las grietas se observa óxidos e hidróxidos de Fe. Es posible que la roca original sea una vulcanoclástica.
M-8.4	X: 591678.7443 Y: 154743.33, Z:143.56	<i>Toba Ignimbrítica</i>	La roca está alterada a minerales arcillosos y a agregado de minerales microfelsíticos (posible sílice) y en escaso volumen un agregado en forma de mosaico (cuarzo). Se observan las formas relícticas, algunos fragmentos de vidrio en forma de fiamme, la roca original es una ignimbrita. Se observa mineral metálico diseminado en la roca.

Anexo Textual. 3. Descripción de microscopía de menas.



Representación paragenéticas en secciones pulidas. Constituidas por los minerales metálicos (cuarzo (Qtz)+pirita (Py)+esfalerita (Sph)+calcopirita (Cpy)+covelina (Cv), galena (Ga), bornita (Bo), magnetita (Mt), oro (Au), hematita (Hm).

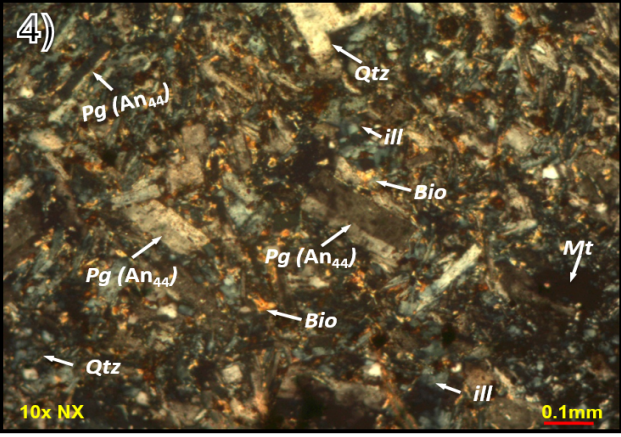
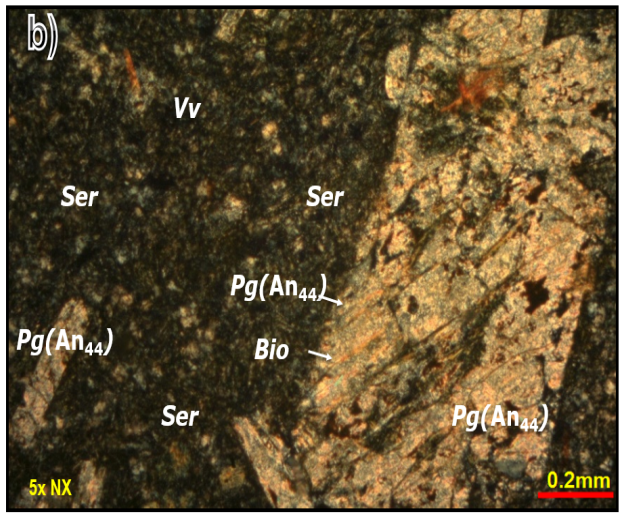
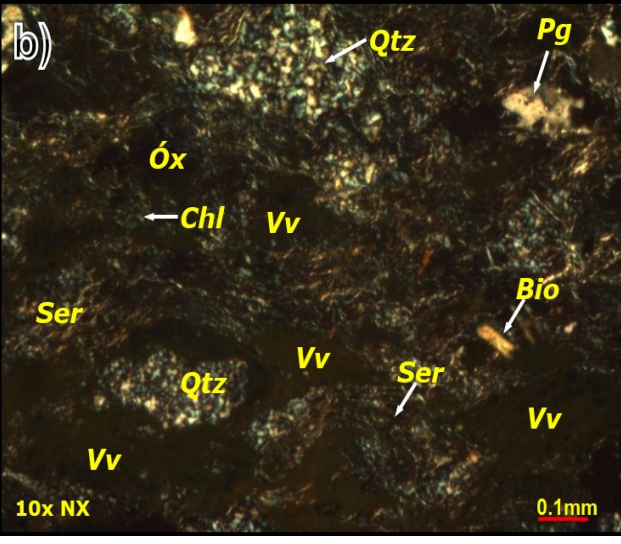
Anexo Textual. 4. Descripción petrográfica de las rocas del yacimiento oro barita.

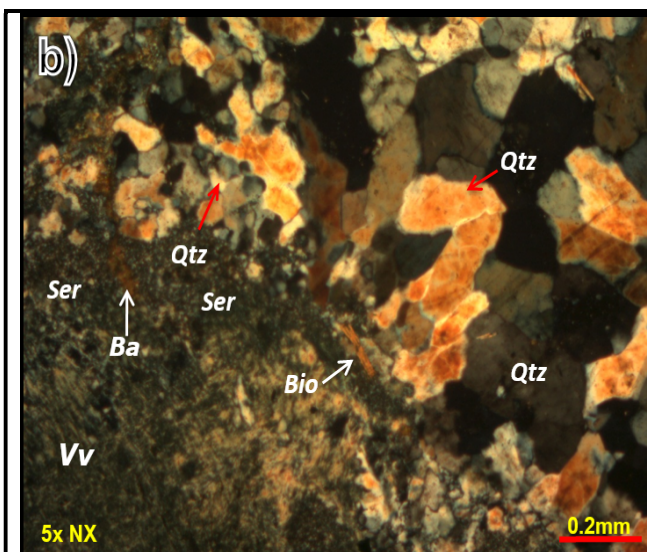


*Representación paragenéticas en secciones delgadas. Constituida por plagioclasas (andesina An_{44}), sericita (Ser), silicificación (Qtz), minerales arcillosos (Ser-ill), clorita (Chl), *hidrómica* o *illitas* (ill), óxidos e hidróxidos de Fe (Óx), vidrio volcánico en forma de fiamme (Vv), *biotita* (Bio), moscovita (Ms)*

Anexo Textual. 4a. Coordenadas de las muestras petrográficas

No	X	Y	Z
<i>M-1.2</i>	591566.071	154776.883	139.00
<i>M-1.5</i>	591698.102	154717.135	142.35
<i>M-2.2</i>	591838.256	154743.939	143.00
<i>M-1.4</i>	591620.271	154758.640	150.12
<i>M-4.1</i>	591655.024	154833.428	140.00
<i>M-6.1</i>	591675.257	154792.920	142.56
<i>M-6.4</i>	591739.359	154759.925	144.64
<i>M-7.1</i>	591701.157	154803.425	143.00
<i>M-8.3</i>	591628.683	154696.597	143.15
<i>M-8.4</i>	591678.744	154743.331	143.56
<i>M-8.5</i>	591837.840	154669.532	144.90
<i>M-9.3</i>	591646.100	154712.636	144.02
<i>M-10.1</i>	591770.745	154682.118	137.25
<i>M-13.1</i>	591770.745	154682.118	142.56
<i>M-14.1</i>	591857.479	154701.769	142.68
<i>M-18.1</i>	591688.275	154772.560	144.98
<i>M-19.1</i>	591800.046	154676.840	141.12
<i>M-21.1</i>	591669.438	154720.512	144.16

Fotomicrografías	Caracterización
 4) Pg (An₄₄) Qtz ill Bio Mt Pg (An₄₄) Bio Qtz ill 10x NX 0.1mm	Muestras: M-14-1 Mineralogía: La roca está constituida por fenocristales de plagioclasas andesina Pg (An₄₄), que está en ocasiones zonada, pelitizada y alterada a hidrómica. En la masa se observa microlitos de plagioclasas, hidrómica biotita (Bi), illita (ill), cuarzo (Qtz) y minerales metálicos diseminados (Mt). Estructura: Masiva. Textura: Porfírica de la masa microlítica. Roca: andesita alterada. Magnificación: 10x - Nícoles cruzados.
 b) Vv Ser Ser Pg(An₄₄) Bio Ser Pg(An₄₄) 5x NX 0.2mm	Muestras: M-6-4 Mineralogía: Plagioclasas con alteración a sericita, está constituida por fenocristales de plagioclasas (andesina Pg An₄₄), en ocasiones zonada, maclas, pelitizada y alterada a hidrómica. Presencia de vidrio volcánico (Vv) entre las plagioclasas. Sericita (Se) como producto de alteración de las plagioclasas. Biotita (Bi) como producto de alteración potásica. Estructura: Masiva. Textura: Porfírica, en la masa microlítica relíctica, lepidoblástica. Roca: Dacita. Magnificación: 10x - Nícoles cruzados.
 b) Qtz Pg Óx Chl Vv Ser Qtz Vv Vv Bio Ser Vv 10x NX 0.1mm	Muestras: M-1-2 Mineralogía: Plagioclasas (Pg) con alteración a sericita (Se), la roca está alterada a minerales arcillosos y cuarzo (Qtz) en forma de mosaico. También se observan las formas relícticas de algunos fragmentos de vidrio (Vv) en forma de fiamme. La sericita como producto de alteración de las plagioclasas. Biotita (Bi) como producto de alteración potásica. ubicada en la zona de argilitización Estructura: Masiva. Textura: Criptocristalina, fragmentaria relícticas, microfelsítica Roca: Vulcanoclástica (<u>Toba Ignimbrítica</u>). Magnificación: 10x - Nícoles cruzados.



Muestras: M-9-3

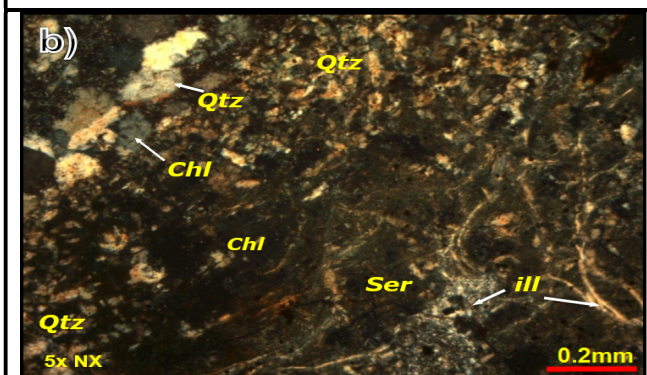
Mineralogía: constituida por cuarzo con diferente grado de recristalización, sericita y mezcla con minerales arcillosos. Se observa mineral metálico diseminado, así como granos oxidados y leucogenizados. Presencia de barita (Ba) y vidrio volcánico (Vv), plagioclasas alterada a sericita, la roca está alterada a minerales arcillosos y cuarzo (Qtz) en forma de mosaico. También se observan las formas relícticas de algunos fragmentos de vidrio en forma de fiamme.

Estructura: Masiva, fragmentaria.

Textura: Granolepidoblástica, fragmentaria relícticas.

Roca: Toba vítrea cuarcificada.

Magnificación: 5x - Nícoles cruzados.



Muestras: M-7-1

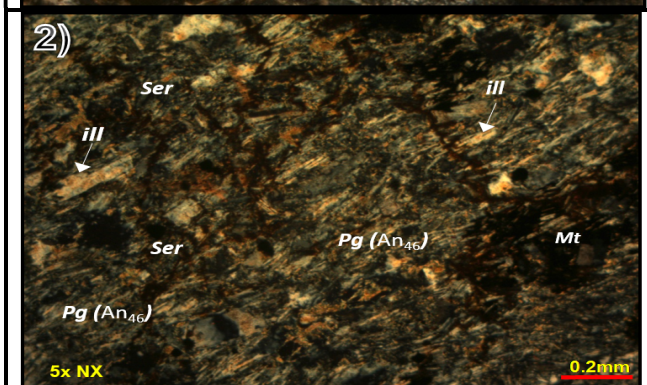
Mineralogía: La roca está intensamente alterada, constituida por cuarzo, sericita (Se) y clorita (Chl) como mezcla de minerales arcillosos, pobre en hidrómica, óxidos e hidróxidos de Fe.

Estructura: Masiva, fragmentaria.

Textura: granolepidoblástica, vítreas, cristalolíticas y vitrocrystalina.

Roca: Toba vítrea cuarcificada.

Magnificación: 10x - Nícoles cruzados.



Muestras: M-8-5

Mineralogía: La roca está constituida por fenocristales de plagioclasas, andesina (Pg An₄₆), que están en algunos casos peltizados, sericitizados sustituidos por cuarzo (Qtz), arcillas (illite (ill)) y en algunos casos por hidrómica.

Estructura: Masiva.

Textura: Porfírica, de la masa pilotaxítica

Roca: Andesita alterada intemperizada.

Magnificación: 5x - Nícoles cruzados.

Anexo Textual. B: Resultados de las fases mineralógicas de las rocas de alteración en el yacimiento Oro Barita.

[illegible]

Plata nativa										X		
Rutilo			X		X							
Sulfuro de Cu	X											
Titanomagnetita												
Tungstita											X	
Yodargirita			X			X						
Cuprita		X										
Querargirita										X		

	YN-1.13	YN-1.14	YN-1.15	YN-1.16	YN-1.17	YN-1.18	YN-1.19	YN-1.20	YN-1.21	YN-1.22	YN-1.23	YN-1.24	YN-1.25
Mineral	M-874	M-875	M-876	M-877	M-878	M-879	M-880	M-881	M-882	M-883	M-884	M-885	M-886
Albita							X						
Baritina	X	X	X	X		X	X				X	X	X
Bismutinita													
Calcopirita					X						X		
Capgaronnita / iltisita													
Casiterita					X								
Cinabrio													
Circón							X						
Claustalita									X				
Cuarzo			X				X		X				
Dickita													
Esfalerita					X			X	X	X			
Feldespató						X	X						
Fluorapatito							X						
Galena			X		X	X	X		X	X	X	X	X
Goethita			X										
Greenockite													
Hematita													X
Ilmenita							X						

[illegible]

Anexo Textual B-1: Resultados de los análisis mineralógicos de las rocas de alteración en el yacimiento Oro Barita.

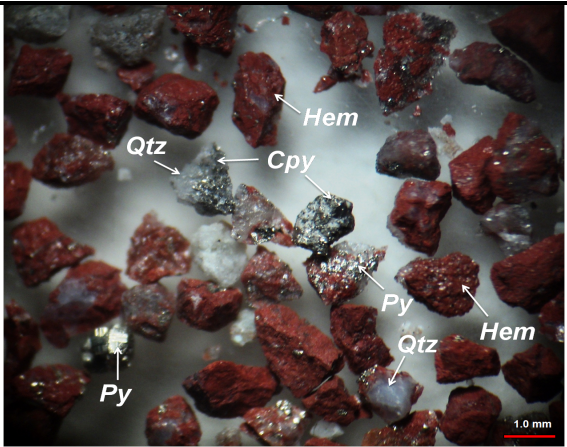
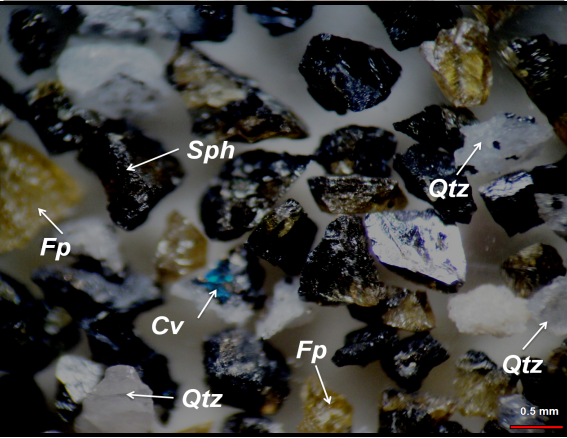
[illegible]

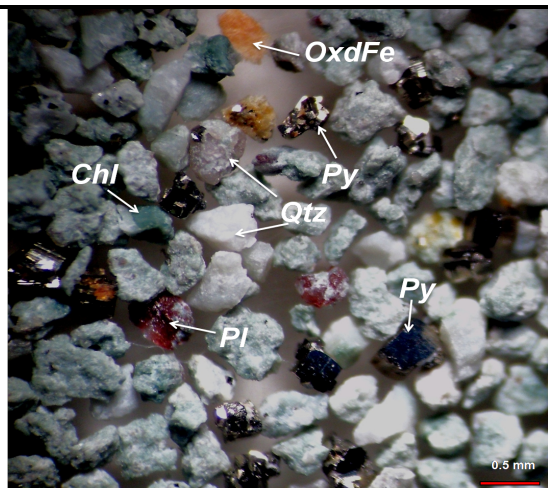
Cianita	0.952			-			-	-	-	-		-	-
Hematita	0.240	-	3.000	0.144	-	3.000	18.754	3.087	2.684	0.159	-	-	-
Rutilo	-	-	-	-	-		-	0.146	-	0.213	-	-	-
Arsenopirita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.713		-	-
Yeso	-	-	-	-	-	-	-	-	0.256	-	-	-	-
Tennantita									-	-			
Alunita		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	100%	100%	100%	96%	93%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

	YN-1.14	YN-1.15	YN-1.16	YN-1.17	YN-1.18	YN-1.19	YN-1.20	YN-1.21	YN-1.22	YN-1.23	YN-1.24	YN-1.25
Minerales	M-875	M-876	M-877	M-878	M-879	M-880	M-881	M-882	M-883	M-884	M-885	M-886
Cuarzo	52.192	29.850	70.203	11.847	10.403	9.261	54.818	23.570	37.000	61.692	50.244	-
Feldespato	5.143	0.015	0.261	1.458	0.862	2.705	0.549	-	1.059	3.271	0.523	-
Barita	-	65.402	1.461	-	-	1.244	-	-	-	1.000	35.897	75.079
Piroxeno	-	-	-	--	-	36.432	-	-	1.063	-	0.561	-
Pirita	1.989	-	0.680	31.212	33.716	26.194	20.785	13.270	33.375	6.215	2.298	3.273
Epidota	-	-	0.220	0.360	0.188	0.358	-	-	0.688	-	-	0.122
Oxido de fe	27.625	3.348	15.264	4.000	0.066	-	-	3.284	-	-	-	2.809
Rutilo	-	-	-	-	0.095	-	-	-	-	-	-	-
Clorita	8.564	-	8.175	0.265	3.841	3.284	7.000	-	-	6.602	2.000	0.656
Apatito	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Galena	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	3.250
Bismutina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Plagioclasas	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-
Actinolita	-	-	0.118	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Esfalerita	-	-	-	1.552	0.191	-	1.775	30.663	4.564	1.347	0.280	0.127
Caolinita	1.772	-	2.965	20.842	29.478	-	6.186	6.000	9.540	-	2.060	2.621

Dickita	-	-	-	-	16.000	-	0.010	-	-	-	-	11.709
Magnetita	-	0.537	0.582	-	0.124	-	0.010	0.749	1.431	1.447	0.773	-
Titamagnetita	-	-	-	-	-	8.273	-	-	-	-	-	-
Leucoxeno	0.592	0.018	-	-	-	0.277	-	-	0.281	-	0.319	-
Antimonita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estaurolita	-	0.504	-	-	-	-	-	-	-	0.004	-	-
Calcopirita	-	0.328	-	3.411	-	0.079	-	2.025	-	8.423	-	0.166
Mica	-	-	0.072	15.000	5.000	10.000	8.868	20.440	11.000	10.000	3.000	-
Ilmenita	-	-	-	-	-	0.080	-	-	-	-	-	-
Cianita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hematita	1.223	-	-	-	0.037	-	-	-	-	-	2.045	-
Rutilo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arsenopirita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yeso	0.902	-	-	-	0.214	-	-	-	-	-	-	0.187
Tennantita	-	-	-	-	0.077	-	-	-	-	-	-	-
Alunita	-	-	-	10.053	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	100%	100%	100%	100%	100%	98%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Anexo Textual B-2: Descripción de los análisis mineralógicos de las rocas de alteración en el yacimiento Oro Barita.

Fotografías	Caracterización
	Muestras: M-054886(YN-1.25) Mineralogía: muestra tomada de una fracción pesada frac.+1.0 mm. La roca de color gris verdoso con gran cantidad de cristales y óxido Fe. Está constituida por cuarzo (Qtz), calcopirita (Cpy), pirita (Py) y hematita (Hm). Escala: 1.0 mm. Paragénesis: Py + Qtz + Hem + Cpy
	Muestras: M-054882 (YN-1.21) Mineralogía: muestra tomada de una fracción pesada frac.+0.5 mm. La roca de color gris oscuro casi negro con fragmentos de cuarzo presencia abundante de cristales y sulfuros. Está constituida por cuarzo (Qtz), covellina (Cv), esfalerita (Sph) y feldespato (Fp). Escala: 0.5 mm. Paragénesis: Sph + Qtz + Cv + Fp

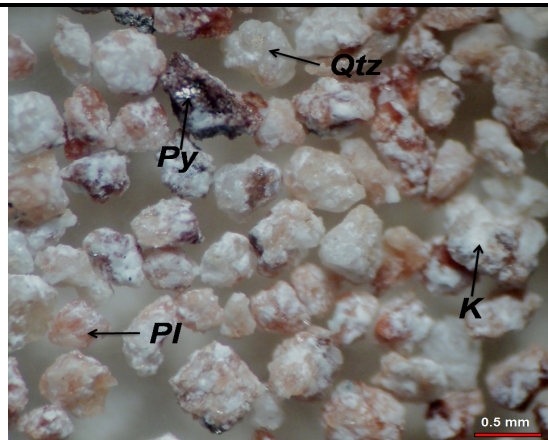


Muestras: M-054867 (YN-1.6)

Mineralogía: muestra tomada de una fracción pesada frac.+0.5 mm. La roca de color verde con alta presencia de sulfuro, es deleznable. Está constituida por cuarzo (Qtz), pirita (Py), clorita (Chl) y óxido de hierro (Oxdfe).

Escala: 0.5 mm.

Paragénesis: Py + Qtz + Pl + Chl

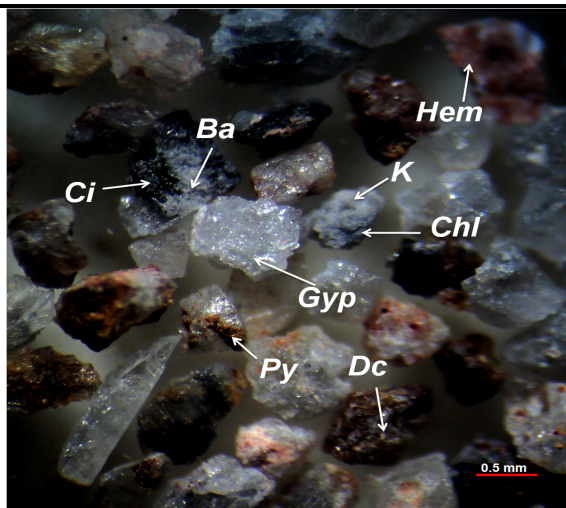


Muestras: M-054866 (YN-1.5)

Mineralogía: muestra tomada de una fracción pesada frac.+0.5 mm. La roca de granos finos, color carmelitas rosado, gris claro, gris verdoso y verde, es agrietada, presenta alto contenido de sulfuro. Está constituida por cuarzo (Qtz), pirita (Py), plagioclasa (Pl) y caolinita (K).

Escala: 0.5 mm.

Paragénesis: Py + Qtz + K + Pl

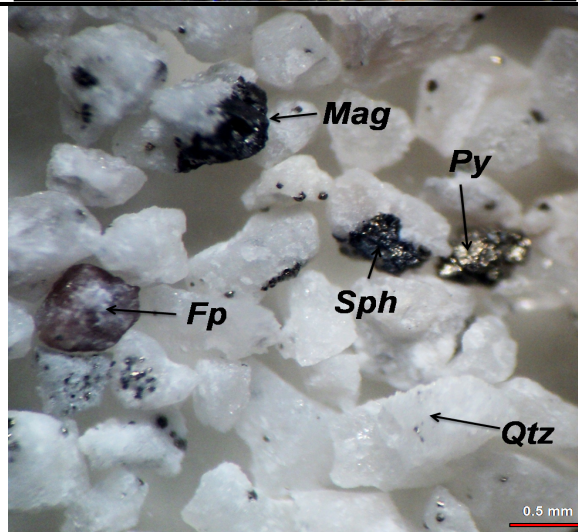


Muestras: M-054886 (YN-1.25)

Mineralogía: muestra tomada de una fracción pesada frac.+0.5 mm. La roca de color gris verdoso con gran cantidad de cristales y óxido Fe. Está constituida por barita (Ba), cianita (Ci), diquita (Dc), clorita (Chl), caolinita (K), hematita (Hm) y yeso (Gyp).

Escala: 0.5 mm.

Paragénesis: Hem + Py + Ba; Dc + Gyp + Chl

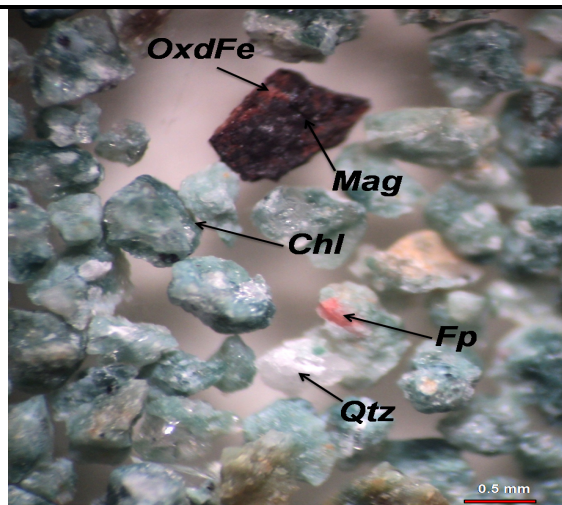


Muestras: M-054883 (YN-1.22)

Mineralogía: muestra tomada de una fracción pesada frac.+0.5 mm. La roca de color gris claro, verdoso y amarillento con gran presencia de cuarzo y esfalerita. Está constituida por cuarzo (Qtz), magnetita (Mag), esfalerita (Sph) y feldespato (Fp).

Escala: 0.5 mm.

Paragénesis: Sph + Mag + Py + Qtz

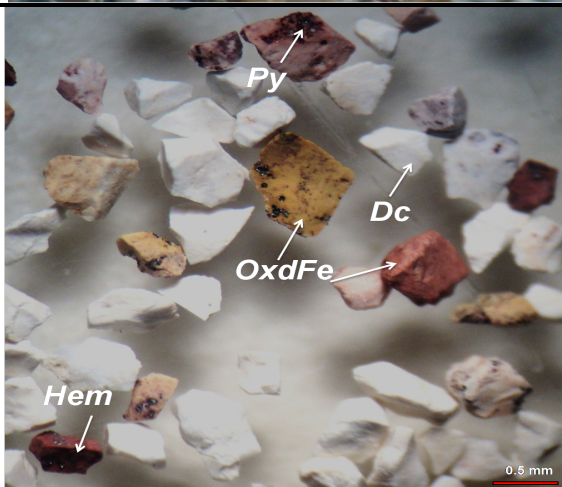


Muestras: M-054883 (YN-1.22)

Mineralogía: muestra tomada de una fracción pesada frac.+0.5 mm. La roca de color gris claro, verdoso y amarillento con gran presencia de cuarzo y esfalerita. Está constituida por cuarzo (Qtz), magnetita (Mag), feldespato (Fp), clorita (Chl) y óxido de hierro (Oxdfe).

Escala: 0.5 mm.

Paragénesis: OxdFe + Mag + Qtz

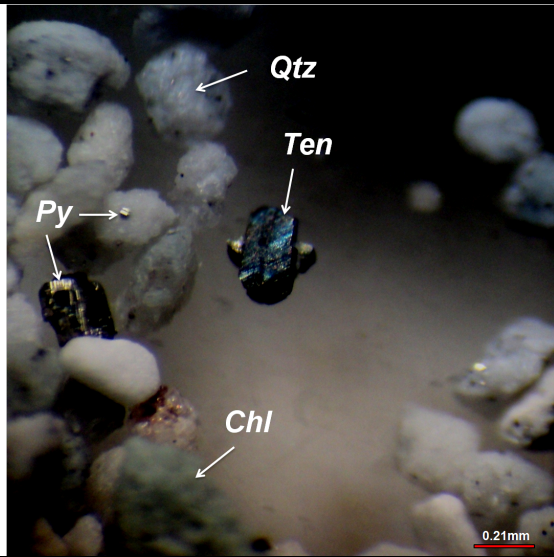


Muestras: M-054880 (YN-1.19)

Mineralogía: muestra tomada de una fracción pesada frac.+0.5 mm. La roca de color verde con puntos blancos y presencias de cristales se observa óxidos de Fe. Está constituida por pirita (Py), diquita (Dc), hematita (Hm) y óxido de hierro (OxdFe).

Escala: 0.5 mm.

Paragénesis: Py + Hem + OxdFe + Dc



Muestras: M-054879 (YN-1.18)

Mineralogía: muestra tomada de una fracción pesada frac. +0.212mm. La roca de color gris y verde, se observa pirita es sedosa al tacto y deleznable no reacciona con ácido. Está constituida por pirita (Py), clorita (Chl), tennantita (Ten) y cuarzo (Qtz).

Escala: 0.21 mm.

Paragénesis: Py + Ten + Qtz

Anexo Textual C: Resultados de análisis térmico diferencial (ATD en %).

Muestras	Clorita	Talco	Goethita	Dickita	Caolinita	Sericita	Moscovita	Nontronita	Sulfato de Hierro	Clorita + caolinita	Brucita	Diásporo	Hidr-Goethita	Lepido crocita
54863	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
54864	-	1	4	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
865	22	12	1	-	8	18	9	-	-	-	-	-	-	-
866	27	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-
867	8	18	-	15	14	-	10	29	-	-	-	-	-	-
868	-	-	1	13	12	-	27	28	-	-	-	-	-	-
869	-	11	-	9	9	12	-	23	-	-	-	-	-	-
870	32	8	-	20	32	-	-	-	4	32	-	-	-	-
871	13	13	-	2	13	-	-	23	1	13	-	-	-	-
872	6	-	-	-	5	7	-	-	-	-	-	-	-	-
873	9	27	-	-	-	-	-	-	11	-	9	-	-	-
874	13	1	6	-	-	3	-	-	1	-	-	-	-	-
875	8	-	3	-	-	3	-	-	1	-	-	-	-	-
876	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
877	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
878	-	-	-	-	34	25	9	-	4	-	-	-	-	-
879	-	-	-	24	60	-	5	-	10	-	-	-	-	-
880	3	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-
881	9	-	-	7	-	-	-	12	1	-	1	-	-	-
882	-	17	-	-	7	-	7	15	-	-	-	-	2	-
883	-	8	-	-	19	-	14	-	1	-	-	-	-	-
884	-	-	1	-	2	-	7	3	1	-	1	-	-	1
885	2	1	2	-	2	-	4	-	1	-	-	-	-	-

Anexo Textual E. Resultado del análisis granulométrico en % a muestras de Oro Barita (después de la molienda).

Fracciones	M-863	M-887	M-864	M-865	M-866	M-867	M-868	M-869	M-870	M-871	M-872
+1mm	1.5	1.9	1.18	0.9	1.24	0.78	1.38	1	0.32	1.12	1.76
-1+0.5mm	11.8	23.96	21.1	12.44	19.44	9.78	15.28	13.96	4.7	13.18	21.84
-0.5+0.212mm	7.99	18.38	20.88	21.08	24.5	18.12	15.36	13.62	9.86	18.64	20.64
-0.212+0.106mm	7.35	8.06	11.38	13.5	15.78	16.1	14.72	7.86	6.88	12.26	9.46
-0.106+0.074mm	8	3.4	4.68	7.26	5.8	6.72	6.9	4.32	3.88	5.54	3.64
-0.074mm	63.36	44.3	40.78	44.82	33.24	48.5	46.36	59.24	74.36	49.26	42.66
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fracciones	M-873	M-874	M-875	M-876	M-877	M-878	M-879	M-880	M-881	M-882	M-883
+1mm	0.7	1.52	1.72	1.88	2.44	0.82	0.14	1.32	1.3	1.64	2.12
-1+0.5mm	6.02	12.9	19	15.74	19.86	10.72	2.72	20.44	17.64	27.88	25.18
-0.5+0.212mm	6.82	9.92	14.72	14.48	19.22	14.56	5.18	22.26	22.1	33.7	21.14
-0.212+0.106mm	3.06	5.72	8.68	10.4	14.76	6.26	4.52	14.6	12.56	20.96	10.02
-0.106+0.074mm	1.54	2.96	3.3	1.44	7.24	3.64	2.46	5.28	5.28	0.38	3.8
-0.074mm	81.86	66.98	52.58	56.06	36.48	64.00	84.98	36.1	41.12	15.44	37.74
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fracciones	M-884	M-885B	M-886B
+1mm	0.32	1.68	0.62
-1+0.5mm	23.88	18.94	13.82
-0.5+0.212mm	26.76	17.32	21.44
-0.212+0.106mm	14.58	10.64	14.6
-0.106+0.074mm	5.3	4.46	6.52
-0.074mm	29.16	46.96	43
Total	100%	100%	100%