

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

“Estudio de la alteración mineralógica a través del análisis macroscópico y de la Difracción de Rayos X (DRX) de las muestras de las rocas de caja y vetas de Bella Rica - Ponce Enríquez, Provincia del Azuay”

### **PROYECTO DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

### **INGENIERO DE MINAS**

Presentado por:

Jorge Rafael Loy Benítez

Daniel Alfredo Mariño Garzón

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2016

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios en primer lugar por cumplir sus sueños en mí.

A mi Madre, por su valentía de dejar ir a su único hijo, aun sabiendo que el salir con vida a diario en esta profesión es una lucha.

A mis Abuelos, por enseñarme el auténtico valor del trabajo.

A mi Padre, por su amor y apoyo durante mi formación profesional.

Al Director del Proyecto, MPC. Kenny Escobar Segovia, por su ayuda y confianza desde la concepción hasta el final de esta iniciativa.

Al Ing. Juan Carlos Pindo, MSc. Samantha Jiménez, Ing .Richard Reza y Dra. Paola Romero, me es grato poder decir que los considero mis mentores.

Jorge Rafael Loy Benítez

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios que siempre me iluminó y me dio fuerzas para superar cualquier obstáculo durante esta etapa de mi vida.

A mis Padres y a mi hermano, que siempre me brindaron su amor, apoyo y comprensión.

Al Director del proyecto, MSc. Kenny Escobar por su iniciativa en este proyecto y brindar su confianza y apoyo incondicional durante el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos por su amistad sincera.

Daniel Alfredo Mariño Garzón

## **DEDICATORIA**

A mi madre... La luz al final de todo túnel.

A Judith, mi mayor amor e inspiración.

A Juana, mujer luchadora, donde sea que esté.

Jorge Rafael Loy Benítez

## **DEDICATORIA**

A mi madre, que a pesar de la distancia  
siempre la sentí a mi lado apoyándome.

A mi familia, mi mayor bendición.

A mis profesores, que me ayudaron en mi  
formación personal y profesional.

A mis amigos, que en muchas ocasiones se  
convirtieron en mis hermanos.

Daniel Alfredo Mariño Garzón

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

MSc. Kenny Escobar  
Tutor del Proyecto

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

---

Jorge Rafael Loy Benítez

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

---

Daniel Alfredo Mariño Garzón



## RESUMEN

Durante el Fenómeno del Niño suscitado entre los años 1982 y 1983, se registra la aparición de oro en los lechos de los ríos aledaños al cantón Camilo Ponce Enríquez, por lo que desde ese entonces se ha procedido a la explotación de los yacimientos primarios ubicados en las zonas altas del sector, sin embargo, esta se ha venido realizando sin bases geocientíficas y además sin considerar los beneficios de conocer la génesis de estos yacimientos.

El siguiente estudio correlaciona los minerales encontrados en las rocas que encajan las vetas auríferas del sector, con el tipo de alteración y minerales típicos que ocurren en la vecindad de la mineralización, para que estos sean registrados como indicios en el sector de Bella Rica, todo esto utilizando técnicas modernas de análisis como el de la DRX además de un complemento por análisis petrográfico macroscópico.

El trabajo concluye en que la ocurrencia aurífera de este tipo, desencadena una alteración en las rocas encajantes circundantes del tipo propilítica, donde la biotita que pertenece a estas rocas es llevado a clinocloro por el intercambio de iones del fluido hidrotermal, generando de tal forma una proporción de aproximadamente el 35% de este mineral en rocas encajantes;

además se verifica que además del reemplazo de la biotita también se generan otros minerales típicos, como el cuarzo que es innato de la mineralización, sulfuros refractarios como la arsenopirita y pirita; además de plagioclasas que se forman por la lixiviación de rocas básicas liberando iones  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ .

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	IX
ÍNDICE GENERAL.....	XI
ABREVIATURAS .....	XIV
SIMBOLOGÍA .....	XV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XXI
ÍNDICE DE MAPAS .....	XXII
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1 ANTECEDENTES.....	1
1.1 Preámbulo.....	1
1.2 Planteamiento del Problema .....	3
1.3 Delimitación de la zona de estudio.....	5
1.4 Estudios Previos Realizados .....	8
1.5 Metodología de la Investigación .....	9
1.6 Objetivos .....	11
2 BASE TEÓRICA .....	12
2.1 Fluidos Hidrotermales.....	12

2.2 Alteraciones Hidrotermales .....	21
2.3 Procesos debido a la alteración hidrotermal.....	23
2.4 Tipos de alteración hidrotermal .....	24
2.5 Métodos de Análisis .....	25
3 MARCO GEOLÓGICO .....	29
3.1 Geología Regional.....	29
3.2 Geología Local .....	34
3.3 Geología Estructural.....	36
4 METODOLOGÍA .....	41
4.1 Trabajo de Campo.....	41
4.2 Trabajo de Oficina .....	43
4.3 Trabajo de Laboratorio .....	45
5 RESULTADOS E INTERPRETACIÓN .....	56
5.1 Levantamiento de labores .....	56
5.2 Análisis macroscópico de muestras .....	63
5.3 Difractogramas de muestras .....	77
5.4 Identificación de especies minerales comunes de cada mina .....	93

5.5 Interpretación de Resultados.....	97
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
6.1 Conclusiones.....	101
6.2 Recomendaciones.....	105

## ABREVIATURAS

DRX: Difracción de Rayos X

Wt: Porcentaje por peso

BR: Bella Rica

BM: Bocamina

Buz.: Buzamiento

Pgc: Plagioclasa

Máy: Máximo

Mín: Mínimo

Q: Cuarzo

ESPOL: Escuela Superior Politécnica del Litoral

FICT: Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

LEMAT: Laboratorio Líder en Ensayos Metrológicos y de Materiales

## SIMBOLOGÍA

Au: Oro  
NaCl: Cloruro de Sodio  
Fe: Hierro  
C: Carbono  
S: Azufre  
FeS: Pirrotita  
FeS<sub>2</sub>: Pirita  
Km: Kilómetros  
°C: Grados Celsius  
Cu: Cobre  
Ag: Plata  
Cl<sup>-</sup>: Cloruro  
Zn: Zinc  
Pb: Plomo  
Ca: Calcio  
Na: Sodio  
Mg: Magnesio  
Qz: Cuarzo  
NE: Noreste  
SE: Sureste  
E-W: Este – Oeste  
NW: Noroeste  
N-S: Norte – Sur  
Cm: Centímetros  
Kg: Kilogramos  
Mm: Milímetros  
Um: Micrómetros  
 $\alpha$ : Difusividad térmica  
m: metros  
Å: Amstrongs  
g: gramos  
KV: Kilovoltios  
mA: Miliamperios

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Representación fenómeno Aureola metamórfica .....	14
<b>Figura 2.2.</b> Flujograma de fluido hidrotermal hasta precipitación de sus elementos .....	15
<b>Figura 2.3.</b> Diagrama de fases de un fluido magmático .....	16
<b>Figura 2.4.</b> Esquemas de transporte de fluidos.....	18
<b>Figura 2.5.</b> Influencia de temperatura en la solubilidad del Au.....	21
<b>Figura 2.6.</b> Esquema de posibles alteraciones a partir de un cuerpo mineral .....	22
<b>Figura 2.7.</b> Laboratorio de Petrografía FICT - ESPOL .....	26
<b>Figura 2.8.</b> Interacción del haz electrónico con la materia .....	28
<b>Figura 3.1.</b> Mapa geológico sector occidental del Distrito Azuay .....	33



<b>Figura 3.2.</b> Mapa geológico sector Bella Rica campo minero Ponce Enríquez .....	35
<b>Figura 4.1.</b> Toma de datos de fracturas presentes en las labores. ....	43
<b>Figura 4.2.</b> Flujograma de preparación de muestras.....	45
<b>Figura 4.3.</b> Preparación de muestras en trituradora de mandíbulas .....	46
<b>Figura 4.4.</b> Preparación de muestras en trituradora de rodillos.....	47
<b>Figura 4.5.</b> Preparación de muestras en molino de bolas .....	47
<b>Figura 4.6.</b> Trituradora de Mandíbulas FICT - ESPOL .....	48
<b>Figura 4.7.</b> Trituradora de rodillos FICT - ESPOL .....	49
<b>Figura 4.8.</b> Molino de bolas FICT - ESPOL .....	50
<b>Figura 4.9.</b> Pesaje de muestras y zincita.....	51
<b>Figura 4.10.</b> Homogenización de muestra.....	52
<b>Figura 4.11.</b> Colocación de muestra en portaobjeto DRX .....	52

<b>Figura 4.12.</b> Difractómetro de rayos X .....	54
<b>Figura 5.1.</b> Muestra macroscópica BR1 - 01 .....	63
<b>Figura 5.2.</b> Muestra macroscópica BR1 - 01 .....	64
<b>Figura 5.3.</b> Muestra macroscópica BR1 - 03 .....	65
<b>Figura 5.4.</b> Muestra macroscópica BR2 - 01 .....	66
<b>Figura 5.5.</b> Muestra macroscópica BR2 - 02A.....	67
<b>Figura 5.6.</b> Muestra macroscópica BR2 - 02B.....	68
<b>Figura 5.7.</b> Muestra macroscópica BR2 - 02C .....	69
<b>Figura 5.8.</b> Muestra macroscópica BR2 - 03 .....	70
<b>Figura 5.9.</b> Muestra macroscópica BR2 - 04 .....	71
<b>Figura 5.10.</b> Muestra macroscópica BR2 - 05A.....	72
<b>Figura 5.11.</b> Muestra macroscópica BR2 - 05B.....	73

<b>Figura 5.12.</b> Muestra macroscópica BR3 - 001 .....	74
<b>Figura 5.13.</b> Muestra macroscópica BR3 - 002 .....	75
<b>Figura 5.14.</b> Muestra macroscópica BR4 - 01 .....	76
<b>Figura 5.15.</b> Muestra macroscópica BR4 - 02 .....	77
<b>Figura 5.16.</b> Difractograma muestra BR1-01 .....	78
<b>Figura 5.17.</b> Difractograma muestra BR1-02 .....	79
<b>Figura 5.18.</b> Difractograma muestra BR1-03 .....	80
<b>Figura 5.19.</b> Difractograma muestra BR2-01 .....	81
<b>Figura 5.20.</b> Difractograma muestra BR2-02A .....	82
<b>Figura 5.21.</b> Difractograma muestra BR2-02B .....	83
<b>Figura 5.22.</b> Difractograma muestra BR2-02C .....	84
<b>Figura 5.23.</b> Difractograma muestra BR2-03 .....	85

<b>Figura 5.24.</b> Difractograma muestra BR2-04.....	86
<b>Figura 5.25.</b> Difractograma muestra BR2-05A .....	87
<b>Figura 5.26.</b> Difractograma muestra BR2-05B .....	88
<b>Figura 5.27.</b> Difractograma muestra BR3-001.....	89
<b>Figura 5.28.</b> Difractograma muestra BR3-002.....	90
<b>Figura 5.29.</b> Difractograma muestra BR4-01.....	91
<b>Figura 5.30.</b> Difractograma muestra BR4-02.....	92
<b>Figura 5.31.</b> Difractogramas mina Bella Rica - 1 .....	93
<b>Figura 5.32.</b> Difractogramas mina Bella Rica - 2.....	94
<b>Figura 5.33.</b> Difractogramas mina Bella Rica - 3.....	95
<b>Figura 5.34.</b> Difractogramas mina Bella Rica - 4.....	96
<b>Figura 5.35.</b> Perfil de representación de minerales presentes .....	100

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla I.** Coordenadas UTM Concesión Minera "Bella Rica" ..... 7

**Tabla II.** Características estructurales y texturales de la mineralización  
vetiforme en sectores del campo minero Bella Rica. .... 32

## ÍNDICE DE MAPAS

<b>Mapa I.</b> Ubicación Área de estudio .....	6
<b>Mapa II.</b> Ubicación Concesión Minera "Bella Rica" .....	7
<b>Mapa III.</b> Levantamiento de mina "Bella Rica - 1" .....	57
<b>Mapa IV.</b> Levantamiento de mina "Bella Rica - 2" .....	58
<b>Mapa V.</b> Levantamiento de mina "Bella Rica - 3" .....	59
<b>Mapa VI.</b> Levantamiento de mina "Bella Rica - 4" .....	60
<b>Mapa VII.</b> Concesión "Bella Rica" y labores muestreadas.....	61
<b>Mapa VIII.</b> Cerro "Bella Rica" .....	62

## INTRODUCCIÓN

El siguiente proyecto de investigación tiene como objetivo principal determinar las principales alteraciones mineralógicas que han ocurrido por la intrusión de fluidos hidrotermales en rocas encajantes en el predio extractivo denominada como la concesión cooperativista “Bella Rica”, todo esto debido a que la explotación de esta zona se ha venido desarrollando de manera empírica, con un deficiente conocimiento de la génesis y formación de este depósito. Con este estudio se pretende determinar una ocurrencia mineralógica típica que sirva como guía para estudios posteriores de tipo metalogénico, además de la incursión en ámbitos próximos como la geología económica y la metalurgia extractiva, todo esto basándose en metodologías de proyectos similares que tuvieron lugar en el distrito minero de Nambija, realizado por entes internacionales.

Los métodos de análisis empleados son del tipo petrográfico macroscópico que posee una gran incertidumbre, ya que es dependiente de la experticia de quien realice los ensayos, por lo que será complementada con técnicas

modernas como el análisis por Difracción de Rayos X, que analiza la estructura geométrica de los minerales, dando así un resultado más preciso en cuanto la identificación y cuantificación de estos minerales.

En campo se procedió a la toma de muestras in situ del predio, siendo estas muestras de rocas encajantes alrededor de las vetas, las cuales fueron llevadas a laboratorio y analizadas por métodos macroscópicos realizando un examen visual de estas identificando los minerales por sus características más visibles, luego, estas muestras fueron tratadas para el análisis en el Difractómetro de Rayos X en el LEMAT, obteniéndose finalmente difractogramas, los cuales muestran las fases minerales y su contenido en la muestra, para después ser superpuestos entre difractogramas de muestras de una misma mina y obtener finalmente la ocurrencia mineral típica que presenta cada una de estas, pudiendo determinar en función de altitud los patrones mineralizados que podrían ser considerados como indicios geológicos asociados a la génesis de minerales de interés económico.



# **CAPÍTULO 1**

## **1 ANTECEDENTES**

### **1.1 Preámbulo**

El cantón Camilo Ponce Enríquez ubicado en la Provincia del Azuay se considera el distrito minero más joven que existe en Ecuador, sus actividades extractivas datan desde la década de los 80 y continúan hasta la actualidad siendo la principal actividad económica de este sector; sin embargo, los motivos por los cuales se decidió dar inicio a las operaciones resultaron empíricas y sin ningún estudio geológico que caracterice la zona de manera geológica local.

Los avances en la minería ecuatoriana son cada vez más grandes, por lo que es de suma relevancia encontrarse también a la

vanguardia en cuanto a las actividades de investigación y desarrollo, con el fin de fomentar un crecimiento conjunto entre los sectores industriales e investigativos, logrando presentar los recursos del país de una manera concreta y atractiva para aquellas partes interesadas en invertir y desarrollar proyectos de materia extractiva en Ecuador.

Debido a lo antes mencionado, se justifica la realización de un trabajo de investigación, que, mediante análisis in visu (Geología estructural local, características de yacencia de la mineralización y reconocimiento de labores existentes), toma de muestras de roca encajante y su posterior análisis en laboratorio para el reconocimiento de texturas y especies mineralógicas presentes; utilizando como técnicas el análisis petrográfico macroscópico y la Difracción de Rayos X (DRX), además del uso de bases teóricas de estudios similares en la zona de Nambija e investigaciones en sectores de Proyectos Estratégicos en el país, todo esto con el fin de estudiar las variaciones existentes a lo largo de los distintos niveles verticales que servirán como indicadores de la presencia de pulsos geológicos y alteraciones características por zonación.

La documentación resultante servirá como un soporte geológico – técnico para la realización de investigaciones posteriores con

respecto al descubrimiento de la génesis en el marco geológico de acreción de estos terrenos.

La elaboración y presentación de las tesis de grado debe ajustarse a las siguientes normas.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

Las “vetas” auríferas del sector de Bella Rica – del Cantón Ponce Enríquez, provincia del Azuay, son explotadas hace décadas principalmente, por mineros cooperativistas y pequeños mineros, importando poco o nada el conocimiento geológico de la génesis del yacimiento y su repercusión sobre las reservas minerales del mismo. Algunos estudios nacionales y otros realizados por compañías extranjeras de exploración han realizado campañas de exploración/investigación a nivel regional con la finalidad de encontrar pórfidos de oro y cobre.

Un estudio mineralógico, usando modernas técnicas de reconocimiento de minerales mena, ganga y de alteración hidrotermal (ore minerals and hydrothermal minerals), servirá como

soporte para los estudios metalogenéticos posteriores en el entendimiento de la historia y génesis de este depósito epitermal.

Justificativos para la realización del presente trabajo:

- La investigación científica de reconocimiento e identificación de minerales que se realiza en el laboratorio de petrografía, con sus limitaciones propias, ya sean técnicas y/o humanas; la experiencia del especialista en la identificación de los distintos minerales; puede y debe ser complementada con herramientas modernas y precisas, es así como, a través del uso del Difractómetro de Rayos X del Laboratorio Líder en Ensayos Metrológicos y de Materiales (LEMAT – ESPOL), pueden lograr responder cuestiones como ¿Cuál es la mineralogía de la muestra y las proporciones cuantitativas en las que se encuentra?
- Un mejor entendimiento de los minerales presentes en las “vetas” de este yacimiento filoniano, tendrá su repercusión en otros campos próximos, como lo es en la Metalurgia: éstos podrían ayudar a mejorar la recuperación de los metales preciosos presentes y tal vez ya no solo del oro; así, una mejora en la eficiencia de estos procesos metalúrgicos

podrían desembocar en nuevos métodos y procesos más eficientes y amigables con el Medio Ambiente. Así mismo, al tener una reducción del impacto ambiental de la actividad en general, genera una mejora en las condiciones habitacionales de quienes desarrollan la actividad minera y de quienes no siendo mineros, desarrollan actividades de agricultura y ganadería en la zona.

- Es de notar que esta investigación, en sí misma, es de utilidad práctica para abrir paso a investigaciones más rigurosas en el ámbito geo – científico del estudio de los procesos hidrotermales presentes en Ecuador.

### **1.3 Delimitación de la zona de estudio**

El área de estudio se encuentra ubicada en la zona costera de la provincia del Azuay, en el cantón Camilo Ponce Enríquez y está delimitada por la concesión minera Bella Rica.

## UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



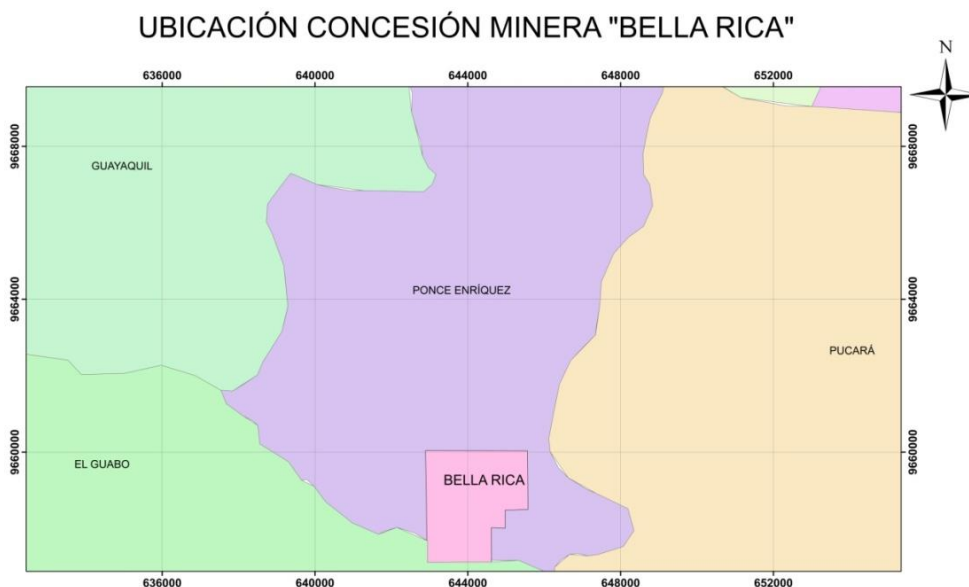
### ÁREA DE ESTUDIO CON RELACIÓN A SUDAMÉRICA



### ÁREA DE ESTUDIO CON RELACIÓN A ECUADOR



**Mapa I.** Ubicación Área de estudio  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)



**Mapa II.** Ubicación Concesión Minera "Bella Rica"  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

Puntos límites de la concesión (Sistema de Referencia: WGS84 UTM 17 SUR).

**Tabla I.** Coordenadas UTM Concesión Minera "Bella Rica"  
**Fuente:** Mariño, D.(2015)

<b>Punto</b>	<b>Coordenada Norte</b>	<b>Coordenada Este</b>
P1	642895	9660039
P2	645564	9660034
P3	645576	9658495
P4	644978	9658477
P5	644978	9657998
P6	644617	9658009
P7	644623	9657122
P8	642930	9657116

## 1.4 Estudios Previos Realizados

La información con respecto a estudios anteriores han resultado una gran ventaja para la ejecución del proyecto, que, si bien no han sido realizados en el mismo sector de la cordillera occidental, han servido como guía en cuanto a los procedimientos a realizar en la toma de muestras, análisis de las mismas y tratamiento de datos posteriores; a pesar de no encontrarse una amplia base de datos, estos se consideran como una base teórica relevante para llevar adelante la ejecución de un proyecto de esta naturaleza.

Entre los estudios realizados anteriormente tenemos:

- “Magmatic – dominated fluid evolution in the Jurassic Nambija gold skarn deposits (Southeastern Ecuador)”. El cual fue dirigido por el geólogo Jean Wallance, en conjunto por representantes de la SEG (Society of Economic Geologists) para la revista científica “Journal of Petrology”
- “Geologic Setting, Mineralogy, and Geochemistry of the Early Tertiary Au – Rich – Volcanic – Hosted Massive Sulfide Deposit of La Plata, Western Cordillera, Ecuador”. Dirigido por el geólogo italiano Massimo Chiaradia representando al SGA (Society for Geology Applied to Mineral Deposits).



- “Mineral zoning and gold occurrence in the Fortuna Skarn Mine, Nambija District, Ecuador”. Dirigido por Agnès Markowski para SGA (Society for Geology Applied to Mineral Deposits) publicado en Springer, 2006.

## 1.5 Metodología de la Investigación

La metodología de investigación se detalla a continuación:

1. Recopilación y análisis de información secundaria: Análisis de estudios previos y sus respectivas bases teóricas, procedimientos para toma muestras y posteriores análisis, topografía, ordenamiento territorial y bibliografía útil para el proyecto como estado del arte del distrito minero, con la finalidad de analizar la viabilidad de la realización del proyecto con su respectiva repercusión positiva al sector.
2. Trabajo de campo y campañas de muestreo: Recopilación de muestras de mano en cuerpos estériles de labores mineras, toma de los elementos de yacencia (Rumbo y Buzamiento) de la mineralización, levantamiento topográfico de labores mineras, análisis in visu de la geología estructural con su respectiva caracterización y codificación de muestras.

3. Análisis en laboratorio de muestras de mano: Análisis de muestras de mano macroscópicamente, análisis utilizando técnicas de DRX; con su respectiva toma de datos para su posterior análisis.
4. Trabajo en oficina: Para la realización del documento final se deben procesar los datos correspondientes a las estructuras y texturas encontradas en las muestras y posteriormente establecer las correspondientes correlaciones entre mineralización y niveles, caracterizando además el tipo de alteración y el fluido hidrotermal.

Para fines prácticos se ha procedido al desarrollo de su respectivo flujograma. (Ver Anexo I.)

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo General**

Documentar las alteraciones mineralógicas presentes en las rocas que encajan las vetas de Bella Rica - Ponce Enríquez, mediante análisis macroscópicos y uso de técnicas DRX.

### **1.6.2 Objetivos Específicos**

- Identificar los diferentes grupos de minerales a través de técnicas petrográficas macroscópicas; y, de técnicas de Difracción de Rayos X (DRX).
- Identificar las diferentes texturas que presentan las rocas encajantes de las vetas en la zona de estudio.
- Determinar las variaciones existentes entre las ocurrencias mineralógicas con su respectivo nivel, detallando la cantidad de pulsos geológicos presentes.
- Caracterizar la influencia del fluido hidrotermal sobre las rocas encajantes que ha producido la formación de minerales considerados como ganga en la zona de estudio.

# CAPÍTULO 2

## 2 BASE TEÓRICA

### 2.1 Fluidos Hidrotermales

Por la geología local del predio extractivo de Bella Rica, se puede determinar que la formación de los yacimientos no es netamente de origen magmático; por la presencia de vetas y estructuras rellenas de material, se discrimina esta ocurrencia como una del tipo metamorfismo hidrotermal, donde los fluidos circundantes al plutón cargados con iones, migran hacia la superficie ocasionando una intrusión en las estructuras dispuestas por un macizo estéril, es ahí donde ocurre la deposición y posteriormente la precipitación.

#### 2.1.1 El “metamorfismo” hidrotermal

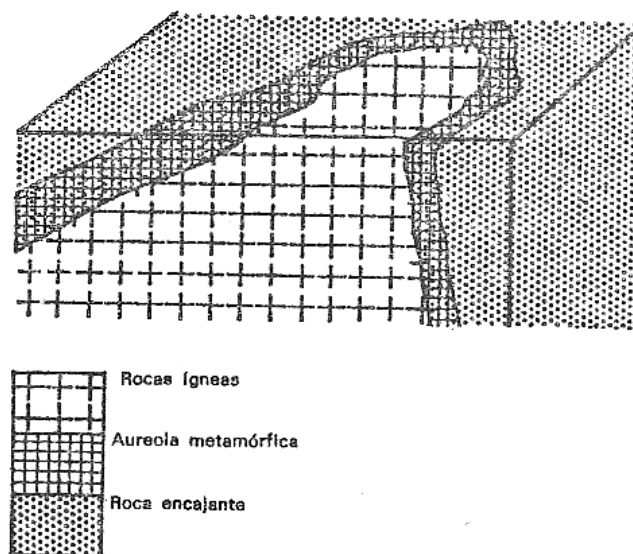
Las alteraciones metasomáticas son aquellas ocurrencias metamórficas que tienen interés en la búsqueda de yacimientos y se produce debido a la circulación de fluidos, principalmente agua (en

su estado líquido o gas), a muy altas temperaturas; estos fluidos provienen de los plutones como residuo después de la etapa ortomagmática en la cual se formó la roca, los mismos que se desplazan hacia espacios de menor presión en sus etapas neumatolítica e hidrotermal.

Este proceso incorpora elementos químicos que no tenía la roca afectada, no es isoquímico y se lo denomina como metasomático. (Rengel, 2008)

### **2.1.2 Aureola de metamorfismo**

Es aquel fenómeno que se forma a partir de la intrusión de un fluido de origen ígneo, lo cual produce variaciones en texturas y especies mineralógicas de la roca encajante de este fluido, debido a efectos térmicos. El límite exterior de este efecto viene dado por los cambios detectables en cuanto a los parámetros antes mencionados de la roca de caja, su extensión depende del tipo de roca de caja además del tamaño, temperatura de intrusión y contenido en volátiles de la masa ígnea. (Salazar, 2012)

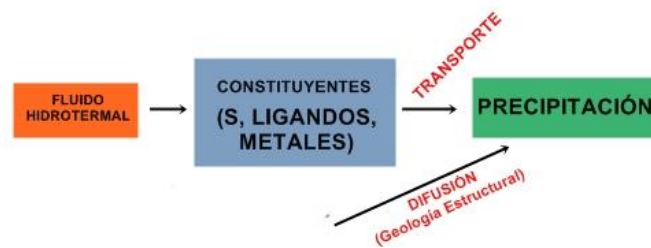


**Figura 2.1.** Representación fenómeno Aureola metamórfica  
**Fuente:** Glosarios de términos especializados de las Ciencias, las Artes, las Técnicas y la Sociedad

### 2.1.3 Fluidos hidrotermales: Tipos, composición, transporte y precipitación

Para que el transporte y la precipitación de elementos químicos contenidos en algún fluido de tipo hidrotermal tengan lugar; dichos fluidos deben cumplir con ciertas condiciones.

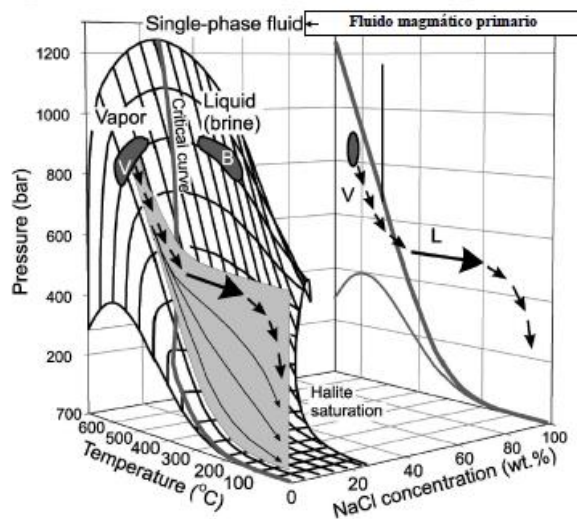
A continuación se describe el proceso que lleva un fluido hidrotermal desde su estado nativo hasta la precipitación de elementos que lo constituyen.



**Figura 2.2.** Flujograma de fluido hidrotermal hasta precipitación de sus elementos

**Fuente:** Loy, J. (2015)

Para la precipitación de metales del fluido hidrotermal, es necesario que este contenga cierta concentración de salinidad ( $> 10\%$  NaCl wt.), ya que a partir de este porcentaje se crea una partición en cuanto al estado en el que se encontrarán los metales, estos pueden volatilizarse por debajo del  $10\%$  NaCl o mantenerse en disoluciones acuosas para su posterior precipitación, también actúan en conjunto con esta propiedad, la presión a la que se encuentre y la temperatura. (Fontobé, Hidrotermal fluids: Types, composition, transport and precipitation, 2014)



**Figura 2.3.** Diagrama de fases de un fluido magmático  
**Fuente:** Fontboté, L. (2014)

### 2.1.3.1 Acidez y estado de oxidación

Cuando los fluidos hidrotermales de origen magmático ascienden hasta la corteza superior, estos tienden a ser ácidos y oxidantes.

Sin embargo, por la interacción que existe entre el agua y la roca, estos fluidos tienden a:

- Neutralizarse (Reacciones con carbonatos y feldespatos)
- Reducirse (Reacción con  $\text{Fe}^{2+}$  abundante en la mayoría de rocas y de origen orgánico – presencia de C)



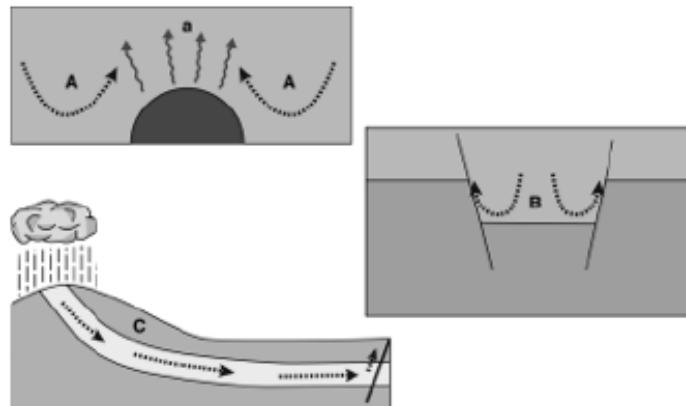
Por otra parte, los fluidos en su estado base que originalmente no presentaban características ácidas, adquieren esta propiedad debido a la interacción entre el fluido y la roca durante la ruta de migración. (Fontobé, Hidrothermal fluids: Types, composition, transport and precipitation, 2014)

### **2.1.3.2 Fuentes de S**

- S magmático: Evidencias empíricas, rocas con contenido de minerales como Pirrotita ( $\text{FeS}$ ), y a menores temperaturas Pirita ( $\text{FeS}_2$ )
- S de rocas encajantes: Evaporitas y sulfuros magmáticos diseminados en tocas intrusivas y extrusivas.
- Agua de mar sulfatada

### **2.1.3.3 Transporte del fluido**

- a) Anomalías termales de origen magmático: 80% del fluido de la corteza tiende a fluir.
- b) Anomalías termales causadas por movimiento de la corteza.
- c) Movimiento gravitacional.



**Figura 2.4.** Esquemas de transporte de fluidos  
**Fuente:** Fontboté, L. (2014)

La mayoría de los procesos de transporte tienen lugar por encima de la transición quebradiza/dúctil del macizo, debido a la permeabilidad que presenta; esto explica que los depósitos formados se encuentren a profundidades de aproximadamente 8 – 10 km. (Fontobé, Hidrotermal fluids: Types, composition, transport and precipitation, 2014)

Otros factores para el transporte son:

- Permeabilidad primaria.
- Permeabilidad secundaria
- Brechas hidráulicas

Es de gran importancia recalcar que la mayoría de los depósitos ocurren a lo largo de fracturas.

#### **2.1.4 Factores dominantes en el transporte y precipitación**

- Ligandos (Complejos formados y capacidad de formación de complejos. Cloruros y Sulfuros)
- Temperatura
- pH
- Estado de oxidación (Controla las especies de S)
- Presión
- Presencia de suficiente S

El transporte en el caso de los metales ocurre por debajo de los 400°C.

Los fluidos salinos pueden acarrear consigo metales como: Pb, Zn, Ag, Cu y Au; este último debe transportarse por debajo de los 250°C ya que el complejo formado con el Cl<sup>-</sup> resulta inestable tendiendo a la volatilización del metal. (Fontobé, Hidrotermal fluids: Types, composition, transport and precipitation, 2014)

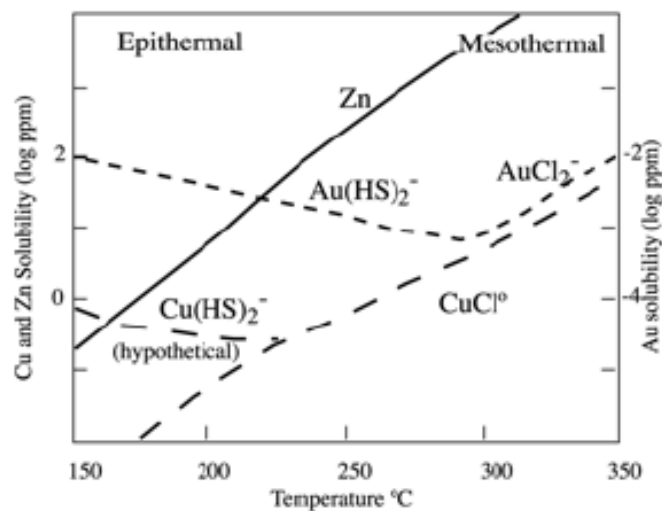
### **2.1.5 Solubilidad: El caso del Au**

La solubilidad del Au en soluciones acuosas viene dada de acuerdo al ambiente de los diferentes mecanismos para precipitar dicho metal. (Fontobé, Hidrothermal fluids: Types, composition, transport and precipitation, 2014)

- Alta sulfuración (Condiciones acídicas y oxidantes)
- Baja sulfuración (Cercana a la neutralidad, condiciones reductoras)
- Oro orogénico

#### **2.1.5.1 Influencia de la temperatura y pH**

El oro puede ser transportado en complejos de cloruros y bisulfuros, a medida que la temperatura decrece o el pH incrementa, la precipitación se favorecerá y disminuirá la solubilidad de estos complejos en el fluido. (Fontobé, Hidrothermal fluids: Types, composition, transport and precipitation, 2014)



**Figura 2.5.** Influencia de temperatura en la solubilidad del Au

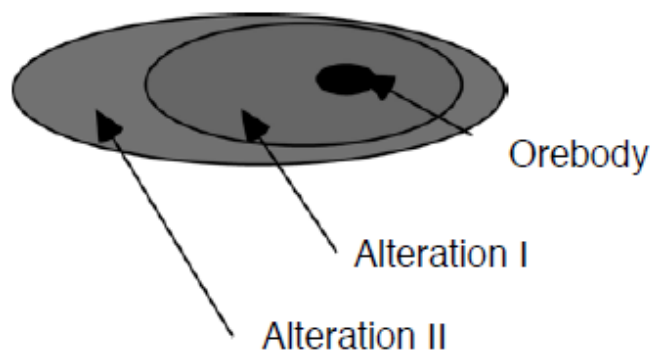
**Fuente:** Fontboté, L. (2014)

## 2.2 Alteraciones Hidrotermales

La alteración hidrotermal puede ser definida como la conversión de una asociación mineralógica original en una nueva asociación que resulta más estable bajo las nuevas condiciones de temperatura, presión y composición de un fluido hidrotermal migrando a través de la roca.

Las estructuras y texturas originales pueden ser cambiadas levemente o por completo debido a las alteraciones hidrotermales.

(Fontobé, Hydrothermal Alteration - some key points, 2014)



**Figura 2.6.** Esquema de posibles alteraciones a partir de un cuerpo mineral  
**Fuente:** Loy, J. (2015)

Las alteraciones hidrotermales pueden ser útiles en el estudio de la formación y ocurrencia del mineral primario, como:

- Una guía para la exploración.
- Una ayuda para la determinación de la naturaleza química de las soluciones hidrotermales y sus fuentes.
- Brindan información con respecto a la evolución del sistema hidrotermal.

### 2.3 Procesos debido a la alteración hidrotermal

- **Deposición directa:** Consiste en la precipitación y deposición directa a partir de fluidos hidrotermales, para que esto tenga lugar, el macizo debe contar con discontinuidades que permitan el paso de estos fluidos, como por ejemplo: Diaclasas, fallas, fracturas hidráulicas, discordancias, poros, fisuras, etc.
- **Reemplazo:** Existen ciertos minerales que resultan inestables cuando son expuestos a un ambiente hidrotermal, por lo que tienden a ser reemplazados por nuevos minerales que son estables a estas nuevas condiciones, la cinética del reemplazo dependerá de la permeabilidad de la roca.
- **Lixiviación:** Cuando un fluido hidrotermal atraviesa la roca, este tiende a extraer algunos componentes químicos, de manera partículas cationes metálicos, por lo que la roca es deprimida en estos componentes o lixiviada, este tipo de alteración hidrotermal y mineralización en este caso, son el resultado de un proceso irreversible de intercambio químico entre la solución acuosa y las rocas adyacentes. (Maksaev, 2012)

## 2.4 Tipos de alteración hidrotermal

La alteración hidrotermal se clasifica en: Propilítica, argílica (Avanzada e intermedia), sericítica y potásica. (Mayer & Hernley, 1967)

- **Propilítica:** Consiste en la presencia de clorita y/o epidota y ausencia de metasomatismo catiónico o lixiviación de tierras alcalinas; pueden presentar comúnmente albita, calcita y pirita.
- **Argílica Intermedia:** Se aprecian cantidades importantes de caolinita, montmorillonita, smectita o arcillas amorfas, estas vendrían a reemplazar a las plagioclasas, puede existir sericita acompañando a las arcillas y el feldespatos potásico puede estar fresco, se evidencia una significativa lixiviación de Ca, Na y Mg de las rocas.
- **Argílica avanzada:** En esta alteración la gran parte de los minerales de las rocas son transformados a caolinita, pirofilita, diásporo, alunita y cuarzo; en este caso, las reacciones de hidrólisis son extremas, tanto que se llegan a romper los fuertes enlaces del aluminio en los silicatos originando sulfatos de aluminio y óxidos de aluminio, además de la



posible ocurrencia de la transformación de la roca a una masa residual de sílice conocida como “sílice vuggy”

- **Sericítica o cuarzo –sericítica:** Normalmente los minerales máficos se encuentran completamente destruidos en este tipo de alteración y los feldespatos (plagioclasas y feldespato potásico) transformados a sericita y cuarzo.
- **Potásica:** Consiste en la alteración de las plagioclasas y minerales máficos a feldespato potásico y/o biotita, esta alteración corresponde a un intercambio de tipo catiónico con la adición de potasio a las rocas.

## 2.5 Métodos de Análisis

- **Análisis Petrográfico:** Estudio de la descripción física de la roca a través de análisis microscópicos, en los cuáles se analiza el comportamiento de los minerales en función de sus propiedades ópticas (pleocroismo, extinción, birrefringencia, maclas, relieve); y análisis macroscópicos que consisten en un análisis físico visual donde se realiza una descripción de los principales parámetros: tamaño de

grano, textura, color, dureza, minerales presentes y sus abundancias, posibles alteraciones.

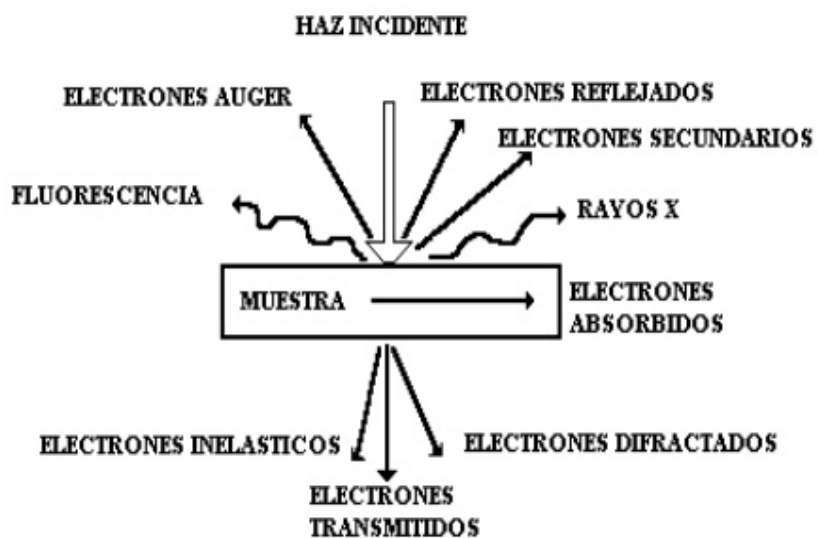


**Figura 2.7.** Laboratorio de Petrografía FICT - ESPOL  
**Fuente:** Loy, J. (2013)

- **Difracción de Rayos X:** Proporciona información detallada de la estructura tridimensional en estado sólido de muestras cristalinas de compuestos orgánicos, inorgánicos y organometálicos, consistiendo en la descripción geométrica en términos de distancias y ángulos de enlace, ángulos de torsión, etc. También se puede obtener información sobre empaquetamientos, interacciones intermoleculares, etc. Es un fenómeno físico a través del cual se manifiesta la interacción fundamental de los rayos X con los cristales. La intensidad del haz difractado depende de:

- a) La intensidad y la longitud de onda del haz incidente.
  
- b) La estructura del cristal, es decir, del arreglo de los átomos en la celda unitaria; arreglo caracterizado que se conoce como "factor de estructura".
  
- c) El volumen de los cristales que difractan.
  
- d) El ángulo de difracción.
  
- e) La absorción de rayos X por el cristal.

La información obtenida, la cuál puede ser cualitativa o cuantitativa, incluye tipos de fases cristalinas, estructura de las mismas, grado de cristalinidad, cantidad de contenido amorfo, tamaño y orientación de cristales, etc. (Macías, 2012)



**Figura 2.8.** Interacción del haz electrónico con la materia  
**Fuente:** Instituto Tecnológico de Ciudad Madero (2012)

# CAPÍTULO 3

## 3 MARCO GEOLÓGICO

### 3.1 Geología Regional

El distrito minero Camilo Ponce Enríquez se caracteriza por pertenecer a la Unidad Pallatanga, la cual se encuentra limitada por fallas que provienen de la Cordillera Occidental, por lo que también es posible denotar otras formaciones de edades que van desde cretácicas a cuaternarias.

A continuación se citan las formaciones que se pueden encontrar en la zona de estudio:

- **Unidad Pallatanga:** Compreendida por basaltos de fondo marino, que han sido acrecionados contra el continente suramericano durante el Eoceno. Se le atribuye una asociación ofiolítica, dominada por una secuencia de basaltos masivos, doleritas y basaltos almohadillados. Existe la

presencia de rocas ultramáficas y metamórficas de grado medio, como esquistos y gneises. Las rocas de esta unidad se superponen discordantemente los depósitos volcanoclásticos del Grupo Saraguro (Eoceno Tardío – Mioceno Temprano) que a su vez son intruidas por dioritas y granodioritas neógenas. Esta unidad aflora a lo largo de la carretera Ibarra – San Lorenzo en el norte y al sur del valle del Río Jubones. (Pratt, 1997)

- **Fm. Yunguilla:** Proveniente del Cretácico Superior; es una secuencia de abanico turbidítico marino, las litologías típicas son limolitas masivas que van de colores grises a oscuras y areniscas Qz – Feldespáticas fino granulares con limolitas y lutitas fisiles. (Thalman, 1946)
- **Fm. Macuchi:** Esta formación (Paleoceno – Eoceno Medio) comprende un dominio de rocas máficas incluyendo algunas volcanoclásticas y rocas masivas de composiciones que van de basálticas a andesíticas relacionándolas a la formación de diques. La secuencia muestra cierta variedad incluyendo las facies coherentes, pillow lavas, hialoclastitas y brechas volcanoclásticas depositadas en la sucesión del arco volcánico submarino, el cual posee un espesor de al menos 2000 metros. Esta formación es la que se encuentra

dominante en la zona de estudio (Concesión Bella Rica).  
(Aguirre & Atherton, 1987)

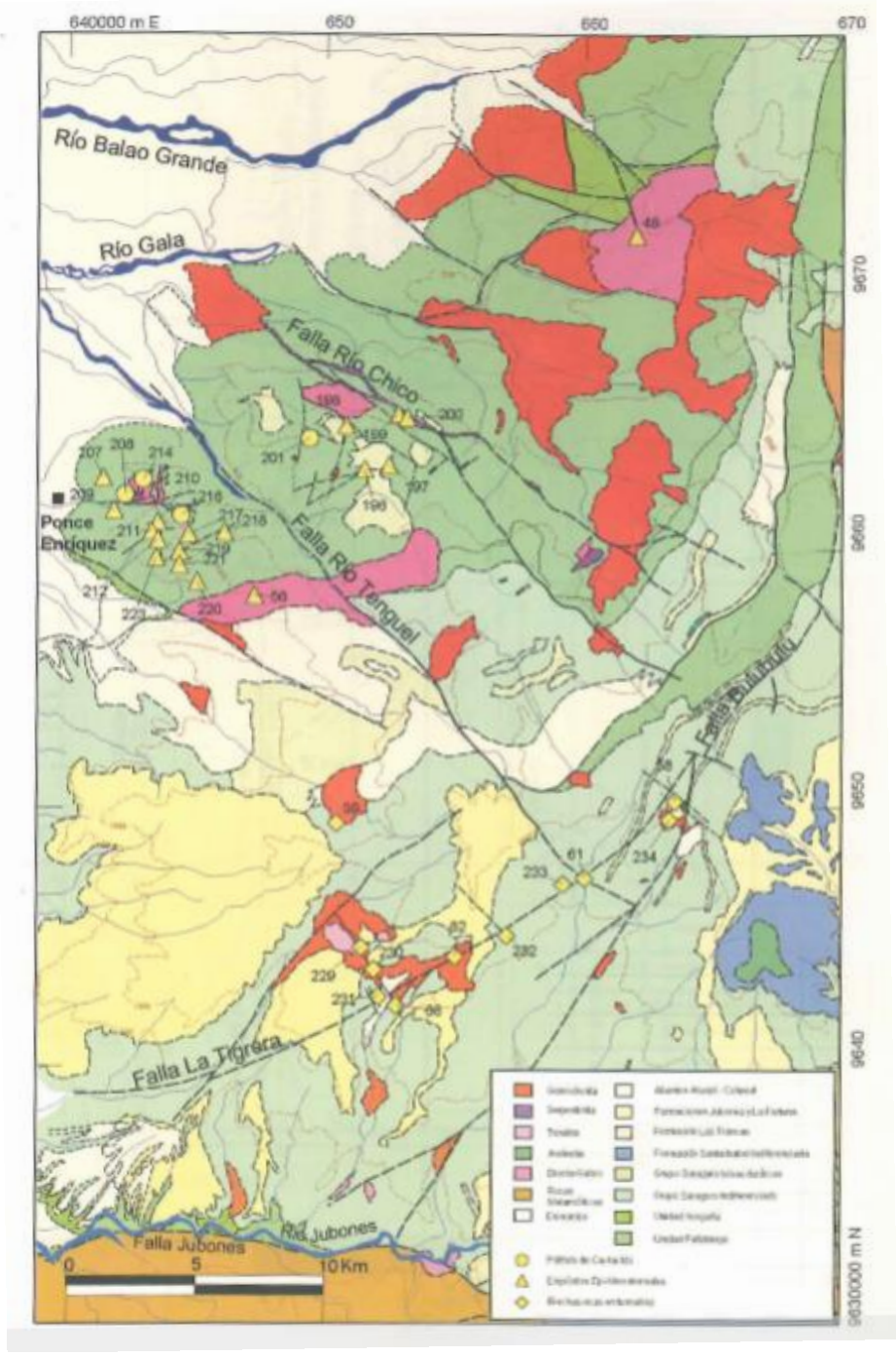
- **Grupo Saraguro:** Consiste en un conjunto de rocas volcánicas de carácter subaéreo y de composición generalmente intermedia a ácida del tipo calcoalcalina. Estas rocas han sido intruidas por diferentes stocks de composiciones que van desde cuarzodioríticas a tonalíticas, que vienen acompañados por otros cuerpos elongados y diques de esta misma composición. (Duque, 2000)
- **Cuaternario:** Representado por depósitos de tipo aluviales y coluvionales, cuyas áreas fuente de sedimentación son los cuerpos rocosos que han sido descritos anteriormente.

**Tabla II.** Características estructurales y texturales de la mineralización vetiforme en sectores del campo minero Bella Rica.

Fuente: PRODEMİNCA, 2000

Sub-Distrito	Entorno Geológico	Sectores/Mina	Rango de elevación	Estructura y textura de la mineralización
Bella Rica	Mineralización en estructuras extensionales dentro lavas y hialoclastitas basálticas. Sectores de Guanache alto y López bajo son próximos al techo del pórfido e intruidos por diques.	Bella Rica López Alto Guanache Alto Pueblo Nuevo	650 - 1100 mns m	Veteado masivo y semi-masivo bandeado multifase; fases tempranas cizalladas y brechificadas; fases tardías incluyen texturas de peine, coliformes y drusas.
		López Bajo (Tres de Mayo)	200 - 650 mns m	Caracterizado por stockworks, vetas bandeadas lenticulares y zonas de vetillas. Texturas epitermales en la fases tardías poco comunes y ausentes.
	Parte central-oriental del campo minero	Primavera Trebol	1070 mns m 980 mns m	Veteado masivo bandeado multifase; localmente cizallado y triturado. Textura coliforme y con cavidades drusiformes.
		Manantial	780 mns m	Vetas masivas bandeadas con las fases tempranas cizalladas. Ramificación posterior de las vetillas; disseminaciones.



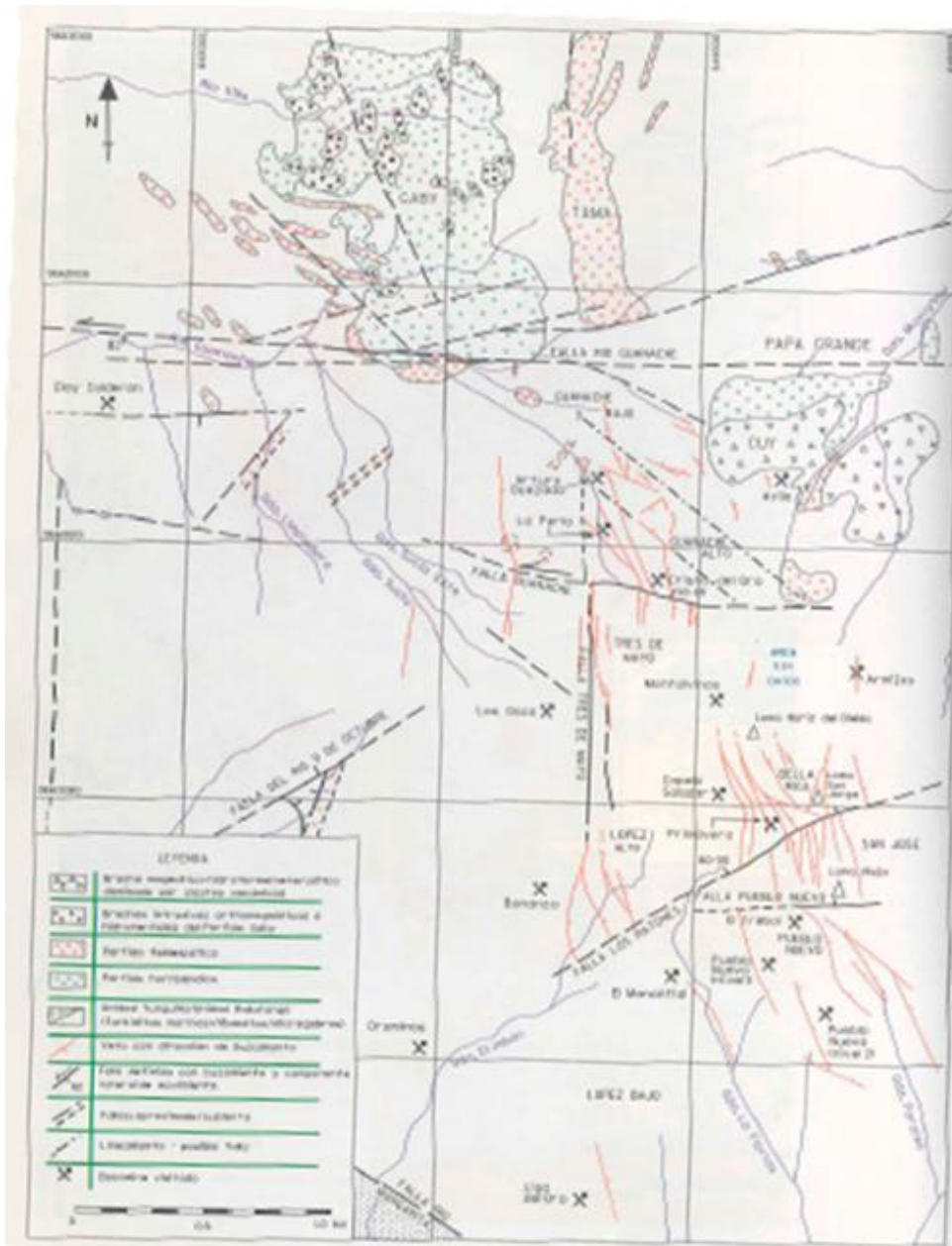


**Figura 3.1.** Mapa geológico sector occidental del Distrito Azuay  
**Fuente:** Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador (2000)

### 3.2 Geología Local

La Cooperativa de producción minera “Bella Rica” tiene como principal interés la mineralización de Au y sus respectivas asociaciones, está ubicada dentro de la Formación Macuchi (Paleoceno – Eoceno Medio), esencialmente se forma en andesitas y andesitas con tendencia a basaltos. Estas andesitas poseen una textura porfídica con fenocristales de plagioclasas milicentimétricas angulosas sin evidencia de meteorización. Las andesitas basálticas presentan, por el contrario, una textura totalmente afanítica y presenta colores oscuros, ausente de fenocristales; las rocas de este sector tienen un color característico de oscuras a verdosas. (Cuervas Mons, 2015)

Alrededor del Campo Minero Ponce Enríquez ocurre un conjunto predominante de rocas volcánicas, andesitas, basaltos, diabasas, brechas, las cuales son características por pertenecer a la Unidad Pallatanga, conformadas por los basaltos de Bella Rica, de manera típica, los frentes de trabajo se dan en basaltos verdes, doleritas e hialoclastitas con stockworks irregulares, algunas de estas presentan cierta susceptibilidad magnética. (Vega, 2013)



**Figura 3.2.** Mapa geológico sector Bella Rica campo minero Ponce Enriquez  
**Fuente:** Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador (2000)

### 3.3 Geología Estructural

Tanto los criterios obtenidos del desplazamiento de las unidades litológicas, como las asimetrías de las estructuras S-C, indican un movimiento dextral en dirección. La línea de sutura marcada por la falla Bulubulu tiene una edad Cretácico Superior.

El campo mineral de Ponce Enríquez está fragmentado por fallas de dirección NW a escala de distrito, el sector Bella Rica está bordeado por las fallas Margarita por el SW y Río Tenguel por el NE. Estas fallas son esencialmente de edad cenozoica, pero han sido reactivadas periódicamente y dan lugar a pronunciadas expresiones geomorfológicas. La Falla Margarita separa los Basaltos de Bella Rica (Cretácico Inferior Alto) de la Unidad Pallatanga, de los sedimentos del Cretácico Superior de la Unidad Yunguilla, situados al sur.

La Falla Río Guanache, de dirección E-W e inclinada subverticalmente hacia el Sur, controla el curso del río del mismo nombre y separa dos dominios fundamentales de diferente nivel estructural dentro del Distrito Minero de Ponce Enríquez. Una componente normal de desplazamiento, posterior a la mineralización, ha bajado oblicuamente el bloque Bella Rica-

Mollopongo respecto del bloque Guadalupe-Muyuyacu, situado al Norte. (PRODEMINCA, 2000)

**Otras fallas transversales:**

**1. Falla Guanache**, que coincide con uno de los afluentes en la parte superior del curso del río Guanache, de dirección EW a WNW-ESE e inclinada al Norte entre 50° y 80°. Está paralela a la Falla Río Guanache y tiene el mismo sentido de movimiento. La veta- falla de la mina Eloy Calderón está ubicada en esta estructura. (PRODEMINCA, 2000)

**2. Falla los Ratones**, en el sector minero de Bella Rica, con dirección NE-SW e inclinación subvertical (60-90°) al NW. Dentro de la Mina Orominas esta banda de deformación tiene al menos 6 metros de anchura. La falla mineralizada en el campo minero de Muyuyacu, unos 2 km al NE de Bella Rica, podría ser una continuación de esta estructura. (PRODEMINCA, 2000)

**3. Falla del Río 9 de Octubre**, con la misma orientación que la Falla los Ratones, puede ser trazada hacia el Noroeste a favor de los desplazamientos de fallas de dirección NW y de la Falla Guanache

hasta la Quebrada Muyuyacu, en el complejo porfídico de Papa Grande. Esta falla está inclinada hacia el SE. (PRODEMINCA, 2000)

**4. Falla Pueblo Nuevo**, existen pequeñas fallas y vetas paralelas de dirección E-W. Parece ser una terminación ramificada de la Falla los Ratones.

Existe también un grupo de **fallas longitudinales** que contienen los sistemas de vetas mineralizadas o son paralelas a ellas, comprenden:

**5. El Sistema de Fallas Tres de Mayo**, está localmente mineralizado, y tiene dirección N-S, buzando hacia el Este. Está cortado y desplazado por fallas transversales. La falla principal está considerada como ligeramente lístrica y presenta estructuras de segundo orden mineralizadas en el bloque levantado que se abren en abanico hacia el Sur en la vecindad de la Falla los Ratones. La configuración de las fallas-vetas forma un abanico extensional imbricado o un duplex. Los escasos indicadores cinemáticos y datos de lineaciones existentes indican movimientos dextrales-normales. No obstante la interpretación cinemática de este sistema de fallas de ve complicada por la reactivación post-mineralización. (PRODEMINCA, 2000)

**6. Las fallas de dirección NW, ligeramente mineralizadas y que generalmente buzcan al NE.** En el sector de Bella Rica estas estructuras están indisolublemente ligadas al sistema de vetas. Localmente se nota que el juego principal de vetas mineralizadas de rumbo más al Norte está cortado por estas estructuras. En el sector Guadalupe las fallas de dirección NW han controlado la mineralización, alineamiento y geometría de los cuerpos de Pórfido Feldespático. En el sector Mollopongo estas mismas fallas cortan y desplazan a grupos de fallas de dirección Noreste pero están a su vez cortadas por las fallas de dirección E-W. (PRODEMINCA, 2000)

**7. El sistema de vetas mineralizadas de dirección NNW** que se extiende por unos 3 km al Sur de la falla Río Guanache y alcanza una máxima anchura de 1.3 km, en el sector de López Alto- Bella Rica. La dirección individual de las vetas varía entre N-S y WNW-ESE pero manteniendo un buzamiento hacia el Este predominante. Al norte de la Falla Río Guanache las vetas mineralizadas son relativamente escasas y la mayoría están dentro de los pórfidos o están asociados con la zona de contacto de los pórfidos. La mayoría tienen dirección N-S y son verticales o con una inclinación subvertical hacia el Este. En la vecindad del complejo porfídico de Papa Grande y Brecha Cuy se nota que algunas vetas tienen un

rumbo más E-W subparalelo a los contactos y también hay ejemplos de vetas ortogonales que sugiere fracturamiento asociado con el desplazamiento de estos cuerpos.

La mayor concentración de vetas se encuentra en el sector de Bella Rica, donde han sido explotadas más de 12 vetas mineralizadas. Los sistemas de vetas se anastomosan y forman abanicos imbricados. También son evidentes, localmente, duplexes extensionales de escala métrica a decamétrica. (PRODEMINCA, 2000)



# **CAPÍTULO 4**

## **4 METODOLOGÍA**

### **4.1 Trabajo de Campo**

Luego de la búsqueda y recopilación de la información secundaria disponible con respecto a proyectos de investigación similares, se procede a realizar los trabajos en campo que consisten esencialmente en un muestreo aleatorio en minas que corresponden al predio extractivo “Bella Rica”.

Todas estas actividades y datos recopilados se dieron en cuatro labores mineras activas, las cuales se denominarán:

- Bella Rica – 1
- Bella Rica – 2
- Bella Rica – 3
- Bella Rica – 4

Las actividades y datos recopilados en campo fueron:

- **Reconocimiento y levantamiento de la geología estructural:** Consiste esencialmente en el levantamiento de información de fallas, fracturas y todo tipo de estructuras que dominen en cada una de las minas, tomando como información su rumbo y buzamiento.
- **Recolección de muestras de roca encajante en las minas:** Se tomaron muestras de mano provenientes de cuerpos no mineralizados en cada una de las minas, estas fueron tomadas a distintos niveles siguiendo una misma línea con respecto a la profundidad; estas muestras fueron debidamente codificadas.
- **Levantamiento topográfico de labores principales:** Por medio de brújula geológica y cinta fue posible realizar un levantamiento topográfico de las labores, donde además se pudieron ubicar las estructuras anteriormente reconocidas.



**Figura 4.1.** Toma de datos de fracturas presentes en las labores.  
**Fuente:** Escobar, K. (2015)

## 4.2 Trabajo de Oficina

Luego de la toma de muestras en campo, los trabajos en oficina consistieron en el ordenamiento de las muestras de acuerdo a la codificación designada y al procesamiento de datos topográficos levantados en campo, de tal manera, que estos sean plasmados en un mapa, donde constará además la ubicación de las muestras tomadas.

#### **4.2.1 Estudio macroscópico de muestras**

Han sido 15 muestras tomadas aleatoriamente, estas han resultado de tamaños diferentes, entre 10 y 20 cm, con pesos que varían desde 1 a 4 kg, estas han sido descritas a partir de los siguientes factores:

- Dureza y Densidad Relativa de la roca
- Fracturas presentes
- Color y texturas petrográficas presentes
- Minerales dominantes
- Definición de la roca

Las muestras vienen descritas en el Capítulo 5: Resultados.

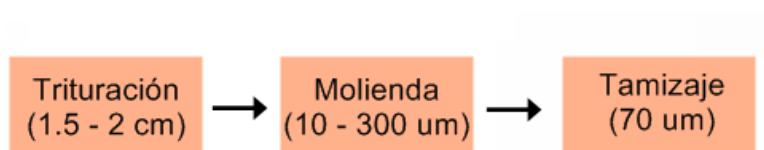
#### **4.2.2 Mapeo de Labores Mineras**

El proceso de los datos topográficos mediante el levantamiento de las labores principales culminará en la presentación de un mapa que represente la ubicación en la que se encuentra la mina, su cota y la ubicación de los puntos de muestreo.

### 4.3 Trabajo de Laboratorio

#### 4.3.1 Preparación de Muestras

Para realizar la preparación de las muestras tomadas en campo para su posterior análisis basado en el principio de la “Difracción de Rayos X”, para este fin se necesitaron moler las muestras hasta lograr un pasante de 70 micras, esta preparación fue desarrollada en el laboratorio de mineralurgia de FICT – ESPOL; a continuación se describe el proceso para la preparación de las muestras:



**Figura 4.2.** Flujograma de preparación de muestras  
**Fuente:** Loy, J. (2015)

- **Procedimiento:**
  - Se procede al pesaje de aproximadamente 5 kg de muestra.
  - Se alimenta la trituradora de mandíbulas con la muestra pesada hasta llegar a un tamaño de aproximadamente 1.5 – 2 cms.

- Se procede a la alimentación de la trituradora de rodillos donde se obtiene un tamaño de aproximadamente de 5 mm.
- Llevar a cabo la molienda utilizando un molino de bolas durante 30 minutos hasta alcanzar tamaños entre 10 – 300 um.
- Proceder al tamizaje de la muestra, separando el pasante de 70 um, ya que estos tamaños son aptos para la realización de ensayos de DRX.



**Figura 4.3.** Preparación de muestras en trituradora de mandíbulas  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)



**Figura 4.4.** Preparación de muestras en trituradora de rodillos  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)



**Figura 4.5.** Preparación de muestras en molino de bolas  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

Para esto se utilizaron los siguientes equipos:

- **Trituradora de Mandíbulas:** Consiste en dos mandíbulas, una fija y otra móvil; durante el movimiento, el mineral es comprimido y liberado continuamente en la cámara de trituración hasta que sale por descarga, esta trituradora es considerada como primaria y logra llegar hasta tamaños de 1.5 a 2 cms.



**Figura 4.6.** Trituradora de Mandíbulas FICT - ESPOL  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- **Trituradora de Rodillos:** Realiza la fragmentación entre las superficies externas de dos cilindros que giran sobre ejes paralelos en sentidos opuestos, separados una distancia determinada, esta trituradora es considerada



como de tipo secundaria y los tamaños de descarga son de aproximadamente 0.5 cm.



**Figura 4.7.** Trituradora de rodillos FICT - ESPOL  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- **Molino de Bolas:** Molinos de tipo cilíndrico conformado por tambores de acero que rotan sobre un eje horizontal, el medio molturante son bolas de acero de varios diámetros, lo que aumenta la superficie específica de molienda, los tamaños de descarga de esta etapa es de 10 – 300  $\mu\text{m}$ .



**Figura 4.8.** Molino de bolas FICT - ESPOL  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

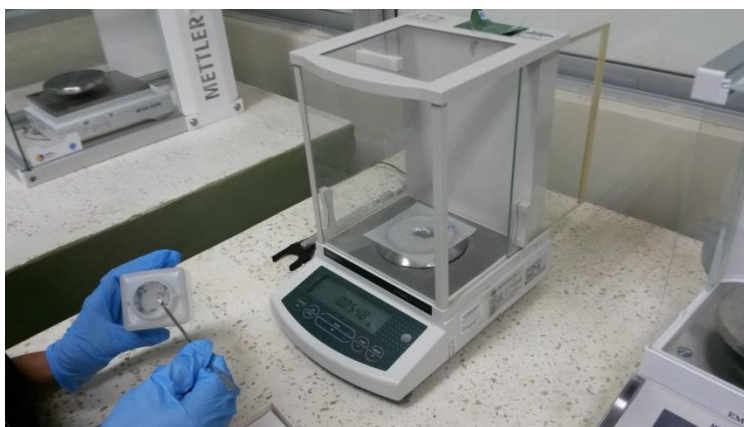
#### **4.3.2. Ensayos en DRX**

Para la cuantificación de las especies minerales existentes en las muestras preparadas se realizaron los respectivos análisis en laboratorio utilizando el principio de la difracción de rayos X; empleando el equipo Xpert PRO XRD de marca PANalytical, con tubo de Cu: radiación  $K\alpha$ ,  $\lambda = 1.541874 \text{ \AA}$ , empleando un filtro de Níquel, Pw 3373/00; conjuntamente con el software que se encarga de su control (XPert Data Collector). A continuación se describe el proceso de lectura de muestra.

- **Pesaje de muestra:**

Para la lectura en el equipo es necesario realizar el pesaje de 0.6 g de muestra molida y además de 0.06 g de Zincita (ZnO), la cual resulta el aditivo de calibración para que el análisis sea cuantitativo; este pesaje se realiza en una balanza analítica de cuatro decimales.

Se debe realizar la homogenización de la muestra y la zincita, con la precaución de que no exista ningún grumo apreciable de este último reactivo.



**Figura 4.9.** Pesaje de muestras y zincita  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)



**Figura 4.10.** Homogenización de muestra  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)



**Figura 4.11.** Colocación de muestra en portaobjeto DRX  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

#### - **Lectura de muestra**

Luego del pesaje y la homogenización de la muestra se procede a colocarla dentro del equipo DRX, el cual es manejado por el software Xpert DataCollector, esta herramienta informática debe ser

configurada según las necesidades del usuario y que además, se brinde finalmente un gráfico que resulte entendible a cualquier observador, esto es, libre de ruidos y de picos no deseados o que no se aprecien claramente.

Los parámetros que se pueden ajustar en el software son:

- Voltaje y amperaje del equipo (Condiciones de uso: 45 KV y 40 mA)
- Características del haz incidente
- Tamaño del paso y el tiempo que se toma por paso
- Dimensiones de las rejillas

Una vez realizados los ajustes necesarios en el equipo, se procede a colocar la porta muestras dentro del mismo y mediante el software se da inicio al disparo de rayos X, que tendrán un recorrido de 4° hasta 70° en este caso particular, como resultado de este proceso se obtiene un gráfico indicando las especies minerales encontradas en la muestra, haciendo posible la identificación de aquellas especies con mayor concentración.



**Figura 4.12.** Difractómetro de rayos X  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- **Cuantificación de especies minerales**

Una vez que la muestra ha sido leída, se obtiene como resultado un gráfico de picos que indica la presencia de especies minerales y su ocurrencia dentro de la muestra. Para la cuantificación de estas especies se utiliza la herramienta informática XpertHighscore Plus, el cual permite el tratamiento de datos según el siguiente orden:

- **Trazado de línea base:** En este paso, se traza una línea referencial que sirve para el reconocimiento de picos importantes, siendo todos aquellos que superen a esta base.

- **Búsqueda de picos:** El software muestra todos aquellos considerados como picos, sin embargo, el usuario es libre de eliminar aquellos que hayan sido malinterpretados, ya sea por ruido de gráfico u otro que no se considere de relevancia.
- **Biblioteca de patrones:** Trata de la asignación de una especie mineral según su grupo espacial y características a cada uno de los picos encontrados a través de sus coincidencias, una vez seleccionada la fase mineral, se irán eliminando los picos que han coincidido con esta fase, para la selección de las fases que se mostrarán en la lista de patrones se designan restricciones como sólo el reconocimiento de especies inorgánicas, la exclusión de tierras raras, gases nobles, etc.
- **Refinación de resultados:** Una vez escogidas las fases que han eliminado los picos existentes, se puede obtener una cuantificación preliminar de las especies, sin embargo, es de suma importancia realizar la refinación de estos datos utilizando métodos matemáticos, en este caso ha sido el conocido como “Chebyshev II” el cual permite un ajuste más preciso a la cuantificación, esto debe hacerse hasta que el Goodness Rate (Bondad de ajuste) se encuentre en el rango de 5 – 6%.

# **CAPITULO 5**

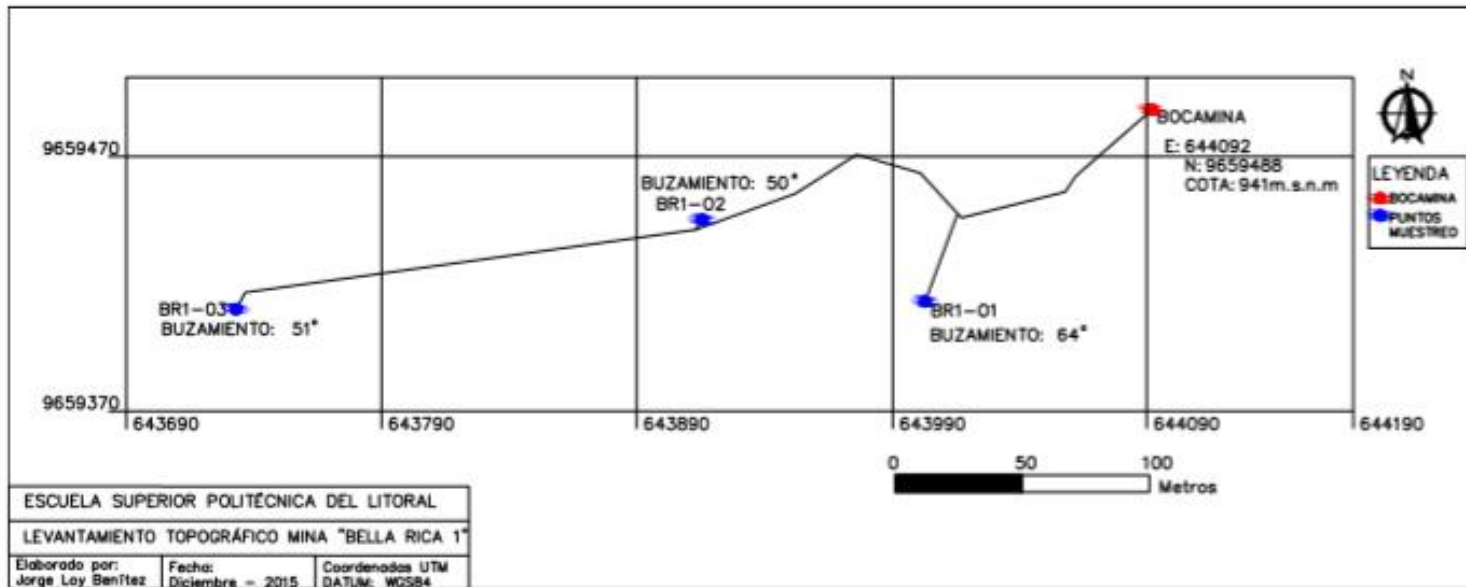
## **5 RESULTADOS E INTERPRETACIÓN**

### **5.1 Levantamiento de labores**

Las labores que fueron visitadas pertenecientes a la concesión minera "Bella Rica", durante el muestreo realizado se procedió a realizar el levantamiento respectivo de cada una de ella como se indica a continuación:

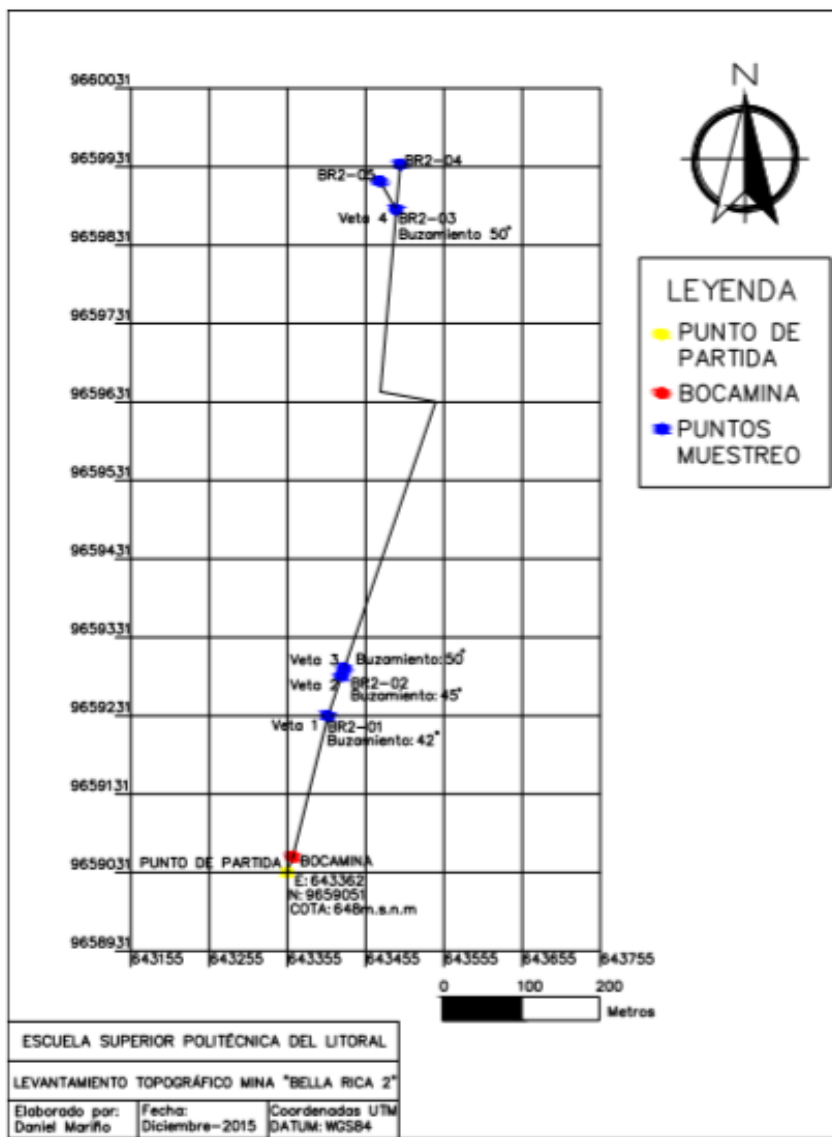


- Bella Rica – 1



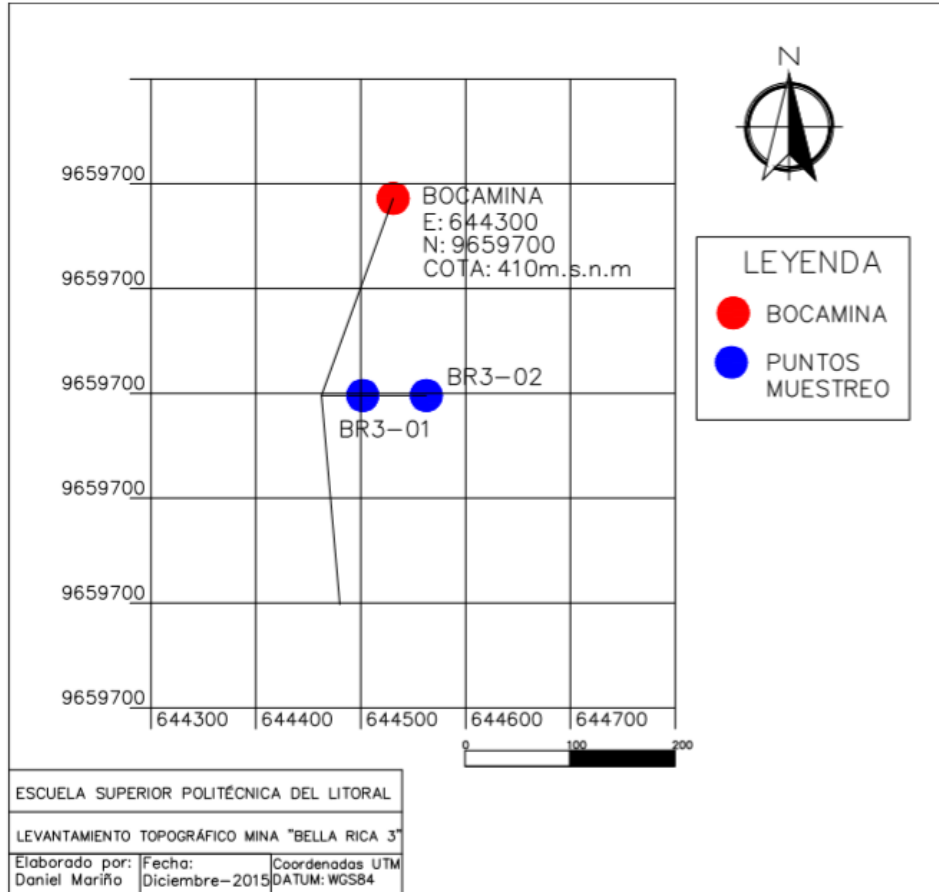
Mapa III. Levantamiento de mina "Bella Rica - 1"  
Fuente: Loy, J. (2015)

- Bella Rica – 2



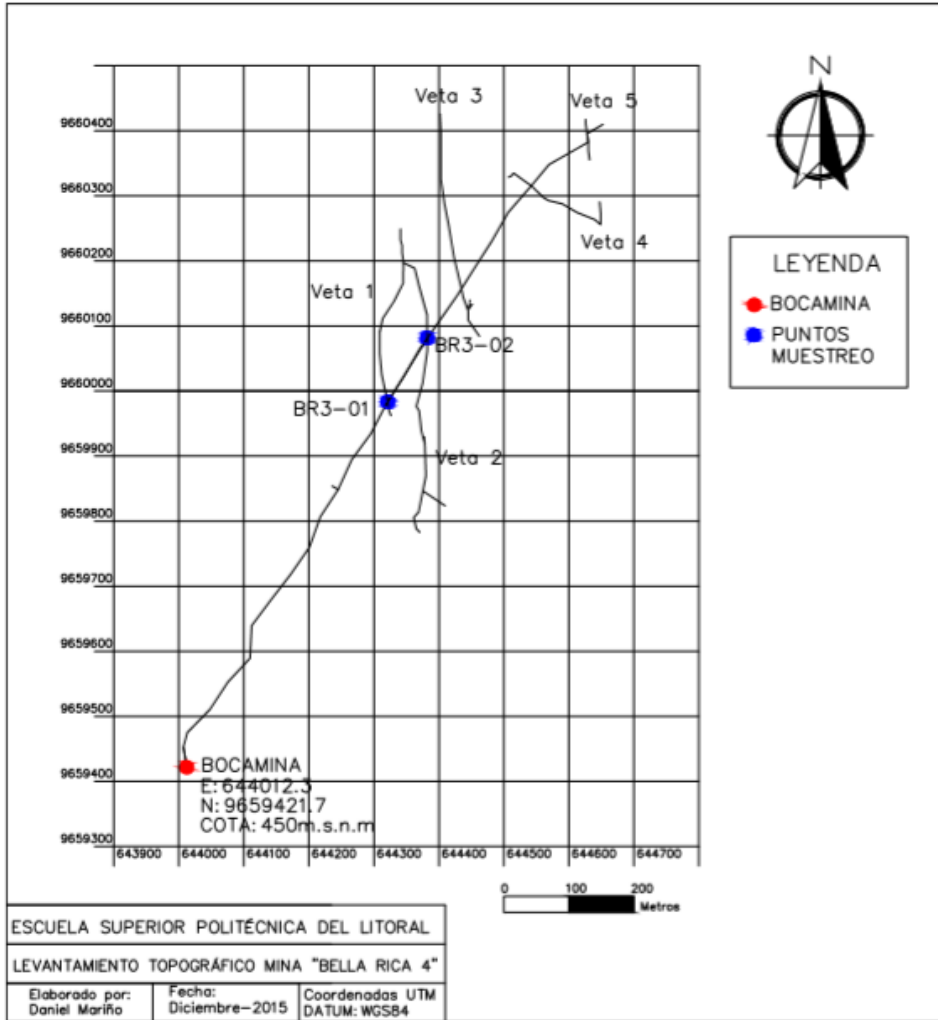
**Mapa IV.** Levantamiento de mina "Bella Rica - 2"  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- Bella Rica – 3



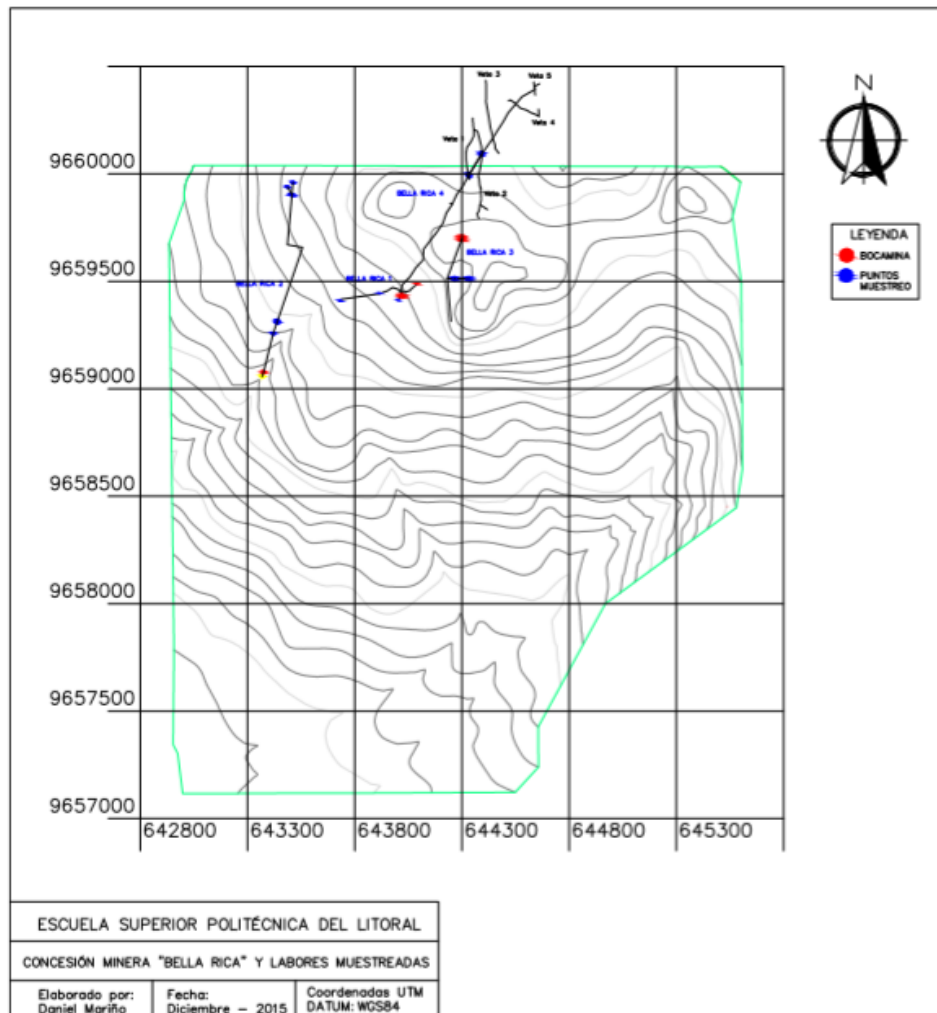
**Mapa V.** Levantamiento de mina "Bella Rica - 3"  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- Bella Rica – 4



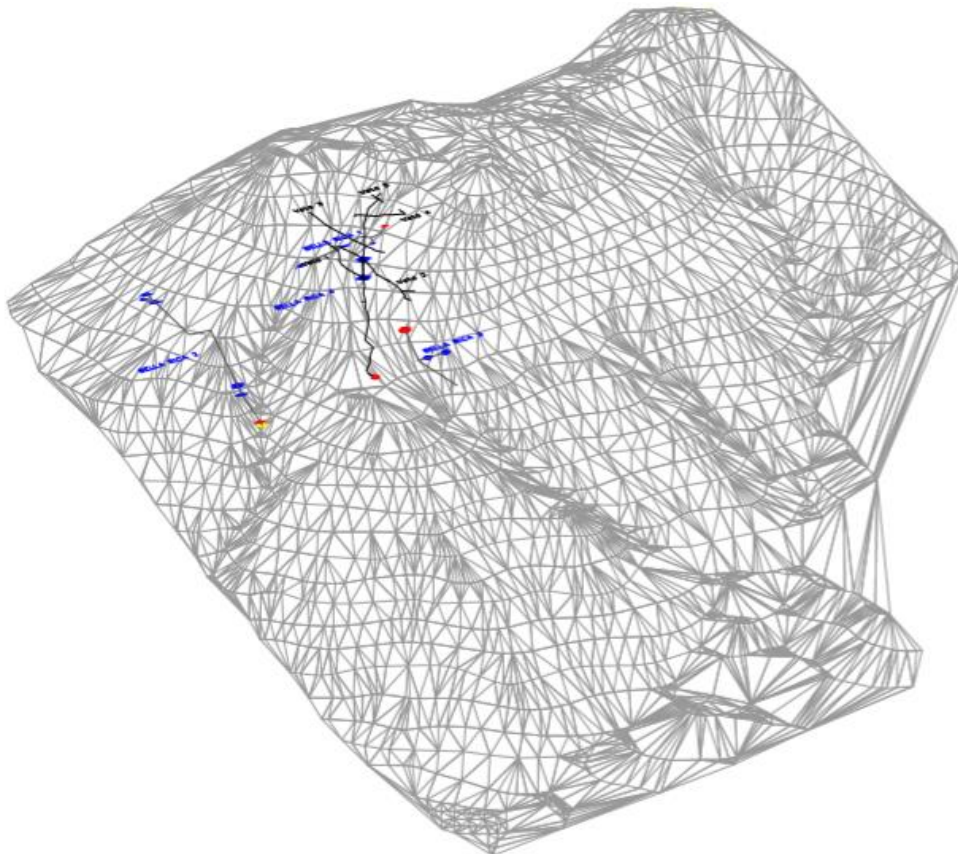
**Mapa VI. Levantamiento de mina "Bella Rica - 4"**  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- Concesión "Bella Rica" y labores muestreadas



**Mapa VII.** Concesión "Bella Rica" y labores muestreadas  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- Cerro "Bella Rica"



**Mapa VIII.** Cerro "Bella Rica"  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

## 5.2 Análisis macroscópico de muestras

- BR1 - 01

Roca gris oscura con textura afanítica, con algún microfenocristal (máx 1mm) de plagioclasa. Se observan puntos brillantes en la superficie, seguramente sulfuros de Cu. La muestra puede presentar alguna abertura con mineralizaciones verdes, posiblemente debido a alteraciones propiliticas. Por último la muestra presenta fractura angular. Se deduce, por tanto que se trata de una andesita.



**Figura 5.1.** Muestra macroscópica BR1 - 01  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- BR1 - 02

Fragmentos de roca marronáceos centimétricos y muy angulosos. Altamente meteorizados. En la parte fresca, textura holocristalina de color oscuro. Presencia de vetillas de cuarzo formando drusas. Presencia de láminas de óxidos de Fe. Se trata de una andesita basáltica altamente meteorizada con aspecto de suelo.



**Figura 5.2.** Muestra macroscópica BR1 - 01  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- BR1 - 03

Roca altamente meteorizada con colores marronáceos. Su característica más importante es su aspecto bandeado, definido por vetas centimétricas de cuarzo y yeso. Este último aparece también



rellenando diaclasas paralelas a dichas vetas y de tamaños milimétricos. También alguna banda verdosa, posiblemente, debido a alteración propilítica (epidota y clorita). Las mineralizaciones tienen hábito subeuhedral a anhedral, con formas prismáticas. Tamaño de grano milimétrico (máx 1 mm) Son de color negro, brillan con la luz. No se identifican las fases minerales, aunque seguramente contengan altos niveles de Fe, Mn, Co, Zn Pb, etc.



**Figura 5.3.** Muestra macroscópica BR1 - 03  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- BR2 - 01

Roca grisácea oscura de densidad media-alta, parcialmente meteorizada y con fracturación muy irregular. Presenta una textura afanítica, sin fenocristales. Las mineralizaciones consisten en

sulfuros de cobres masivos y diseminados, completamente anhedral (pirita, pirrotina y calcopirita; también galena subhedral). Por último, se observa una drusa de cuarzo milimétrica altamente meteorizada. Se trata de una andesita basáltica o basalto andesítico.



**Figura 5.4.** Muestra macroscópica BR2 - 01  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- BR2 - 02A

Roca grisácea de densidad alta y con fracturas irregulares, junto con un claro aspecto bandeado, y hasta brechificado. Dicho bandeamiento está definido por una vetilla cuarzosa tabular. También se observan algunos niveles milimétricos verdosos (posiblemente alteración propilítica). Hay presencia de cristales euhedrales muy abundantes y brillantes de galena, habiendo

también calcopirita diseminada. No se identifica el tipo de roca, se trata de una andesita basáltica brechificada.



**Figura 5.5.** Muestra macroscópica BR2 - 02A  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- BR2 - 02B

Fragmento anguloso de roca de color negro pero con tonos blancos y amarillentos. Densidad media. Presenta fracturas muy irregulares, con altos contenidos en mineralizaciones: pirita, pirrotina, bornita y galena. La mayor parte de la roca consiste en un gran cristal de cuarzo lechoso conteniendo dichas mineralizaciones; también se observa una veta tabular centimétrica de cuarzo altamente meteorizada y de color marrón. Se trata de una parte del filón mineralizado.



**Figura 5.6.** Muestra macroscópica BR2 - 02B  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- BR2 - 02C

Muestra similar a la 2A, con el característico aspecto bandeado y brechificado. Abundantes niveles verdosos alternantes con niveles de espesores variables (varios cms como máximo ) mineralizados de cuarzo y de sulfuros de Cu; puede contener posiblemente granos milimétricos de Au. Se trata de la parte del filón-veta mineralizada.



**Figura 5.7.** Muestra macroscópica BR2 - 02C  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- BR2 - 03

Roca de densidad media con fractura angulosa-irregular y con superficies muy meteorizadas, presentando un aspecto gris verdoso. En las partes frescas presenta una textura afanítica. Las únicas mineralizaciones encontradas consisten en diseminaciones de cuarzo y sulfuros de Cu muy meteorizados. Se trata de una andesita basáltica o basalto.



**Figura 5.8.** Muestra macroscópica BR2 - 03  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- BR2 - 04

Roca de densidad media con fractura muy angulosa; color verde oscuro negruzco. Presenta una textura completamente afanítica, siendo muy similar a la muestra 3, aunque la 4 no tan meteorizada. Se observan unas pocas acumulaciones milimétricas de sulfuros de Cu, siendo seguramente de pirrotina y covelina. Dichas acumulaciones aparecen siguiendo planos de fracturas determinadas y paralelas entre sí.



**Figura 5.9.** Muestra macroscópica BR2 - 04  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- BR2 - 05A

Roca de densidad media alta con fracturación angulosa-irregular. En sus partes frescas tiene un color gris oscuro, con una textura completamente afanítica. Esta muestra se encuentra cortada por filones centimétricos de cuarzo y sulfuros de Cu, ambos muy meteorizados, junto con minerales negros, seguramente sulfuros de Fe. También abundantes niveles verdosos (posiblemente alteración propilítica). Se puede apreciar abundantes manchas de óxidos de Fe y Mn. A partir de esto se puede decir que se trata de un basalto andesítico o andesita basáltica situada en una zona muy fracturada con circulación de agua meteórica.



**Figura 5.10.** Muestra macroscópica BR2 - 05A  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- BR2 - 05B

Fragmento de roca de densidad media altamente meteorizados y fáciles de fracturar (Se parten con las manos). Esta roca presenta un aspecto altamente verdoso (posiblemente importante desarrollo propilítico). En las partes frescas se observa una textura afanítica de color gris negruzco. Presencia de sulfuros de Cu y Fe diseminados y meteorizados. También algún filón de Q de morfología muy irregular. Por último, yeso en planos de fractura, formando posiblemente espejos de juntas o de falla. Se deduce por tanto que se trate de un basalto andesítico o andesita basáltica situada en una zona de falla.





**Figura 5.11.** Muestra macroscópica BR2 - 05B  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- BR3-001

Roca grisácea de densidad media en fracturas angulosas e irregulares. Presenta una estructura prácticamente afanítica, aunque en algunos puntos se observaron mineralizaciones de grano fino (<1mm). No presenta ningún tipo de fenocristal, se encuentra escasamente meteorizada, presentando alguna mancha ferrosa e incluso dichas mineralizaciones aparecen oxidadas. Se trata de una andesita.



**Figura 5.12.** Muestra macroscópica BR3 - 001  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- BR3-002

Roca grisácea de densidad media con fracturas irregulares y angulares. Presenta textura afanítica con escasos fenocristales milimétricos de plagioclasas y cuarzo y algunos de pirita (<90% plagioclasas). En toda la muestra aparecen manchas diseminadas de óxido de hierro. En cuanto a las mineralizaciones se destacan muy finas (<<1 mm) de pirita y alguna esfalerita anhedral. Además filoncillos milimétricos de óxidos negros y cuarzo, asociado este a sulfuros. Se trata de una andesita.



**Figura 5.13.** Muestra macroscópica BR3 - 002  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- BR4 - 01

Roca gris negruzca de densidad media-alta y fracturas irregulares y angulares, completamente afanítica sin fenocristales, sólo en los planos de fractura se observan partes muy finas ( $\ll 1\text{mm}$ ) de alteración y alguna pirita muy fina. La muestra aparece parcialmente meteorizada con colores pardos. Se trata de una andesita basáltica.



**Figura 5.14.** Muestra macroscópica BR4 - 01  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- BR4 - 02

Roca gris verdosa de densidad media y fracturas angulosas e irregulares, textura afanítica microporfídica, en la cual los microfenocristales son mineralizaciones milimétricas anhedrales de color amarillento verdoso disperso, además algún grano de cuarzo y en filones. Se trata de una andesita.

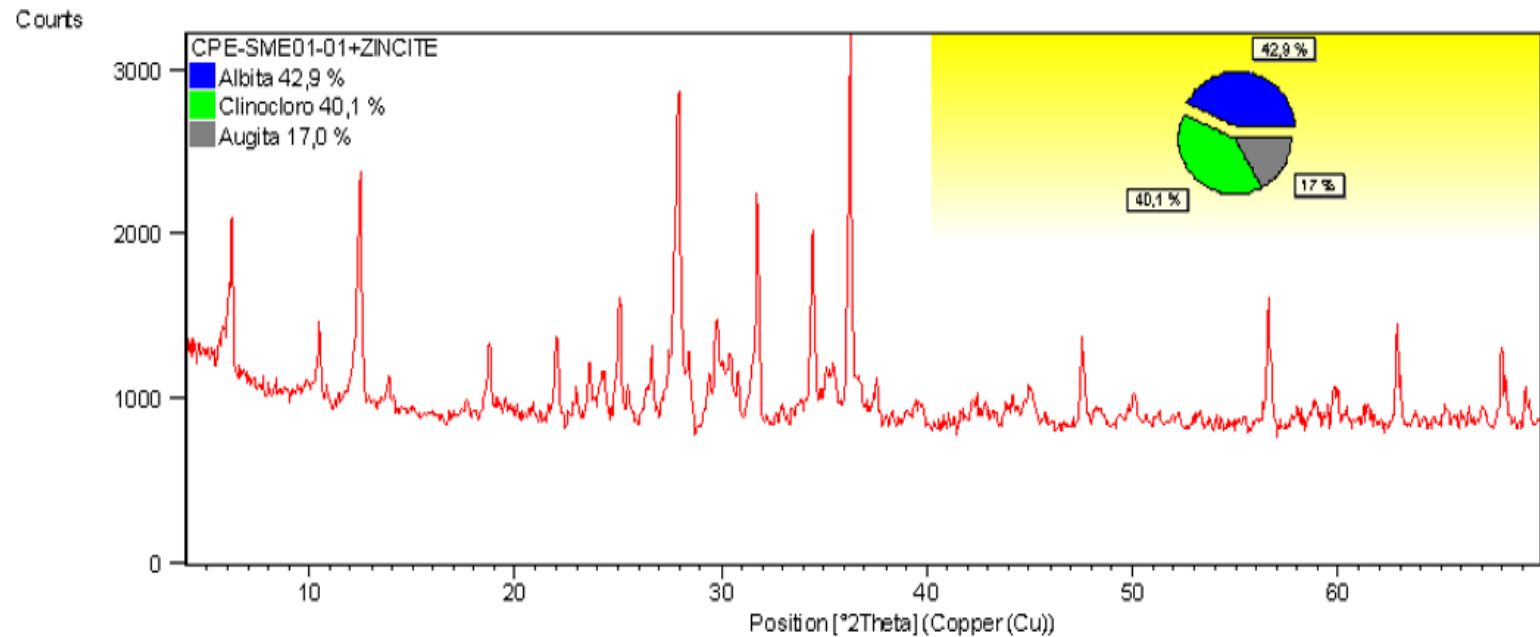


**Figura 5.15.** Muestra macroscópica BR4 - 02  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

### **5.3 Difractogramas de muestras**

Los difractogramas generados a partir de las 15 muestras tomadas, poseen un error menor al 5%, debido a eso fue posible realizar la cuantificación de los minerales presentes en cada una de ellas. Utilizando el software Origin 8.1 relacionamos los difractogramas de cada una de las minas para identificar las especies mineralógicas comunes y a partir de eso lograr una interpretación mineralógica adecuada de la concesión minera "BELLA RICA".

- BR1 - 01



**Figura 5.16.** Difractograma muestra BR1-01  
**Fuente:** Loy, J. (2015)

- BR1 - 02

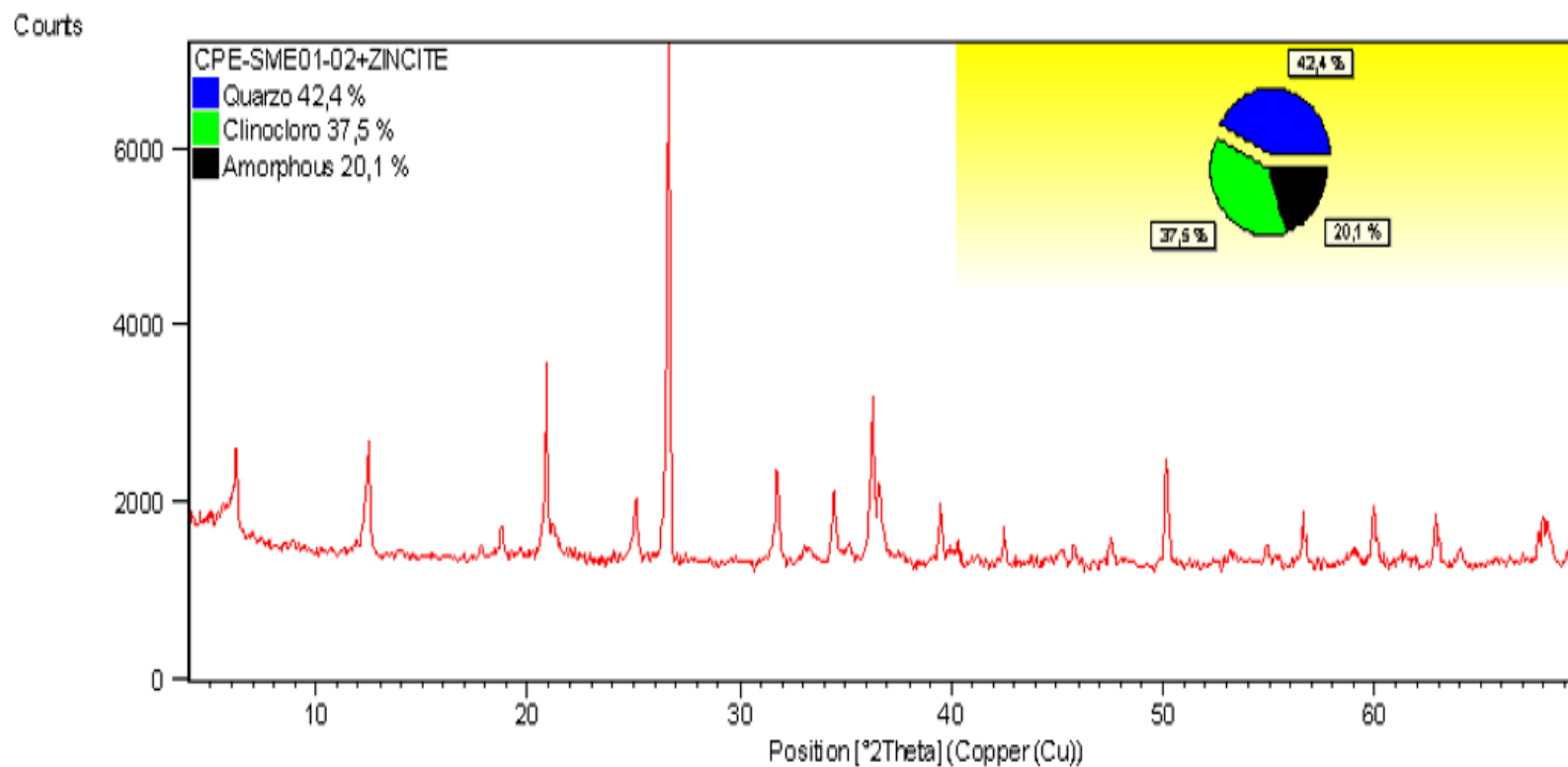


Figura 5.17. Difractograma muestra BR1-02

Fuente: Mariño, D. (2015)

- BR1 - 03

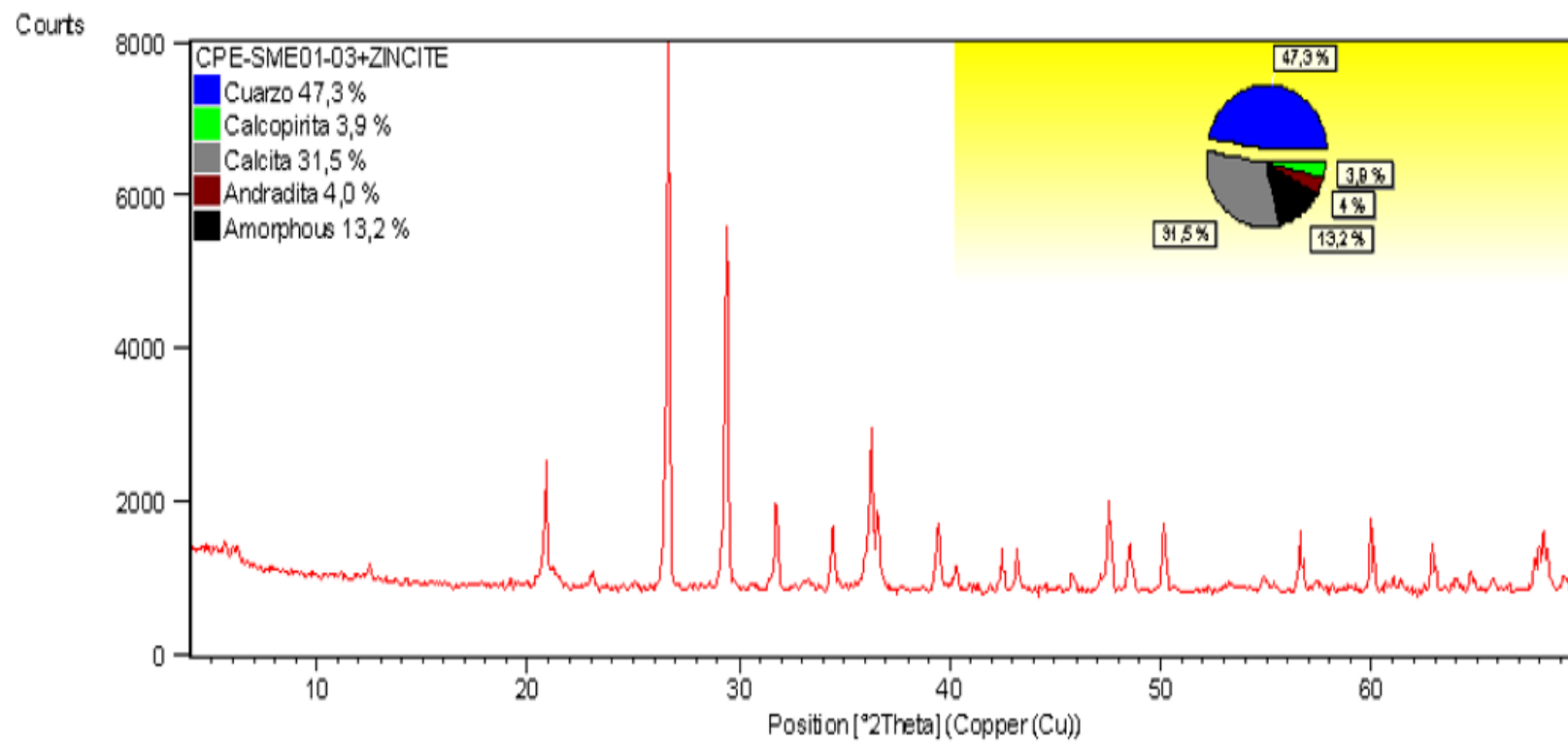
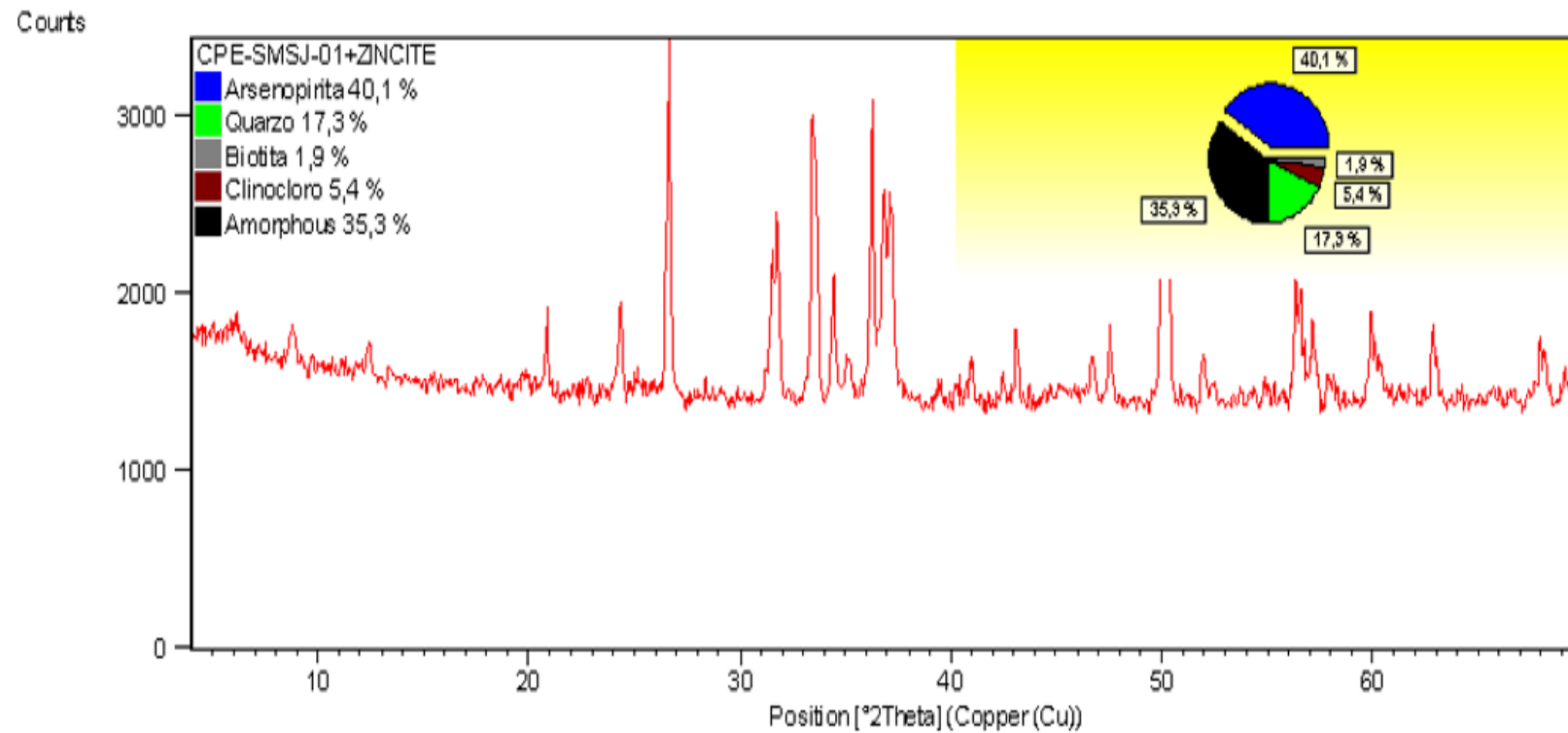


Figura 5.18. Difractograma muestra BR1-03

Fuente: Loy, J. (2015)

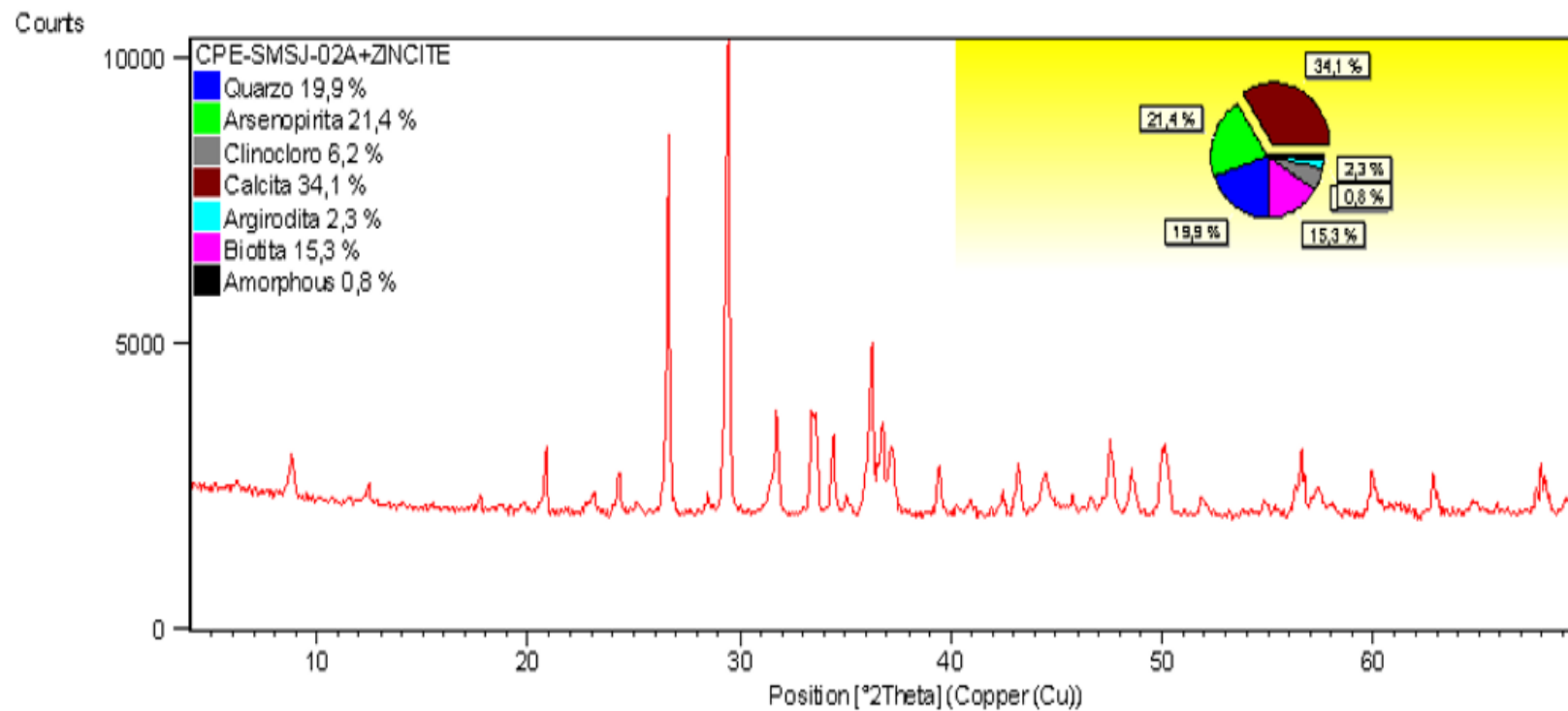


- BR2 - 01



**Figura 5.19.** Difractograma muestra BR2-01  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

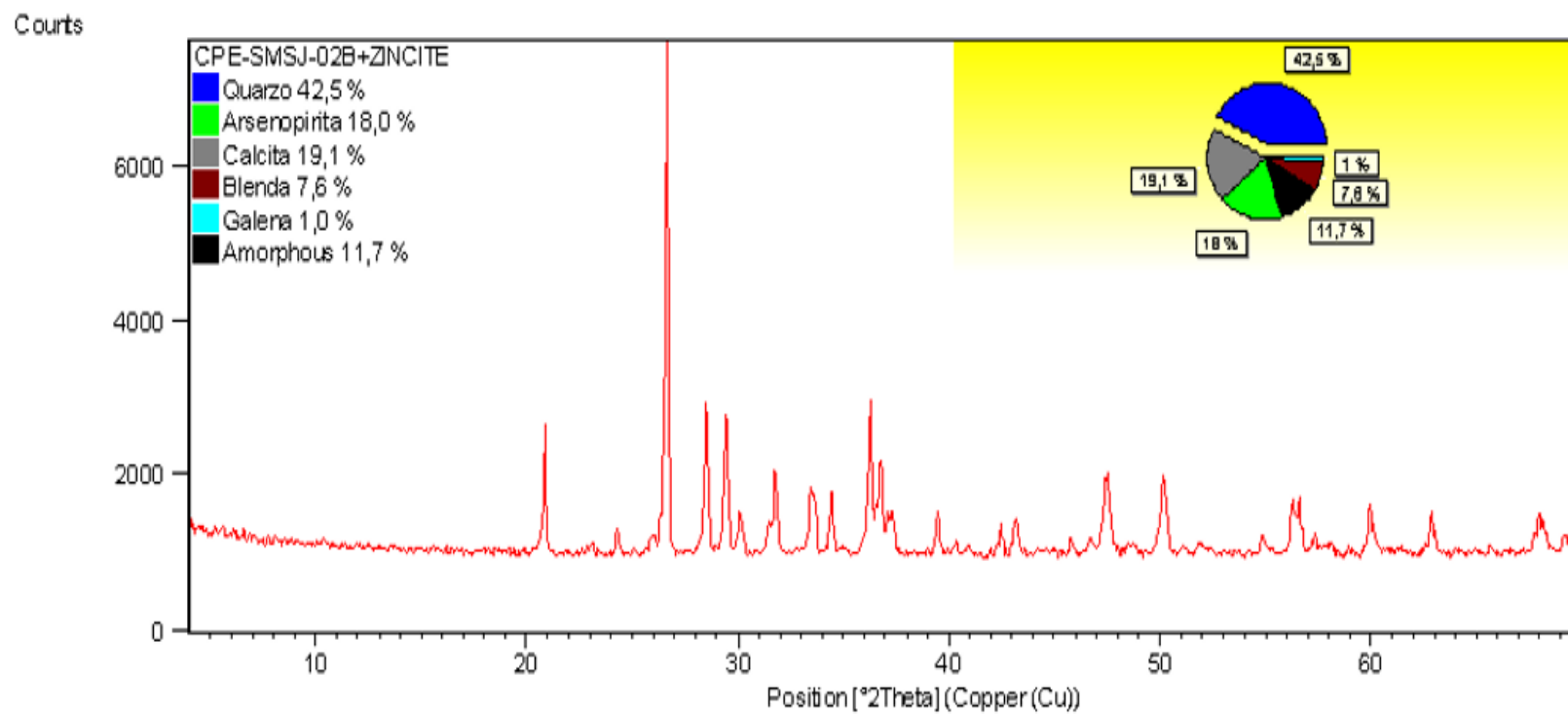
- BR2 - 02A



**Figura 5.20.** Difractograma muestra BR2-02A

**Fuente:** Loy, J. (2015)

- BR2 - 02B



**Figura 5.21.** Difractograma muestra BR2-02B

Fuente: Mariño, D. (2015)

- BR2 - 02C

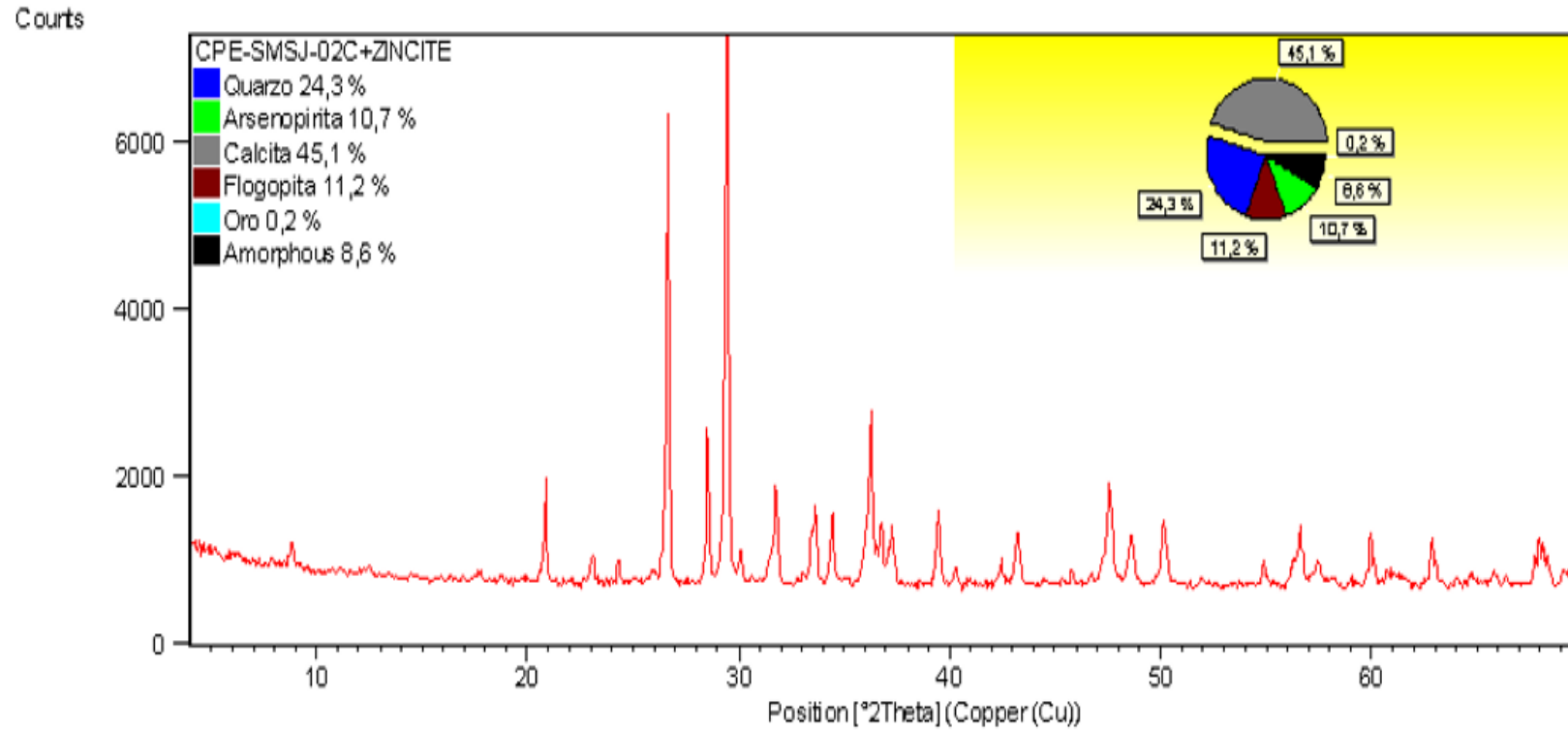


Figura 5.22. Difractograma muestra BR2-02C

Fuente: Loy, J. (2015)

- BR2 - 03

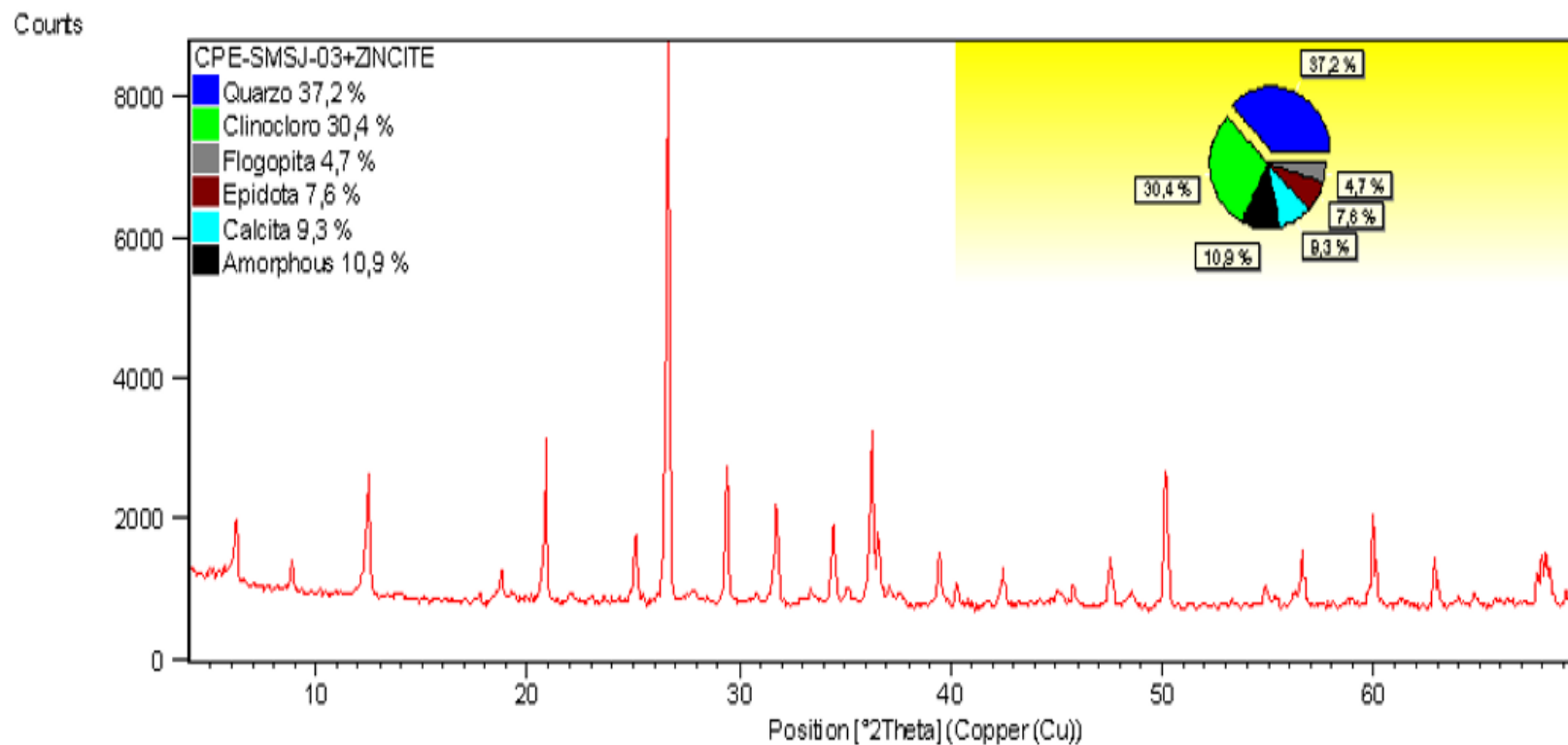


Figura 5.23. Difractograma muestra BR2-03

Fuente: Mariño, D. (2015)

- BR2 - 04

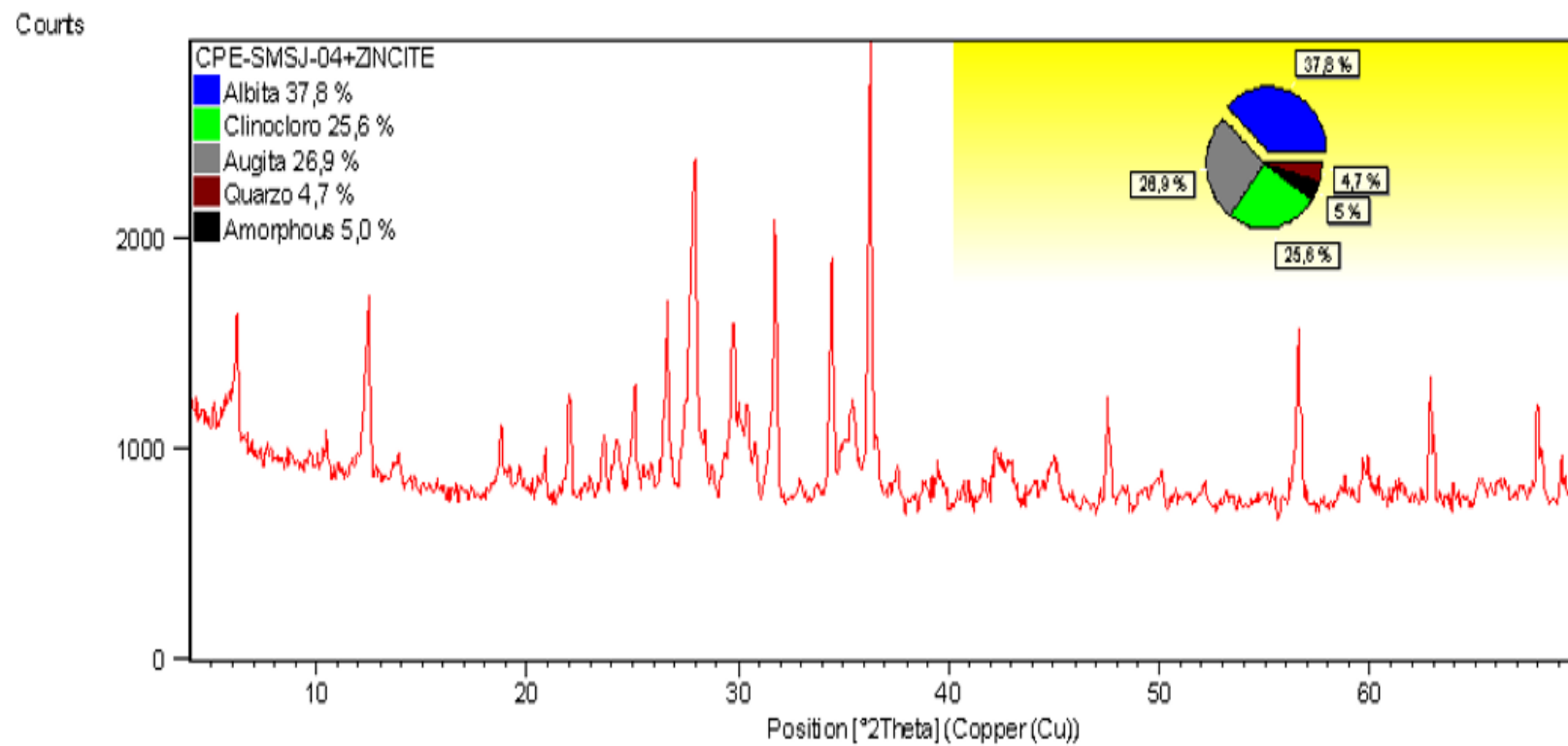
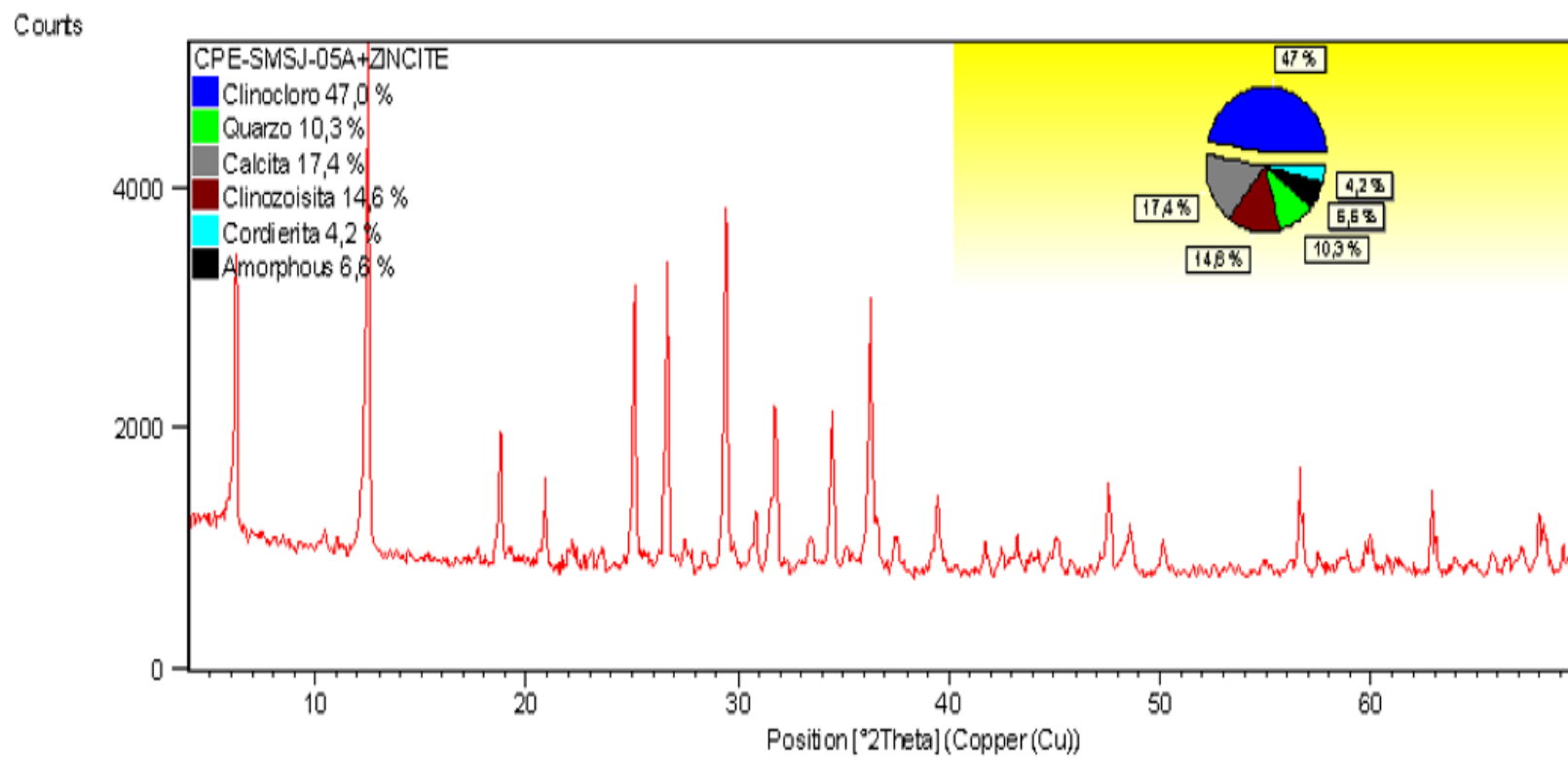


Figura 5.24. Difractograma muestra BR2-04

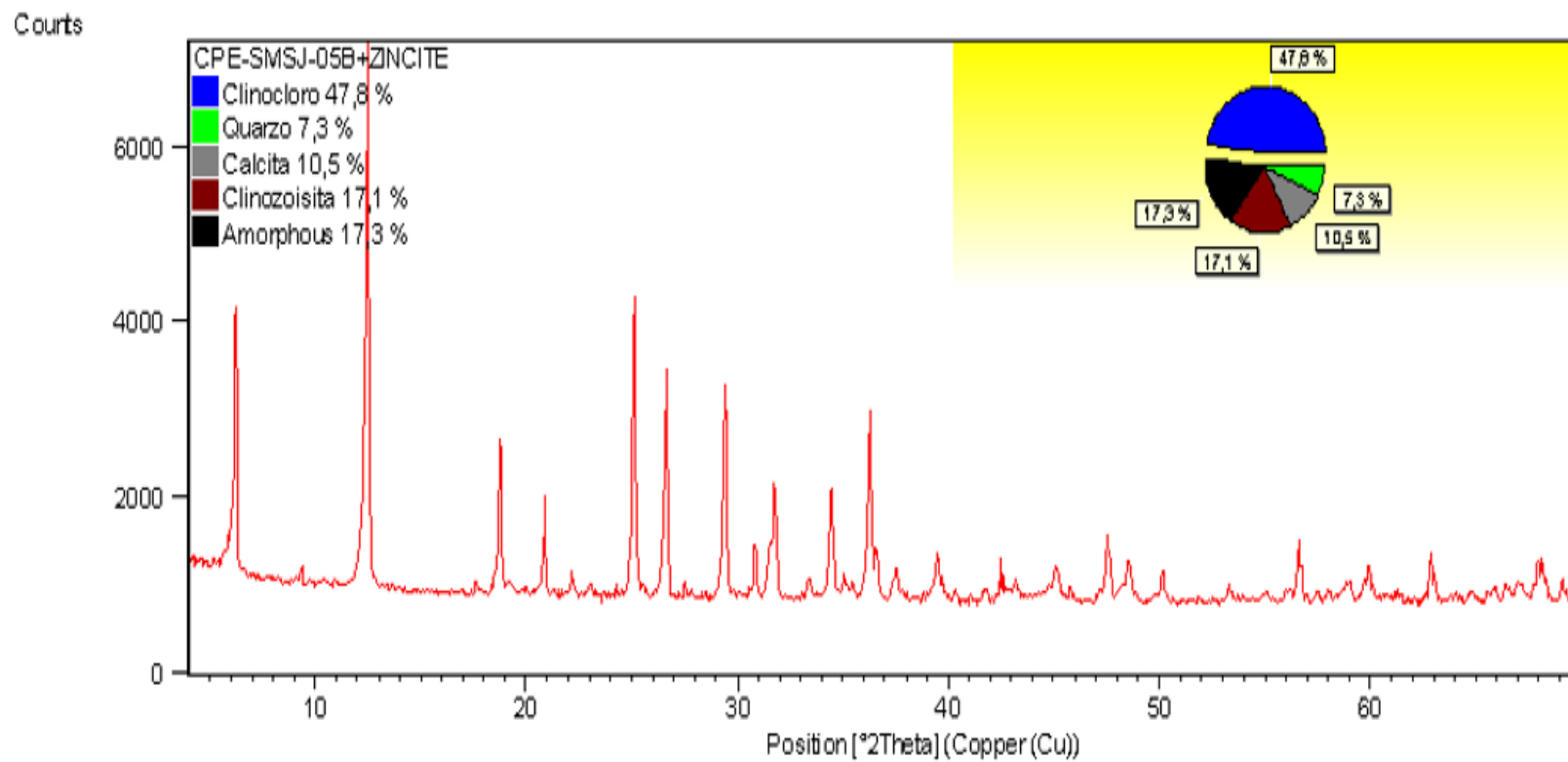
Fuente: Loy, J. (2015)

- BR2 - 05A



**Figura 5.25.** Difractograma muestra BR2-05A  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

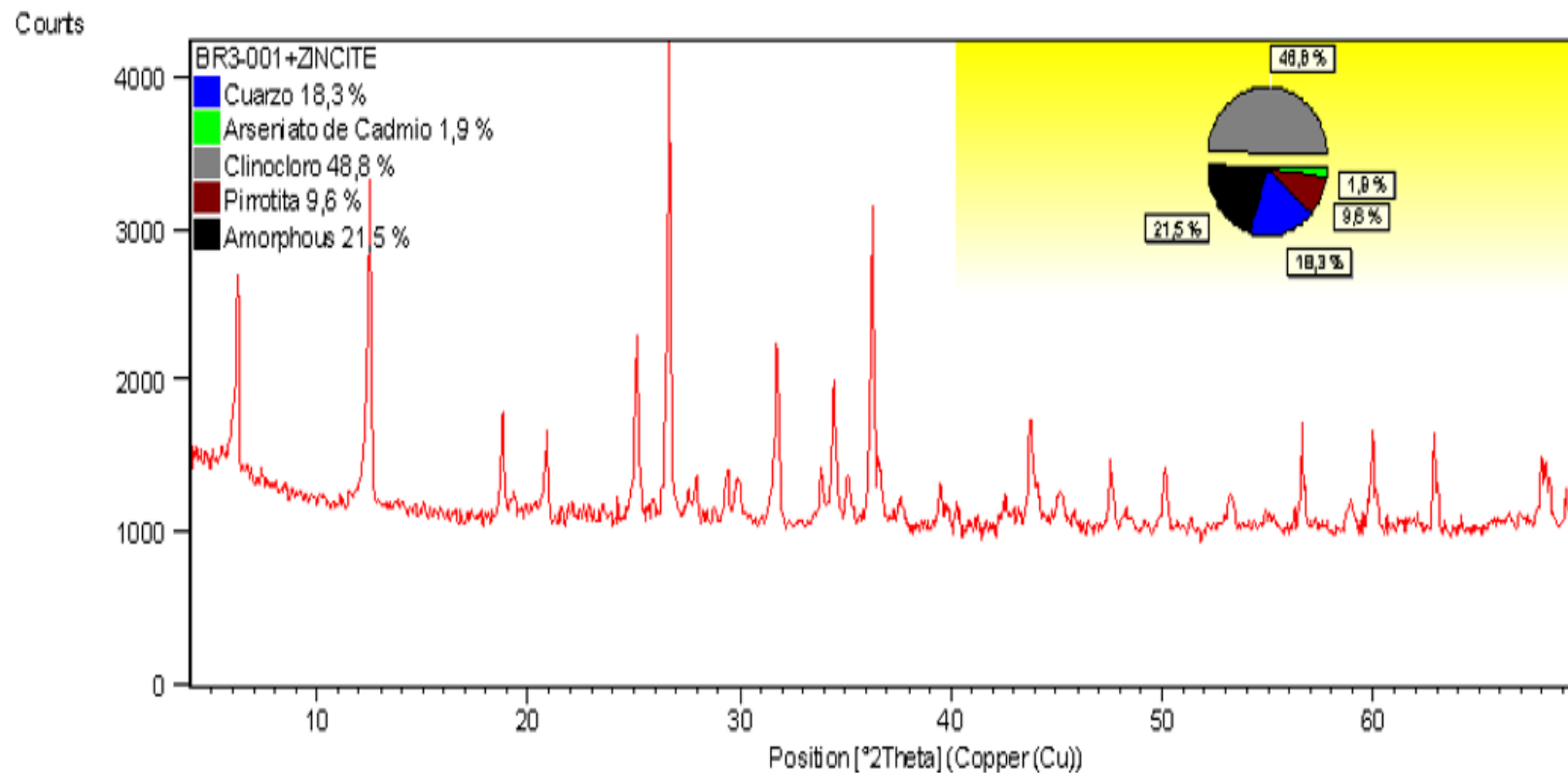
- BR2 - 05B



**Figura 5.26.** Difractograma muestra BR2-05B  
**Fuente:** Loy, J. (2015)

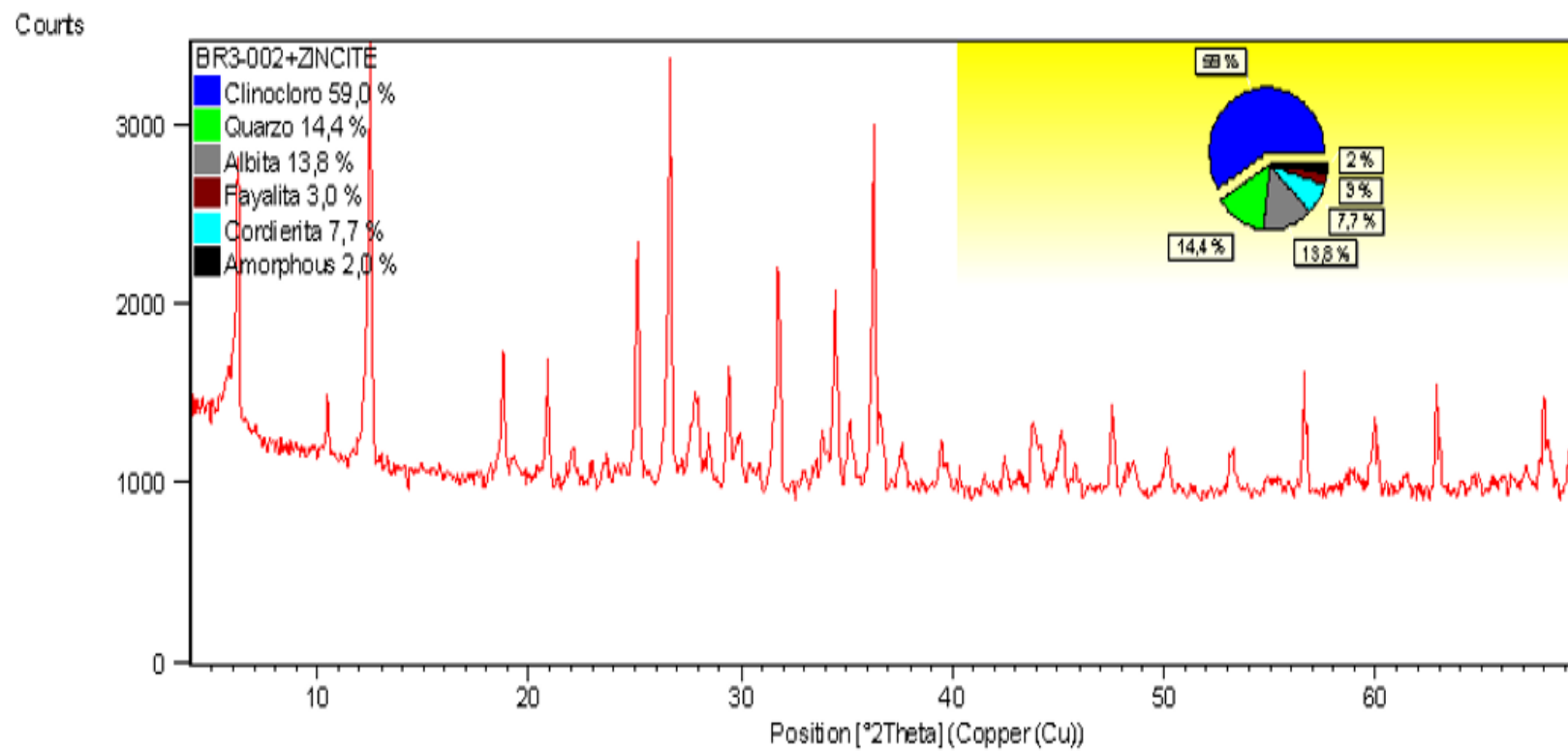


- BR3 - 001



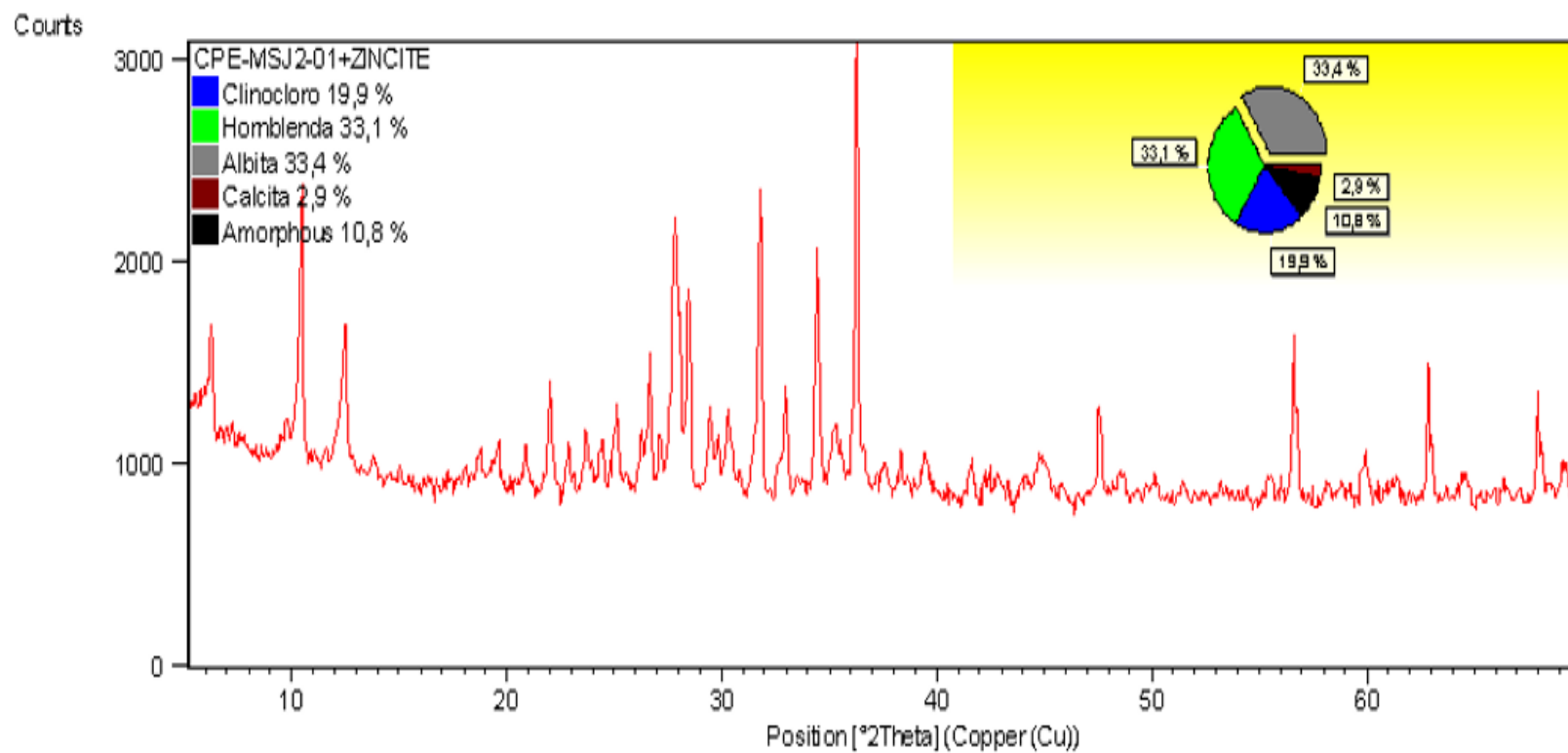
**Figura 5.27.** Difractograma muestra BR3-001  
**Fuente:** Mariño, D. (2015)

- BR3 - 002



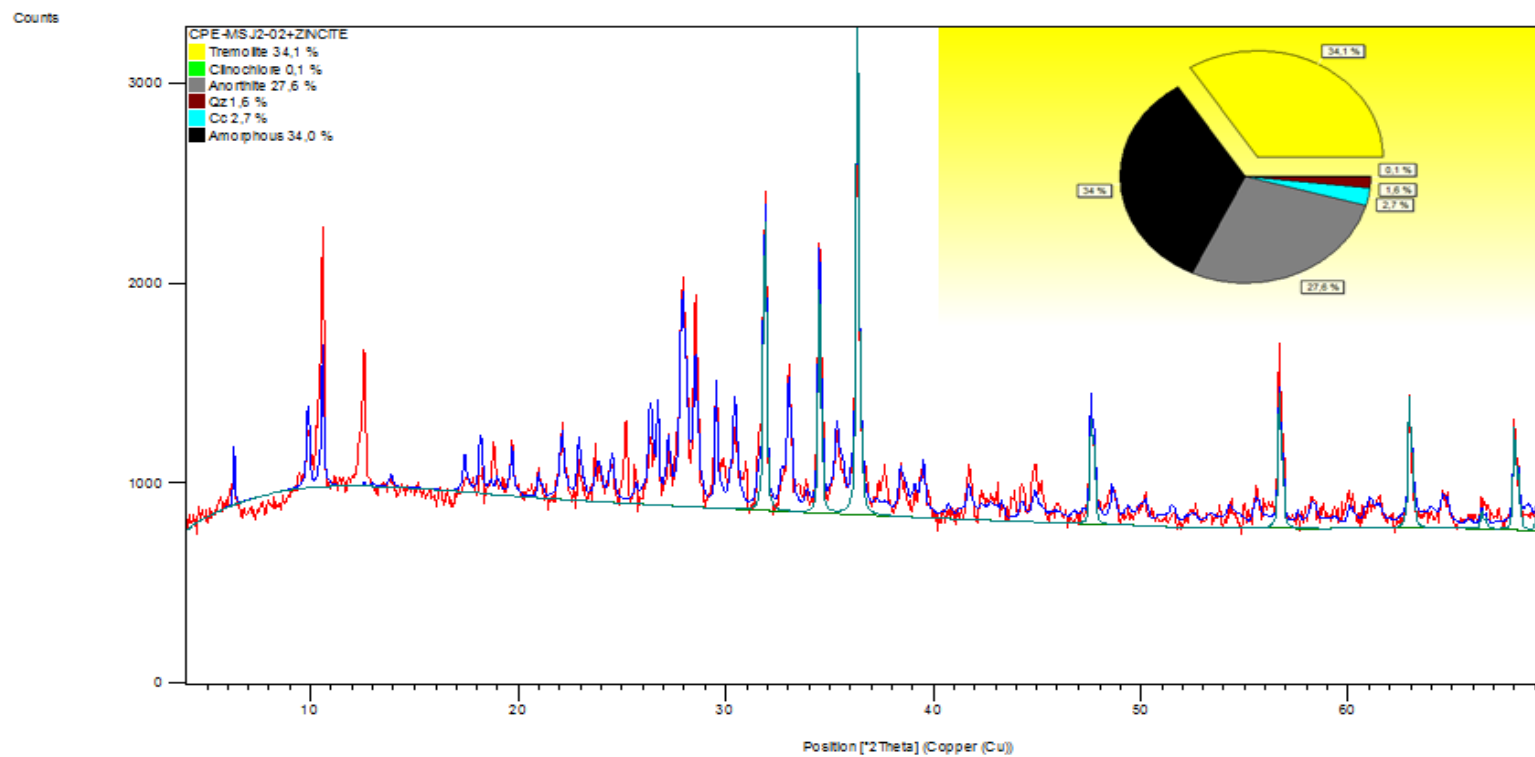
**Figura 5.28.** Difractograma muestra BR3-002  
**Fuente:** Loy, J. (2015)

- BR4 - 01



**Figura 5.29.** Difractograma muestra BR4-01  
Fuente: Mariño, D. (2015)

- BR4 - 02



**Figura 5.30.** Difractograma muestra BR4-02  
**Fuente:** Cornejo, M. (2015)

#### 5.4 Identificación de especies minerales comunes de cada mina

- Bella Rica – 1

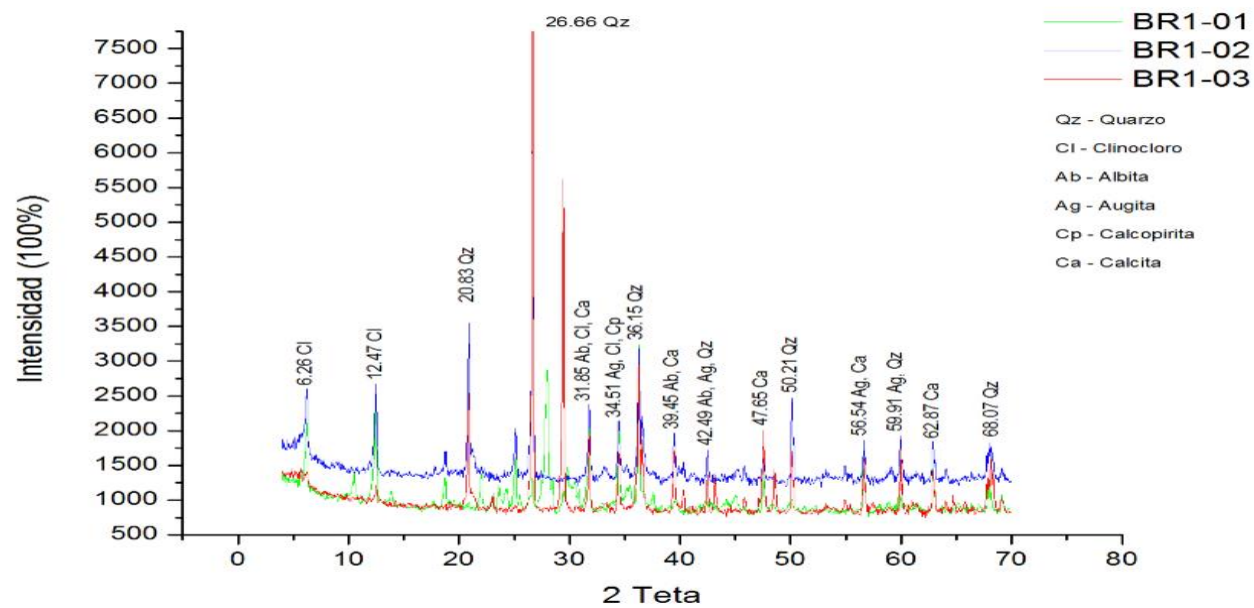


Figura 5.31. Difractogramas mina Bella Rica - 1

Fuente: Mariño, D. (2015)

- Bella Rica – 2

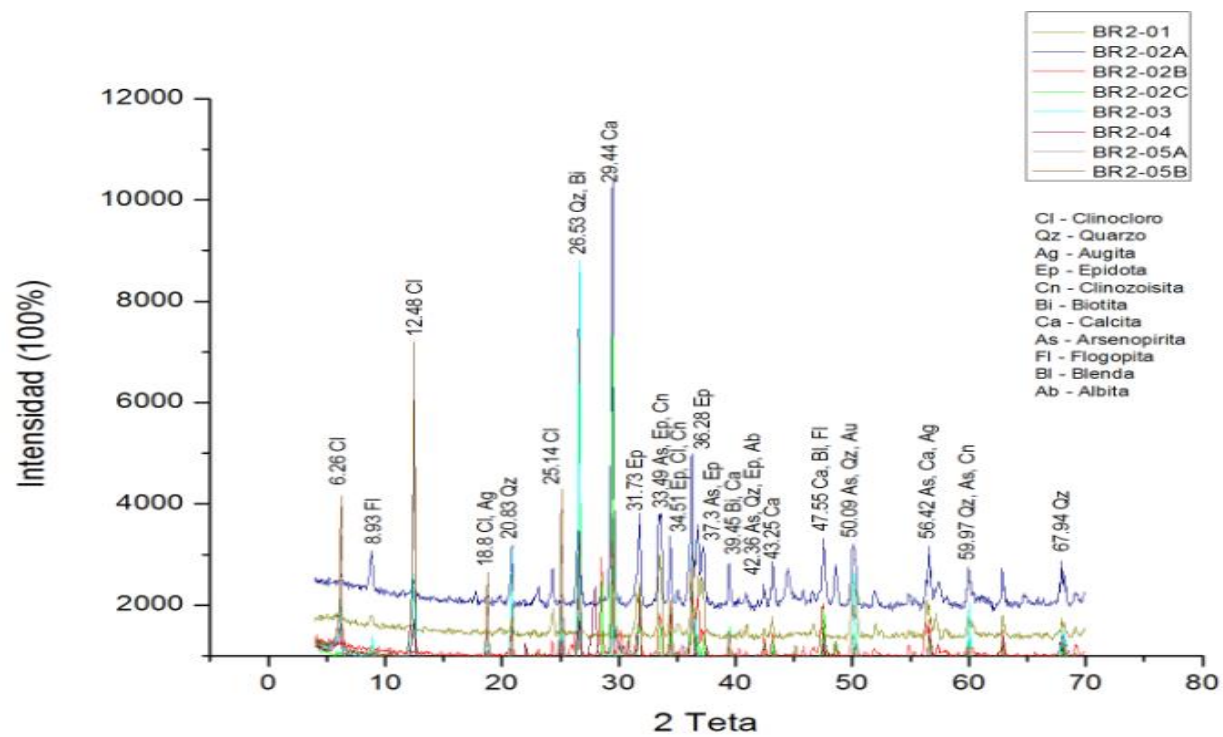


Figura 5.32. Difractogramas mina Bella Rica - 2  
Fuente: Mariño, D. (2015)

- Bella Rica – 3

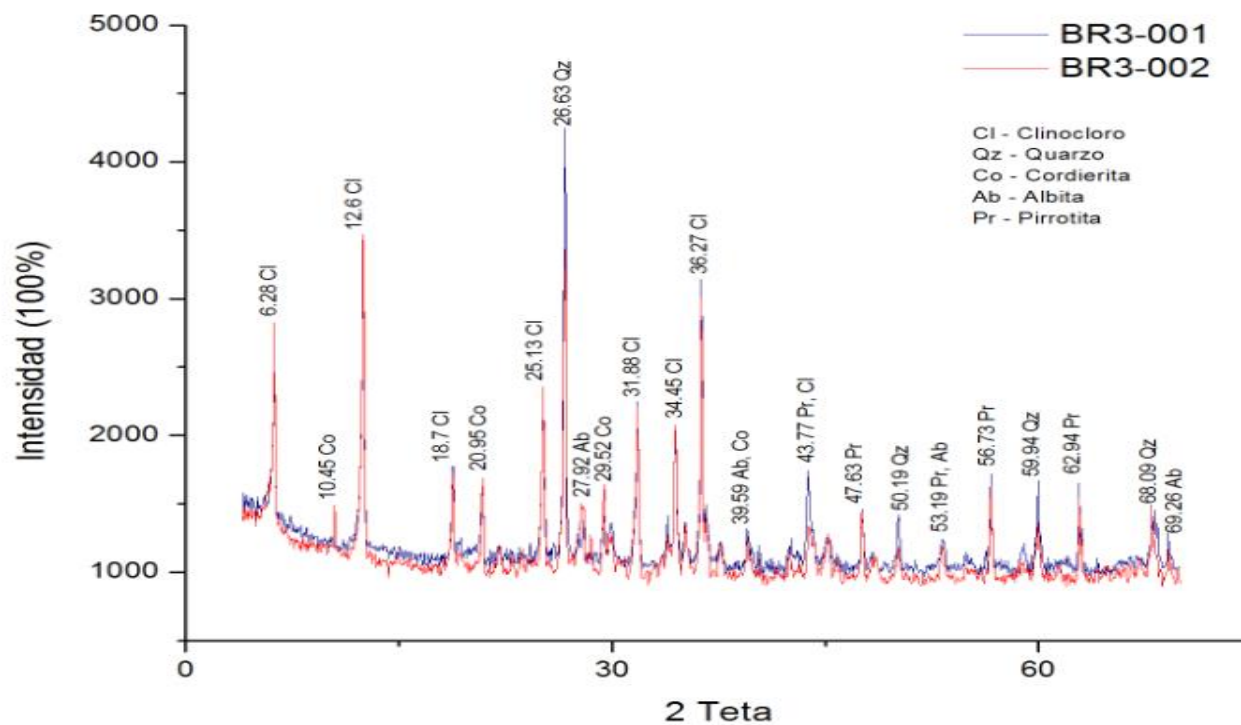


Figura 5.33. Difractogramas mina Bella Rica - 3  
Fuente: Mariño, D. (2015)

- Bella Rica – 4

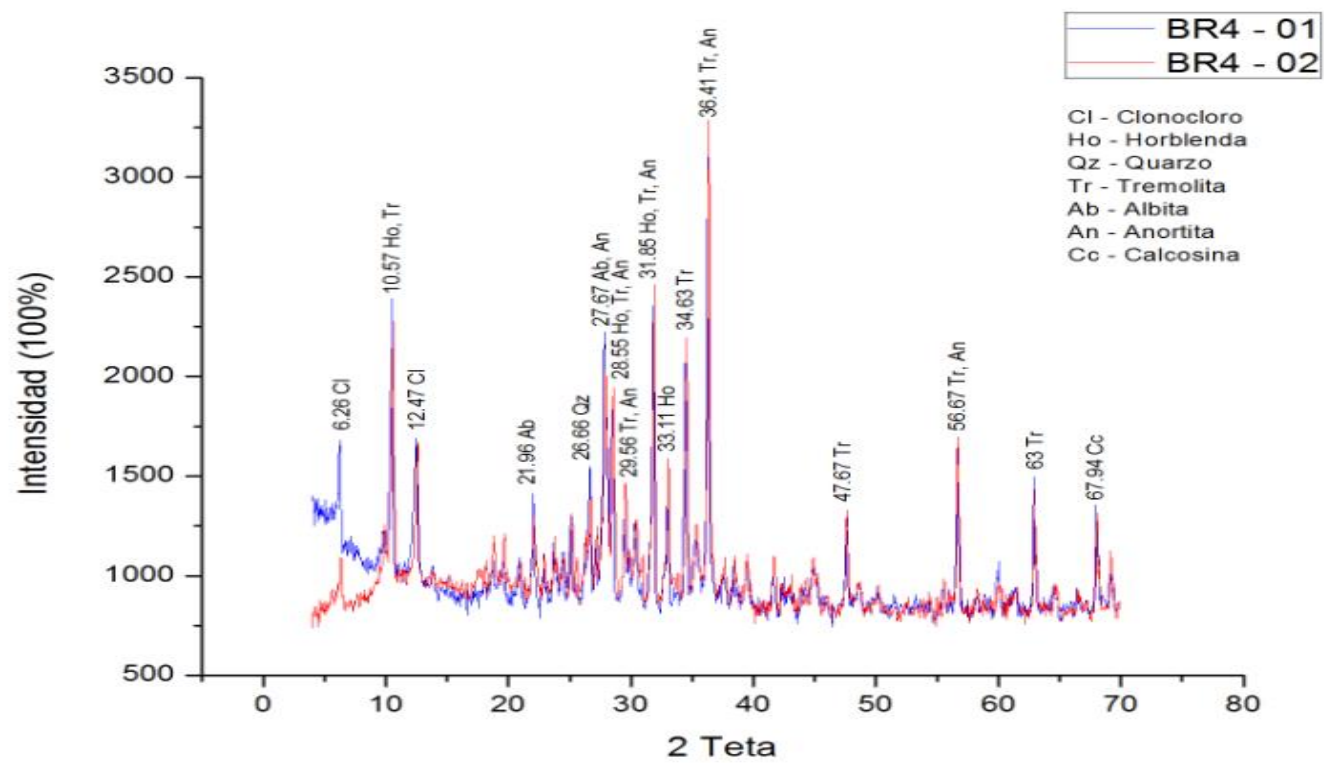


Figura 5.34. Difractogramas mina Bella Rica - 4

Fuente: Mariño, D. (2015)



## 5.5 Interpretación de Resultados

A partir de los resultados obtenidos se puede decir que se trata de una alteración silicatada Na-Ca o también llamada propilítica en donde se hace necesaria la presencia de minerales como biotita y epidota, además de otros como la albita, calcita y pirita.

El cuarzo es un mineral que aparece en gran porcentaje en todas las muestras analizadas, su característica es que es muy resistente hacia la alteración hidrotermal no es afectado a este cambio sino se llega a temperaturas superiores a 300°C. En cuanto al porcentaje de albita encontrado, la albita reemplaza a la biotita, caso similar ocurre con la calcita que reemplaza a la biotita y a la plagioclasa cálcica. La anortita pasa por un proceso similar al de la albita.

La alteración de silicatos Na-Ca es la fase principal de la mineralización en stockwork, este proceso tiene relación directa con la presencia de sulfuros encontrados como son: pirita, calcopirita y pirrotita.

El enriquecimiento de oro está muy relacionado con las vetillas del stockwork y frecuentemente asociados con pirrita+calcopirita, estos últimos minerales conocidos como refractarios, los cuales tienen la propiedad de encapsular el oro en sus redes cristalinas, haciendo imposible la obtención del mineral por vías gravimétricas.

El clinocloro es el mineral más frecuente encontrado en todas las muestras, resulta de la alteración hidrotermal de la hornblenda y la biotita y aparece asociado con la albita y calcita. La presencia de augita es por la asociación mineral con la albita.

La biotita a pesar de ser un mineral que durante el proceso de propilitización ha sido reemplazado, se puede observar que existen pequeñas cantidades de éste, debido a que los fluidos hidrotermales no alteraron en su totalidad a este mineral.

La actinolita y la tremolita reemplazan a la biotita y hornblenda, pero la hornblenda también se asocia con la flogopita por lo que también es alterada pero no en su totalidad.

La epidota es un mineral típico de alteración hidrotermal, viene asociado con cuarzo y carbonatos, el cual resulta como producto del

reemplazo de la plagioclasa cálcica. Proceso similar ocurre con la clinozoisita.

También se encontraron minerales en pequeñas cantidades como: cordierita, calcosina, fayalita, blenda y galena, que vinieron contenidos dentro del fluido hidrotermal al momento de ser depositados.

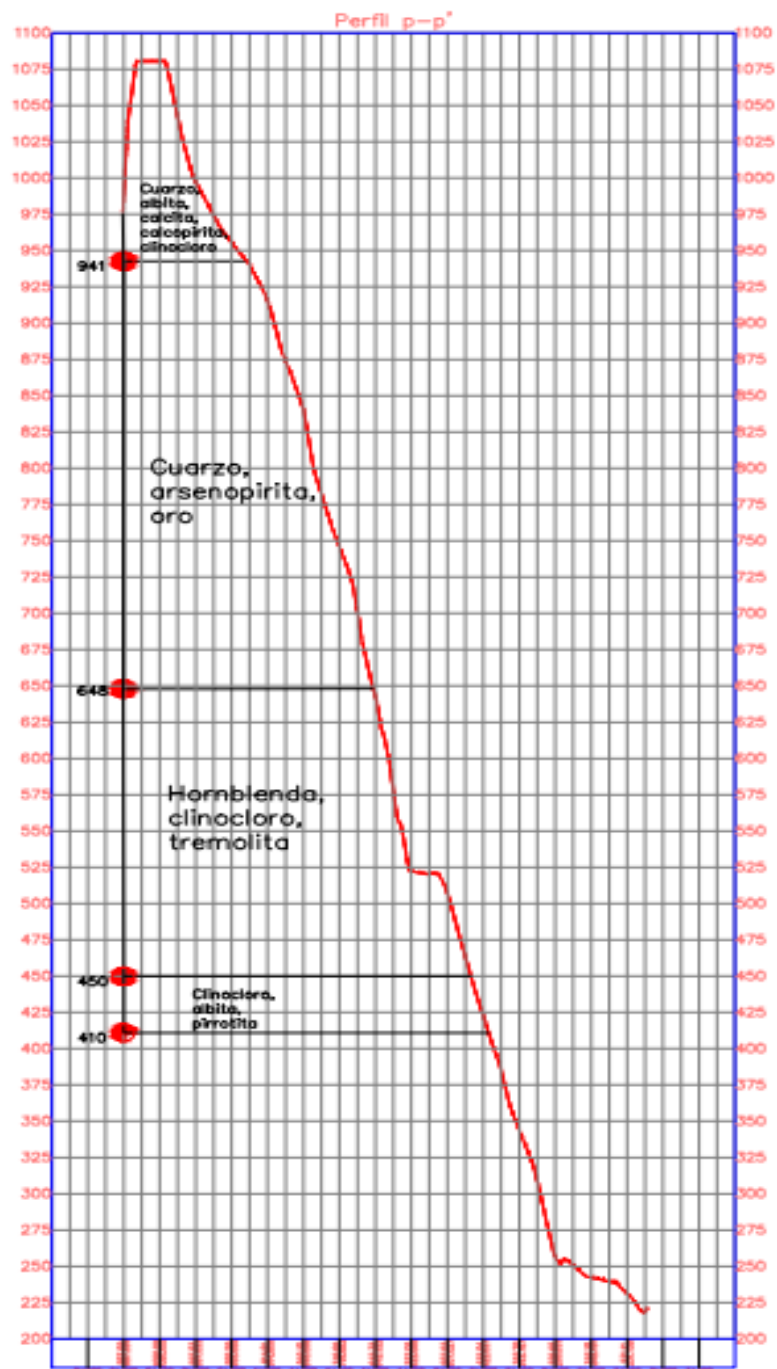


Figura 5.35. Perfil de representación de minerales presentes  
Fuente: Mariño, D. (2015)

# CAPITULO 6

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

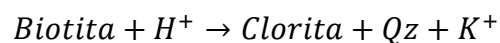
- En la primera labor analizada, la cual se encuentra a 941 m.s.n.m., se puede notar mediante la cuantificación de las muestras que el mineral predominante es el cuarzo con un 42.4% y 47.3% en la segunda y tercera muestra respectivamente, en la primera muestra el mineral predominante es la albita con 42.9%, la calcita, calcopirita y clinocloro son otros de los minerales presentes en gran cantidad en las muestras.
- La segunda labor analizada se encuentra a 648 m.s.n.m., mediante la cuantificación de muestras se verifica que el cuarzo sigue siendo el mineral predominante, sin embargo en estas muestras existen gran presencia de arsenopirita un sulfuro que no es común dentro de la alteración propilítica

pero su presencia no es extraña ya que su composición química (AsFeS), nos indica que tiene gran similitud con la pirrotita (FeS). En esta labor se encontró oro, el cuál debió haber estar contenido en el fluido hidrotermal que al momento de su depositación se asoció con los sulfuros presentes.

- La tercera labor analizada se encuentra a 410 m.s.n.m., el mineral predominante es el clinocloro con un 48.8% y 59% respectivamente, aquí se comprueba que en este sector la alteración propilítica se dio en mayor magnitud , también se encuentran los minerales típicos de este tipo de alteración como la albita que viene asociado con el clinocloro y la pirrotita que intervienen en la fase principal de mineralización de stockwork.
- La cuarta labor analizada se encuentra a 450 m.s.n.m., en la primera muestra se encuentra hornblenda y clinocloro, se verifica que la alteración propilítica no se realizó en su totalidad, además de eso la hornblenda se encuentra en mayor porcentaje que el clinocloro que viene asociado con la albita; así mismo en la segunda muestra la presencia de la tremolita en reemplazo de la hornblenda demuestra que en ese sector la alteración fue más eficaz.

- Según las muestras analizadas, las cuales eran rocas encajantes en la vecindad de una ocurrencia metasomática dada por la intrusión de un fluido hidrotermal en zonas preferentes, se ha determinado la presencia dominante del mineral Clinocloro en una proporción promedio del 37.5%; siendo sin duda el indicador principal de las alteraciones ocurrentes en el predio extractivo Bella Rica.
- El Clinocloro es la variedad más común que existe de la Clorita, este es un filosilicato constituido por un Aluminosilicato de magnesio, hierro y aluminio; típico de alteraciones de piroxenos, anfíboles, biotita y granates, los cuales aparecen normalmente en rocas básicas, en este caso, las andesitas de Bella Rica; se asocia además a la formación de filones hidrotermales de baja temperatura siendo concordante con la zonación de este depósito dándole la característica de epitermal, por lo tanto, la alteración que se evidencia en este sector por la intrusión de los fluidos es conocida como del tipo propilítica, la cual reúne estos minerales, en mayor proporción Clinocloro, siguiéndole Epidota, y/o Calcita y Plagioclasas (Albita y Anortita).
- La génesis del depósito filoniano formado en Bella Rica ha generado una alteración del tipo propilítica, siendo el evento

más común la cloritización de la Biotita existente desde la formación de la roca encajante, es decir, el fluido hidrotermal ha atravesado la roca encajante aportando iones  $H^+$ , esto debido a las características acídicas del fluido generando un intercambio de iones e interactuando con los minerales existentes en la roca, en este caso, el de interés: Biotita; generando de esta manera, la conocida “Cloritización de la Biotita” que corresponde a la formación del clinocloro a partir de la biotita, como se muestra a continuación:



- El Cuarzo cuantificado por el análisis en DRX y en el petrográfico, puede ser producto de la cloritización de la biotita, ya que presenta también concentraciones considerables en las muestras; tal como ha sido la aportación de iones  $H^+$  a la roca, también pudieron ser añadidos a la composición de los nuevos minerales formados átomos de  $H_2O$ , los cuales tienen participación en la formación de amorfos;  $CO_2$ , el cual participa en la formación de carbonatos cálcicos y finalmente aporte del ion  $S^{2-}$ , responsable de la formación de sulfuros como pirita y arsenopirita, además de las propias lixiviaciones de roca que libera  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$  y  $K^+$ , formadores de feldespatos como Albita, anortita, etc.



## 6.2 Recomendaciones

- Para un análisis más exhaustivo de las alteraciones mineralógicas en el cerro de Bella Rica, se deben analizar más labores en ese sector, las labores analizadas en este trabajo fueron gestionadas por el tutor de este proyecto a base de sus contactos personales.
- Las labores muestreadas en este trabajo fueron solo de la galería principal de cada una de ellas, para un estudio más completo se debe muestrear toda la labor.
- La cuantificación de minerales de cada muestra utilizando Difracción de rayos X ayudó a llegar a una conclusión en el estudio, pero resultaría beneficioso la adición de otras tecnologías de análisis.
- Existe la ocurrencia de sulfuros como arsenopirita y pirita, los cuales confinan al oro en sus redes cristalinas, por lo que debe realizarse un análisis económico de la recuperación de estas rocas encajantes por medios oxidantes para la obtención del metal de interés, ya que además de ser aprovechado el filón mineralizado, puede ser beneficioso el aprovechamiento de la roca encajante en la vecindad utilizando las técnicas adecuadas.

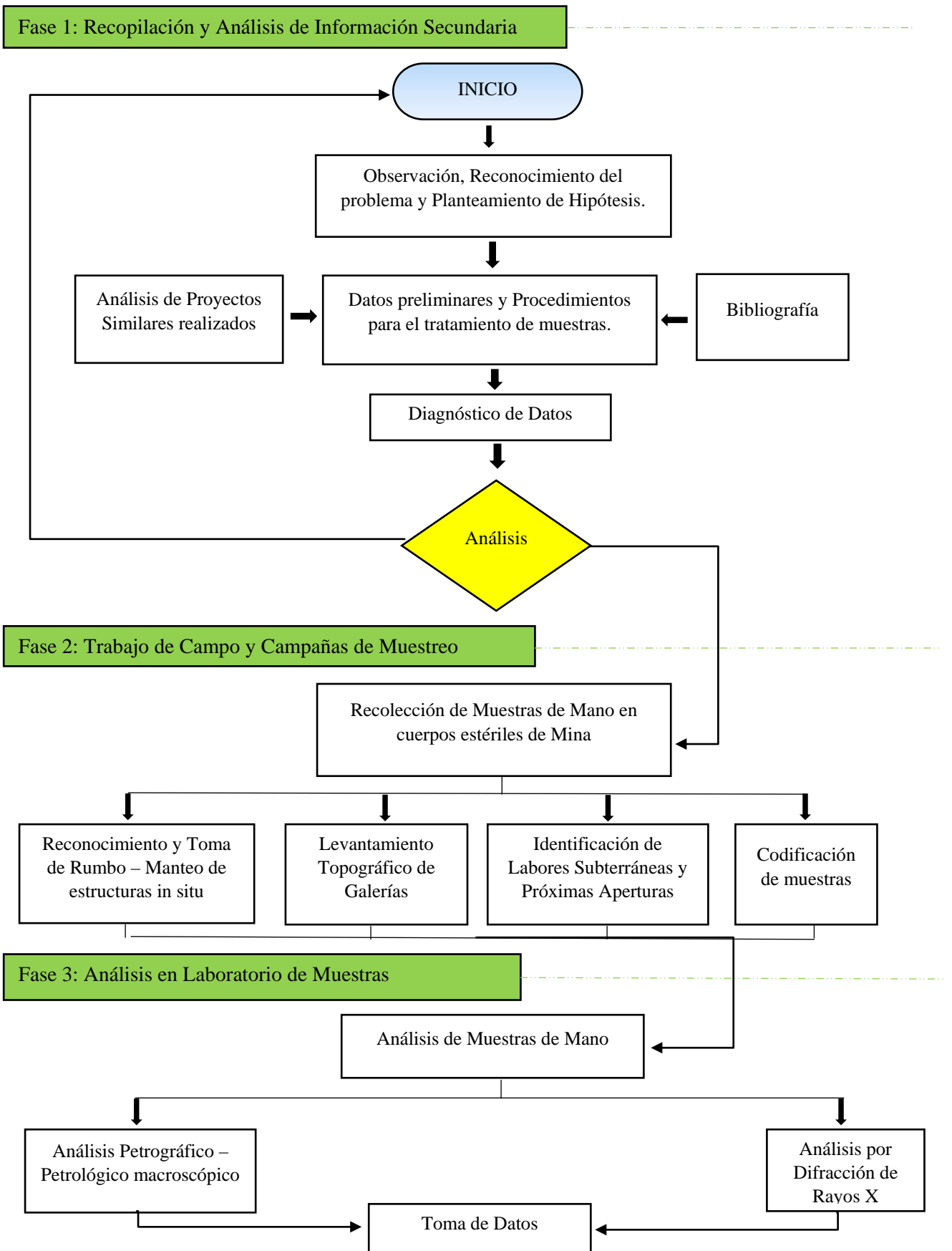
- Para un estudio más completo de asociaciones mineralógicas y minerales amorfos presentes, el análisis por láminas delgadas nos ayuda a llegar a una conclusión acertada.

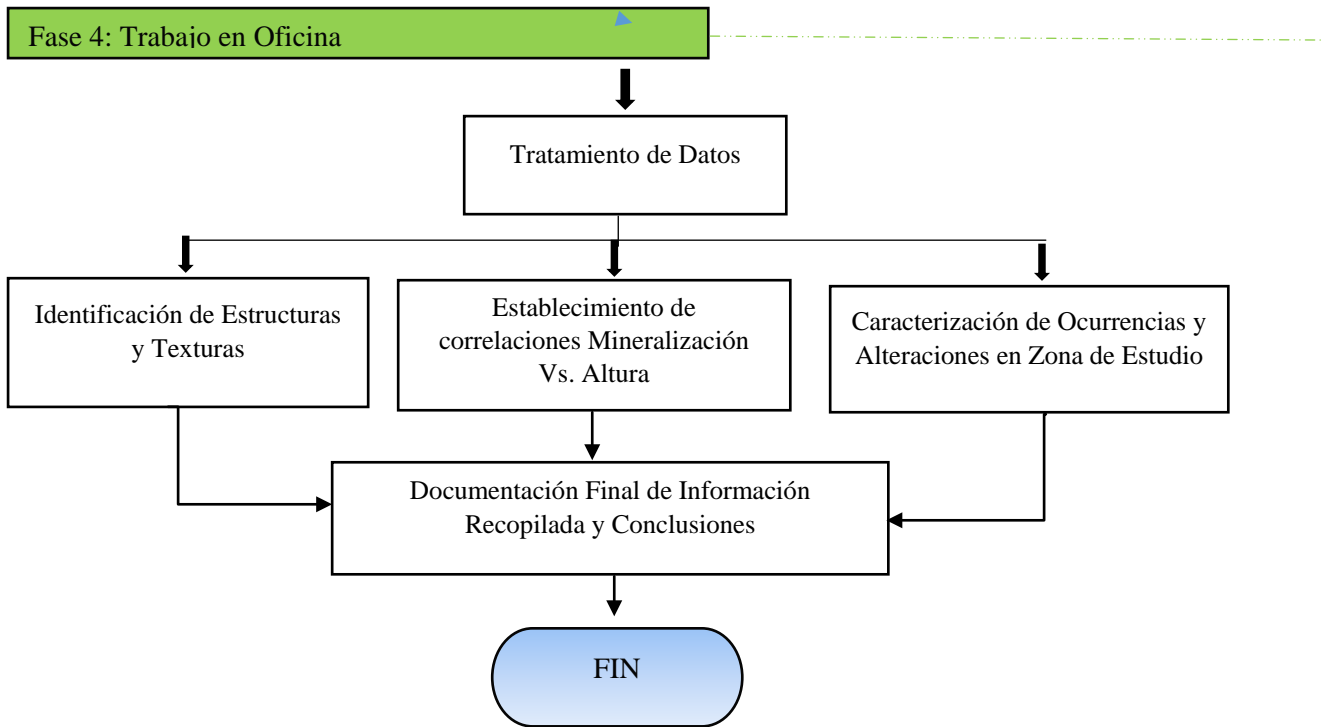
# **ANEXOS**

**ANEXO I. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

**ANEXO II. FICHAS DE MINERALES**

# ANEXO I. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN





## ANEXO II. FICHAS DE MINERALES

### Name and formula

Reference code: 00-007-0076

Mineral name: Clinoclore, ferroan  
PDF index name: Magnesium Iron Aluminum Silicate Hydroxide

Empirical formula:  $\text{Al}_{2.40}\text{Fe}_{1.70}\text{H}_8\text{Mg}_{2.80}\text{O}_{18}\text{Si}_{2.80}$   
Chemical formula:  $(\text{Mg}_{2.8}\text{Fe}_{1.7}\text{Al}_{1.2})(\text{Si}_{2.8}\text{Al}_{1.2})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$

### Crystallographic parameters

Crystal system: Monoclinic  
Space group: C2/m  
Space group number: 12

a (Å): 5,3600  
b (Å): 9,2830  
c (Å): 14,0440  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 97,2500  
Gamma (°): 90,0000

Volume of cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 693,20  
Z: 2,00

RIR: -

### Status, subfiles and quality

Status: Marked as deleted by ICDD  
Subfiles: Inorganic  
Mineral  
Quality: Doubtful (O)

### Comments

Deleted by: Deleted by 29-701.

### References

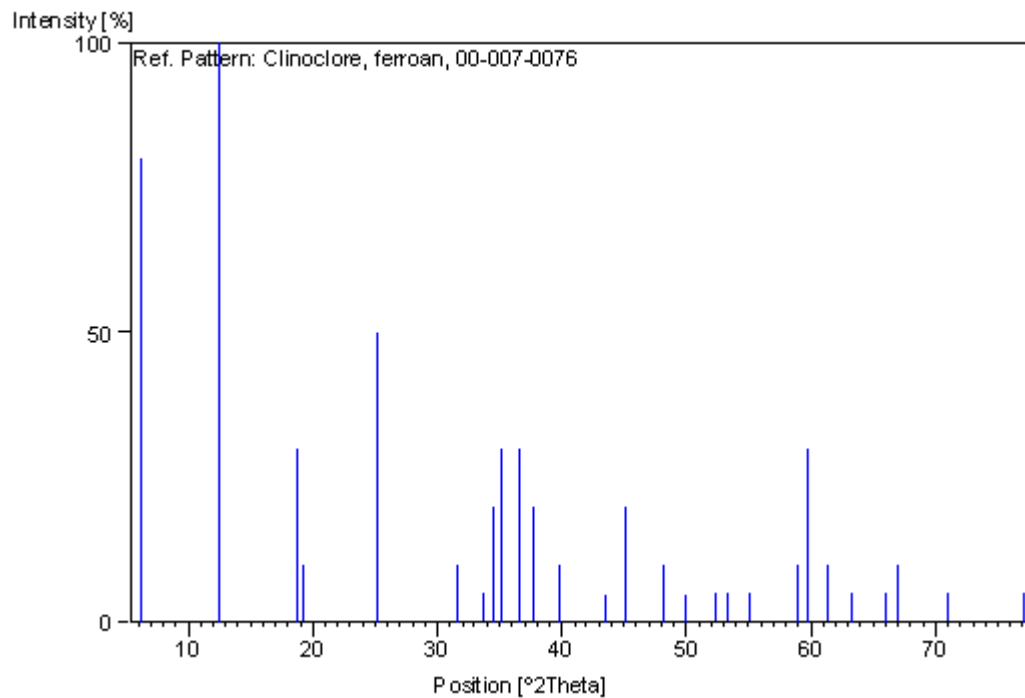
Reference on old PDF card: *For original reference see PDF card set prior to 1980.*

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	14,10000	6,263	80,0
2	0	0	2	7,07000	12,510	100,0
3	0	0	3	4,72400	18,769	30,0

4	1	1	0	4,62000	19,196	10,0
5	0	0	4	3,53700	25,158	50,0
6				2,82700	31,624	10,0
7	2	0	0	2,66400	33,614	5,0
8	1	3	1	2,59900	34,481	20,0
9	2	0	1	2,55600	35,080	30,0
10	1	3	2	2,45000	36,650	30,0
11	0	2	5	2,38900	37,621	20,0
12	-2	2	2	2,26500	39,765	10,0
13	0	2	6	2,07700	43,539	5,0
14	2	0	4	2,00900	45,092	20,0
15	-2	2	5	1,88800	48,158	10,0
16	0	2	7	1,82600	49,903	5,0
17	2	4	0	1,74900	52,262	5,0
18	-1	5	2	1,71600	53,345	5,0
19	2	4	2	1,66500	55,116	5,0
20	-3	1	5	1,56600	58,930	10,0
21	0	6	0	1,54700	59,726	30,0
22	-1	5	5	1,51200	61,255	10,0
23	-2	2	8	1,47000	63,204	5,0
24	3	3	3	1,41600	65,912	5,0
25	0	0	10	1,39500	67,034	10,0
26	-2	6	2	1,32800	70,907	5,0
27	-2	6	5	1,23600	77,103	5,0

## Stick Pattern



## **Name and formula**

Reference code: 00-005-0490

Mineral name: Quartz, low  
PDF index name: Silicon Oxide

Empirical formula: O<sub>2</sub>Si  
Chemical formula: SiO<sub>2</sub>

## **Crystallographic parameters**

Crystal system: Hexagonal  
Space group: P3121  
Space group number: 152

a (Å): 4,9130  
b (Å): 4,9130  
c (Å): 5,4050  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 120,0000

Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 112,98  
Z: 3,00

RIR: 3,30

## **Status, subfiles and quality**

Status: Marked as deleted by ICDD  
Edited Pattern

Subfiles: Inorganic  
Mineral  
Alloy, metal or intermetallic  
Forensic  
NBS pattern

Quality: Star (S)

## **Comments**

Deleted by: Deleted by 33-1161.  
Additional pattern: To replace 1-649.

## **References**

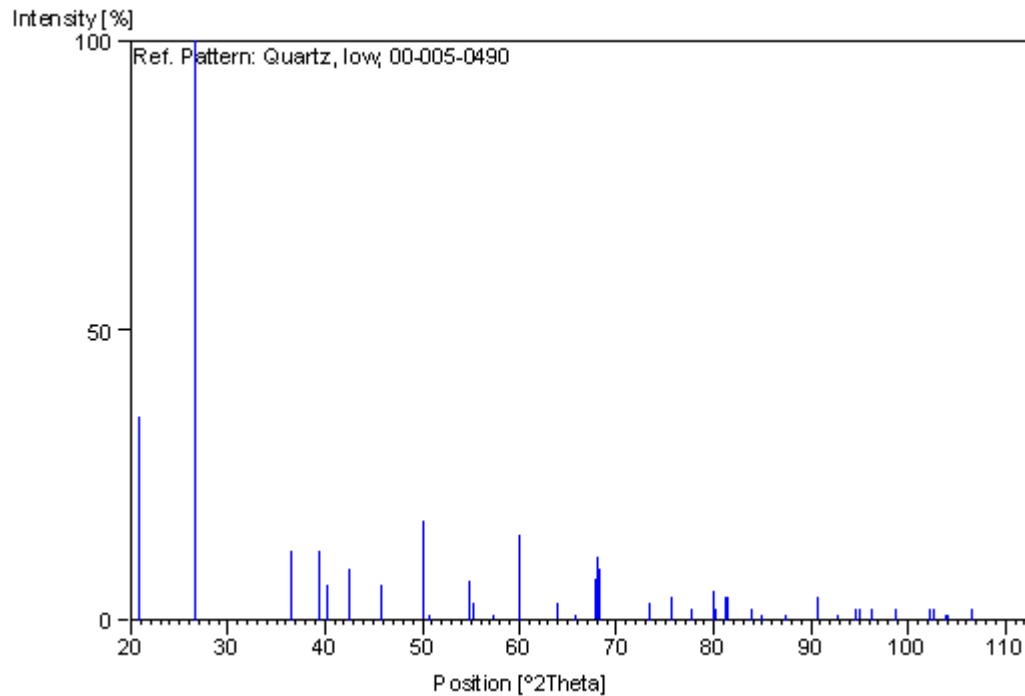
Reference on old PDF card: *For original reference see PDF card set prior to 1980.*



## **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	4,26000	20,835	35,0
2	1	0	1	3,34300	26,644	100,0
3	1	1	0	2,45800	36,527	12,0
4	1	0	2	2,28200	39,456	12,0
5	1	1	1	2,23700	40,284	6,0
6	2	0	0	2,12800	42,444	9,0
7	2	0	1	1,98000	45,790	6,0
8	1	1	2	1,81700	50,167	17,0
9	0	0	3	1,80100	50,644	1,0
10	2	0	2	1,67200	54,865	7,0
11	1	0	3	1,65900	55,332	3,0
12	2	1	0	1,60800	57,246	1,0
13	2	1	1	1,54100	59,983	15,0
14	1	1	3	1,45300	64,030	3,0
15	3	0	0	1,41800	65,808	1,0
16	2	1	2	1,38200	67,750	7,0
17	2	0	3	1,37500	68,142	11,0
18	3	0	1	1,37200	68,311	9,0
19	1	0	4	1,28800	73,462	3,0
20	3	0	2	1,25600	75,656	4,0
21	2	2	0	1,22800	77,699	2,0
22	2	1	3	1,19970	79,894	5,0
23	2	2	1	1,19730	80,086	2,0
24	1	1	4	1,18380	81,189	4,0
25	3	1	0	1,18020	81,489	4,0
26	3	1	1	1,15300	83,839	2,0
27	2	0	4	1,14080	84,944	1,0
28	3	0	3	1,11440	87,454	1,0
29	3	1	2	1,08160	90,826	4,0
30	4	0	0	1,06360	92,811	1,0
31	1	0	5	1,04770	94,653	2,0
32	4	0	1	1,04370	95,131	2,0
33	2	1	4	1,03460	96,239	2,0
34	2	2	3	1,01490	98,751	2,0
35	1	1	5	0,98960	102,228	2,0
36	3	1	3	0,98720	102,574	2,0
37	3	0	4	0,97810	103,914	1,0
38	3	2	0	0,97620	104,199	1,0
39	3	2	1	0,96070	106,607	2,0
40	4	1	0	0,92800	112,211	1,0

## **Stick Pattern**



## **Name and formula**

Reference code: 00-022-1120

Mineral name: Pyrrhotite-4H  
PDF index name: Iron Sulfide

Empirical formula: FeS  
Chemical formula: Fe<sub>1-x</sub>S

## **Crystallographic parameters**

Crystal system: Hexagonal  
Space group: P6/mcc  
Space group number: 192

a (Å): 6,8800  
b (Å): 6,8800  
c (Å): 22,9000

Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 120,0000

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 4,58  
Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 4,58  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 938,73  
Z: 32,00

RIR: -

### **Subfiles and Quality**

Subfiles: Inorganic  
Mineral  
Alloy, metal or intermetallic  
Corrosion  
Educational pattern  
Forensic  
Quality: Indexed (I)

### **Comments**

Color: Dark yellow metallic, brown  
General comments: Monoclinic super-cell also observed.  
Measured density and color from *Dana's System of Mineralogy, 7th Ed., I 231*.  
Sample source: Specimen from Mosaboni, India.

### **References**

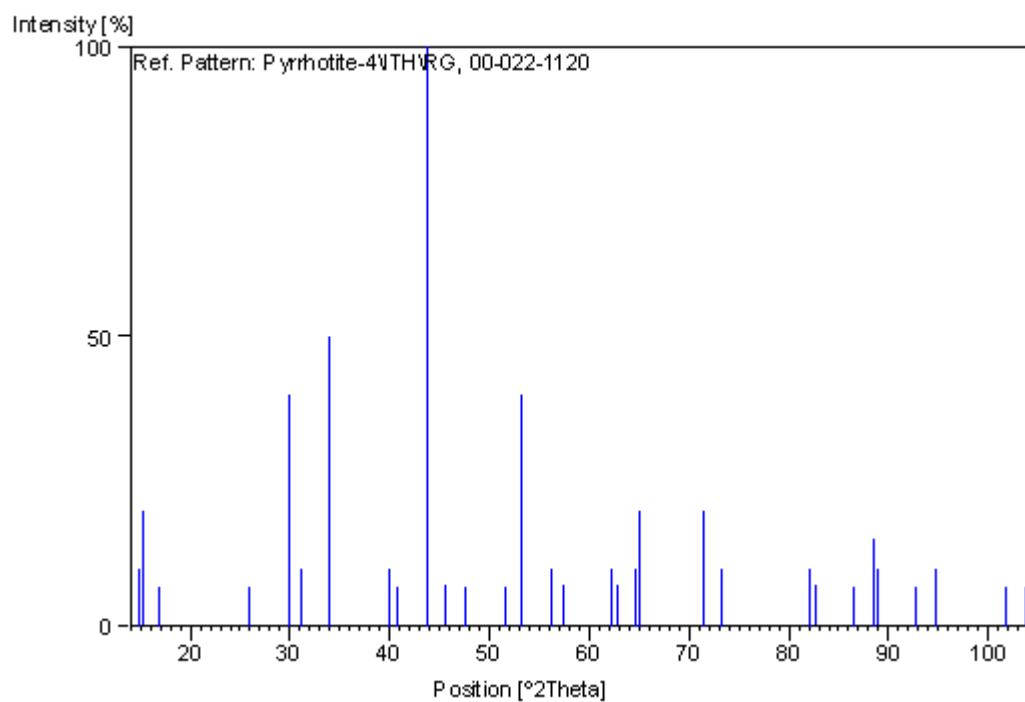
Primary reference: Mukherjee., *Acta Crystallography., Sec. B*, **25**, 675, (1969)

### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	5,94000	14,902	10,0
2	0	0	4	5,74000	15,425	20,0
3	1	0	2	5,27000	16,810	7,0
4	1	1	0	3,44000	25,879	7,0
5	2	0	0	2,98000	29,961	40,0
6	0	0	8	2,87000	31,138	10,0
7	2	0	4	2,64000	33,929	50,0
8	2	1	0	2,25500	39,948	10,0
9	2	1	2	2,20700	40,855	7,0
10	2	0	8	2,06400	43,827	100,0
11	3	0	0	1,98700	45,619	7,0
12	0	0	12	1,90900	47,596	7,0
13	2	1	8	1,76900	51,627	7,0
14	2	2	0	1,72000	53,212	40,0
15	0	0	14	1,63600	56,178	10,0
16	2	1	10	1,60600	57,324	7,0
17	4	0	0	1,49000	62,260	10,0
18	3	1	7	1,47600	62,917	7,0

19	4	0	4	1,44200	64,578	10,0
20	2	0	14	1,43300	65,033	20,0
21	4	0	8	1,32100	71,340	20,0
22	4	1	2	1,29100	73,263	10,0
23	4	0	12	1,17400	82,011	10,0
24	5	0	4	1,16700	82,610	7,0
25	4	2	1	1,12500	86,426	7,0
26	4	2	4	1,10500	88,390	15,0
27	4	0	14	1,10100	88,796	10,0
28	4	2	7	1,06500	92,653	7,0
29	4	2	8	1,04800	94,618	10,0
30	6	0	0	0,99300	101,743	7,0
31	4	3	1	0,97900	103,779	7,0

### **Stick Pattern**



### **Name and formula**

Reference code: 00-041-1480

Mineral name: Albite, calcian, ordered

PDF index name: Sodium Calcium Aluminum Silicate

Empirical formula:  $Al_{1.2}Ca_{0.2}Na_{0.8}O_8Si_{2.8}$

Chemical formula:  $(Na, Ca)Al(Si, Al)_3O_8$

## Crystallographic parameters

Crystal system:	Anorthic
Space group:	C-1
a (Å):	8,1610
b (Å):	12,8580
c (Å):	7,1120
Alpha (°):	93,6800
Beta (°):	116,4200
Gamma (°):	89,3900
Calculated density (g/cm <sup>3</sup> ):	2,64
Measured density (g/cm <sup>3</sup> ):	2,63
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	333,42
Z:	4,00
RIR:	-

## Subfiles and Quality

Subfiles:	Inorganic Mineral Common Phase Educational pattern Forensic
Quality:	Indexed (I)

## Comments

Color:	White
General comments:	D2θ (131 - 1-31) = 1.66; Δ2θ (-241 - -2-41) = 0.73.
Sample source:	Specimen from Zdanov, Czechoslovakia.
Analysis:	Chemical analysis (wt.%): SiO <sub>2</sub> 60.8, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 24.7, CaO 5.3, Na <sub>2</sub> O 8.6, K <sub>2</sub> O 0.4; ( Na <sub>0.76</sub> Ca <sub>0.19</sub> K <sub>0.05</sub> ) ( Si <sub>2.8</sub> Al <sub>1.2</sub> ) O <sub>8</sub> ·
Optical data:	A=1.527, B=1.531, Q=1.538, Sign=+, 2V=77°
Additional pattern:	To replace 9-457 and validated by calculated pattern 20-548.
Temperature:	Pattern taken at 25(1) C.

## References

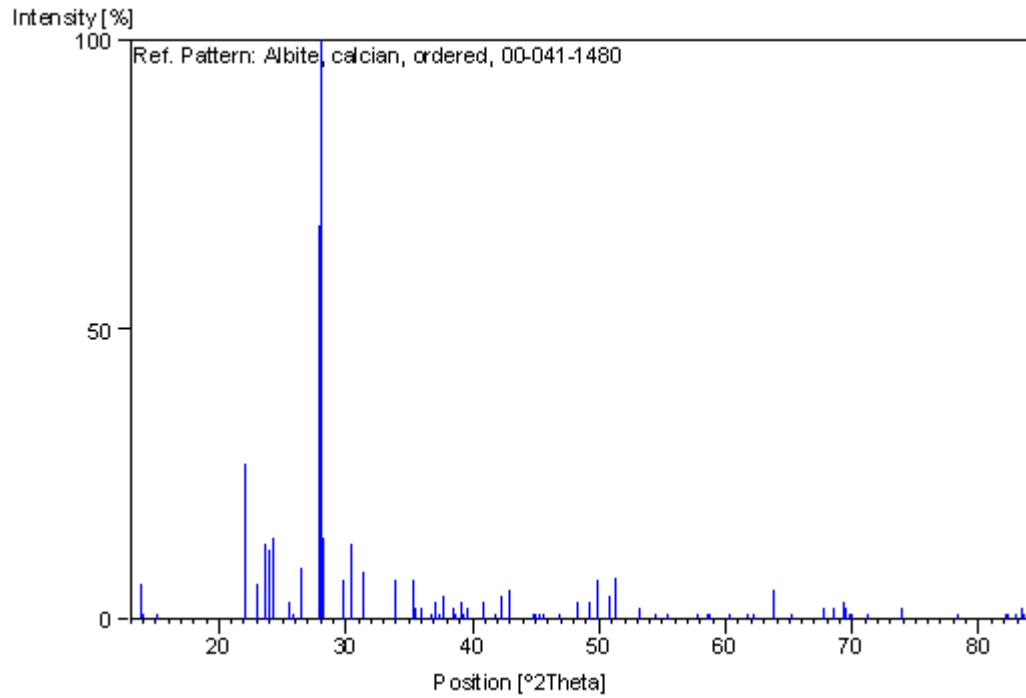
Primary reference:	Sanc, I., Polytechna, Foreign Trade Corporation, Panska, Czechoslovakia., <i>ICDD Grant-in-Aid</i> , (1990)
Structure:	Colville, A., Ribbe, P., <i>Spec. Pap. Geol. Soc. Am.</i> , <b>101</b> , 41, (1966)
Optical data:	Deer, W., Howie, R., Zussman, J., <i>Rock Forming Minerals</i> , <b>4</b> , 94, (1963)
Unit cell:	Bayliss, P., University of Calgary, Alberta, Canada., <i>Private Communication</i> , (1990)

## Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	2	0	6,36558	13,901	6,0
2	1	1	0	6,28905	14,071	1,0
3	-1	-1	1	5,86616	15,091	1,0
4	-2	0	1	4,03136	22,031	27,0
5	1	-1	1	3,87179	22,951	6,0
6	1	1	1	3,75875	23,651	13,0
7	-1	3	0	3,70624	23,991	12,0
8	2	0	0	3,65374	24,341	14,0
9	-1	3	1	3,49010	25,501	3,0
10	-2	-2	1	3,44232	25,862	1,0
11	-1	1	2	3,36936	26,432	9,0
12	-2	0	2	3,19733	27,882	68,0
13	0	0	2	3,18167	28,022	100,0
14	2	2	0	3,14865	28,322	14,0
15	1	-3	1	2,99359	29,822	7,0
16	0	-4	1	2,93496	30,432	13,0
17	1	3	1	2,84382	31,432	8,0
18	-1	3	2	2,64281	33,892	7,0
19	-2	-4	1	2,53832	35,332	7,0
20	2	-2	1	2,52380	35,542	2,0
21	-2	4	1	2,49193	36,012	2,0
22	2	2	1	2,44536	36,722	1,0
23	-1	5	0	2,43959	36,812	1,0
24	-1	-5	1	2,42496	37,042	3,0
25	-3	1	0	2,39997	37,442	1,0
26	2	4	0	2,38584	37,672	4,0
27	-1	5	1	2,33805	38,472	2,0
28	-1	-1	3	2,32757	38,652	1,0
29	-3	-3	1	2,30012	39,132	3,0
30	-3	3	1	2,28665	39,372	1,0
31	-1	1	3	2,26950	39,682	2,0
32	1	-5	1	2,20664	40,862	3,0
33	-2	2	3	2,15571	41,873	1,0
34	0	6	0	2,13383	42,323	4,0
35	1	5	1	2,10584	42,913	5,0
36	-4	0	2	2,01873	44,863	1,0
37	-4	0	1	2,01066	45,053	1,0
38	2	0	2	1,99930	45,323	1,0
39	3	-1	1	1,98685	45,623	1,0
40	-4	-2	2	1,93751	46,853	1,0
41	2	2	2	1,88012	48,373	3,0
42	-4	0	3	1,85068	49,193	3,0
43	4	0	0	1,82702	49,873	7,0
44	1	1	3	1,79673	50,773	4,0
45	-2	0	4	1,77779	51,353	7,0
46	-4	-4	2	1,72205	53,143	2,0
47	0	4	3	1,71965	53,223	1,0
48	-2	2	4	1,68596	54,373	1,0
49	2	4	2	1,65785	55,374	1,0
50	0	0	4	1,59330	57,824	1,0
51	-4	-2	4	1,57565	58,534	1,0
52	0	-2	4	1,56978	58,774	1,0
53	2	-2	3	1,53425	60,274	1,0
54	-2	-8	1	1,50055	61,774	1,0
55	3	3	2	1,49077	62,224	1,0
56	2	8	0	1,45740	63,814	5,0

57	-5	1	4	1,42868	65,254	1,0
58	1	-3	4	1,38191	67,755	2,0
59	-4	0	5	1,36948	68,454	2,0
60	-5	5	1	1,35406	69,345	3,0
61	-1	-9	2	1,35252	69,435	2,0
62	-5	-5	1	1,34558	69,845	1,0
63	-1	1	5	1,34390	69,945	1,0
64	-1	-3	5	1,32254	71,245	1,0
65	-6	0	4	1,28107	73,925	2,0
66	2	8	2	1,21935	78,356	1,0
67	-3	1	6	1,17312	82,086	1,0
68	0	-8	4	1,16949	82,396	1,0
69	0	10	2	1,16290	82,966	1,0
70	0	4	5	1,15776	83,416	2,0
71	-5	-7	4	1,15629	83,546	1,0

### Stick Pattern



## **Name and formula**

Reference code: 00-013-0294  
Mineral name: Cordierite, syn  
PDF index name: Magnesium Aluminum Silicate  
Empirical formula:  $\text{Al}_4\text{Mg}_2\text{O}_{18}\text{Si}_5$   
Chemical formula:  $\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$

## **Crystallographic parameters**

Crystal system: Orthorhombic  
Space group: Cccm  
Space group number: 66  
a (Å): 9,7210  
b (Å): 17,0620  
c (Å): 9,3390  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 90,0000  
Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 2,51  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 1548,96  
Z: 4,00  
RIR: -

## **Subfiles and Quality**

Subfiles: Inorganic  
Mineral  
Common Phase  
Educational pattern  
Forensic  
NBS pattern  
Quality: Indexed (I)

## **Comments**

Color: Colorless  
General comments: Measured density lies between 2.53 and 2.78.  
An hexagonal form, indialite, exists.  
Sample preparation: Prepared at the Geophysical Laboratory, Washington, D.C., USA, from stoichiometric mixtures of the oxides. Heated at 1000 C for 3 days, 1180 C for 3 days, 1380 C for 7 days.  
Analysis: Spectrographic analysis: 0.01-0.1% Ca, Fe, Na, and Pt; 0.001-0.01% Ba, Cr, Cu, Ni, and Ag.  
Optical data: A=1.540(18), B=1.549(25), Q=1.552(25), Sign=+, 2V=65-104°



Temperature:

Pattern made at 25 C.

## References

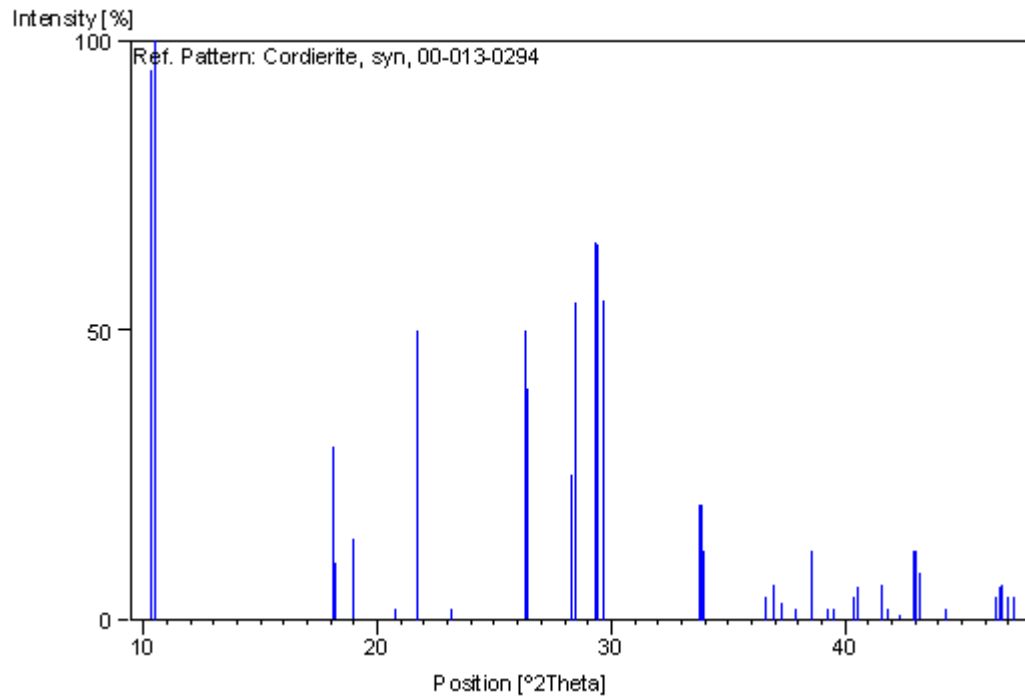
Primary reference:

*Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr. 25, 1, 28, (1961)*

## Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	2	0	8,52000	10,374	95,0
2	1	1	0	8,45000	10,461	100,0
3	1	3	0	4,91000	18,052	30,0
4	2	0	0	4,86000	18,239	10,0
5	0	0	2	4,67000	18,988	14,0
6	0	4	0	4,27000	20,786	2,0
7	1	1	2	4,09000	21,712	50,0
8	2	2	1	3,84000	23,144	2,0
9	1	3	2	3,38100	26,339	50,0
10	2	0	2	3,36900	26,434	40,0
11	0	4	2	3,14900	28,318	25,0
12	2	2	2	3,13200	28,475	55,0
13	1	5	1	3,03900	29,366	65,0
14	2	4	1	3,03500	29,406	65,0
15	3	1	1	3,01200	29,635	55,0
16	1	5	2	2,65000	33,797	20,0
17	2	4	2	2,64400	33,876	20,0
18	3	1	2	2,63700	33,969	12,0
19	2	6	0	2,45400	36,588	4,0
20	4	0	0	2,43000	36,963	6,0
21	3	3	2	2,40900	37,297	3,0
22	2	6	1	2,37300	37,884	2,0
23	0	0	4	2,33400	38,542	12,0
24	1	7	1	2,29300	39,259	2,0
25	3	5	1	2,27800	39,528	2,0
26	2	4	3	2,23400	40,340	4,0
27	3	1	3	2,22500	40,510	6,0
28	2	6	2	2,17300	41,524	6,0
29	4	0	2	2,15600	41,867	2,0
30	0	8	0	2,13200	42,361	1,0
31	1	3	4	2,10700	42,888	12,0
32	2	0	4	2,10200	42,995	12,0
33	4	2	2	2,09100	43,233	8,0
34	2	2	4	2,04400	44,279	2,0
35	2	8	0	1,95400	46,434	4,0
36	3	7	0	1,94800	46,586	6,0
37	0	8	2	1,94200	46,738	6,0
38	5	1	0	1,93200	46,995	4,0
39	4	4	2	1,92500	47,176	4,0

## Stick Pattern



## Name and formula

Reference code: 00-045-1371  
Mineral name: Magnesiohornblende, ferroan  
PDF index name: Calcium Magnesium Iron Aluminum Silicate Hydroxide  
Empirical formula:  $\text{Al}_2\text{Ca}_2\text{H}_2\text{Mg}_4\text{O}_{24}\text{Si}_7$   
Chemical formula:  $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}_{+2})_4\text{Al}(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH}, \text{F})_2$

## Crystallographic parameters

Crystal system: Monoclinic  
Space group: C2/m  
Space group number: 12  
a (Å): 9,8500  
b (Å): 18,0720  
c (Å): 5,3070  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 104,9500  
Gamma (°): 90,0000

Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 912,72  
Z: 2,00  
RIR: -

### **Subfiles and Quality**

Subfiles: Inorganic  
Mineral  
Corrosion  
Common Phase  
Forensic  
Quality: Indexed (I)

### **Comments**

Sample source: Specimen from Ronov nad Doubravou, Czechoslovakia.  
Analysis: Chemical analysis (wt.%): SiO<sub>2</sub> 43.18, TiO<sub>2</sub> 1.03, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 11.58, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4.28, FeO 13.06, MgO 10.76, CaO 11.07, Na<sub>2</sub>O 1.82, K<sub>2</sub>O 0.57, H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> 2.51, H<sub>2</sub>O<sup>-</sup> 0.22.  
Additional pattern: To replace 21-149.  
Temperature: Pattern taken at 22(1) C.

### **References**

Primary reference: Sanc, I., Inst. of Mineral Raw Materials, Kutna' Hora, Czechoslovakia.,  
*ICDD Grant-in-Aid*, (1992)  
Structure: *Am. Mineral.*, **74**, 1097, (1989)

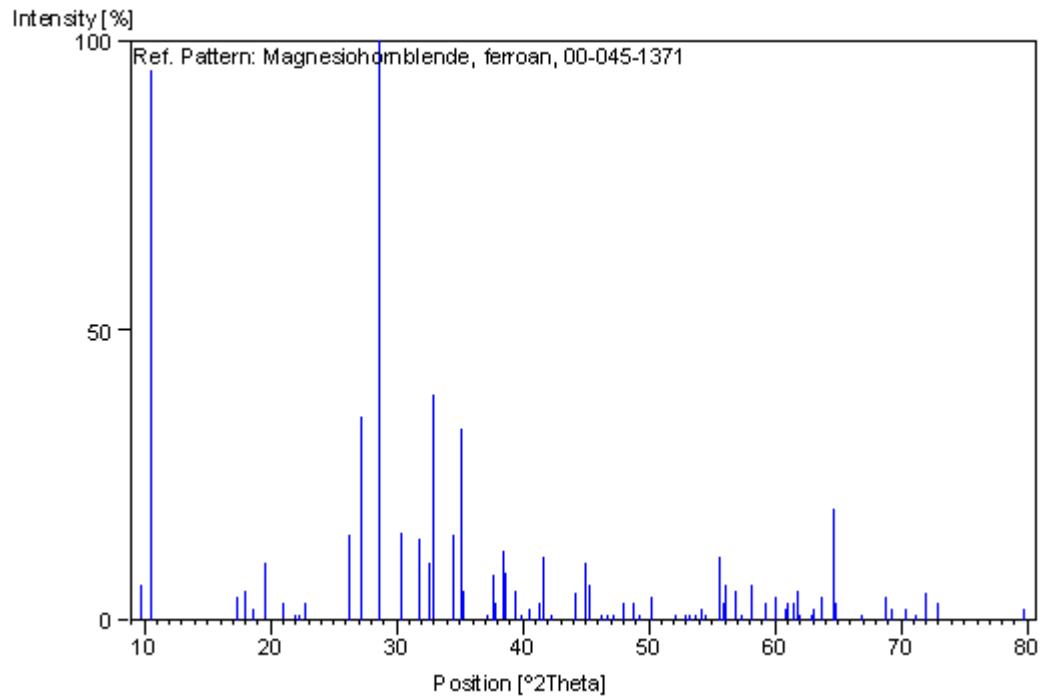
### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	2	0	9,02862	9,789	6,0
2	1	1	0	8,40676	10,515	95,0
3	1	3	0	5,09397	17,395	4,0
4	-1	1	1	4,92002	18,015	5,0
5	2	0	0	4,76175	18,619	2,0
6	0	4	0	4,51803	19,633	10,0
7	2	2	0	4,21045	21,083	3,0
8	-2	0	1	4,03190	22,028	1,0
9	1	1	1	3,98934	22,266	1,0
10	-1	3	1	3,89641	22,804	3,0
11	0	4	1	3,38888	26,277	15,0
12	2	4	0	3,27594	27,200	35,0
13	3	1	0	3,12273	28,562	100,0
14	2	2	1	2,94232	30,354	15,0
15	3	3	0	2,80624	31,864	14,0
16	-3	3	1	2,73963	32,660	10,0
17	1	5	1	2,71138	33,010	39,0
18	0	6	1	2,59958	34,473	15,0
19	0	0	2	2,55802	35,051	10,0
20	-2	0	2	2,54830	35,189	33,0

21	2	6	0	2,54459	35,242	5,0
22	3	1	1	2,41171	37,253	1,0
23	3	5	0	2,38328	37,714	8,0
24	4	0	0	2,37685	37,820	3,0
25	-3	5	1	2,34391	38,372	12,0
26	-4	2	1	2,32699	38,662	8,0
27	-3	1	2	2,28726	39,361	5,0
28	3	3	1	2,25581	39,933	1,0
29	-2	4	2	2,22017	40,602	2,0
30	1	7	1	2,18348	41,316	3,0
31	1	3	2	2,17157	41,553	2,0
32	2	6	1	2,16510	41,683	11,0
33	-1	5	2	2,13807	42,235	1,0
34	2	0	2	2,04856	44,175	5,0
35	3	5	1	2,01847	44,869	10,0
36	3	7	0	2,00269	45,242	6,0
37	1	9	0	1,96397	46,185	1,0
38	-3	5	2	1,94339	46,703	1,0
39	4	2	1	1,92712	47,121	1,0
40	5	1	0	1,89300	48,023	3,0
41	-1	9	1	1,86829	48,699	3,0
42	2	4	2	1,86448	48,805	1,0
43	-1	7	2	1,84962	49,223	1,0
44	5	3	0	1,81437	50,245	4,0
45	-5	1	2	1,75204	52,164	1,0
46	1	7	2	1,72929	52,903	1,0
47	-5	5	1	1,72048	53,195	1,0
48	0	10	1	1,70358	53,765	1,0
49	-2	8	2	1,69032	54,222	2,0
50	0	2	3	1,67940	54,603	1,0
51	4	6	1	1,65028	55,650	11,0
52	5	1	1	1,64392	55,884	3,0
53	4	8	0	1,63878	56,074	6,0
54	1	11	0	1,61938	56,807	5,0
55	1	1	3	1,60446	57,384	1,0
56	6	0	0	1,58576	58,125	6,0
57	1	3	3	1,55725	59,294	3,0
58	-6	0	2	1,53851	60,090	4,0
59	1	11	1	1,52318	60,758	2,0
60	1	9	2	1,52011	60,894	3,0
61	2	8	2	1,51651	61,054	2,0
62	-4	8	2	1,50673	61,493	3,0
63	5	5	1	1,50129	61,740	5,0
64	6	4	0	1,49657	61,956	1,0
65	0	10	2	1,47670	62,884	1,0
66	1	5	3	1,47152	63,131	2,0
67	3	11	0	1,45892	63,740	4,0
68	-6	6	1	1,44064	64,646	19,0
69	4	10	0	1,43943	64,707	4,0
70	2	12	0	1,43660	64,850	3,0
71	6	2	1	1,39850	66,844	1,0
72	5	1	2	1,36496	68,713	4,0
73	2	10	2	1,35464	69,311	2,0
74	2	6	3	1,33628	70,403	2,0
75	-1	9	3	1,32511	71,086	1,0
76	-7	5	1	1,31108	71,964	5,0
77	6	8	0	1,29766	72,827	3,0

78 -5 11 2 1,20162 79,741 2,0

## Stick Pattern



## Name and formula

Reference code: 00-007-0076

Mineral name: Clinoclore, ferroan

PDF index name: Magnesium Iron Aluminum Silicate Hydroxide

Empirical formula:  $\text{Al}_{2.40}\text{Fe}_{1.70}\text{H}_8\text{Mg}_{2.80}\text{O}_{18}\text{Si}_{2.80}$

Chemical formula:  $(\text{Mg}_{2.8}\text{Fe}_{1.7}\text{Al}_{1.2}) (\text{Si}_{2.8}\text{Al}_{1.2}) \text{O}_{10} (\text{OH})_8$

## Crystallographic parameters

Crystal system: Monoclinic

Space group: C2/m

Space group number: 12

a (Å): 5,3600

b (Å): 9,2830

c (Å): 14,0440

Alpha (°): 90,0000

Beta (°): 97,2500  
Gamma (°): 90,0000  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 693,20  
Z: 2,00  
RIR: -

### **Status, subfiles and quality**

Status: Marked as deleted by ICDD  
Subfiles: Inorganic  
Mineral  
Quality: Doubtful (O)

### **Comments**

Deleted by: Deleted by 29-701.

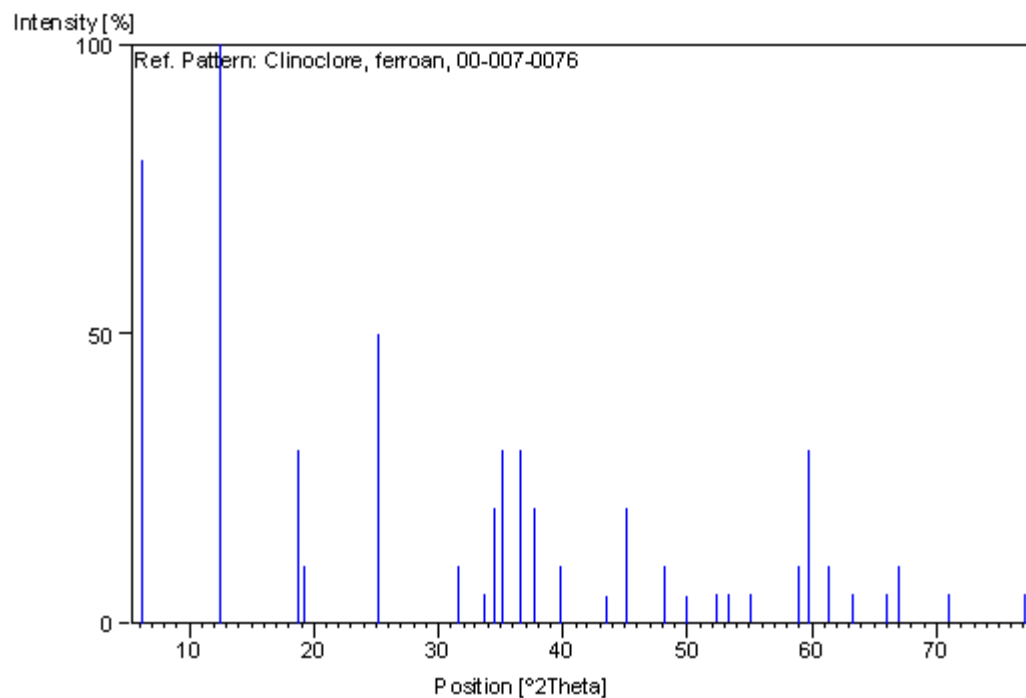
### **References**

Reference on old PDF card: *For original reference see PDF card set prior to 1980.*

### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	14,10000	6,263	80,0
2	0	0	2	7,07000	12,510	100,0
3	0	0	3	4,72400	18,769	30,0
4	1	1	0	4,62000	19,196	10,0
5	0	0	4	3,53700	25,158	50,0
6				2,82700	31,624	10,0
7	2	0	0	2,66400	33,614	5,0
8	1	3	1	2,59900	34,481	20,0
9	2	0	1	2,55600	35,080	30,0
10	1	3	2	2,45000	36,650	30,0
11	0	2	5	2,38900	37,621	20,0
12	-2	2	2	2,26500	39,765	10,0
13	0	2	6	2,07700	43,539	5,0
14	2	0	4	2,00900	45,092	20,0
15	-2	2	5	1,88800	48,158	10,0
16	0	2	7	1,82600	49,903	5,0
17	2	4	0	1,74900	52,262	5,0
18	-1	5	2	1,71600	53,345	5,0
19	2	4	2	1,66500	55,116	5,0
20	-3	1	5	1,56600	58,930	10,0
21	0	6	0	1,54700	59,726	30,0
22	-1	5	5	1,51200	61,255	10,0
23	-2	2	8	1,47000	63,204	5,0
24	3	3	3	1,41600	65,912	5,0
25	0	0	10	1,39500	67,034	10,0
26	-2	6	2	1,32800	70,907	5,0
27	-2	6	5	1,23600	77,103	5,0

## Stick Pattern



## Name and formula

Reference code: 00-005-0490

Mineral name: Quartz, low  
PDF index name: Silicon Oxide

Empirical formula:  $O_2Si$

Chemical formula:  $SiO_2$

## Crystallographic parameters

Crystal system: Hexagonal

Space group: P3121

Space group number: 152

a (Å): 4,9130

b (Å): 4,9130

c (Å): 5,4050

Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 120,0000

Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 112,98  
Z: 3,00

RIR: 3,30

### **Status, subfiles and quality**

Status: Marked as deleted by ICDD  
Edited Pattern  
Subfiles: Inorganic  
Mineral  
Alloy, metal or intermetallic  
Forensic  
NBS pattern  
Quality: Star (S)

### **Comments**

Deleted by: Deleted by 33-1161.  
Additional pattern: To replace 1-649.

### **References**

Reference on old PDF card: *For original reference see PDF card set prior to 1980.*

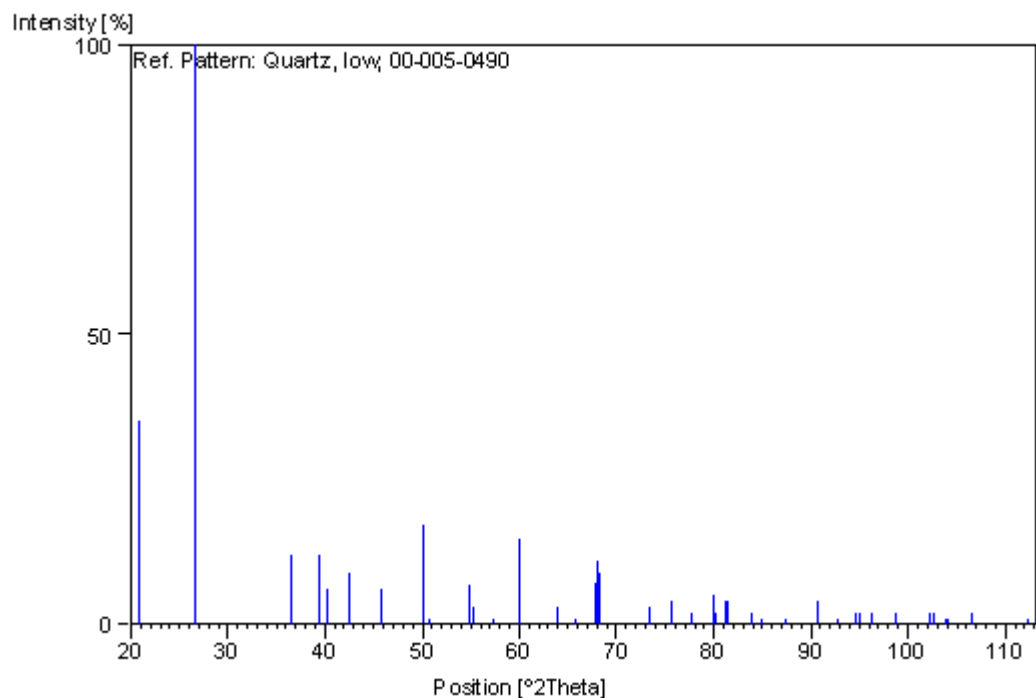
### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	4,26000	20,835	35,0
2	1	0	1	3,34300	26,644	100,0
3	1	1	0	2,45800	36,527	12,0
4	1	0	2	2,28200	39,456	12,0
5	1	1	1	2,23700	40,284	6,0
6	2	0	0	2,12800	42,444	9,0
7	2	0	1	1,98000	45,790	6,0
8	1	1	2	1,81700	50,167	17,0
9	0	0	3	1,80100	50,644	1,0
10	2	0	2	1,67200	54,865	7,0
11	1	0	3	1,65900	55,332	3,0
12	2	1	0	1,60800	57,246	1,0
13	2	1	1	1,54100	59,983	15,0
14	1	1	3	1,45300	64,030	3,0
15	3	0	0	1,41800	65,808	1,0
16	2	1	2	1,38200	67,750	7,0
17	2	0	3	1,37500	68,142	11,0
18	3	0	1	1,37200	68,311	9,0



19	1	0	4	1,28800	73,462	3,0
20	3	0	2	1,25600	75,656	4,0
21	2	2	0	1,22800	77,699	2,0
22	2	1	3	1,19970	79,894	5,0
23	2	2	1	1,19730	80,086	2,0
24	1	1	4	1,18380	81,189	4,0
25	3	1	0	1,18020	81,489	4,0
26	3	1	1	1,15300	83,839	2,0
27	2	0	4	1,14080	84,944	1,0
28	3	0	3	1,11440	87,454	1,0
29	3	1	2	1,08160	90,826	4,0
30	4	0	0	1,06360	92,811	1,0
31	1	0	5	1,04770	94,653	2,0
32	4	0	1	1,04370	95,131	2,0
33	2	1	4	1,03460	96,239	2,0
34	2	2	3	1,01490	98,751	2,0
35	1	1	5	0,98960	102,228	2,0
36	3	1	3	0,98720	102,574	2,0
37	3	0	4	0,97810	103,914	1,0
38	3	2	0	0,97620	104,199	1,0
39	3	2	1	0,96070	106,607	2,0
40	4	1	0	0,92800	112,211	1,0

**Stick Pattern**



### Name and formula

Reference code: 00-022-1120

Mineral name: Pyrrhotite-4H

PDF index name: Iron Sulfide

Empirical formula: FeS

Chemical formula: Fe<sub>1-x</sub>S

### Crystallographic parameters

Crystal system: Hexagonal

Space group: P6/mcc

Space group number: 192

a (Å): 6,8800

b (Å): 6,8800

c (Å): 22,9000

Alpha (°): 90,0000

Beta (°): 90,0000

Gamma (°): 120,0000

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 4,58

Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 4,58

Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 938,73  
Z: 32,00  
RIR: -

### **Subfiles and Quality**

Subfiles: Inorganic  
Mineral  
Alloy, metal or intermetallic  
Corrosion  
Educational pattern  
Forensic  
Quality: Indexed (I)

### **Comments**

Color: Dark yellow metallic, brown  
General comments: Monoclinic super-cell also observed.  
Measured density and color from *Dana's System of Mineralogy, 7th Ed.*, I 231.  
Sample source: Specimen from Mosaboni, India.

### **References**

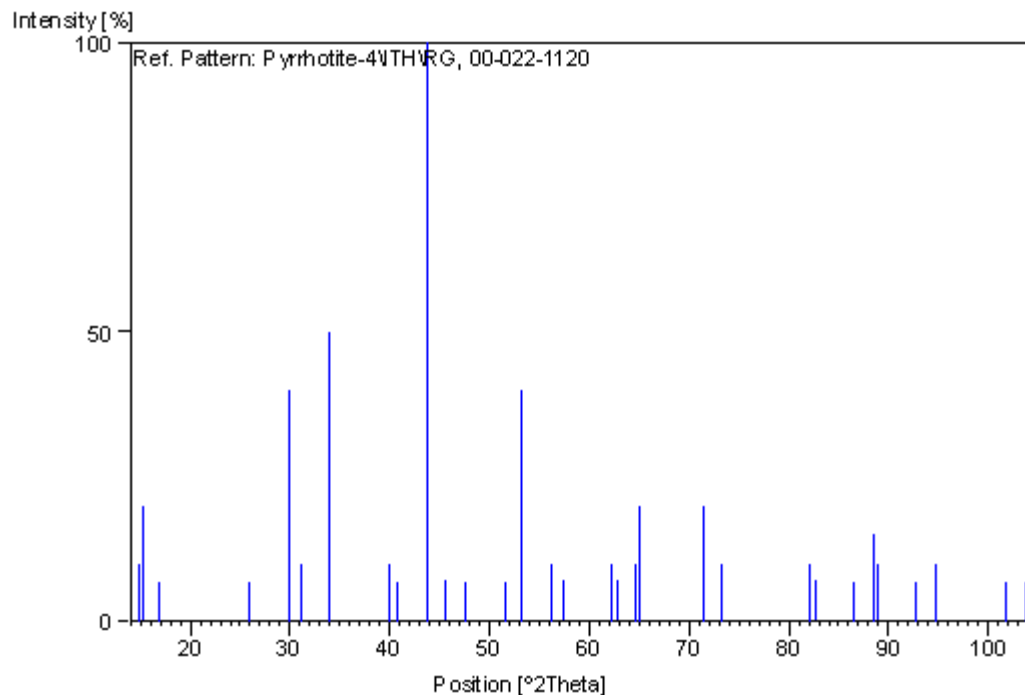
Primary reference: Mukherjee., *Acta Crystallography.*, Sec. B, **25**, 675, (1969)

### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	5,94000	14,902	10,0
2	0	0	4	5,74000	15,425	20,0
3	1	0	2	5,27000	16,810	7,0
4	1	1	0	3,44000	25,879	7,0
5	2	0	0	2,98000	29,961	40,0
6	0	0	8	2,87000	31,138	10,0
7	2	0	4	2,64000	33,929	50,0
8	2	1	0	2,25500	39,948	10,0
9	2	1	2	2,20700	40,855	7,0
10	2	0	8	2,06400	43,827	100,0
11	3	0	0	1,98700	45,619	7,0
12	0	0	12	1,90900	47,596	7,0
13	2	1	8	1,76900	51,627	7,0
14	2	2	0	1,72000	53,212	40,0
15	0	0	14	1,63600	56,178	10,0
16	2	1	10	1,60600	57,324	7,0
17	4	0	0	1,49000	62,260	10,0
18	3	1	7	1,47600	62,917	7,0
19	4	0	4	1,44200	64,578	10,0
20	2	0	14	1,43300	65,033	20,0
21	4	0	8	1,32100	71,340	20,0
22	4	1	2	1,29100	73,263	10,0
23	4	0	12	1,17400	82,011	10,0
24	5	0	4	1,16700	82,610	7,0

25	4	2	1	1,12500	86,426	7,0
26	4	2	4	1,10500	88,390	15,0
27	4	0	14	1,10100	88,796	10,0
28	4	2	7	1,06500	92,653	7,0
29	4	2	8	1,04800	94,618	10,0
30	6	0	0	0,99300	101,743	7,0
31	4	3	1	0,97900	103,779	7,0

## Stick Pattern



## Name and formula

Reference code: 00-041-1480

Mineral name: Albite, calcian, ordered

PDF index name: Sodium Calcium Aluminum Silicate

Empirical formula:  $Al_{1,2}Ca_{0,2}Na_{0,8}O_8Si_{2,8}$

Chemical formula:  $(Na, Ca) Al (Si, Al)_3O_8$

## Crystallographic parameters

Crystal system: Anorthic

Space group: C-1

a (Å): 8,1610  
 b (Å): 12,8580  
 c (Å): 7,1120  
 Alpha (°): 93,6800  
 Beta (°): 116,4200  
 Gamma (°): 89,3900

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 2,64  
 Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 2,63  
 Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 333,42  
 Z: 4,00

RIR: -

### Subfiles and Quality

Subfiles: Inorganic  
 Mineral  
 Common Phase  
 Educational pattern  
 Forensic  
 Quality: Indexed (I)

### Comments

Color: White  
 General comments: D2θ (131 - 1-31) = 1.66; Δ2θ (-241 - -2-41) = 0.73.  
 Sample source: Specimen from Zdanov, Czechoslovakia.  
 Analysis: Chemical analysis (wt.%): SiO<sub>2</sub> 60.8, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 24.7, CaO 5.3, Na<sub>2</sub>O 8.6,  
 K<sub>2</sub>O 0.4: ( Na<sub>0.76</sub>Ca<sub>0.19</sub>K<sub>0.05</sub> ) ( Si<sub>2.8</sub>Al<sub>1.2</sub> ) O<sub>8</sub> ·  
 Optical data: A=1.527, B=1.531, Q=1.538, Sign=+, 2V=77°  
 Additional pattern: To replace 9-457 and validated by calculated pattern 20-548.  
 Temperature: Pattern taken at 25(1) C.

### References

Primary reference: Sanc, I., Polytechna, Foreign Trade Corporation, Panska, Czechoslovakia., *ICDD Grant-in-Aid*, (1990)  
 Structure: Colville, A., Ribbe, P., *Spec. Pap. Geol. Soc. Am.*, **101**, 41, (1966)  
 Optical data: Deer, W., Howie, R., Zussman, J., *Rock Forming Minerals*, **4**, 94, (1963)  
 Unit cell: Bayliss, P., University of Calgary, Alberta, Canada., *Private Communication*, (1990)

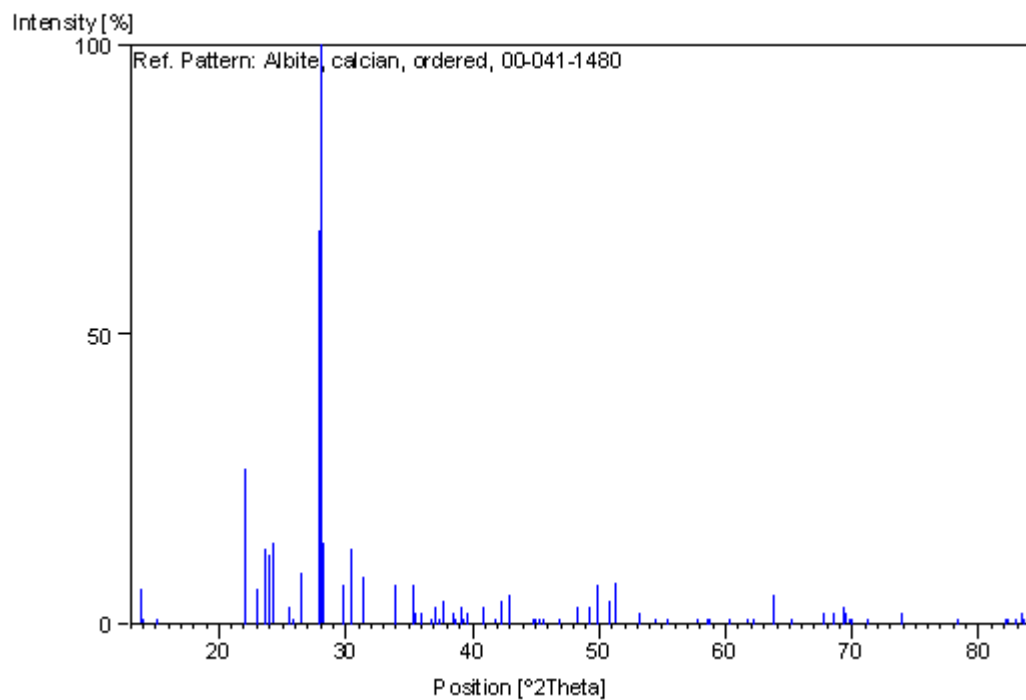
### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	2	0	6,36558	13,901	6,0
2	1	1	0	6,28905	14,071	1,0
3	-1	-1	1	5,86616	15,091	1,0
4	-2	0	1	4,03136	22,031	27,0
5	1	-1	1	3,87179	22,951	6,0

6	1	1	1	3,75875	23,651	13,0
7	-1	3	0	3,70624	23,991	12,0
8	2	0	0	3,65374	24,341	14,0
9	-1	3	1	3,49010	25,501	3,0
10	-2	-2	1	3,44232	25,862	1,0
11	-1	1	2	3,36936	26,432	9,0
12	-2	0	2	3,19733	27,882	68,0
13	0	0	2	3,18167	28,022	100,0
14	2	2	0	3,14865	28,322	14,0
15	1	-3	1	2,99359	29,822	7,0
16	0	-4	1	2,93496	30,432	13,0
17	1	3	1	2,84382	31,432	8,0
18	-1	3	2	2,64281	33,892	7,0
19	-2	-4	1	2,53832	35,332	7,0
20	2	-2	1	2,52380	35,542	2,0
21	-2	4	1	2,49193	36,012	2,0
22	2	2	1	2,44536	36,722	1,0
23	-1	5	0	2,43959	36,812	1,0
24	-1	-5	1	2,42496	37,042	3,0
25	-3	1	0	2,39997	37,442	1,0
26	2	4	0	2,38584	37,672	4,0
27	-1	5	1	2,33805	38,472	2,0
28	-1	-1	3	2,32757	38,652	1,0
29	-3	-3	1	2,30012	39,132	3,0
30	-3	3	1	2,28665	39,372	1,0
31	-1	1	3	2,26950	39,682	2,0
32	1	-5	1	2,20664	40,862	3,0
33	-2	2	3	2,15571	41,873	1,0
34	0	6	0	2,13383	42,323	4,0
35	1	5	1	2,10584	42,913	5,0
36	-4	0	2	2,01873	44,863	1,0
37	-4	0	1	2,01066	45,053	1,0
38	2	0	2	1,99930	45,323	1,0
39	3	-1	1	1,98685	45,623	1,0
40	-4	-2	2	1,93751	46,853	1,0
41	2	2	2	1,88012	48,373	3,0
42	-4	0	3	1,85068	49,193	3,0
43	4	0	0	1,82702	49,873	7,0
44	1	1	3	1,79673	50,773	4,0
45	-2	0	4	1,77779	51,353	7,0
46	-4	-4	2	1,72205	53,143	2,0
47	0	4	3	1,71965	53,223	1,0
48	-2	2	4	1,68596	54,373	1,0
49	2	4	2	1,65785	55,374	1,0
50	0	0	4	1,59330	57,824	1,0
51	-4	-2	4	1,57565	58,534	1,0
52	0	-2	4	1,56978	58,774	1,0
53	2	-2	3	1,53425	60,274	1,0
54	-2	-8	1	1,50055	61,774	1,0
55	3	3	2	1,49077	62,224	1,0
56	2	8	0	1,45740	63,814	5,0
57	-5	1	4	1,42868	65,254	1,0
58	1	-3	4	1,38191	67,755	2,0
59	-4	0	5	1,36948	68,454	2,0
60	-5	5	1	1,35406	69,345	3,0
61	-1	-9	2	1,35252	69,435	2,0
62	-5	-5	1	1,34558	69,845	1,0

63	-1	1	5	1,34390	69,945	1,0
64	-1	-3	5	1,32254	71,245	1,0
65	-6	0	4	1,28107	73,925	2,0
66	2	8	2	1,21935	78,356	1,0
67	-3	1	6	1,17312	82,086	1,0
68	0	-8	4	1,16949	82,396	1,0
69	0	10	2	1,16290	82,966	1,0
70	0	4	5	1,15776	83,416	2,0
71	-5	-7	4	1,15629	83,546	1,0

### Stick Pattern



## **Name and formula**

Reference code: 00-013-0294  
Mineral name: Cordierite, syn  
PDF index name: Magnesium Aluminum Silicate  
Empirical formula:  $\text{Al}_4\text{Mg}_2\text{O}_{18}\text{Si}_5$   
Chemical formula:  $\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$

## **Crystallographic parameters**

Crystal system: Orthorhombic  
Space group: Cccm  
Space group number: 66  
a (Å): 9,7210  
b (Å): 17,0620  
c (Å): 9,3390  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 90,0000  
Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 2,51  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 1548,96  
Z: 4,00  
RIR: -

## **Subfiles and Quality**

Subfiles: Inorganic  
Mineral  
Common Phase  
Educational pattern  
Forensic  
NBS pattern  
Quality: Indexed (I)

## **Comments**

Color: Colorless  
General comments: Measured density lies between 2.53 and 2.78.  
An hexagonal form, indialite, exists.  
Sample preparation: Prepared at the Geophysical Laboratory, Washington, D.C., USA, from stoichiometric mixtures of the oxides. Heated at 1000 C for 3 days, 1180 C for 3 days, 1380 C for 7 days.  
Analysis: Spectrographic analysis: 0.01-0.1% Ca, Fe, Na, and Pt; 0.001-0.01% Ba, Cr, Cu, Ni, and Ag.  
Optical data: A=1.540(18), B=1.549(25), Q=1.552(25), Sign=+, 2V=65-104°  
Temperature: Pattern made at 25 C.



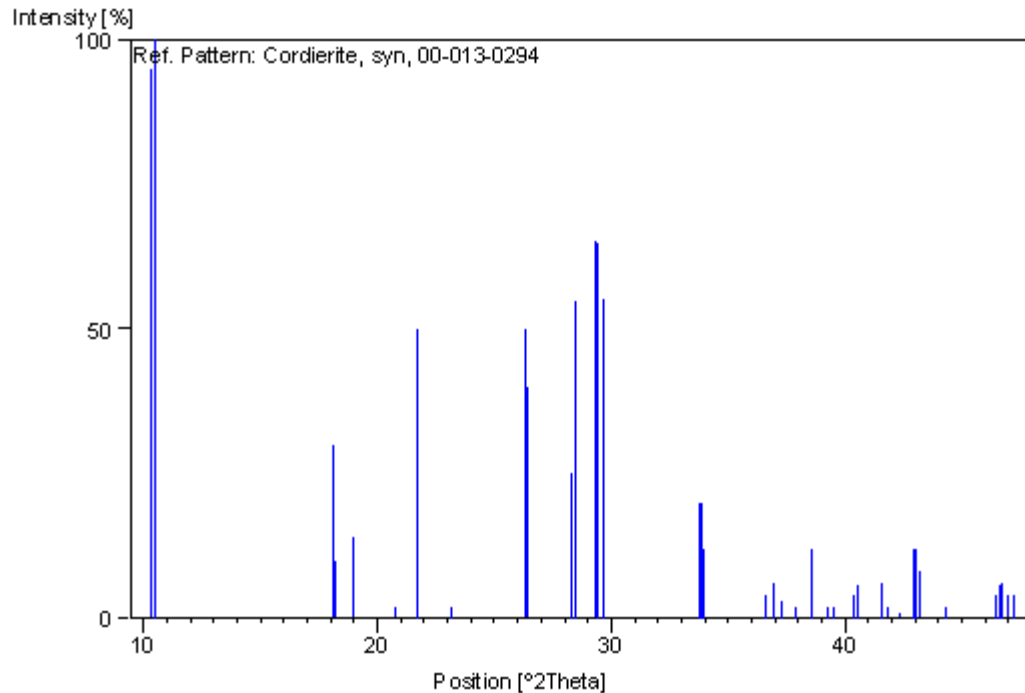
## References

Primary reference: *Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr. 25, 1, 28, (1961)*

## Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	2	0	8,52000	10,374	95,0
2	1	1	0	8,45000	10,461	100,0
3	1	3	0	4,91000	18,052	30,0
4	2	0	0	4,86000	18,239	10,0
5	0	0	2	4,67000	18,988	14,0
6	0	4	0	4,27000	20,786	2,0
7	1	1	2	4,09000	21,712	50,0
8	2	2	1	3,84000	23,144	2,0
9	1	3	2	3,38100	26,339	50,0
10	2	0	2	3,36900	26,434	40,0
11	0	4	2	3,14900	28,318	25,0
12	2	2	2	3,13200	28,475	55,0
13	1	5	1	3,03900	29,366	65,0
14	2	4	1	3,03500	29,406	65,0
15	3	1	1	3,01200	29,635	55,0
16	1	5	2	2,65000	33,797	20,0
17	2	4	2	2,64400	33,876	20,0
18	3	1	2	2,63700	33,969	12,0
19	2	6	0	2,45400	36,588	4,0
20	4	0	0	2,43000	36,963	6,0
21	3	3	2	2,40900	37,297	3,0
22	2	6	1	2,37300	37,884	2,0
23	0	0	4	2,33400	38,542	12,0
24	1	7	1	2,29300	39,259	2,0
25	3	5	1	2,27800	39,528	2,0
26	2	4	3	2,23400	40,340	4,0
27	3	1	3	2,22500	40,510	6,0
28	2	6	2	2,17300	41,524	6,0
29	4	0	2	2,15600	41,867	2,0
30	0	8	0	2,13200	42,361	1,0
31	1	3	4	2,10700	42,888	12,0
32	2	0	4	2,10200	42,995	12,0
33	4	2	2	2,09100	43,233	8,0
34	2	2	4	2,04400	44,279	2,0
35	2	8	0	1,95400	46,434	4,0
36	3	7	0	1,94800	46,586	6,0
37	0	8	2	1,94200	46,738	6,0
38	5	1	0	1,93200	46,995	4,0
39	4	4	2	1,92500	47,176	4,0

## Stick Pattern



## Name and formula

Reference code: 00-045-1371

Mineral name: Magneshornblende, ferroan  
PDF index name: Calcium Magnesium Iron Aluminum Silicate Hydroxide

Empirical formula:  $\text{Al}_2\text{Ca}_2\text{H}_2\text{Mg}_4\text{O}_{24}\text{Si}_7$   
Chemical formula:  $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}_{+2})_4\text{Al}(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH}, \text{F})_2$

## Crystallographic parameters

Crystal system: Monoclinic  
Space group: C2/m  
Space group number: 12

a (Å): 9,8500  
b (Å): 18,0720  
c (Å): 5,3070  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 104,9500  
Gamma (°): 90,0000

Volume of cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 912,72

Z: 2,00

RIR: -

### **Subfiles and Quality**

Subfiles: Inorganic  
Mineral  
Corrosion  
Common Phase  
Forensic  
Quality: Indexed (I)

### **Comments**

Sample source: Specimen from Ronov nad Doubravou, Czechoslovakia.  
Analysis: Chemical analysis (wt.%): SiO<sub>2</sub> 43.18, TiO<sub>2</sub> 1.03, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 11.58, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4.28, FeO 13.06, MgO 10.76, CaO 11.07, Na<sub>2</sub>O 1.82, K<sub>2</sub>O 0.57, H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> 2.51, H<sub>2</sub>O<sup>-</sup> 0.22.

Additional pattern: To replace 21-149.  
Temperature: Pattern taken at 22(1) C.

### **References**

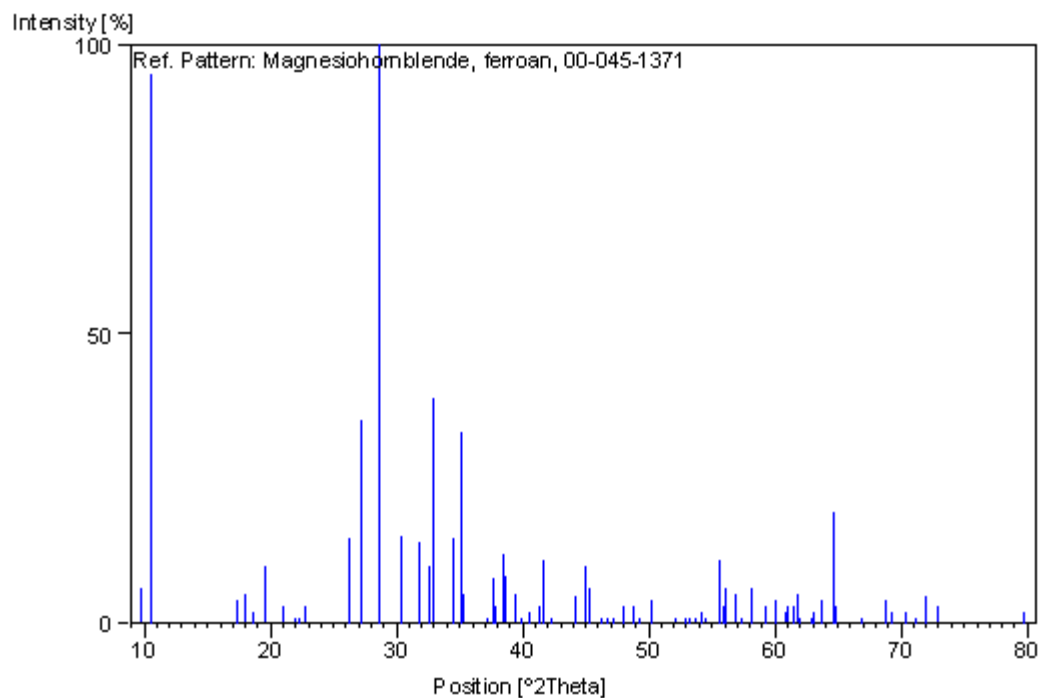
Primary reference: Sanc, I., Inst. of Mineral Raw Materials, Kutna' Hora, Czechoslovakia.,  
*ICDD Grant-in-Aid*, (1992)  
Structure: *Am. Mineral.*, **74**, 1097, (1989)

### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	2	0	9,02862	9,789	6,0
2	1	1	0	8,40676	10,515	95,0
3	1	3	0	5,09397	17,395	4,0
4	-1	1	1	4,92002	18,015	5,0
5	2	0	0	4,76175	18,619	2,0
6	0	4	0	4,51803	19,633	10,0
7	2	2	0	4,21045	21,083	3,0
8	-2	0	1	4,03190	22,028	1,0
9	1	1	1	3,98934	22,266	1,0
10	-1	3	1	3,89641	22,804	3,0
11	0	4	1	3,38888	26,277	15,0
12	2	4	0	3,27594	27,200	35,0
13	3	1	0	3,12273	28,562	100,0
14	2	2	1	2,94232	30,354	15,0
15	3	3	0	2,80624	31,864	14,0
16	-3	3	1	2,73963	32,660	10,0
17	1	5	1	2,71138	33,010	39,0
18	0	6	1	2,59958	34,473	15,0
19	0	0	2	2,55802	35,051	10,0
20	-2	0	2	2,54830	35,189	33,0
21	2	6	0	2,54459	35,242	5,0
22	3	1	1	2,41171	37,253	1,0

23	3	5	0	2,38328	37,714	8,0
24	4	0	0	2,37685	37,820	3,0
25	-3	5	1	2,34391	38,372	12,0
26	-4	2	1	2,32699	38,662	8,0
27	-3	1	2	2,28726	39,361	5,0
28	3	3	1	2,25581	39,933	1,0
29	-2	4	2	2,22017	40,602	2,0
30	1	7	1	2,18348	41,316	3,0
31	1	3	2	2,17157	41,553	2,0
32	2	6	1	2,16510	41,683	11,0
33	-1	5	2	2,13807	42,235	1,0
34	2	0	2	2,04856	44,175	5,0
35	3	5	1	2,01847	44,869	10,0
36	3	7	0	2,00269	45,242	6,0
37	1	9	0	1,96397	46,185	1,0
38	-3	5	2	1,94339	46,703	1,0
39	4	2	1	1,92712	47,121	1,0
40	5	1	0	1,89300	48,023	3,0
41	-1	9	1	1,86829	48,699	3,0
42	2	4	2	1,86448	48,805	1,0
43	-1	7	2	1,84962	49,223	1,0
44	5	3	0	1,81437	50,245	4,0
45	-5	1	2	1,75204	52,164	1,0
46	1	7	2	1,72929	52,903	1,0
47	-5	5	1	1,72048	53,195	1,0
48	0	10	1	1,70358	53,765	1,0
49	-2	8	2	1,69032	54,222	2,0
50	0	2	3	1,67940	54,603	1,0
51	4	6	1	1,65028	55,650	11,0
52	5	1	1	1,64392	55,884	3,0
53	4	8	0	1,63878	56,074	6,0
54	1	11	0	1,61938	56,807	5,0
55	1	1	3	1,60446	57,384	1,0
56	6	0	0	1,58576	58,125	6,0
57	1	3	3	1,55725	59,294	3,0
58	-6	0	2	1,53851	60,090	4,0
59	1	11	1	1,52318	60,758	2,0
60	1	9	2	1,52011	60,894	3,0
61	2	8	2	1,51651	61,054	2,0
62	-4	8	2	1,50673	61,493	3,0
63	5	5	1	1,50129	61,740	5,0
64	6	4	0	1,49657	61,956	1,0
65	0	10	2	1,47670	62,884	1,0
66	1	5	3	1,47152	63,131	2,0
67	3	11	0	1,45892	63,740	4,0
68	-6	6	1	1,44064	64,646	19,0
69	4	10	0	1,43943	64,707	4,0
70	2	12	0	1,43660	64,850	3,0
71	6	2	1	1,39850	66,844	1,0
72	5	1	2	1,36496	68,713	4,0
73	2	10	2	1,35464	69,311	2,0
74	2	6	3	1,33628	70,403	2,0
75	-1	9	3	1,32511	71,086	1,0
76	-7	5	1	1,31108	71,964	5,0
77	6	8	0	1,29766	72,827	3,0
78	-5	11	2	1,20162	79,741	2,0

## Stick Pattern



## Name and formula

Reference code: 00-024-0201

Mineral name: Augite  
PDF index name: Calcium Iron Magnesium Silicate

Empirical formula:  $\text{CaFeO}_6\text{Si}_2$   
Chemical formula:  $\text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg})\text{Si}_2\text{O}_6$

## Crystallographic parameters

Crystal system: Monoclinic  
Space group:  $C2/c$   
Space group number: 15

a (Å): 9,7830  
b (Å): 8,9650  
c (Å): 5,2720  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 105,7100

Gamma (°): 90,0000  
 Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 3,51  
 Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 3,23  
 Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 445,11  
 Z: 4,00  
 RIR: 3,00

### **Status, subfiles and quality**

Status: Edited Pattern  
 Subfiles: Inorganic  
 Mineral  
 Forensic  
 Quality: Indexed (I)

### **Comments**

Color: Brown  
 Analysis: Chemical analysis by Mineral Constitution Laboratory, Penn State University, Pennsylvania, USA, (Mineral Series No. 5-180-100). Submitted by Yoder, H. (wt.%): SiO<sub>2</sub> 49.34; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> <0.02; NiO 0.10; MnO 0.48; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.04; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.47; MgO 7.96; TiO<sub>2</sub> 0.70; FeO 19.82; CaO 18.93, plus 8 more <0.05.  
 Optical data: A=1.703, B=1.7065, Q=1.732, Sign=+, 2V=42(17)°

### **References**

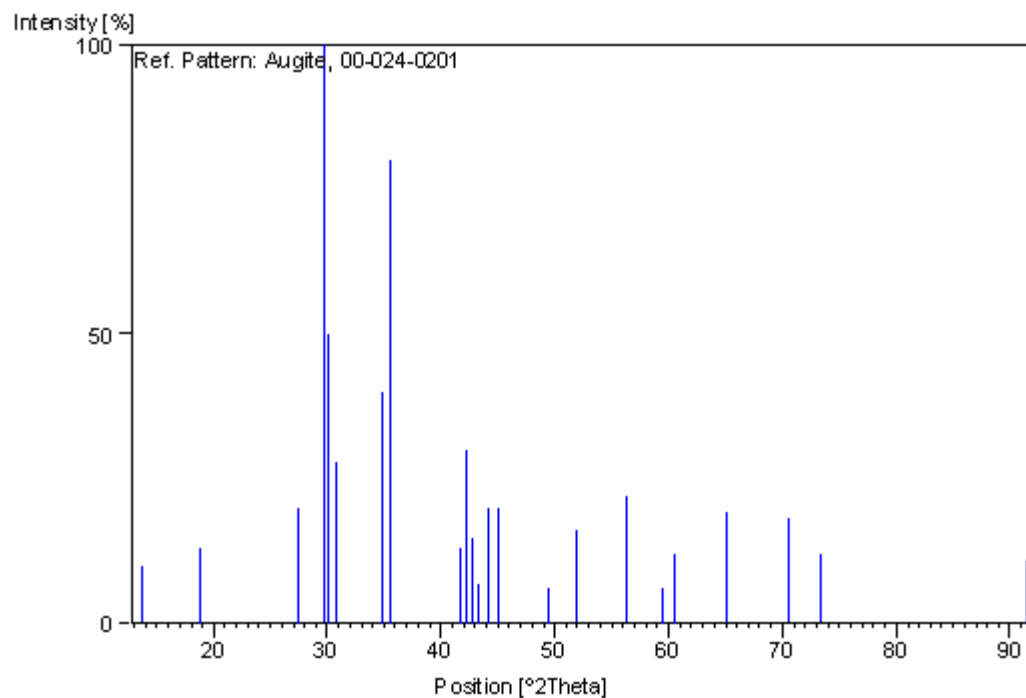
Primary reference: Smith, D., Auh, Penn State University, University Park, Pennsylvania, USA., *ICDD Grant-in-Aid*, (1971)  
 Optical data: Deer, W., Howie, R., Zussman, J., *Rock Forming Minerals*, **2**, 109

### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	6,47900	13,656	10,0
2	2	0	0	4,70300	18,854	13,0
3	2	2	0	3,24600	27,455	20,0
4	-2	2	1	2,99900	29,767	100,0
5	3	1	0	2,96100	30,158	50,0
6	-3	1	1	2,90000	30,808	28,0
7	-1	3	1	2,57300	34,841	40,0
8	2	2	1	2,52600	35,510	80,0
9	3	3	0	2,16300	41,725	13,0
10	-3	3	1	2,13900	42,215	30,0
11	-4	2	1	2,11400	42,739	15,0
12	4	2	0	2,08500	43,363	7,0
13	0	4	1	2,05000	44,142	20,0
14	2	0	2	2,01300	44,997	20,0
15	5	1	0	1,84300	49,412	6,0
16	1	5	0	1,76200	51,847	16,0
17	-2	2	3	1,63000	56,403	22,0

18	3	5	0	1,55500	59,388	6,0
19	-6	2	1	1,53000	60,459	12,0
20	5	3	1	1,43000	65,186	19,0
21	6	2	1	1,33300	70,602	18,0
22	-2	6	2	1,28800	73,462	12,0
23	-9	1	1	1,07600	91,433	11,0

## Stick Pattern



## Name and formula

Reference code: 00-024-0027

Mineral name: Calcite

PDF index name: Calcium Carbonate

Empirical formula:  $\text{CCaO}_3$

Chemical formula:  $\text{CaCO}_3$

## Crystallographic parameters

Crystal system: Rhombohedral

Space group: R-3c

Space group number: 167

a (Å): 4,9900  
 b (Å): 4,9900  
 c (Å): 17,0020  
 Alpha (°): 90,0000  
 Beta (°): 90,0000  
 Gamma (°): 120,0000  
  
 Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 2,72  
 Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 366,63  
 Z: 6,00  
  
 RIR: 2,00

### **Status, subfiles and quality**

Status: Marked as deleted by ICDD  
 Edited Pattern  
 Subfiles: Inorganic  
 Mineral  
 Cement and Hydration Product  
 Forensic  
 Pigment/Dye  
 Quality: Calculated (C)

### **Comments**

Deleted by: Deleted: intensities are incorrect; Bayliss letter 3/21/88.

### **References**

Primary reference: Smith et al., Penn State University, University Park, Pennsylvania, USA., *ICDD Grant-in-Aid*, (1973)  
 Unit cell: Chesin et al., *Acta Crystallogr.*, **18**, 689, (1965)

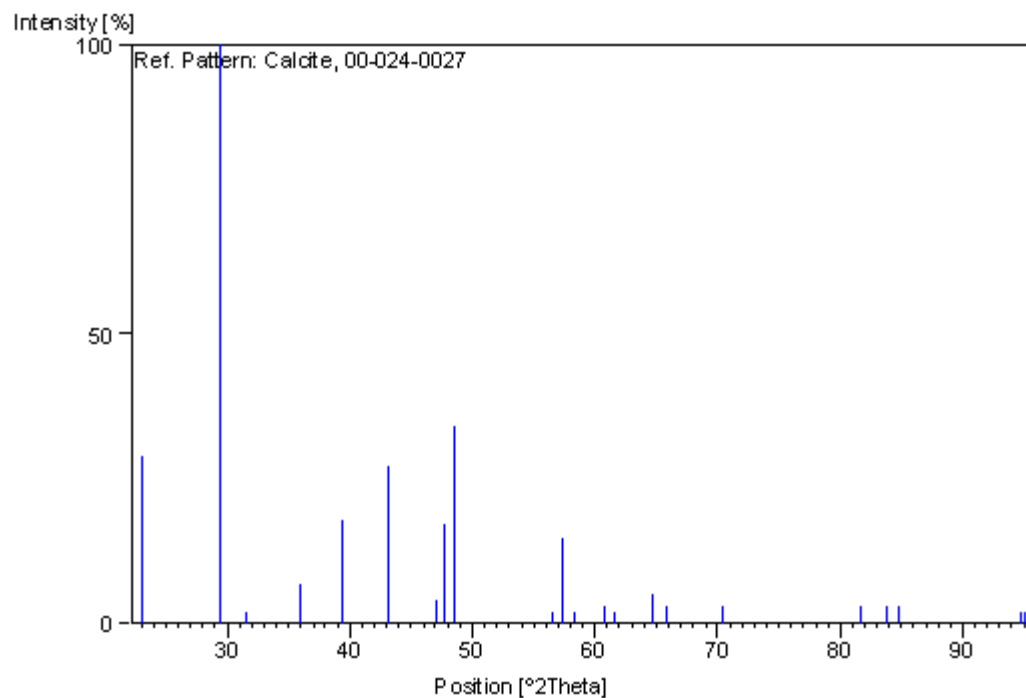
### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	2	3,85200	23,071	29,0
2	1	0	4	3,03000	29,455	100,0
3	0	0	6	2,83400	31,544	2,0
4	1	1	0	2,49500	35,966	7,0
5	1	1	3	2,28400	39,420	18,0
6	2	0	2	2,09400	43,167	27,0
7	0	2	4	1,92610	47,147	4,0
8	0	1	8	1,90710	47,646	17,0
9	1	1	6	1,87260	48,580	34,0
10	2	1	1	1,62590	56,558	2,0
11	1	2	2	1,60400	57,402	15,0
12	1	0	10	1,58210	58,272	2,0
13	2	1	4	1,52470	60,691	3,0
14	1	1	9	1,50610	61,521	2,0
15	3	0	0	1,44050	64,653	5,0
16	0	0	12	1,41680	65,870	3,0



17	0	2	10	1,33610	70,414	3,0
18	2	1	10	1,17790	81,682	3,0
19	1	3	4	1,15360	83,785	3,0
20	2	2	6	1,14170	84,861	3,0
21	4	0	4	1,04710	94,724	2,0
22	3	1	8	1,04400	95,095	2,0

## Stick Pattern



## Name and formula

Reference code: 00-037-0471  
 Mineral name: Chalcopyrite  
 PDF index name: Copper Iron Sulfide  
 Empirical formula:  $\text{CuFeS}_2$   
 Chemical formula:  $\text{CuFeS}_2$

## Crystallographic parameters

Crystal system: Tetragonal  
 Space group: I-42d  
 Space group number: 122

a (Å): 5,2893  
 b (Å): 5,2893  
 c (Å): 10,4230  
 Alpha (°): 90,0000  
 Beta (°): 90,0000  
 Gamma (°): 90,0000

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 4,18  
 Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 291,60  
 Z: 4,00  
 RIR: 6,00

### **Status, subfiles and quality**

Status: Edited Pattern  
 Subfiles: Inorganic  
 Mineral  
 Alloy, metal or intermetallic  
 Corrosion  
 Common Phase  
 Educational pattern  
 Forensic  
 Quality: Star (S)

### **Comments**

Color: Yellow metallic  
 Sample source: Specimen from Kenoyek mine, Pitcher, Oklahoma, USA.  
 Analysis: Microprobe analysis, average of five (wt.%): Cu 34.6, Fe 30.4, S 34.9.  
 Additional pattern: To replace 9-423, 11-570, 25-288 and 35-752.

### **References**

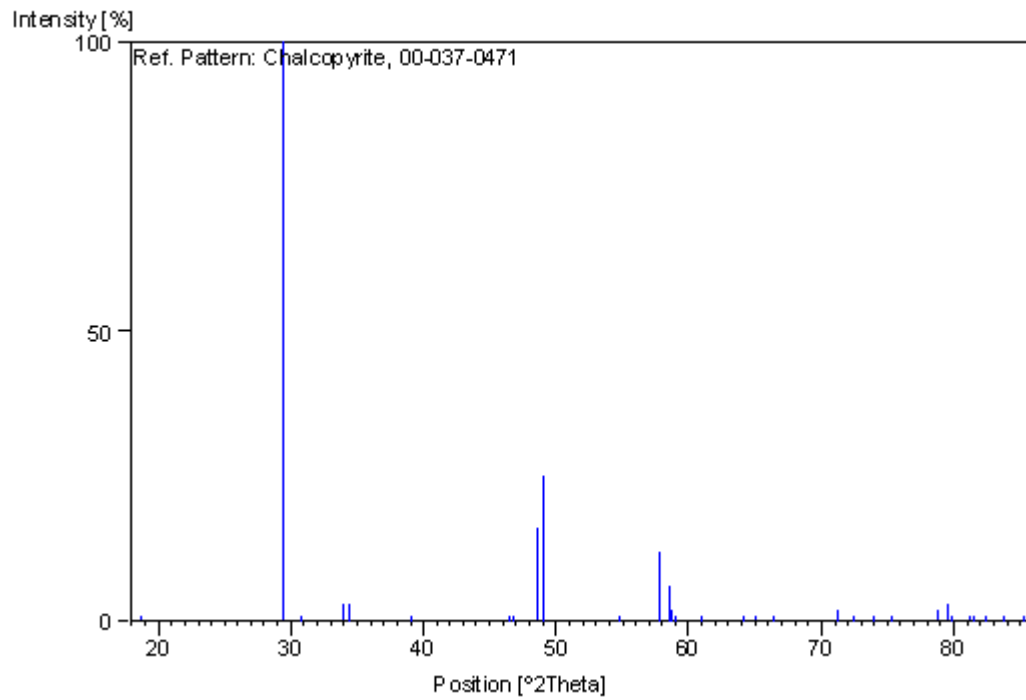
Primary reference: Keller, L., Rask, J., Buseck, P., Arizona State University, Tempe, Arizona, USA., *ICDD Grant-in-Aid*, (1986)

### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	1	4,72000	18,785	1,0
2	1	1	2	3,03900	29,366	100,0
3	1	0	3	2,90500	30,753	1,0
4	2	0	0	2,64500	33,863	3,0
5	0	0	4	2,60600	34,385	3,0
6	2	1	1	2,30700	39,011	1,0
7	2	1	3	1,95500	46,409	1,0
8	1	0	5	1,94000	46,789	1,0
9	2	2	0	1,87000	48,652	16,0
10	2	0	4	1,85610	49,040	25,0
11	3	1	0	1,67260	54,844	1,0
12	3	1	2	1,59260	57,851	12,0
13	1	1	6	1,57570	58,532	6,0
14	3	0	3	1,57230	58,671	2,0

15	2	1	5	1,56410	59,008	1,0
16	2	2	4	1,51930	60,930	1,0
17	3	2	1	1,45230	64,065	1,0
18	1	0	7	1,43340	65,013	1,0
19	3	1	4	1,40750	66,362	1,0
20	4	0	0	1,32230	71,260	2,0
21	0	0	8	1,30270	72,500	1,0
22	4	0	2	1,28170	73,883	1,0
23	2	1	7	1,26010	75,367	1,0
24	3	3	2	1,21260	78,877	2,0
25	3	1	6	1,20490	79,480	3,0
26	4	1	3	1,20340	79,599	2,0
27	3	2	5	1,19970	79,894	1,0
28	4	2	0	1,18270	81,280	1,0
29	4	0	4	1,17920	81,573	1,0
30	2	0	8	1,16870	82,464	1,0
31	4	2	2	1,15340	83,803	1,0
32	3	0	7	1,13760	85,239	1,0

### Stick Pattern



## **Name and formula**

Reference code: 00-042-1320  
Mineral name: Arsenopyrite  
PDF index name: Iron Arsenic Sulfide  
Empirical formula:  $\text{As}_{0.89}\text{Fe}_{1.01}\text{S}_{1.10}$   
Chemical formula: FeAsS

## **Crystallographic parameters**

Crystal system: Monoclinic  
Space group: P21/c  
Space group number: 14  
a (Å): 5,7412  
b (Å): 5,6682  
c (Å): 5,7704  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 111,9300  
Gamma (°): 90,0000

Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 5,82  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 174,19  
Z: 4,00

RIR: -

## **Subfiles and Quality**

Subfiles: Inorganic  
Mineral  
Alloy, metal or intermetallic  
Corrosion  
Common Phase  
Forensic  
Quality: Indexed (I)

## **Comments**

Color: Light gray  
Sample source: Specimen from Hohuan prospect, Liwu stream, Central Range, Taiwan, China.  
Analysis: Microprobe analysis (wt.%): Fe 34.83, As 40.97, S 21.60:  
 $\text{Fe}_{1.01}\text{As}_{0.89}\text{S}_{1.10}$  ·  
Additional pattern: To replace 11-154 and 14-218 and validated by calculated pattern 25-1230.

## **References**

Primary reference:  
Unit cell:

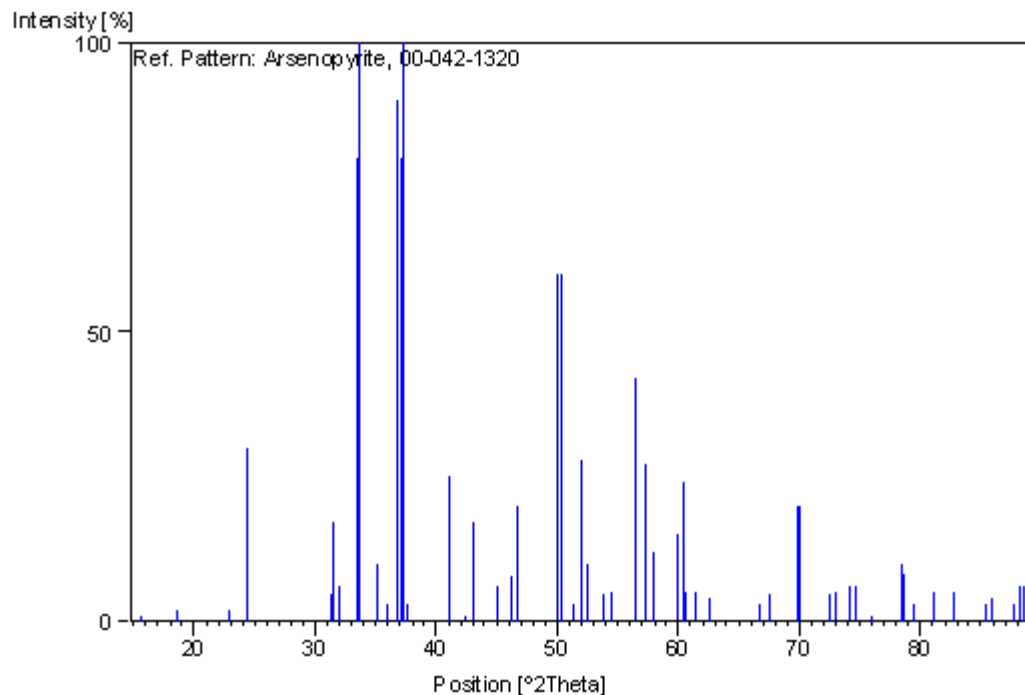
Lin, S.-B., Chen, C.-H., Tan, L.-P., *Acta Geol. Taiwan.*, **23**, 143, (1985)  
Fuess, H., Kratz, T., Tofel-Schodt, J., Miehe, G., *Z. Kristallogr.*, **179**,  
133, (1987)

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	0	5,67000	15,616	1,0
2	-1	0	1	4,77000	18,587	2,0
3	-1	1	0	3,88200	22,890	2,0
4	-1	1	1	3,64800	24,380	30,0
5	-1	0	2	2,85300	31,328	5,0
6	0	2	0	2,83300	31,555	17,0
7	1	1	1	2,79700	31,972	6,0
8	0	0	2	2,67400	33,485	80,0
9	2	0	0	2,66300	33,627	100,0
10	-1	1	2	2,55200	35,137	10,0
11	0	2	1	2,50000	35,892	3,0
12	-1	2	1	2,43800	36,837	90,0
13	0	1	2	2,42000	37,121	80,0
14	2	1	0	2,41100	37,265	100,0
15	-2	0	2	2,38500	37,686	3,0
16	-2	1	2	2,19800	41,030	25,0
17	1	2	1	2,12700	42,465	1,0
18	1	0	2	2,09600	43,124	17,0
19	-1	2	2	2,01000	45,068	6,0
20	2	1	1	1,96200	46,234	8,0
21	0	2	2	1,94400	46,687	20,0
22	-2	2	2	1,82000	50,079	60,0
23	-3	1	1	1,81100	50,345	60,0
24	0	3	1	1,78100	51,254	3,0
25	-1	3	1	1,75700	52,006	28,0
26	-2	1	3	1,74300	52,455	10,0
27	0	1	3	1,70200	53,819	5,0
28	2	2	1	1,68300	54,477	5,0
29	1	3	1	1,62970	56,415	42,0
30	2	0	2	1,60990	57,172	27,0
31	-1	2	3	1,59080	57,923	12,0
32	-2	3	0	1,54030	60,013	15,0
33	-3	1	3	1,53130	60,402	24,0
34	1	0	3	1,52810	60,542	5,0
35	0	2	3	1,50980	61,354	5,0
36	-2	3	2	1,48150	62,657	4,0
37	2	2	2	1,40110	66,704	3,0
38	-3	2	3	1,38660	67,495	5,0
39	1	2	3	1,34540	69,856	20,0
40	3	2	1	1,34160	70,082	20,0
41	0	1	4	1,30260	72,507	5,0
42	0	3	3	1,29650	72,902	5,0
43	-2	2	4	1,27690	74,207	6,0
44	-4	2	2	1,27130	74,589	6,0
45	0	4	2	1,25150	75,977	1,0
46	-2	4	2	1,21880	78,398	10,0
47	-3	3	3	1,21650	78,575	8,0
48	-4	2	0	1,20470	79,496	3,0

49	3	3	1	1,18580	81,023	5,0
50	4	1	1	1,16590	82,705	5,0
51	-4	3	1	1,13600	85,388	3,0
52	-2	1	5	1,13100	85,856	4,0
53	-1	1	5	1,11250	87,642	3,0
54	-5	1	1	1,10640	88,249	6,0
55	-1	5	1	1,10310	88,582	6,0

## Stick Pattern



## Name and formula

Reference code: 00-042-1437

Mineral name: Biotite-1M

PDF index name: Potassium Iron Magnesium Aluminum Silicate Hydroxide

Empirical formula:  $Al_{1.45}Fe_{0.15}Fe_{1.16}H_{1.85}K_{0.77}Mg_{0.76}O_{11.85}Si_{3.48}Ti_{0.11}$

Chemical formula:  $K(Mg, Fe_{+2})_3(Al, Fe_{+3})Si_3O_{10}(OH, F)_2$

## Crystallographic parameters

Crystal system: Monoclinic

Space group: C2/m

Space group number: 12

a (Å): 5,3440  
 b (Å): 9,2520  
 c (Å): 10,2280  
 Alpha (°): 90,0000  
 Beta (°): 100,1800  
 Gamma (°): 90,0000  
  
 Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 497,74  
 Z: 2,00  
  
 RIR: 3,00

### **Status, subfiles and quality**

Status: Edited Pattern  
 Subfiles: Inorganic  
 Mineral  
 Corrosion  
 Quality: Indexed (I)

### **Comments**

General comments: +3 Al<sub>0.93</sub> Ti<sub>0.11</sub> Mn<sub>0.04</sub> ) ( Si<sub>3.48</sub> Al<sub>0.52</sub> ) O<sub>10</sub> ( O H<sub>1.85</sub> F<sub>0.15</sub> ).  
 Mass absorption: observed by transmission: 84.7 cm<sup>2</sup>/gm (CuKα);  
 calculated from chemistry: 82.2 cm<sup>2</sup>/gm (CuKα).  
 Sample source: Specimen from pegmatite, Baltimore, Maryland, USA.  
 Analysis: Chemical analysis (wt.%): SiO<sub>2</sub> 37.6, TiO<sub>2</sub> 1.7, FeO 7.9, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 7.9,  
 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 13.3, MnO 0.5, MgO 5.5, CaO 0.1, Na<sub>2</sub>O 0.2, K<sub>2</sub>O 6.2, F 0.5: ( K<sub>0.76</sub>Na<sub>0.03</sub>Ca<sub>0.01</sub> ) ( Mg<sub>0.76</sub>Fe<sub>0.61</sub> +<sub>2</sub>Fe<sub>0.55</sub> +<sub>3</sub>Al<sub>0.93</sub>Ti<sub>0.11</sub>Mn<sub>0.04</sub> ) ( Si<sub>3.48</sub>Al<sub>0.52</sub> ) O<sub>10</sub> ( OH<sub>1.85</sub>F<sub>0.15</sub> ).  
 Additional pattern: To replace 42-603.

### **References**

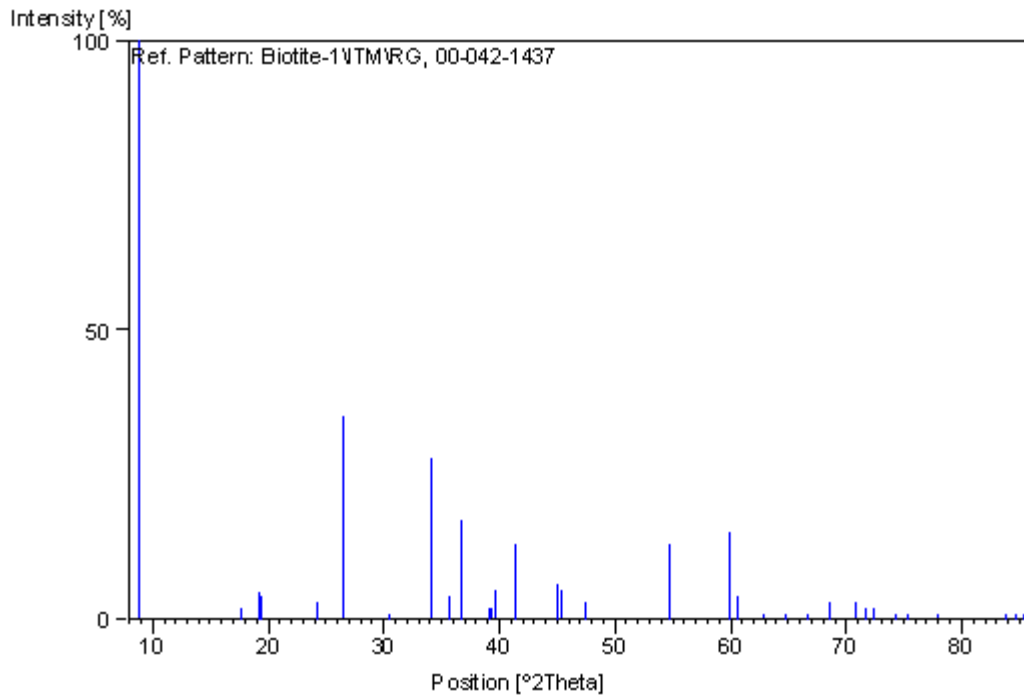
Primary reference: Davis, B., South Dakota School of Mines and Technology, Rapid City, South Dakota, USA., *ICDD Grant-in-Aid*, (1990)

### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	10,05000	8,792	100,0
2	0	0	2	5,02000	17,653	2,0
3	0	2	0	4,62000	19,196	5,0
4	1	1	0	4,57000	19,408	4,0
5	1	1	-2	3,66000	24,299	3,0
6	0	0	3	3,35300	26,563	35,0
7	1	1	-3	2,93200	30,463	1,0
8	2	0	0	2,63100	34,049	28,0
9	1	3	1	2,51800	35,627	4,0
10	1	3	-2	2,44500	36,728	17,0
11	0	4	0	2,30500	39,046	2,0

12	2	2	0	2,28600	39,384	2,0
13	1	3	2	2,26900	39,691	5,0
14	1	3	-3	2,18100	41,365	13,0
15	0	0	5	2,01400	44,974	6,0
16	2	0	-4	2,00100	45,282	5,0
17	1	3	-4	1,91500	47,437	3,0
18	2	4	1	1,67800	54,653	13,0
19	3	3	-1	1,54200	59,940	15,0
20	3	3	-2	1,52500	60,678	4,0
21	1	3	-6	1,47800	62,823	1,0
22	0	0	7	1,43800	64,779	1,0
23	0	6	3	1,40200	66,656	1,0
24	2	0	-7	1,36700	68,596	3,0
25	4	0	-2	1,33100	70,724	3,0
26	2	6	-2	1,31550	71,685	2,0
27	4	0	-3	1,30450	72,384	2,0
28	2	6	-3	1,27560	74,296	1,0
29	1	7	1	1,26020	75,360	1,0
30	0	6	5	1,22390	78,009	1,0
31	4	4	-2	1,15270	83,865	1,0
32	1	5	-7	1,14310	84,733	1,0
33	3	3	-7	1,13690	85,304	1,0

### Stick Pattern





## **Name and formula**

Reference code: 00-005-0566

Mineral name: Sphalerite, syn  
Common name: blende  
PDF index name: Zinc Sulfide

Empirical formula: SZn  
Chemical formula: ZnS

## **Crystallographic parameters**

Crystal system: Cubic  
Space group: F-43m  
Space group number: 216

a (Å): 5,4060  
b (Å): 5,4060  
c (Å): 5,4060  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 90,0000  
Gamma (°): 90,0000

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 4,10  
Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 3,90  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 157,99  
Z: 4,00

RIR: 3,90

## **Subfiles and Quality**

Subfiles: Inorganic  
Mineral  
Alloy, metal or intermetallic  
Common Phase  
Educational pattern  
Forensic  
NBS pattern

Quality: Indexed (I)

## **Comments**

Color: White, yellow white

General comments: See 24-1137 for cadmium substitution.  
Opaque mineral optical data on specimen from Snailsbeach, Minsterly, Shropshire, England:  $RR_2R_e=16.7$ ,  $Disp.=16$ ,  $VHN_{100}=218-227$ , Color values .303, .309, 16.6, Ref.: IMA Commission on Ore Microscopy QDF.  
Measured density and color from *Dana's System of Mineralogy, 7th Ed., I 211.*

Sample preparation: Prepared at 940 C by RCA Laboratory.  
Analysis: Spectroscopic analysis: <0.1% Cu; <0.01% B, Fe, Mg, Si; <0.001% Al, Ca.  
Temperature: Pattern taken at 26 C.

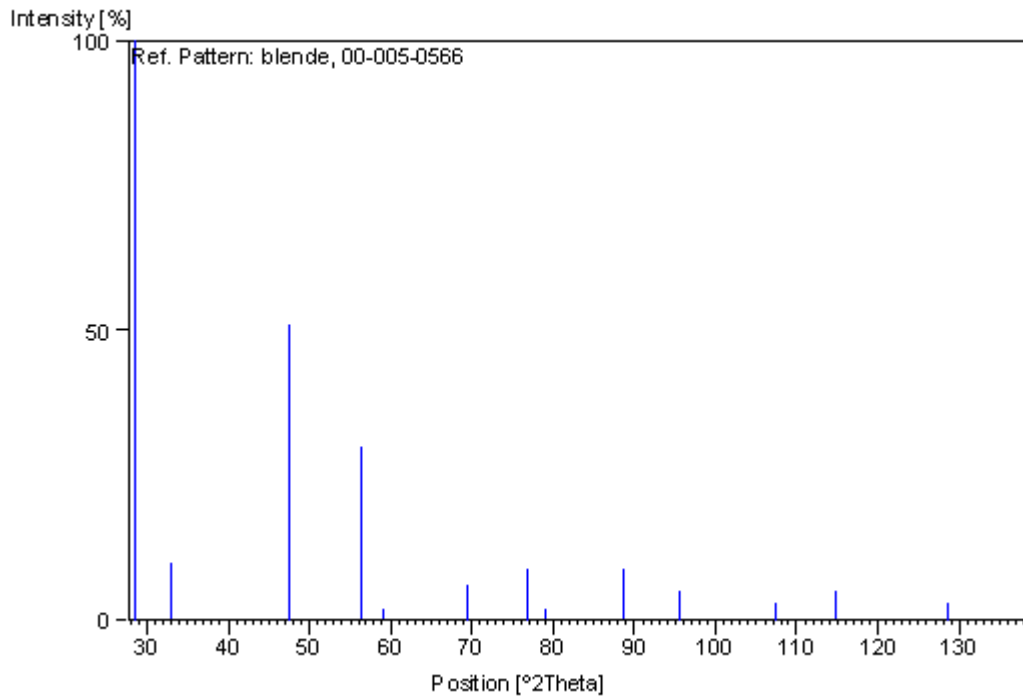
## References

Primary reference: Swanson, Fuyat., *Natl. Bur. Stand. (U.S.), Circ. 539, II, 16, (1953)*

## Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	3,12300	28,559	100,0
2	2	0	0	2,70500	33,090	10,0
3	2	2	0	1,91200	47,516	51,0
4	3	1	1	1,63300	56,291	30,0
5	2	2	2	1,56100	59,137	2,0
6	4	0	0	1,35100	69,524	6,0
7	3	3	1	1,24000	76,809	9,0
8	4	2	0	1,20900	79,157	2,0
9	4	2	2	1,10340	88,552	9,0
10	5	1	1	1,04030	95,541	5,0
11	4	4	0	0,95570	107,415	3,0
12	5	3	1	0,91380	114,909	5,0
13	6	2	0	0,85480	128,618	3,0
14	5	3	3	0,82440	138,255	2,0

## Stick Pattern



## **Name and formula**

Reference code: 00-010-0495

Mineral name: Phlogopite-1M  
PDF index name: Potassium Magnesium Aluminum Silicate Hydroxide

Empirical formula:  $\text{AlH}_2\text{KMg}_3\text{O}_{12}\text{Si}_3$   
Chemical formula:  $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

## **Crystallographic parameters**

Crystal system: Monoclinic  
Space group: C2/m  
Space group number: 12

a (Å): 5,3000  
b (Å): 9,2000  
c (Å): 10,2200  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 99,8200  
Gamma (°): 90,0000

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 2,82  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 491,03  
Z: 2,00

RIR: -

## **Subfiles and Quality**

Subfiles: Inorganic  
Mineral  
Corrosion  
Common Phase  
Forensic

Quality: Indexed (I)

## **Comments**

Color: Light brown  
General comments: Intensities probably affected by preferred orientation which enhances 00l reflections.

Sample source: Specimen probably from South Burgess Tp., Ontario, Canada.  
Structure: 1M mica structure.  
Optical data: A=1.5475, Q=1.5865, Sign=-, 2V=5-9°

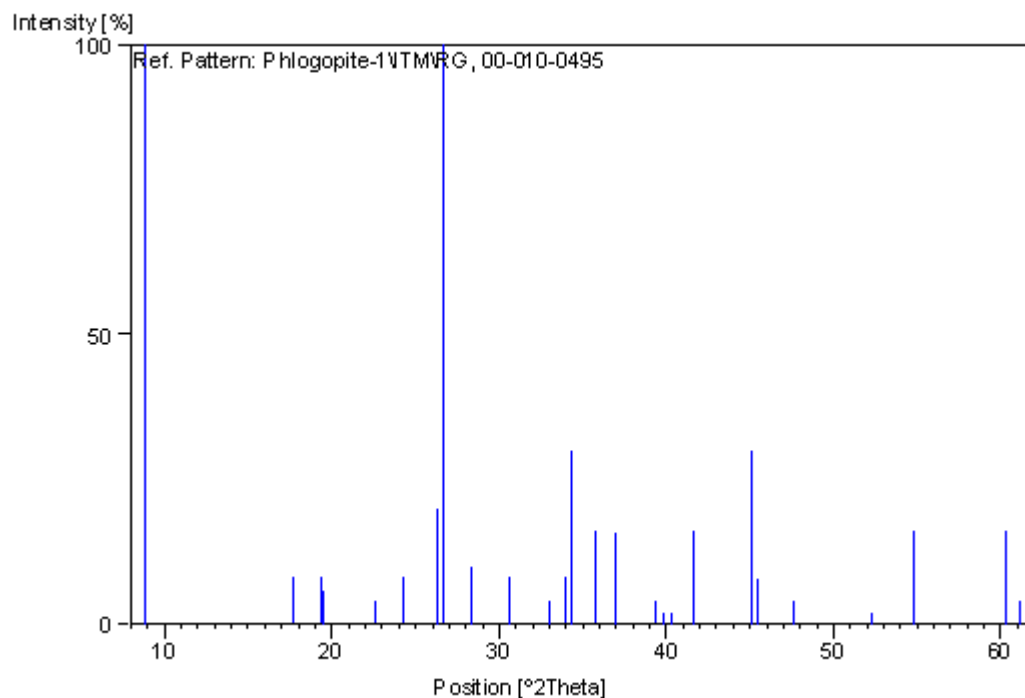
## References

Primary reference: Smith, Yoder., *Mineral. Mag.*, **31**, 209, (1956)  
Unit cell: Pabst., *Am. Mineral.*, **40**, 967, (1955)

## Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	9,94000	8,889	100,0
2	0	0	2	5,02000	17,653	8,0
3	0	2	0	4,58800	19,331	8,0
4	1	1	0	4,55300	19,481	6,0
5	1	1	1	3,92300	22,648	4,0
6	-1	1	2	3,65400	24,340	8,0
7	0	2	2	3,39000	26,268	20,0
8	0	0	3	3,34800	26,603	100,0
9	1	1	2	3,14400	28,364	10,0
10	-1	1	3	2,91600	30,634	8,0
11	0	2	3	2,70800	33,052	4,0
12	1	3	0	2,64200	33,903	8,0
13	-1	3	1	2,61400	34,277	30,0
14	0	0	4	2,51300	35,700	16,0
15	2	0	1	2,42900	36,978	16,0
16	-2	2	1	2,29000	39,312	4,0
17	1	3	2	2,26300	39,801	2,0
18	0	4	1	2,23600	40,302	2,0
19	-1	3	3	2,16900	41,604	16,0
20	0	0	5	2,01100	45,045	30,0
21	1	3	3	1,99300	45,474	8,0
22	2	0	3	1,90900	47,596	4,0
23	1	1	5	1,74700	52,326	2,0
24	-1	3	5	1,67300	54,830	16,0
25	0	6	0	1,53400	60,285	16,0
26	0	4	5	1,51500	61,121	4,0

## Stick Pattern



### Name and formula

Reference code: 00-029-0531

Mineral name: Goldfieldite

PDF index name: Copper Antimony Arsenic Tellurium Sulfide

Empirical formula:  $\text{Cu}_{12}\text{S}_{13}\text{Te}_4$

Chemical formula:  $\text{Cu}_{12}(\text{Te}, \text{As}, \text{Sb})_4\text{S}_{13}$

### Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic

Space group: I-43m

Space group number: 217

a (Å): 10,3040

b (Å): 10,3040

c (Å): 10,3040

Alpha (°): 90,0000

Beta (°): 90,0000

Gamma (°): 90,0000

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 4,95

Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 1094,00

Z: 2,00

RIR: -

### **Subfiles and Quality**

Subfiles: Inorganic  
Mineral  
Alloy, metal or intermetallic  
Corrosion  
Forensic

Quality: Indexed (I)

### **Comments**

Color: Black metallic

General comments: Opaque mineral optical data on specimen from Goldfield, Nevada, USA:  $RR_2Re=30.1$ ,  $Disp.=16$ , Color values= $.310$ ,  $.315$ ,  $30.2$ , Ref.: IMA Commission on Ore Microscopy QDF.

Analysis: Color from Kato, A., *National Science Museum*, Tokyo, Japan (1977).  
Microprobe analysis (wt.%): Cu 44.3, Ag 0.6, Fe 0.1, Zn 0.2, Te 14.5, Sb 7.1, As 5.3, S 27.8.

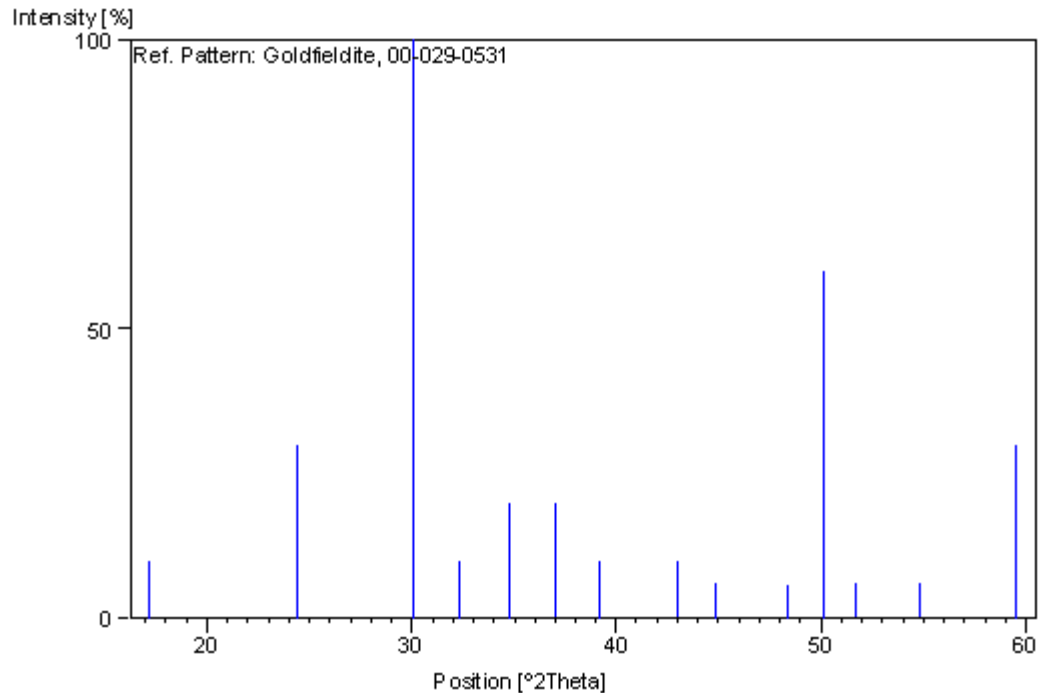
### **References**

Primary reference: Haga, N., Mineralogical Institute, Faculty of Science, University of Tokyo, Tokyo, Japan., *ICDD Grant-in-Aid*, (1977)

### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	2	0	0	5,15000	17,204	10,0
2	2	2	0	3,64000	24,435	30,0
3	2	2	2	2,97000	30,064	100,0
4	3	2	1	2,77000	32,292	10,0
5	4	0	0	2,58000	34,743	20,0
6	3	3	0	2,43000	36,963	20,0
7	4	2	0	2,30000	39,135	10,0
8	4	2	2	2,10000	43,038	10,0
9	5	1	0	2,02000	44,833	6,0
10	5	2	1	1,88100	48,349	6,0
11	4	4	0	1,81900	50,108	60,0
12	5	3	0	1,76900	51,627	6,0
13	6	1	1	1,67300	54,830	6,0
14	6	2	2	1,55200	59,515	30,0

## Stick Pattern



## Name and formula

Reference code: 00-017-0514

Mineral name: Epidote  
PDF index name: Calcium Aluminum Iron Silicate Hydroxide

Empirical formula:  $\text{Al}_2\text{Ca}_2\text{FeO}_{13}\text{Si}_3$   
Chemical formula:  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Fe}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{O}, \text{OH})_2$

## Crystallographic parameters

Crystal system: Monoclinic  
Space group: P21/m  
Space group number: 11

a (Å): 8,9000  
b (Å): 5,6300  
c (Å): 10,2000  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 115,4000  
Gamma (°): 90,0000

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 3,21  
Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 3,50  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 461,69  
Z: 2,00

RIR: -

### **Status, subfiles and quality**

Status: Marked as deleted by ICDD  
Subfiles: Inorganic  
Mineral  
Corrosion  
Common Phase  
Forensic  
Quality: Indexed (I)

### **Comments**

Deleted by: Deleted by 45-1446, data more complete; LB 3/94.  
Color: Dark green  
General comments: Cell dimensions and indices increase with Fe content.  
Sample source: Specimen from Dauphine, Switzerland.  
Analysis: Analysis (wt.%): SiO<sub>2</sub> 36.88, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 18.61, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 17.93, FeO 0.37, MnO 0.48, CaO 23.06, H<sub>2</sub>O 2.30, gives Al<sub>1.8</sub> ( Fe + Mn )<sub>1.16</sub> .  
Optical data: A=1.740, B=1.768, Q=1.787, Sign=-, 2V=74°

### **References**

Primary reference: Seki., *Am. Mineral.*, **44**, 720, (1959)  
Optical data: Deer, W., Howie, R., Zussman, J., *Rock Forming Minerals*

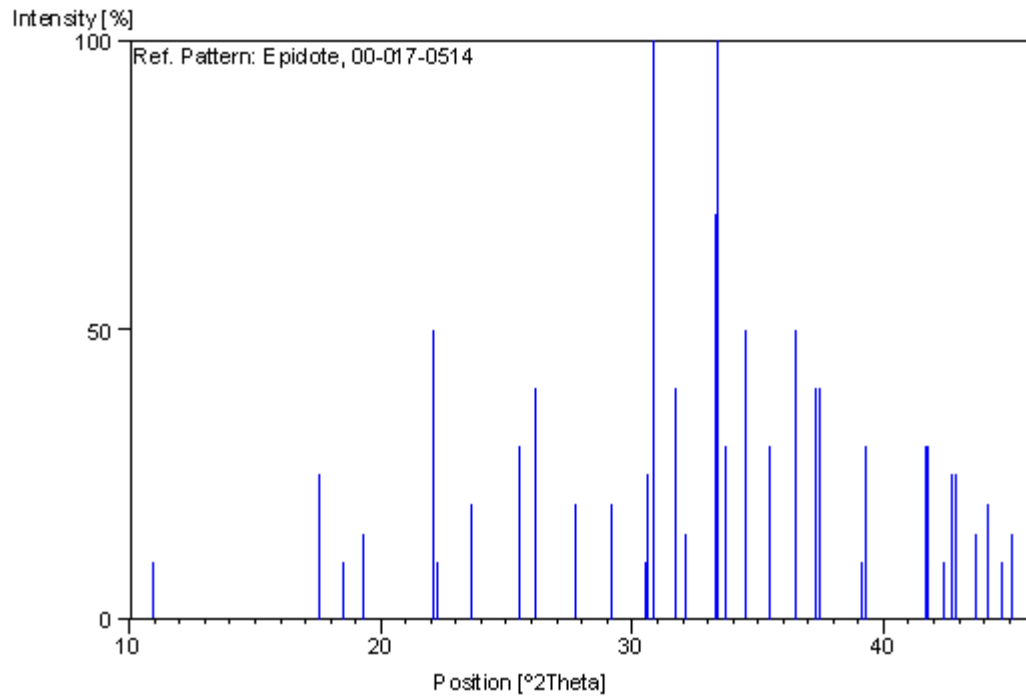
### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	8,04000	10,996	10,0
2	-1	0	2	5,05000	17,548	25,0
3	0	1	1	4,79000	18,508	10,0
4	-1	1	1	4,59000	19,322	15,0
5	2	0	0	4,02000	22,094	50,0
6	-2	0	2	3,99000	22,263	10,0
7	1	1	1	3,77000	23,580	20,0
8	-2	1	1	3,49000	25,502	30,0
9	-1	0	3	3,40000	26,189	40,0
10	2	0	1	3,21000	27,769	20,0
11	0	0	3	3,06000	29,160	20,0
12	-3	0	1	2,93000	30,485	10,0
13	1	1	2	2,92000	30,591	25,0
14	-1	1	3	2,90000	30,808	100,0
15	0	2	0	2,81700	31,739	40,0
16	2	1	1	2,78600	32,102	15,0
17	0	2	1	2,68800	33,305	70,0
18	3	0	0	2,67900	33,421	100,0
19	1	2	0	2,65600	33,719	30,0



20	-3	1	1	2,59900	34,481	50,0
21	1	0	3	2,53100	35,438	30,0
22	1	2	1	2,46000	36,496	50,0
23	-3	1	3	2,40900	37,297	40,0
24	0	2	2	2,40100	37,426	40,0
25	-2	2	2	2,30100	39,117	10,0
26	-2	1	4	2,29400	39,241	30,0
27	-1	2	3	2,16600	41,664	30,0
28	-4	0	1	2,16300	41,725	30,0
29	-3	1	4	2,13100	42,381	10,0
30	2	2	1	2,11700	42,675	25,0
31	-2	2	3	2,10900	42,845	25,0
32	-4	1	2	2,07200	43,649	15,0
33	2	0	3	2,04800	44,187	20,0
34	-3	2	2	2,02600	44,693	10,0
35	4	0	0	2,01000	45,068	15,0

### Stick Pattern



## **Name and formula**

Reference code: 00-044-1400

Mineral name: Clinozoisite  
PDF index name: Calcium Aluminum Silicate Hydroxide

Empirical formula:  $\text{Al}_3\text{Ca}_2\text{HO}_{13}\text{Si}_3$   
Chemical formula:  $\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$

## **Crystallographic parameters**

Crystal system: Monoclinic  
Space group: P21/m  
Space group number: 11

a (Å): 8,8820  
b (Å): 5,6040  
c (Å): 10,1490  
Alpha (°): 90,0000  
Beta (°): 115,4300  
Gamma (°): 90,0000

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 3,37  
Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 3,33  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 456,22  
Z: 2,00

RIR: -

## **Subfiles and Quality**

Subfiles: Inorganic  
Mineral  
Cement and Hydration Product  
Corrosion  
Common Phase  
Forensic

Quality: Star (S)

## **Comments**

Color: Light yellow-green  
Sample source: Specimen from Seven Rila Lakes, Rila Mountain, Bulgaria.  
Analysis: Chemical analysis:  $\text{Ca}_{1.97}(\text{Al}_{0.58}\text{Fe}_{0.38}\text{Cr}_{0.01})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$ .  
Additional pattern: To replace 13-563, 21-128 and 41-1479.

## **References**

Primary reference: Macicek, J., Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria., *ICDD Grant-in-Aid*, (1991)

Structure:

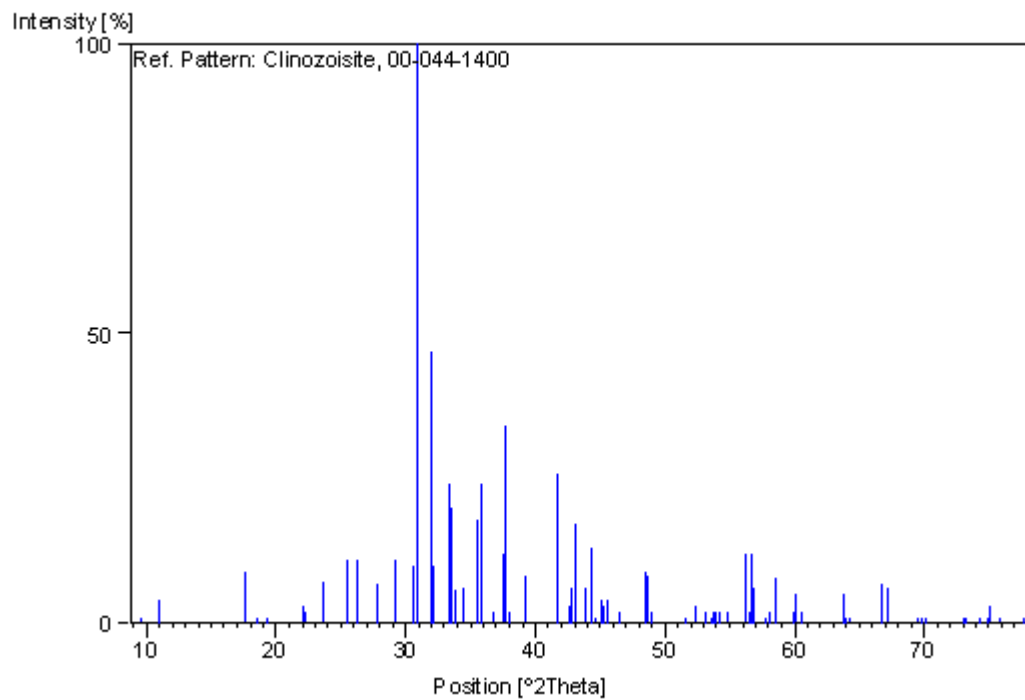
Dollase, W., *Am. Mineral.*, **53**, 1882, (1968)

### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	9,16268	9,645	1,0
2	1	0	0	8,02958	11,010	4,0
3	1	0	-2	5,01644	17,666	9,0
4	0	1	1	4,78162	18,541	1,0
5	1	1	0	4,58937	19,325	1,0
6	2	0	0	4,00626	22,171	3,0
7	2	0	-2	3,98550	22,288	2,0
8	1	1	1	3,75427	23,680	7,0
9	2	1	-1	3,48210	25,561	11,0
10	1	0	2	3,39912	26,196	11,0
11	2	0	1	3,20405	27,822	7,0
12	0	0	3	3,05345	29,224	11,0
13	3	0	-2	2,91781	30,615	10,0
14	1	1	-3	2,89328	30,881	100,0
15	0	2	0	2,80186	31,915	47,0
16	2	1	1	2,78082	32,163	10,0
17	0	1	3	2,68091	33,396	24,0
18	3	0	0	2,67252	33,504	20,0
19	1	2	0	2,64667	33,841	6,0
20	3	1	-1	2,59527	34,532	6,0
21	2	0	2	2,52676	35,499	18,0
22	2	0	-4	2,50506	35,817	24,0
23	1	2	-2	2,44679	36,700	2,0
24	3	1	-3	2,39906	37,457	12,0
25	0	2	2	2,39106	37,587	34,0
26	2	2	-1	2,36751	37,975	2,0
27	3	0	-4	2,29265	39,265	8,0
28	4	0	-1	2,16304	41,724	26,0
29	0	1	4	2,12000	42,612	3,0
30	2	2	1	2,10910	42,843	6,0
31	2	2	-3	2,09981	43,042	17,0
32	0	2	3	2,06490	43,807	6,0
33	2	0	3	2,04389	44,281	13,0
34	3	2	-1	2,02394	44,741	1,0
35	4	1	-3	2,00853	45,103	4,0
36	4	0	0	2,00524	45,181	3,0
37	1	0	4	1,98903	45,570	4,0
38	3	0	-5	1,95222	46,479	2,0
39	2	2	2	1,87793	48,433	9,0
40	4	1	-4	1,87622	48,480	7,0
41	1	1	-5	1,86753	48,720	8,0
42	3	1	2	1,85972	48,938	2,0
43	5	0	-2	1,77069	51,574	1,0
44	0	1	5	1,74282	52,461	3,0
45	2	3	-1	1,72148	53,162	2,0
46	4	2	-3	1,70747	53,633	1,0
47	4	1	-5	1,70388	53,755	2,0
48	2	0	4	1,69950	53,905	2,0
49	2	0	-6	1,68878	54,275	2,0

50	3	0	-6	1,67130	54,890	2,0
51	5	1	-1	1,63552	56,196	12,0
52	5	1	-4	1,62688	56,521	2,0
53	4	2	-4	1,62280	56,676	12,0
54	1	2	-5	1,61694	56,900	6,0
55	0	3	3	1,59369	57,808	1,0
56	4	0	-6	1,58690	58,079	2,0
57	3	3	-1	1,57468	58,573	8,0
58	5	1	0	1,54277	59,907	2,0
59	4	1	2	1,54004	60,024	5,0
60	3	3	-3	1,52771	60,559	2,0
61	5	2	-1	1,45920	63,726	5,0
62	5	2	-4	1,45439	63,962	1,0
63	3	3	-4	1,44750	64,303	1,0
64	0	4	0	1,40136	66,690	7,0
65	1	0	-7	1,39090	67,258	6,0
66	3	3	-5	1,34975	69,598	1,0
67	5	0	2	1,34460	69,903	1,0
68	0	2	6	1,34114	70,110	1,0
69	1	4	2	1,29465	73,023	1,0
70	4	3	-5	1,29176	73,213	1,0
71	0	1	7	1,27537	74,311	1,0
72	4	2	3	1,26646	74,923	1,0
73	4	0	4	1,26359	75,123	3,0
74	2	0	-8	1,25266	75,894	1,0
75	2	1	6	1,22823	77,682	1,0

## Stick Pattern



## BIBLIOGRAFÍA

1. Aguirre, L., & Atherton, M. (1987). *The nature and origin of granite*. Londres.
2. Cuervas Mons, J. (2015). Estudio Geológico-Estructural y Análisis Geomecánico de la Minas San Juna; Distrito Minero Ponce Enríquez, Provincia Azuay, Ecuador.
3. Duque, J. (2000). *Manual de Geología para ingenieros*. Quito.
4. Fontobé, L. (2014). *Hidrothermal fluids: Types, composition, transport and precipitation*. Ginebra.
5. Fontobé, L. (2014). *Hydrothermal Alteration - some key points*. Ginebra.
6. Macías, D. (2012). Difracción de rayos X. *Tópicos de materiales catalíticos*. México D.F.
7. Maksaev, V. (2012). Alteración Hidrotermal. *Revista tecnológica Universidad de Chile*.
8. Mayer, J., & Hernley, N. (1967). *Alteración Hidrotermal*. Heidelberg.

9. Pratt, J. (1997). Geología del Ecuador. En J. Pratt, *Geología del Ecuador*.
10. PRODEMINCA. (2000). Evaluación de distritos mineros del Ecuador. En PRODEMINCA, *Evaluación de distritos mineros del Ecuador* (págs. 105-147). Quito.
11. Rengel, J. (2008). *Petrografía Básica*. Guayaquil.
12. Salazar, E. (Abril de 2012). *Glosarios de términos especializados de las Ciencias, las Artes, las Técnicas y la Sociedad*. Recuperado el 2011, de Glosarios de términos especializados de las Ciencias, las Artes, las Técnicas y la Sociedad: <http://glosarios.servidor-alicante.com/geologia/aureola-de-metamorfismo-aureola-metamorfica>
13. Thalmann, H. (1946). *Geología del El Oro*. Quito.
14. Vega, A. (2013). Cálculo de Reservas de la veta Paraíso Mina Paraíso-Distrito Ponce Enriquez.