

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

“APLICACIÓN DEL MÉTODO DE DIFRACCIÓN PARA LA  
DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE MINERALES DE ALTERACIÓN  
HIDROTERMAL DEL SONDAJE TEL-01 DEL PROYECTO TELIMBELA, SU  
RELACIÓN CON LA LITOLOGÍA Y MINERALIZACIÓN”

**PROYECTO DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO GEÓLOGO**

Presentado por:

Steven Miguel Cueva Medina

Johan Javier Hernández Ballesteros

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2016

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por bendecirme en cada momento de mi vida y guiarme por el camino correcto.

Sin duda alguna a mis padres por su apoyo constante, a su gran sacrificio económico para permitirme formarme como profesional. A mis hermanos por estar siempre a mi lado, ayudándome incondicionalmente.

Al Ing. Ángel Chávez Cueva, tutor de nuestro proyecto, por su apoyo y paciencia hacia nosotros y sobre todo por brindarnos su confianza y amistad. A la Empresa Nacional Minera del Ecuador, ENAMI EP; por facilitarnos los datos para el desarrollo del presente trabajo.

**Steven Miguel Cueva Medina**

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, agradezco a mis padres y a mi familia por todo el apoyo incondicional que me han brindado para llegar hasta aquí y cumplir una de mis metas, de ellos nunca ha faltado un buen consejo, un buen sermón o un buen ejemplo para motivarme a lograr mis objetivos. Gracias por confiar en mí. A mi hermano siempre le estaré agradecido, no fue fácil dejar mi ciudad natal para realizar mis estudios superiores, y él estuvo ahí conmigo para compartir su experiencia y ayudarme a no perderme en el camino.

Quiero ofrecer también mi más sincero agradecimiento al Ing. Ángel Chávez que ha depositado su confianza en nosotros para realizar este trabajo, que nos ha facilitado toda la información pertinente para el desarrollo del proyecto y siempre estuvo

presto a compartir sus conocimientos y despejar nuestras inquietudes.

Además, quiero darles las gracias a todos mis profesores a lo largo de esta carrera, por compartir sus conocimientos conmigo y que gusto saber que con la mayoría se ha logrado enlazar una amistad que aprecio bastante.

No podía dejar pasar por alto agradecerles a mis 10 compañeros y amigos, con ellos siempre he podido contar en cualquier momento, han sido una buena influencia y compañía dentro y fuera de la universidad, de alguna u otra manera nos hemos ayudado unos a otros siempre y me alegra saber que nos conocimos en la lucha por lograr un mismo objetivo.

**Johan Javier Hernández Ballesteros**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por ser el guía en mi camino.

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional.

A mis amigos por permitirme ser parte de ellos.

A mis maestros, por su ayuda constante y amistad.

**Steven Miguel Cueva Medina**

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme todas las capacidades

A mis padres y mi hermano que siempre  
me han apoyado

A mis maestros que han compartido sus  
conocimientos.

**Johan Javier Hernández Ballesteros**

# **TRIBUNAL DE GRADUACIÓN**

---

**Ing. Ángel Chávez Cueva**  
**Tutor del Proyecto**

---

**PhD. Carlos Martillo Bustamante**  
**Miembro Evaluador**

---

**MSc. Glenda Loayza Toro**  
**Miembro Evaluador**

## **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”

---

**Steven Miguel Cueva Medina**

---

**Johan Javier Hernández Ballesteros**

## RESUMEN

En el presente proyecto se utiliza el método de Difracción de Rayos X (DRX) para la identificación y cuantificación de minerales de alteración hidrotermal presentes en el sondaje TEL-01 del proyecto Telimbela (depósito tipo pórfido de Cu-Mo, perteneciente a la Empresa Nacional Minera del Ecuador ENAMI EP), ubicado en la Provincia de Bolívar, Cantones Chimbo y Caluma, en las Parroquias de Telimbela y Caluma.

Regionalmente la concesión se encuentra en la Unidad Macuchi y el granitoide de Chaso Juan Telimbela. Localmente está constituida por unidades litológicas correspondientes a rocas volcano-sedimentarias, rocas volcánicas y rocas intrusivas (granodioritas, cuarzodioritas, brechas magmáticas, dioritas y dioritas porfiríticas).

Estructuralmente se identificó dos sistemas de fallas de dirección NE-SW y NW-SE. Las fallas NE-SW en general son dextrales con rumbo comprendido entre  $N30^{\circ}$  a  $N60^{\circ}$  con buzamiento subvertical, mientras que las fallas NW – SE son sinestrales y probablemente posteriores a las primeras, tienen rumbo  $N110^{\circ}$  –  $N120^{\circ}$  y buzamiento promedio de  $65^{\circ}$ NE.

Los resultados permitirán determinar el comportamiento basado en la presencia y variabilidad de los minerales de alteración hidrotermal en profundidad en relación con la litología, mineralización y estructuras que fueron registradas en el pozo.

Para el desarrollo adecuado y cumplir con el objetivo propuesto del proyecto fue posible contar con datos de lecturas del difractómetro e información del logeo geológico de secciones del pozo TEL-01 realizados por los geólogos de la Empresa Nacional Minera ENAMI EP. La identificación de las especies minerales mediante la interpretación de los difractogramas y su posterior cuantificación se realizaron mediante el uso de los softwares Xpowder Ver. 2010.01.32 PRO y Siroquant V.3 softwares que en conjunto forman parte del equipo XRD / (Espectrómetro) XRF Portable TERRA INXITU.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	X
ABREVIATURAS .....	XII
SIMBOLOGÍA .....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVIII
INDICE DE MAPAS .....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XX
<b>1 GENERALIDADES.....</b>	<b>22</b>
1.1 Antecedentes .....	22
1.2 Planteamiento y justificación del Problema .....	30
1.3 Delimitación de la zona de estudio.....	32
1.4 Accesos, recursos locales, infraestructura, fisiografía, clima y vegetación.....	34
1.5 Perforación Exploratoria ENAMI EP (2014-2015) .....	37
1.6 Objetivos .....	40

<b>2 BASE TEÓRICA.....</b>	<b>54</b>
2.1 Difracción de rayos x.....	54
2.2 Alteración hidrotermal .....	58
2.3 Pórfidos cupríferos .....	65
<b>3 MARCO GEOLÓGICO .....</b>	<b>70</b>
3.1 Geología Regional.....	70
3.2 Geología Local .....	74
3.3 Geología Estructural.....	82
<b>4 METODOLOGÍA.....</b>	<b>71</b>
4.1 Metodología general de la Investigación .....	71
<b>5 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>79</b>
<b>6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>86</b>
6.1 Conclusiones.....	86
6.2 Recomendaciones.....	88

## **ANEXOS**

## **BIBLIOGRAFÍA**

## ABREVIATURAS

Buz	Buzamiento
CDMA	Acceso múltiple por división de código
CODIGEM	Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico Minero Metalúrgica
DGGM	Dirección General de Geología y Minas
DRX	Difracción de Rayos X
ENAMI	Empresa Nacional Minera del Ecuador
Eo	Eoceno
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FICT	Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra
Fm	Formación
FRX	Fluorescencia de Rayos X
JICA	Japan International Cooperation Agency
Ma	Millones de años
Máx	Máximo
Mín	Mínimo
Mio	Mioceno
MMAJ	Metal Mining Agency of Japan
Pal	Paleoceno
pH	Potencial de hidrógeno
PI	Polarización inducida
PSAD 56	Provisional South American Datum 1956
RX	Rayos X
Sin	Seno
TEL	Telimbela
UPC	Unidad de Policía Comunitaria
UTM	Universal Transversal of Mercator
WGS 84	World Geodetic System 1984

## SIMBOLOGÍA

Å	Angstrom
Ab	Albite
Act	Actinolite
Ad	Adularia
Ag	Plata
Al (elemento)	Aluminio
Al (mineral)	Alunite
And	Andalusite
Ar	Argón
Au	Oro
Bio	Biotite
Ca	Calcio
Cb	Carbonate
Ch	Chlorite
Chab	Chabazite
Chd	Chalcedony
Ch-Sm	Chlorite-Smectite
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
Cor	Corundum
Cpx	Clinopyroxene
Cpy	Calcopirita
Cr	Cristobalite
Ct	Calcite
Cu	Cobre
Dik	Dickite
Do	Dolomite
Dp	Diaspore
Ep	Epidote
Fsp	Feldspar
g/t	Gramos sobre tonelada
Ga	Garnet
gr	Gramo
Ha	Hectárea
Hal	Halloysite
Heu	Heulandite
I	Illite
I-Sm	Illite-Smectite
K (elemento)	Potasio
K (mineral)	Kaolinite
Kg	Kilogramo

Km	Kilometro
Lau	Laumontite
m	Metro
m.s.n.m	Metros sobre nivel del mar
Mg	Magnesio
mm	Milímetro
Mo	Molibdeno
Mor	Mordenite
Mt	Magnetite
Na	Sodio
Nat	Natrolite
Op	Opaline silica
ppm	Partes por millón
Py	Pirita
Pyr	Pyrophyllite
Q	Quartz
S	Azufre
Ser	Sericite
Sid	Siderite
Sm	Smectite
Stb	Stilbite
T	Temperatura
Tr	Tremolite
Tri	Tridymite
Ves	Vesuvianite
Wai	Wairakite
Wo	Wollastonite
Zeo	Zeolite
$\Delta t^{\circ}$	Diferencia de temperatura
$\theta$	Teta
$\lambda$	Longitud de onda
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius
%	Porcentaje

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 2.1.** Las condiciones de difracción de rayos X en un grupo de planos reticulares. ....56
- Figura 2.2.** Difractograma típico de rayos x. ....58
- Figura 2.3.** Distribución de las principales zonas con mineralización de pórfidos cupríferos en el mundo.....66
- Figura 2.4.** Modelo tectónico esquemático de una zona de subducción en un margen de tipo andino .....68
- Figura 2.5.** Esquemas de un pórfido cuprífero señalando la zonación de alteración y mineralización.....69
- Figura 3.1.** Rocas volcano-sedimentarias del Sector de Choropamba76
- Figura 3.2.** Toba de composición andesítica intruida por dique granodiorítico .....77
- Figura 3.3.** Granodiorita de grano grueso con biotita .....78

<b>Figura 3.4.</b> Cuarzodiorita de grano fino (Quebrada Ugshacochoa)...	79
<b>Figura 3.5.</b> Diorita de grano fino (Sector Ashcoaca) .....	80
<b>Figura 3.6.</b> Brecha intrusiva con matriz soportada y clastos granodioríticos. Telimbela Central.....	81
<b>Figura 3.7.</b> Diorita porfírica con fenocristales de plagioclasas y matriz fanerítica (Ashcoaca).....	82
<b>Figura 3.8.</b> Contacto fallado entre granodiorita y diorita (Sector Ashcoaca) .....	83
<b>Figura 3.9.</b> Diorita con fracturas de tensión rellenas de yeso .....	84
<b>Figura 3.10.</b> Micro-estructuras NW-SE y NE-SW localizadas en un afloramiento de la Q.Ugshacochoa.....	85
<b>Figura 4.1.</b> Pantalla principal del software Xpowder. ....	72
<b>Figura 4.2.</b> Sustracción del 'Background' del difractograma. ....	73

**Figura 4.3.** Identificación de las especies minerales mediante la comparación de los picos de difracción con las líneas teóricas. ....73

**Figura 4.4.** Difractograma señalando los picos correspondientes a minerales de alteración hidrotermal. ....74

**Figura 4.5.** Pantalla inicial del software Siroquant.....75

**Figura 4.6.** Sustracción del 'Background' del difractograma. ....75

**Figura 4.7.** Superposición de un modelo de picos de los minerales de alteración hidrotermal sobre el difractograma original de la muestra.76

**Figura 4.8.** Cuantificación de los minerales de alteración hidrotermal. 76

**Figura 5.1** Comparación de las alteraciones en profundidad .....83

**Figura 5.2.** Modelo geológico idealizado del primer evento de intrusión. 85

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla I.</b> Valores más importantes de Cu – Mo en muestras de sedimentos recolectados en Telimbela. ....	24
<b>Tabla II.</b> Valores más importantes de Cu – Mo en muestras de suelos recolectados en Telimbela. ....	24
<b>Tabla III.</b> Valores más importantes de Cu – Mo en muestras de rocas recolectadas en Telimbela Central.....	25
<b>Tabla IV.</b> Puntos que limitan la concesión Telimbela (Proyecto Telimbela) .....	33
<b>Tabla V.</b> Datos principales de los 9 sondajes exploratorios realizados en el Proyecto Telimbela – Sector Ashcoaca .....	39
<b>Tabla VI.</b> Grupos de alteraciones hidrotermales y sus minerales que los conforman .....	77

## INDICE DE MAPAS

<b>Mapa I.</b> Anomalía de Cu en muestras de suelo-Telimbela Central..	26
<b>Mapa II.</b> Mapa de ubicación de perforaciones antiguas y zonas mineralizadas .....	27
<b>Mapa III.</b> Mapa de muestras de roca tomadas por JICA-MMAJ, FASE III, 1991 – Telimbela Noreste.....	29
<b>Mapa IV.</b> Localización del Proyecto Telimbela respecto a Ecuador	32
<b>Mapa V.</b> Localización del Proyecto Telimbela, provincia de Bolivar	33
<b>Mapa VI.</b> Mapa de ubicación de los sondajes exploratorios .....	38
<b>Mapa VII.</b> Mapa de ubicación de los sondajes exploratorios .....	39
<b>Mapa VIII.</b> Mapa geológico regional del Proyecto Telimbela .....	73
<b>Mapa IX.</b> Mapa geológico local del Proyecto Telimbela .....	75

## INTRODUCCIÓN

Los yacimientos minerales tipo Pórfidos Cupríferos son de gran importancia económica para el desarrollo de cualquier país que los contenga, por lo tanto, se debería llevar a cabo un estudio y análisis a detalle de este tipo de depósitos.

El siguiente proyecto tiene como objetivo general, identificar y cuantificar los minerales de alteración hidrotermal que se encuentren presentes en algunas muestras de pulpa correspondientes a muestras de testigos de perforación del sondaje TEL-01 del proyecto Telimbela perteneciente a la Empresa Nacional Minera del Ecuador ENAMI EP.

El proyecto se localiza sobre la Cordillera Occidental, en la Provincia de Bolívar, cantón Chimbo, la concesión minera denominada también “Telimbela” cubre 4.033 ha. Los minerales de posible beneficio económico que se investigan son el Cobre y Molibdeno en rocas intrusivas acidas a intermedias.

Algo de suma importancia que conlleva el presente estudio es el analizar el comportamiento de los minerales de alteración en función de la profundidad a

lo largo del sondaje TEL-01. Para realizar correctamente el proyecto se han empleado técnicas modernas como el análisis por Difracción de Rayos X, la cual analiza la estructura geométrica de los minerales.

Posterior a la selección de las muestras del testigo de perforación a ser analizado y a la lectura de la muestra con el difractómetro (lo antes mencionado no es parte del presente estudio) se utilizan los softwares especializados para interpretar los difractogramas, los mismos que señalan las fases minerales identificando y cuantificando en porcentaje el mineral de alteración de interés en la muestra.

# CAPÍTULO 1

## 1 GENERALIDADES

### 1.1 Antecedentes

Existen varios trabajos previos realizados en el área de Telimbela, tanto por el sector público como privado. Los trabajos más importantes fueron ejecutados por la Dirección General de Geología y Minas (DGGM) entre 1975 a 1979, Japan International Cooperation Agency (JICA) y Metal Mining Agency of Japan (MMAJ) en colaboración con la Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico Minero Metalúrgica (CODIGEM) en la década de 1980 y la compañía privada Ascendat Copper Corporation – Compañía Minera Telimbela (2007).

- En el reporte de Aucott J.W., Puig C, Quevedo L y Báez N., 1979 de la DGGM (“Exploración Geoquímica Regional en el Centro Occidental del Ecuador - Proyecto San Miguel) los aspectos más importantes son los siguientes:

**Exploración:** En estudios de la Cordillera Occidental, se recolectaron aproximadamente 2.550 muestras de sedimentos fluviales y minerales pesados a nivel regional en aproximadamente 6100 Km<sup>2</sup>. En base de estos datos se determinó un área anómala para cobre (Cu) en la Parroquia de Telimbela - provincia de Bolívar.

- Aucott J.W. & Quevedo (1979) en su reporte elaborado para la DGGM los aspectos más importantes son los siguientes:

**Geología:** Se determina la existencia de tonalitas, cuarzo dioritas y dioritas del terciario medio que han intruido a tobas y piroclastos de la Fm. Macuchi. Las fallas tienen una dirección preferencial NE-SW.

**Mineralización:** Existen dos tipos de mineralización. La primera se presenta en stockworks en las aureolas de contacto intrusivo-intrusivo e intrusivo-volcánicos, y esta mineralización está constituida por pirita con trazas de calcopirita, calcosina, bornita y molibdenita. La segunda mineralización está constituida por vetas cuarcíferas posteriores dentro de los intrusivos de la zona norte de Telimbela y en los volcánicos cerca del contacto; estas vetas contienen pirita y calcopirita con trazas de calcosina, bornita y molibdenita, con una dirección preferencias N-S.

**Exploración:** En este trabajo se tomaron muestras de sedimentos fluviales, suelos y rocas. La recolección de 126 muestras de sedimentos en un área de aproximadamente 12 Km<sup>2</sup>, determinó una zona anómala para Cu y Mo (Tabla I).

**Tabla I.** Valores más importantes de Cu – Mo en muestras de sedimentos recolectados en Telimbela.

Elemento	Valor mínimo (ppm)	Valor máximo (ppm)	Valor medio (ppm)
Cobre (Cu)	30	980	175
Molibdeno (Mo)	<1	12	-----

Fuente: Aucott J.W. & Quevedo (1979)

Además, se tomaron 814 muestras de suelos, tomadas tanto en el horizonte A, B y C, en un área de 3 Km<sup>2</sup> también se encontraron anomalías de Cu y Mo. Los valores más importantes se encuentran a continuación en la Tabla II.

**Tabla II.** Valores más importantes de Cu – Mo en muestras de suelos recolectados en Telimbela.

Elemento	Horizonte A		Horizonte B		Horizonte C	
	Valor mínimo (ppm)	Valor máximo (ppm)	Valor mínimo (ppm)	Valor máximo (ppm)	Valor mínimo (ppm)	Valor máximo (ppm)
Cobre (Cu)	36	3600	40	20400	16	20400
Molibdeno (Mo)	0	13	0	50	0	25

Fuente: Aucott J.W. & Quevedo (1979)

La geoquímica de sedimentos y suelos determinó que el área Norte de Telimbela es anómala en Cu-Mo y el sector Sureste en Mo.

Para las 85 muestras de rocas tomadas en toda la concesión, se determinó una zona anómala en Cu de aproximadamente 0.1 Km<sup>2</sup> al Norte de Telimbela, con valores entre 980 ppm a 16.720 ppm, reportados principalmente en muestras de intrusivos (Tabla III).

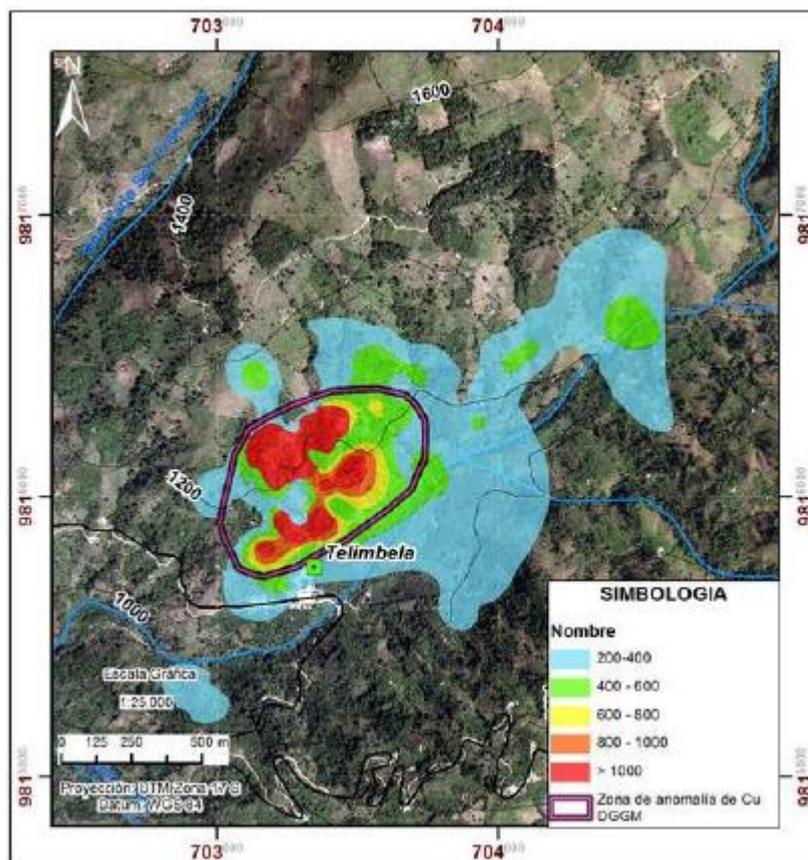
**Tabla III.** Valores más importantes de Cu – Mo en muestras de rocas recolectadas en Telimbela Central.

Muestra	Cu (ppm)	Mo (ppm)	ROCA
2DQR1050	980	10	intrusivo
2DQR1016	1136	0	intrusivo
2DQR1049	1280	10	intrusivo
2DQR1015	1344	0	intrusivo
2DQR1021	1568	0	intrusivo
2DQR1031	1840	10	intrusivo
2DQR1105	1900	40	volcánicos
2DQR1106	1960	5	intrusivo
2DQR1032	2560	30	intrusivo
2DQR1029	3504	0	intrusivo
2DQR1101	5400	5	volcánicos
2DQR1023	8320	125	intrusivo
2DQR1014	16720	0	intrusivo

**Fuente:** Aucott J.W. & Quevedo (1979)

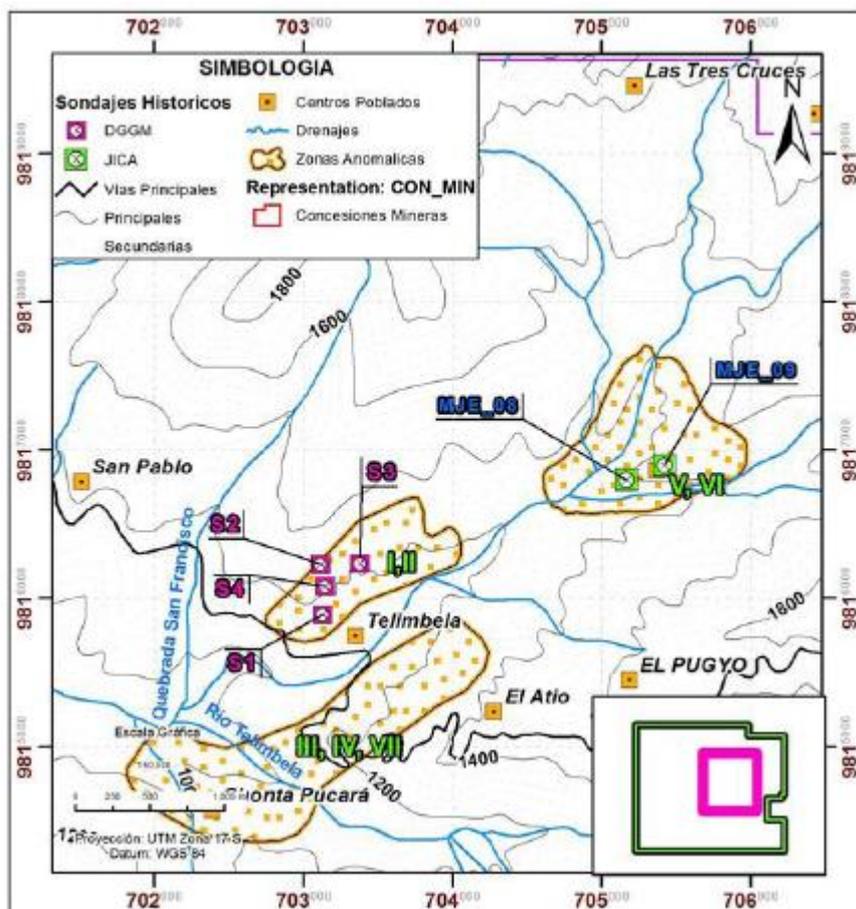
Se realizó un estudio geofísico por medio de polarización inducida (PI) y magnetometría del campo total sobre 20 Km de líneas. Como resultado se determinó una anomalía elíptica de PI en el sector de Telimbela Central, relacionada con el contacto intrusivo/ volcánico.

Tanto los estudios geoquímicos como geofísicos determinan una zona anómala de cobre en Telimbela Central (Mapa I).



**Mapa I.** Anomalia de Cu en muestras de suelo-Telimbela Central  
**Fuente:** ENAMI EP. (2016)

- En los reportes realizados por JICA - MMAJ (1989, 1990 y 1991) el área Telimbela es dividida según la mineralización en 7 zonas (I, II, III, IV, V, VI y VII), las cuales están agrupadas en Zona Norte (V y VI), Zona Central (I y II) y Zona Sur (III, IV y VII) (Mapa II). Los datos más importantes de este trabajo son los siguientes:



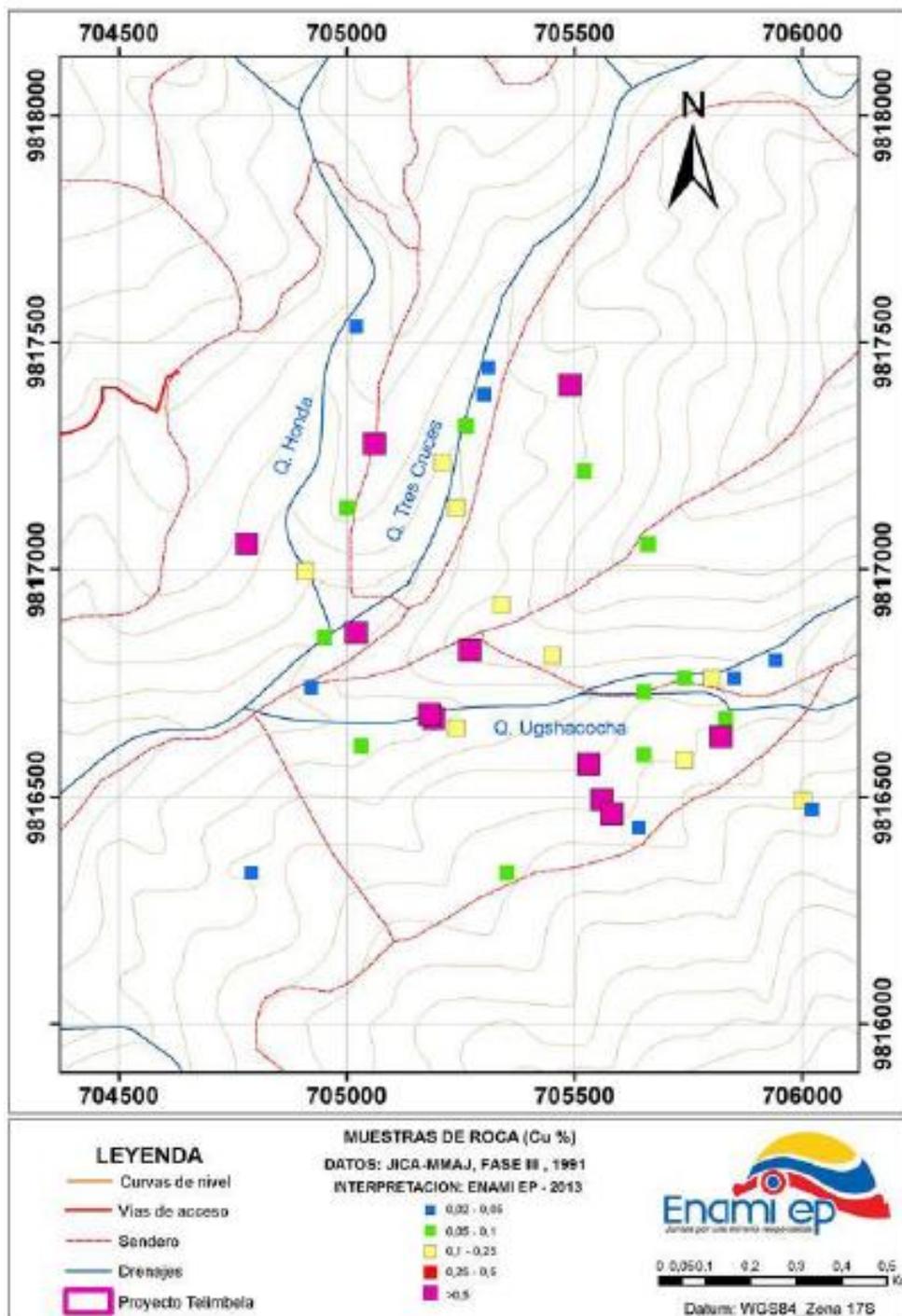
**Mapa II.** Mapa de ubicación de perforaciones antiguas y zonas mineralizadas determinadas por JICA-MMAJ, 1991

**Fuente:** ENAMI EP. (2016)

**Geología:** El Proyecto se encuentra localizado en la Formación Macuchi la cual está constituida en el sector por hornfels y andesitas basálticas intruidas por cuarzodioritas de biotita-hornblenda, cuarzodioritas de hornblenda, pórfidos de cuarzo, diques dioríticos melanocráticos y diques cuarzo dioríticos porfíricos. Las estructuras tienen una dirección NE-SW sobre la cual están alineados todos los intrusivos.

**Mineralización y alteración:** La mineralización se extiende a lo largo de una dirección NE-SW en especial en el sector Noreste. En general la mineralización se presenta en forma diseminada y en vetillas, y está constituida por pirita-calcopirita±molibdenita con un ensamble de alteración de cuarzo-sericita-clorita. En la Zona Central la mineralización de pirita-calcopirita±molibdenita ocurre en rocas graníticas en forma diseminada y en vetillas con un valor máximo de 0.2 g/t Au; 1.6 g/t Ag y 1.6 % Cu y una asociación mineralógica de alteración cuarzo-sericita-clorita. La Zona Sur con pirita-calcopirita± molibdenita en forma diseminadas y en vetillas, alojadas en rocas intrusivas, con un valor máximo de 0.05% Cu y un ensamble de alteración cuarzo-clorita±sericita. La Zona Norte tiene su mineralización en forma diseminada y en vetillas calcopirita-pirita tanto en rocas intrusivas como volcánicas; los valores geoquímicos más representativos son 0.4 g/t Au; 9.5 g/t Ag y 1.65% Cu y el ensamble de alteración es cuarzo-sericita-clorita.

**Exploración:** En este trabajo se realizó la recolección de 39 muestras de rocas en el Sector de Ashcoaca, entre las quebradas de Tres Cruces y Q. Ugshacocha (Mapa III). Las rocas con valores de Cu entre 0.1% a 1.38%, en general corresponden a rocas cuarzo dioríticas con Py-Cpy en forma diseminada y en vetillas.



**Mapa III.** Mapa de muestras de roca tomadas por JICA-MMAJ, FASE III, 1991 – Telimbela Noreste.

**Fuente:** ENAMI EP. (2016)

Los estudios geofísicos determinaron tres zonas de baja resistividad: (1) Ashcoaca, (2) Ugshacocha y (3) Tres Cruces. Las dos primeras zonas fueron comprobadas por medio de estudios geológicos y geoquímicos, determinándose que en las mismas existe una intensa mineralización de calcopirita y pirita en superficie, mientras que en la zona de Tres Cruces la mineralización estaría en profundidad, cubierta por las rocas de la formación Macuchi.

## **1.2 Planteamiento y justificación del Problema**

La mineralización de tipo pórfido de Cu-Mo presente en el Proyecto Telimbela ubicado en la provincia de Bolívar, cantón Chimbo, parroquias de Telimbela y Caluma, ha sido estudiada previamente por la Dirección General de Geología y Minas (DGGM) entre 1975 a 1979, la Japan International Cooperation Agency (JICA) y la Metal Mining Agency of Japan (MMAJ) en colaboración con la Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico Minero Metalúrgica (CODIGEM) en la década de 1990 y más tarde por varias empresas mineras privadas hasta el 2008.

En base de estos antecedentes la Empresa Nacional Minera EP (ENAMI EP) tomó a su cargo esta concesión para desarrollar trabajos de exploración,

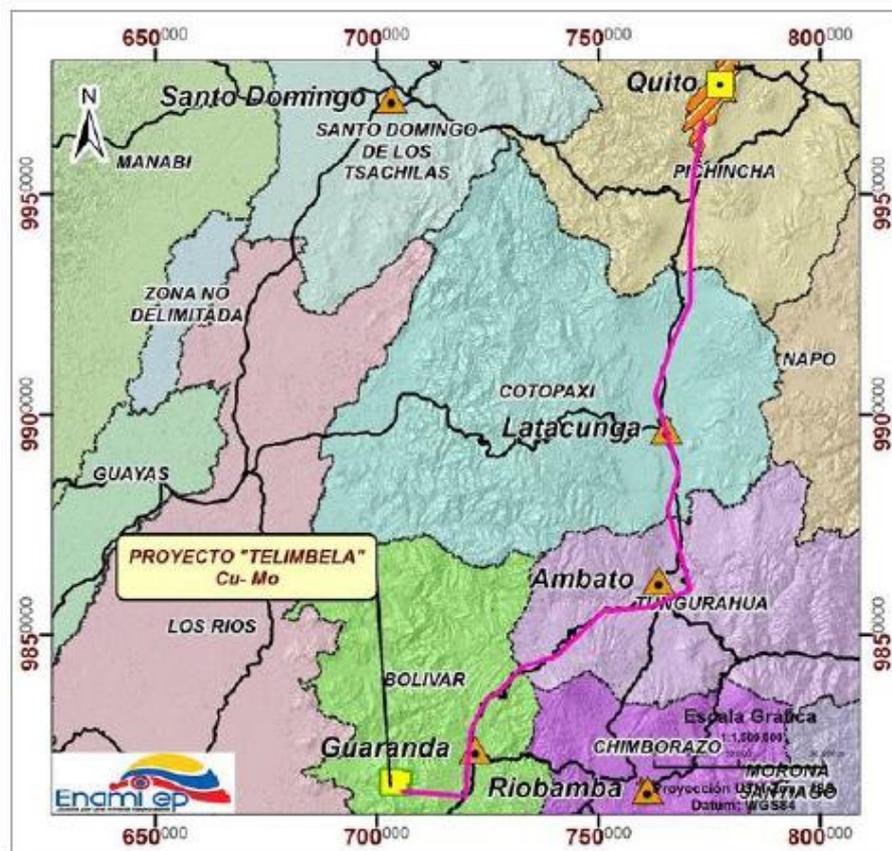
basada en trabajos de mapeo geológico, toma de muestras para análisis geoquímico y análisis de datos.

Un estudio a detalle en base a la cantidad y disponibilidad de información proporcionada por parte de ENAMI EP, que señale la relación existente entre la litología, mineralización y alteraciones presentes y su variabilidad en profundidad en el sondaje TEL-01, utilizando modernas técnicas de reconocimiento de minerales como lo es la difracción de rayos X, será de mucha importancia como punto de partida para la realización de futuros trabajos de investigación.

Para lograr identificar de manera confiable los minerales presentes en las diferentes muestras recogidas en los tramos del sondaje TEL-01 y cuantificar los porcentajes de los mismos; a más de realizar estudios macroscópicos en campo mediante un logue geológico por profesionales capacitados, debe ser actualmente llevada a cabo mediante equipos sofisticados como los Difractómetros de Rayos X, siendo en gran parte superior a cualquier otra técnica por su rapidez, su carácter no destructivo, y la poca cantidad necesaria para la determinación.

### 1.3 Delimitación de la zona de estudio

La concesión Telimbela se encuentra localizada en la Provincia de Bolívar, en los cantones Chimbo y Caluma, en las Parroquias de Telimbela y Caluma, aproximadamente a 178 Km al suroeste de la ciudad de Quito y 100 Km al Noreste de Guayaquil (Mapa IV, V). La concesión que abarca todo el proyecto, está definida por 11 coordenadas (Tabla IV) y tiene una extensión de 4033 Has.



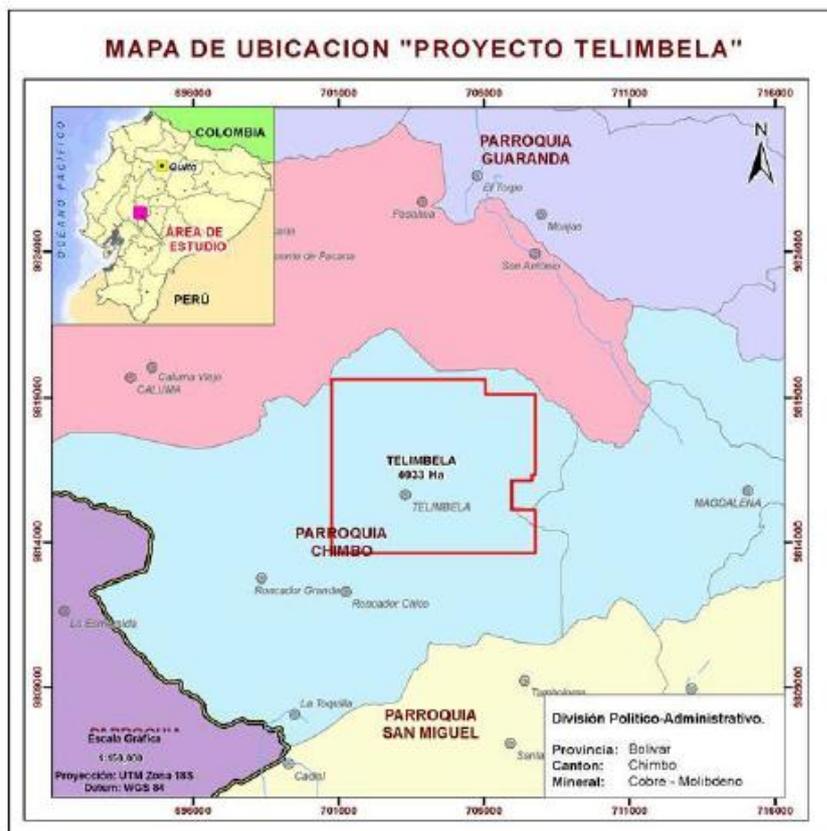
**Mapa IV.** Localización del Proyecto Telimbela respecto a Ecuador

**Fuente:** ENAMI EP. (2016)

**Tabla IV.** Puntos que limitan la concesión Telimbela (Proyecto Telimbela)

Punto	Datum PSAD 56		Datum WGS84-17S	
	X	Y	X	Y
PP	701000	9820000	700750,73	9819634,21
1	706300	9820000	706050,69	9819634,211
2	706300	9819500	706050,69	9819134,205
3	708000	9819500	707750,67	9819134,205
4	708000	9816700	707750,67	9816334,224
5	707900	9816700	707650,67	9816334,224
6	707900	9816500	707650,67	9816134,225
7	707200	9816500	706950,67	9816134,225
8	707200	9815500	706950,67	9815134,235
9	708000	9815500	707750,66	9815134,235
10	708000	9814000	707750,66	9813634,245
11	701000	9814000	700750,73	9813634,245

Fuente: ENAMI EP. (2015)



**Mapa V.** Localización del Proyecto Telimbela, provincia de Bolívar

Fuente: ENAMI EP. (2016)

#### **1.4 Accesos, recursos locales, infraestructura, fisiografía, clima y vegetación**

**Accesos:** El acceso a la concesión de Telimbela se lo hace por la vía Quito – Guaranda en un tiempo de aproximadamente 4 horas. Ésta vía de primer orden (226 Km) con pequeños tramos donde se realizan trabajos de mantenimiento vial, solo en los sectores donde se presentan deslizamientos de tierra. Luego se continúa por vías pavimentadas (60 Km) desde Guaranda hasta Caluma, con un tiempo de 2:30 horas. Desde Caluma hasta Telimbela el acceso es por vías lastradas, que en general se encuentran en condiciones aceptables, principalmente en época de verano, facilitando el acceso al proyecto en un tiempo de 30 minutos. Usualmente este recorrido demanda un tiempo de (7:00 a 7:30) horas.

Una segunda forma de ingreso es por vía aérea desde el aeropuerto de Tababela en Quito hasta su similar en la ciudad de Guayaquil con un tiempo aproximado de 40 minutos, a continuación, por vía terrestre desde Guayaquil pasando por Babahoyo, Pueblo Viejo, Catarama hasta Caluma con un tiempo de 2:30 horas y desde Caluma hasta Telimbela por caminos lastrados con un tiempo de 30 minutos. Este recorrido se lo efectúa en aproximadamente 3:30 horas.

Las vías de acceso dentro de la concesión estudiada son lastradas o corresponden a pequeños caminos de veraneo y senderos, los cuales son

usados para desplazarse a pie o con animales de carga y en verano en camioneta 4X4.

**Recursos locales e infraestructura:** La parroquia Telimbela, sitio base para el estudio, tiene un sub-centro de salud pública, escuela, colegio, UPC (seguridad pública), telefonía inalámbrica CDMA 450, líneas eléctricas trifásicas y monofásicas. No dispone de infraestructura hotelera, restaurantes, alcantarillado, agua potable, telefonía celular y servicios de internet. Sin embargo, a 30 minutos de esta parroquia, en la ciudad de Caluma, se dispone de esta infraestructura y medios de comunicación que son calificados de buenos a regulares. (Yepez, 2016)

**Fisiografía, clima y vegetación:** Las estructuras plegadas de las formaciones Macuchi y Piñón, constituyen la base del relieve tan accidentado y abrupto, característico de las estribaciones de la Cordillera Occidental en el área de Telimbela y que presenta variaciones de ligeramente ondulado a montañoso.

El 63 % de la superficie del cantón Chimbo es de tipo montañoso (pendientes >70%) y el 27% escarpado (pendientes entre el 50 y 70%). Esto significa que el 90% del cantón presenta pendientes mayores al 50%.

En la concesión minera Telimbela se observa parte de la micro-cuenca conocida como Telimbela – La Esperanza, la cual nace en las estribaciones

de la cordillera y recibe aportes de agua en la concesión minera Telimbela de sus tributarios: Tres Cruces, La Honda y Ashcoaca con una dirección preferencial Noreste - Suroeste y dos tributarios más conocidos como Mususan y Quirqui. Estos se encuentran alimentando la microcuenca Telimbela – La Esperanza con una dirección preferencial Este-Oeste.

El drenaje más importante dentro de la concesión lo constituye el río Telimbela que lo encontramos en la parte Sur del área de estudio, el cual nace cerca del cerro Romerillos a una altitud aproximada de 2800 msnm y desciende hasta los 370 msnm.

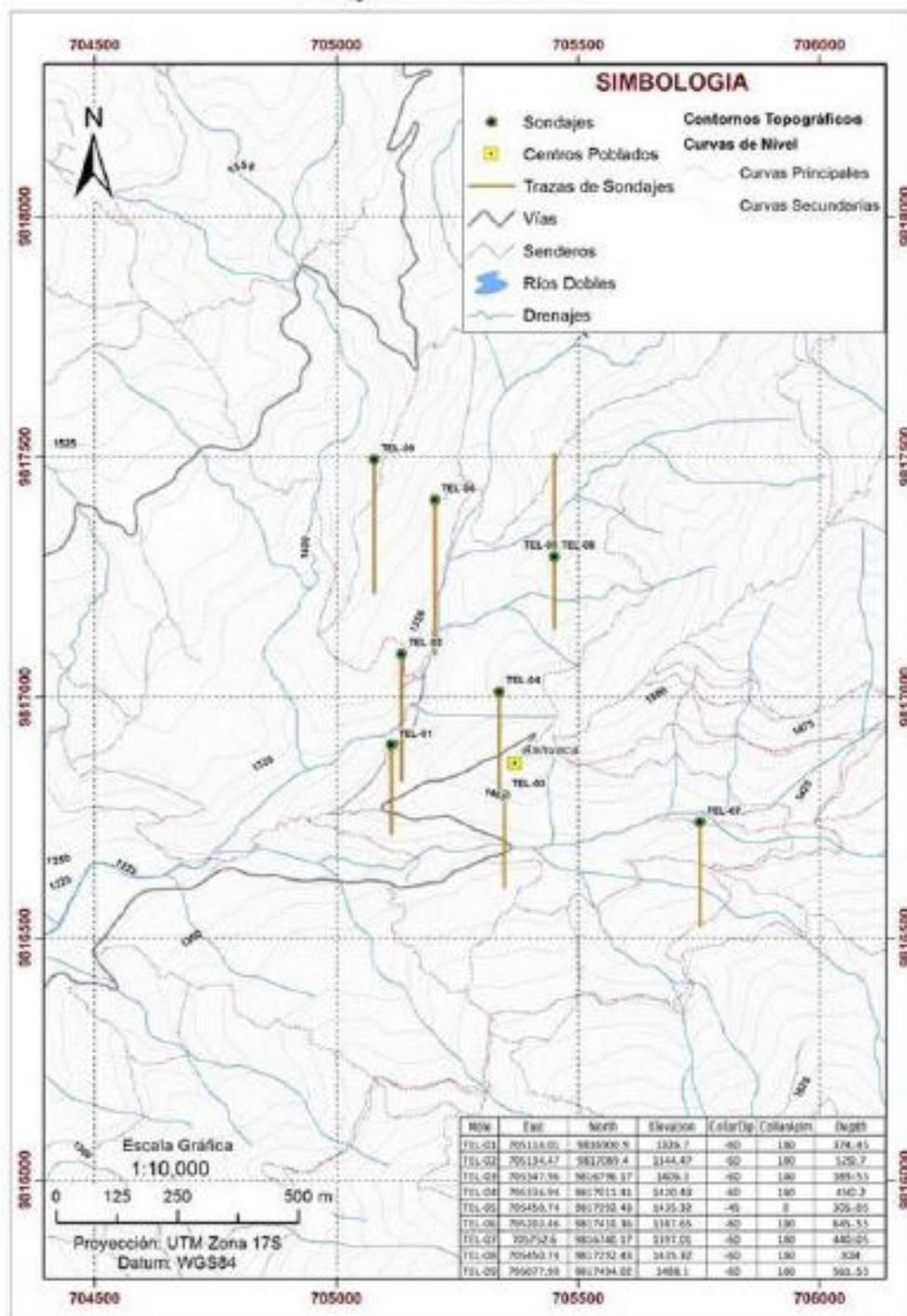
Las características climatológicas varían de un clima de tipo ecuatorial mesotérmico semihúmedo a tropical megatérmico húmedo en las partes bajas, el promedio anual de precipitación varía entre 1500 mm en la zona Oeste a 3000 mm en el Este, evidenciándose una estación seca con un período aproximado de 1 a 5 meses correspondiente a la época de julio a noviembre. La temperatura promedio varía de 14° a 16°C en las partes altas de la concesión Telimbela y se puede observar claramente 2 franjas isotérmicas que se encuentran afectando a la concesión, la primera hacia el Oeste con una variación de 20° a 22°C y la segunda al Este con variaciones de 18° a 20°C.

La vegetación que se encuentra es de tipo cálido en sus partes bajas como son sembríos de naranja, caña de azúcar y bananeras; hacia las partes altas

varía la vegetación pasando por enormes extensiones de pastizales. (Yepez, 2016)

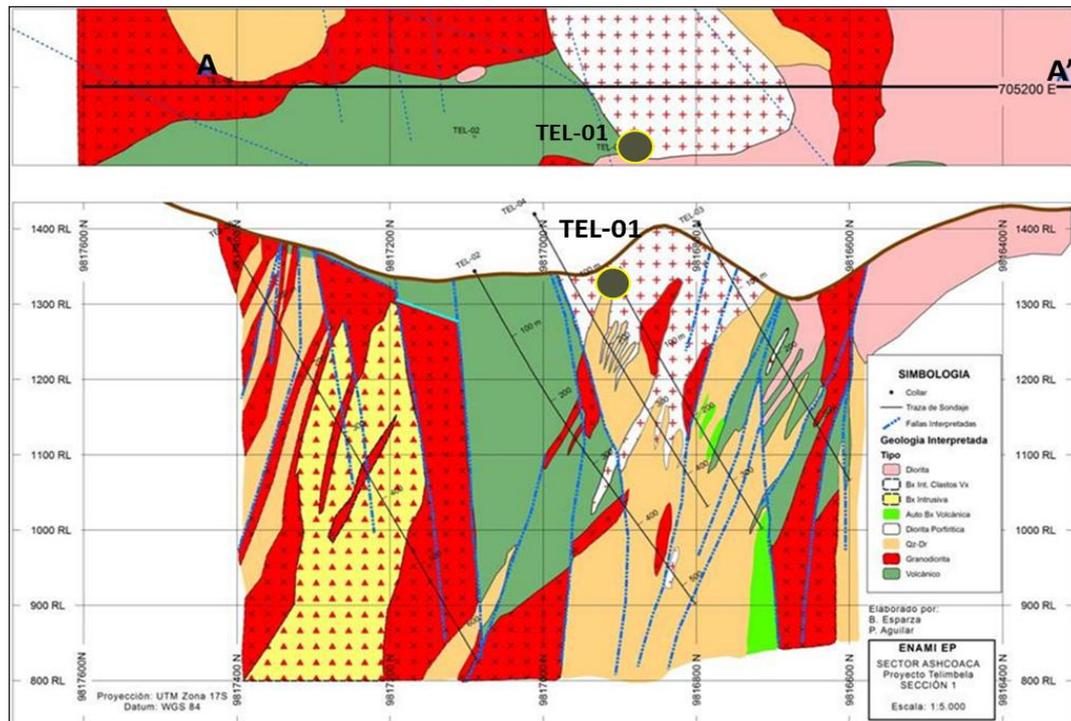
### **1.5 Perforación Exploratoria ENAMI EP (2014-2015)**

En el Proyecto Telimbela – Sector de Ashcoaca, desde el 11 de febrero al 25 de abril del presente año se llevó a cabo la primera campaña de perforación a diamantina en la concesión Telimbela, sector Ashcoaca; en este lapso de tiempo se ejecutaron 4000m, distribuidos en nueve sondajes: TEL-01, TEL-02, TEL-03, TEL-04, TEL-05, TEL-06, TEL-07, TEL-08 y TEL-09. Se utilizaron alrededor de 3 máquinas (Hydrocore 2000) en campo para la ejecución de los metros planificados. (Mapa VI, VII y Tabla V).



Mapa VI. Mapa de ubicación de los sondajes exploratorios del Proyecto Telimbela – Sector Ashcoaca.

Fuente: ENAMI EP. (2015)



**Mapa VII.** Mapa de ubicación de los sondajes exploratorios del Proyecto Telimbela – Sector Ashcoaca (Sección vertical).

**Fuente:** ENAMI EP. (2015)

**Tabla V.** Datos principales de los 9 sondajes exploratorios realizados en el Proyecto Telimbela – Sector Ashcoaca

SONDAJE	ESTE	NORTE	ALTURA	INCLINACIÓN	AZIMUTH	PROFUNDIDAD (m)
TEL-01	705127,32	9816893,49	1326.84	-60	180	374,45
TEL-02	705146,11	9817086,48	1344.71	-60	180	529,6
TEL-03	705359,62	9816793,23	1406.60	-60	180	389,55
TEL-04	705348,6	9817008,67	1420.91	-60	180	450,2
TEL-05	705462,23	9817290,29	1436.33	-45	0	305,05
TEL-06	705214,9	9817407,43	1387.80	-60	180	645,55
TEL-07	705764,62	9816736,59	1397.68	-60	180	440,45
TEL-08	705462,21	9817291,88	1436.11	-60	180	304
TEL-09	705089,58	9817490,66	1488.35	-60	180	561,15
TOTAL						4000

**Fuente:** ENAMI EP. (2015)

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo General**

Determinar y cuantificar los minerales de alteración hidrotermal que se encuentren presentes en el sondaje TEL-01 del proyecto Telimbela (Pórfido de Cu-Mo; Bolívar, Ecuador), en base a métodos de Difracción de Rayos X (DRX).

### **1.6.2 Objetivos Específicos**

- Analizar los difractogramas que proporciona las lecturas del difractómetro utilizando softwares especializados, como el Xpolder Ver. 2010.01.32 PRO para identificar y el Siroquant V.3 para cuantificar los minerales de alteración.
- Analizar la variabilidad en profundidad de los minerales de alteración hidrotermal asociados a un sistema de pórfido.
- Identificar y analizar la relación de los minerales de alteración hidrotermal con la litología y mineralización que se registraron en el sondaje TEL-01.

# CAPÍTULO 2

## 2 BASE TEÓRICA

### 2.1 Difracción de rayos x

#### 2.1.1 Espectro electromagnético y Rayos X

Los Rayos X se descubrieron en 1895 por el físico alemán Röntgen y recibieron ese nombre porque se desconocía su naturaleza en ese momento. En 1912 se estableció de manera precisa la naturaleza de los rayos X. En ese año se descubrió la difracción de rayos x en cristales y este descubrimiento probó la naturaleza de los rayos X y proporcionó un nuevo método para investigar la estructura de la materia de manera simultánea.

Los R-X son radiación electromagnética de la misma naturaleza que la luz, pero de longitud de onda mucho más corta. La unidad de medida en la región de los R-X es el angstrom (Å), igual a  $10^{-10}$  m y los rayos x usados en difracción tienen longitudes de onda en el rango 0.5-2.5 Å mientras que la longitud de onda de la luz visible está en el orden de 6000 Å.

### 2.1.2 Interacción de los R-X con la materia. Difracción

La interacción de los R-X con la materia esencialmente ocurre mediante dos procesos:

- Algunos fotones del haz incidente son desviados sin pérdida de energía, constituyen la radiación dispersada exactamente con la misma  $\lambda$  que la radiación incidente (es la que origina el fenómeno de la difracción).
- Los fotones pueden sufrir una serie de choques inelásticos al incidir sobre un blanco y su energía incrementa la T de la muestra o da lugar al fenómeno de fluorescencia.

Un rayo difractado puede definirse como un rayo compuesto de un gran número de rayos dispersados que se refuerzan mutuamente. La difracción es, por tanto, esencialmente un fenómeno de dispersión. Los átomos dispersan la radiación incidente en todas las direcciones, y en algunas direcciones los rayos dispersados estarán completamente en fase y por tanto se refuerzan mutuamente para formar rayos difractados.

Los rayos dispersados estarán completamente en fase si esa diferencia de fase es igual a un número entero  $n$  de longitudes de onda:

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

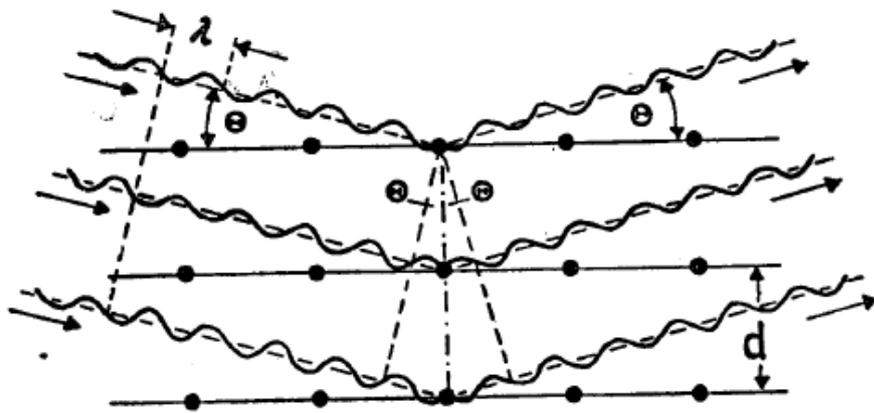
$n$ = número entero denominado orden de difracción

$\lambda$ = longitud de onda del haz incidente de rayos X

$d$ = distancia entre los planos difractantes en cuestión

$\theta$ = ángulo de incidencia medido entre los planos en consideración y el haz incidente.

Esta relación se conoce como ley de Bragg (Figura 2.1) y establece la condición esencial que debe cumplirse para que ocurra la difracción;  $n$  se denomina orden de difracción y debe ser un número entero consistente con  $\sin\theta$  menor o igual a 1.



**Figura 2.1.** Las condiciones de difracción de rayos X en un grupo de planos reticulares.

**Fuente:** Wolf, D. (1980)

### 2.1.3 Aplicaciones de la Difracción de Rayos X

Las aplicaciones de esta técnica de caracterización son diversas:

- Identificación de fases
- Pureza de las muestras
- Medida de tensiones de grano
- Análisis cuantitativo
- Determinación de diagramas de fase
- Determinación de estructuras cristalinas

### 2.1.4 Diagrama de difracción de rayos X

Un difractograma de rayos X (Figura 2.2) recoge los datos de intensidad en función del ángulo de difracción ( $2\theta$ ), obteniéndose una serie de picos. Los datos más importantes obtenidos a partir de un difractograma son los siguientes:

- La **posición de los picos**, expresada en valores de  $\theta$ ,  $2\theta$ ,  $d$  o  $q = \frac{1}{d^2}$ .
- **La intensidad de los picos**. Las intensidades se pueden tomar como alturas de los picos o, para trabajos de más precisión, sus áreas. Al pico más intenso se le asigna un valor de 100 y el resto se reescala respecto a este.

- **El perfil de los picos.** Aunque se utiliza menos que los anteriores, la forma de los picos también proporciona información útil sobre la muestra analizada.

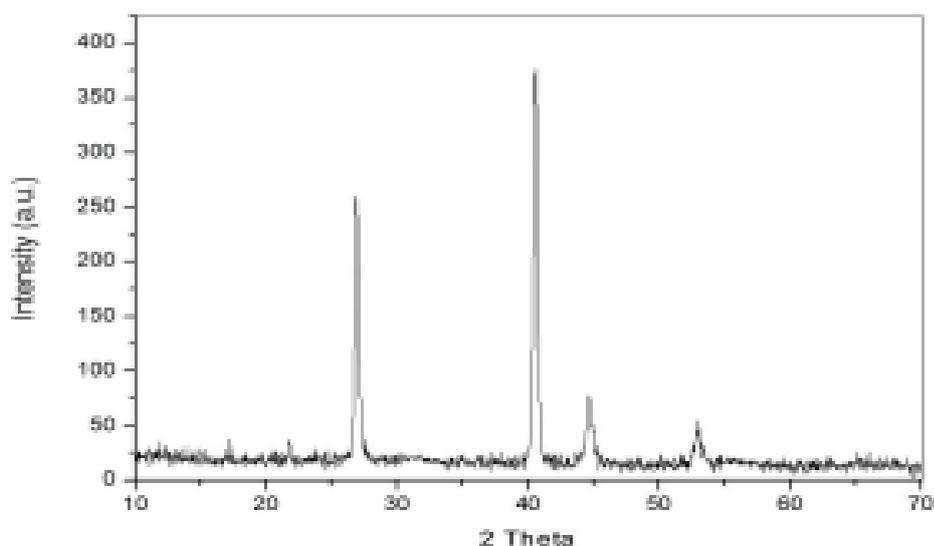


Figura 2.2. Difractograma típico de rayos x.

Fuente: Marti, F. (2015)

## 2.2 Alteración hidrotermal

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

La característica esencial de la alteración hidrotermal es la conversión de un conjunto mineral inicial en una nueva asociación de minerales más estable bajo las condiciones hidrotermales de temperatura, presión y sobre todo de composición de fluidos. La textura original de la roca puede ser modificada ligeramente o completamente obliterada por la alteración hidrotermal.

En estricto rigor, una alteración hidrotermal puede ser considerada como un proceso de metasomatismo, dándose la transformación química y mineralógica de la roca original en un sistema termodinámico abierto o cerrado (Taylor *et al.* 1980) con relleno subordinado y/o recristalización.

Lindgren (1933), definió la alteración hidrotermal, con reemplazo o metasomatismo como "...el proceso de solución capilar y depositación, prácticamente simultáneo, mediante el cual un mineral nuevo de composición química parcial o totalmente diferente puede crecer en el cuerpo de un mineral viejo o agregado mineral...". Guilbert *et al.* (1986) interpretan que además participan mecanismos de difusión e infiltración.

En la naturaleza la gran mayoría de depósitos minerales metálicos están de una u otra forma ligados a procesos de alteración hidrotermal, es decir, a cambios de componentes químicos entre los fluidos y las rocas por las que circula y deposita, y cuyas nuevas características mineralógicas, químicas y

morfológicas entregan información acerca de parámetros termodinámicos del fluido que las generó y la interacción roca-fluido (*water-rock interaction*).

El transporte de materiales involucrados en la alteración de las rocas puede ocurrir por infiltración o por difusión (transporte por difusión de especies químicas a través de fluidos estancados en los poros de las rocas) o por una combinación de ambos procesos. Si la evidencia geológica muestra que los materiales o componentes químicos se movieron a gran distancia el medio de transporte dominante probablemente fue la infiltración. En sistemas hidrotermales la difusión e infiltración ocurren simultáneamente.

### 2.2.1 Factores que controlan a la alteración hidrotermal

- **Temperatura** y la diferencia de temperatura ( $\Delta t^\circ$ ) entre la roca y el fluido que la invade: mientras más caliente el fluido mayor será el efecto sobre la mineralogía original.
- **Composición del fluido**; sobre todo el pH del fluido hidrotermal: mientras más bajo el pH (fluido más ácido) mayor será el efecto sobre los minerales originales.
- **Permeabilidad de la roca**: Una roca compacta y sin permeabilidad no podrá ser invadida por fluidos hidrotermales para causar efectos de

alteración. Sin embargo, los fluidos pueden producir fracturamiento hidráulico de las rocas o disolución de minerales generando permeabilidad secundaria en ellas.

- **Duración de la interacción agua/roca** y variaciones de la razón agua/roca. Mientras mayor volumen de aguas calientes circule por las rocas y por mayor tiempo, las modificaciones mineralógicas serán más completas.
- **Composición de la roca**; la proporción de minerales: Es relevante para grados menos intensos de alteración, dado que los distintos minerales tienen distinta susceptibilidad a ser alterados, pero en alteraciones intensas la mineralogía resultante es esencialmente independiente del tipo de roca original.
- **Presión**: Este es un efecto indirecto, pero controla procesos secundarios como la profundidad de ebullición de fluidos, fracturamiento hidráulico (generación de brechas hidrotermales) y erupción o explosiones hidrotermales.

### 2.2.2 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 particular 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.

### 2.2.3 Tipos de alteración hidrotermal

Meyer y Hemley (1967) clasificaron la alteración hidrotermal en los tipos: propilítica, argílica intermedia, argílica avanzada, sericítica y potásica, aunque actualmente una alteración muy común también es la silicificación:

- **Propilítica:** Presencia de epidota y/o clorita y ausencia de un apreciable metasomatismo catiónico o lixiviación de álcalis o tierras alcalinas; H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> y S pueden agregarse a la roca y comúnmente se presentan también albita, calcita y piritita. Este tipo de alteración representa un grado bajo de hidrólisis de los minerales de las rocas y por lo mismo su posición en zonas alteradas tiende a ser marginal. Generada por soluciones de pH neutro a alcalino y en rangos de temperatura bajos (200°-300°C).
- **Argílica Intermedia:** Importantes cantidades de caolinita, montmorillonita, smectita o arcillas amorfas, principalmente reemplazando a plagioclasas; puede haber sericita acompañando a las arcillas; el feldespato potásico de las rocas puede estar fresco o también argilizado. Hay una significativa lixiviación de Ca, Na y Mg de las rocas. La alteración argílica intermedia representa un grado más alto de hidrólisis relativo a la alteración propilítica. Este tipo de alteración tiene lugar en rangos de pH entre 4 y 5. La caolinita se forma a temperaturas bajo 300°C.
- **Argílica avanzada:** Caracterizada por la destrucción total de feldespatos en condiciones de una hidrólisis muy fuerte, dando lugar a la formación de caolinita y/o alunita. Gran parte de los minerales de las rocas transformados a dickita, caolinita, pirofilita, diásporo, alunita y

cuarzo. Este tipo de alteración representa un ataque hidrolítico extremo de las rocas en que, incluso, se rompen los fuertes enlaces del aluminio en los silicatos originando sulfato de Al (alunita) y óxidos de Al (diásporo). En casos extremos la roca puede ser transformada a una masa de sílice oquerosa residual (“vuggy silica” en inglés). Este tipo de alteración se da en un amplio rango de temperatura, pero a condiciones de pH entre 1 y 3.5. A alta temperatura (sobre 350°C) puede darse con andalucita además de cuarzo. Bajo pH 2 domina el cuarzo, mientras que alunita se da a pH sobre 2.

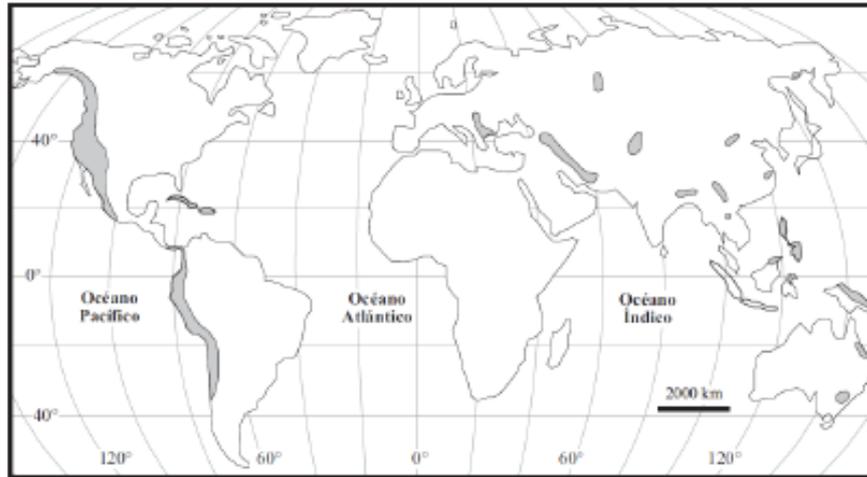
- **Silicificación:** Caracterizada por la destrucción total de la mineralogía original. La roca queda convertida en una masa sílicea. Representa el mayor grado de hidrólisis posible.
- **Fílica o cuarzo-sericítica:** Ambos feldespatos (plagioclasas y feldespato potásico) transformados a sericita y cuarzo, con cantidades menores de caolinita. Normalmente los minerales máficos también están completamente destruidos en este tipo de alteración. Es el resultado de una hidrólisis moderada a fuerte de los feldespatos, en un rango de temperatura de 300<sup>o</sup>-400<sup>o</sup>C y en un rango de pH 5 a 6.
- **Potásica:** Alteración de plagioclasas y minerales máficos a feldespato potásico y/o biotita. Esta alteración corresponde a un intercambio catiónico (cambio de base) con la adición de K a las rocas. A diferencia

de las anteriores este tipo de alteración no implica hidrólisis y ocurre en condiciones de pH neutro o alcalino a altas temperaturas (principalmente en el rango 350°-550°C. Por esta razón, frecuentemente se refiere a la alteración potásica como tardimagmática y se presenta en la porción central o núcleo de zonas alteradas ligadas al emplazamiento de plutones intrusivos.

## **2.3 Pórfidos cupríferos**

### **2.3.1 Fundamentos**

La exploración de los depósitos tipo pórfido cuprífero se ha incrementado debido a la demanda que presente el cobre en el mercado. La mayor parte de reservas de Cu a nivel mundial (Figura 2.3) se encuentran en este tipo de yacimientos.



**Figura 2.3.** Distribución de las principales zonas con mineralización de pórfidos cupríferos en el mundo

**Fuente:** Sillitoe. (1972) & Singer *et al*, (2005)

Este tipo de yacimientos se caracterizan por ser de alto tonelaje y baja ley, del orden de menos del 1% y mínimas del 0.55%. Según Lowell y Guilbert (1970), son depósitos de Cu-Mo, presentes en vetillas y en forma diseminada, formando stockworks. La mineralización está emplazada en varias rocas huéspedes que han sufrido alteración debido a soluciones hidrotermales.

Son de grandes dimensiones, variando desde cientos de metros hasta varios kilómetros, la forma y dimensiones están en función del tipo de intrusivo, siendo muy comunes las granodioritas, etc. Grandes zonas concéntricas producto de alteración hidrotermal se presentan en este tipo de depósitos, las asociaciones minerales de mayor temperatura y presión se encuentran en el

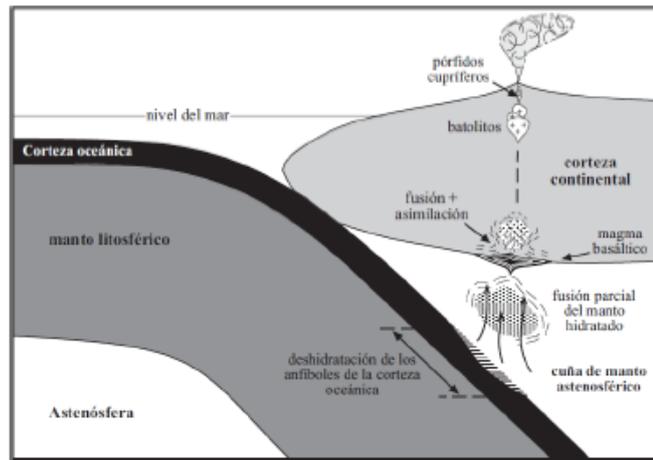
núcleo, el mismo que se encuentra rodeado por zonas de menor grado de alteración.

### **2.3.2 Origen de los pórfidos cupríferos**

Para la formación de este tipo de depósito, el fenómeno que debe ocurrir es la subducción de la corteza oceánica por debajo de la corteza continental, ya que es en la parte superior de la placa oceánica donde se generan por fusión parcial de los magmas calcoalcalinos que forman las andesitas de arco insular a continentales y las intrusiones plutónicas.

Los depósitos porfídicos se formaron durante una serie de pulsos imperceptibles relativamente cortos. Al parecer el reemplazamiento de cobre porfídico en cinturones lineales es independiente del control por lineamientos tectónicos y los depósitos porfídicos pueden ser formados sobre zonas de subducción activas en periodos de convergencia de placas litosféricas.

La tectónica de placas explica el magmatismo calcoalcalino con los cinturones orogénicos, sin embargo, las contribuciones relativas del manto contra la corteza, se desarrollan magmas por fusión parcial a lo largo de las zonas de subducción y de posible contaminación tardía por la corteza continental, durante el ascenso de los magmas.



**Figura 2.4.** Modelo tectónico esquemático de una zona de subducción en un margen de tipo andino

**Fuente:** Sillitoe. (1972) & Singer *et al*, (2005)

### 2.3.3 Modelos de zonación

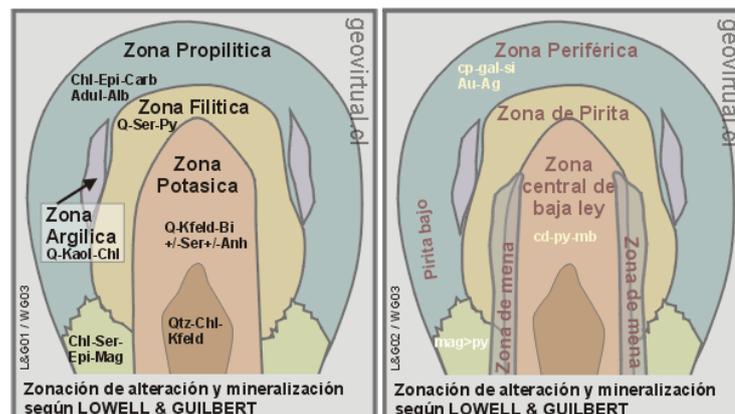
Según el modelo de alteración propuesto por Lowell y Guilbert (1970), en un pórfido cuprífero idealizado se reconocen las siguientes zonas de alteración hidrotermal (Figura 2.5), dispuestas en forma concéntrica:

- **Zona potásica**, en el núcleo del sistema: biotita, ortoclasa y cuarzo.
- **Zona Fílica (Sericítica)**, envuelve al núcleo potásico: cuarzo, sericita y pirita (hasta 20% del volumen).
- **Zona argílica**, externa a la sericítica: minerales de arcilla, montmorillonita, clorita, pirita.

- **Zona propilítica**, halo de alteración más externo, normalmente fuera del cuerpo de mena económica: clorita, epidota, albita, calcita.

Además, se presenta una zonación de mineralización hipógena (Figura 2.5):

- **Núcleo de baja ley**: bajo contenido de calcopirita, pirita, molibdenita; magnetita en porción profunda.
- **Zona de mena**, formando un cilindro en la parte externa de la zona de alteración potásica e interna de la zona de alteración sericítica: calcopirita (1-3%), pirita (1%), molibdenita (0,03%).
- **Zona de Pirita**, corresponde ~ zona filítica: pirita (10%), calcopirita (0.1-3%), trazas de molibdenita.
- **Zona de baja pirita**, ~ coincidente con zona propilítica: 2% pirita.
- **Zona Periférica**: calcopirita, galena, esfalerita, Au, Ag.



**Figura 2.5.** Esquemas de un pórfido cuprífero señalando la zonación de alteración y mineralización

**Fuente:** Lowell & Guilbert, (1970)

# CAPÍTULO 3

## 3 MARCO GEOLÓGICO

### 3.1 Geología Regional

El Proyecto Telimbela está asentado en el flanco occidental de la Cordillera Occidental, en la provincia de Bolívar, el área de estudio presenta elevaciones entre los 1000 y 1400 m.s.n.m. Geológicamente comprendido por la Unidad Arrayanes, Unidad Macuchi y los Granitoides de Chazo Juan Telimbela (Mapa VIII).

#### 3.1.1 Unidad Arrayanes (*Eoc<sub>Ar</sub>*)

Comprende una secuencia finogranular, bien estratificada, con buzamientos moderados, de areniscas volcánicas ricas en máficos, cuarzo arenitas, lutitas silíceas y lavas subordinadas basálticas a andesita-basálticas. Esta unidad sobreyace a la Unidad Macuchi a lo largo de su borde Este y sus contactos parecen ser discordantes.

Los sedimentos corresponden a turbiditas distales bien clasificadas y los volcánicos son basaltos toleíticos de bajo contenido de K a calco-alcalinos moderadamente diferenciados. Esta unidad presenta metamorfismo de contacto y ha sido mineralizada por varios plutones Oligo-Miocénicos, con un rango de edades de 35-14 Ma (K/Ar). Esto combinado con limitada evidencia paleontológica (Wilkinson, 1992), sugiere una edad del Eoceno Tardío (Duque, 2000).

### **3.1.2 Unidad Macuchi (*PalEoc<sub>M</sub>*)**

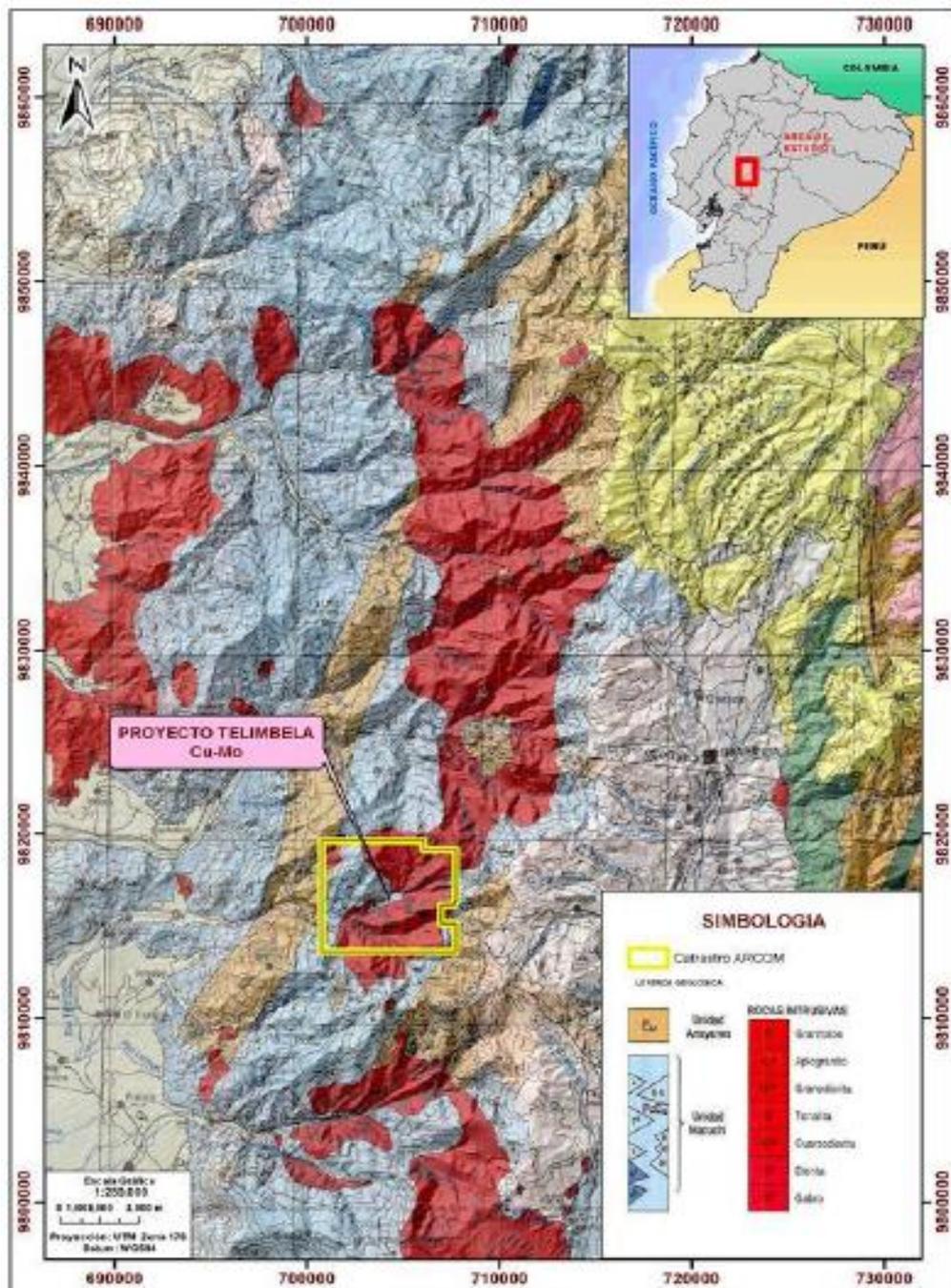
Litológicamente está compuesta por areniscas volcánicas de grano grueso, brechas, tobas, hialoclastitas, limolitas volcánicas, microgabros/diabasas, basaltos sub porfiríticos, lavas en almohadillas y escasas calcarenitas. Geoquímicamente, la Unidad Macuchi muestra características definitivas de arco de islas y comprende basaltos a andesitas basálticas subalcalinos de afinidad toleítica a calcoalcalina con características relacionadas a subducción.

La unidad está intruida y localmente metamorfizada por un grupo de plutones tipo I. La mayor parte de las facies de la Unidad Macuchi son productos de actividad volcánica efusiva submarina, ya sean productos eruptivos o material retrabajado depositado por procesos de flujo de masas. (Duque, 2000).

### **3.1.3 Granitoide Chazo Juan Telimbela (MiogCT)**

Plutón extenso de granodioritas de grano medio a grueso, de texturas primarias, con hornblenda y biotita intruyendo la Unidad Macuchi; similar al granitoide de Balsapamba. Muy meteorizado, con intensos contactos intrusivos y bien definidas aureolas de metamorfismo de contacto.

Granitoide calco-alcálico, tipo I, meta alumínico, con edades K/Ar (en separaciones minerales de hornblenda - biotita) de 21-19 Ma (Duque, 2000).



**Mapa VIII.** Mapa geológico regional del Proyecto Telimbela  
**Fuente:** ENAMI EP. (2016)

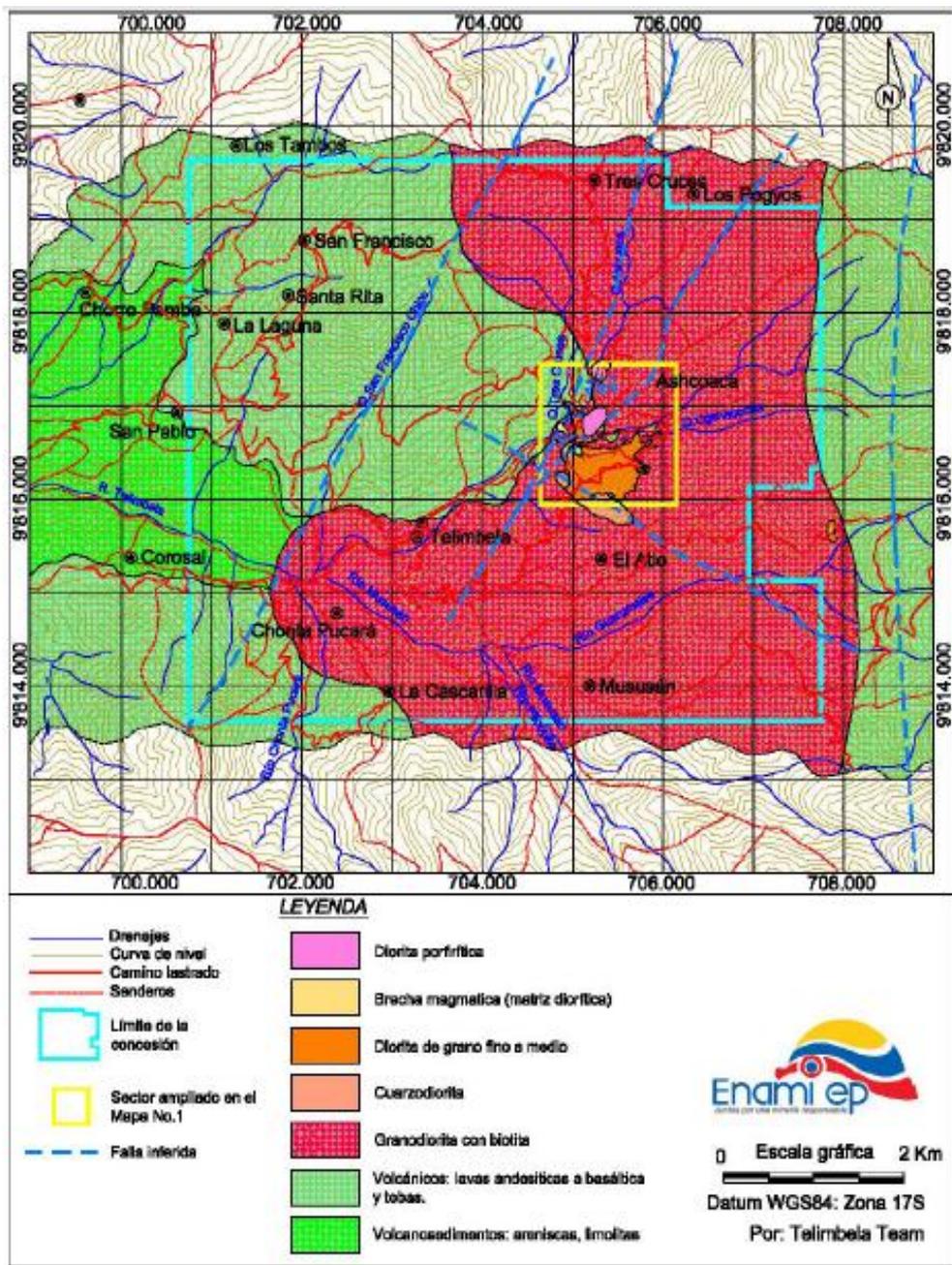
## **3.2 Geología Local**

Las principales unidades litológicas presentes dentro de la zona del Proyecto Telimbela incluyen: (1) Rocas volcano sedimentarias, (2) Rocas volcánicas y (3) Rocas intrusivas: granodiorita, cuarzodioritas, brechas intrusivas, dioritas y dioritas porfiríticas (Mapa IX). Estructuralmente se presentan fallas con un lineamiento en sentido NE-SW y NW-SE.

### **3.2.1 Rocas volcano-sedimentarias**

Afloran en la zona occidental del área de estudio (sectores de Choropamba, San Pablo y Corosal). Estos volcano-sedimentos se encuentran subyaciendo las rocas volcánicas y están constituidos principalmente por intercalaciones centimétricas a métricas de areniscas sucias de color gris verdoso y limolitas (Figura 3.1).

Presentan estratificación con rumbos comprendidos entre 70°E a 110°E y buzamiento entre 15° a 35°S, aunque en ocasiones es casi horizontal. (Yepez, 2016)



**Mapa IX.** Mapa geológico local del Proyecto Telimbela  
**Fuente:** ENAMI EP. (2016)



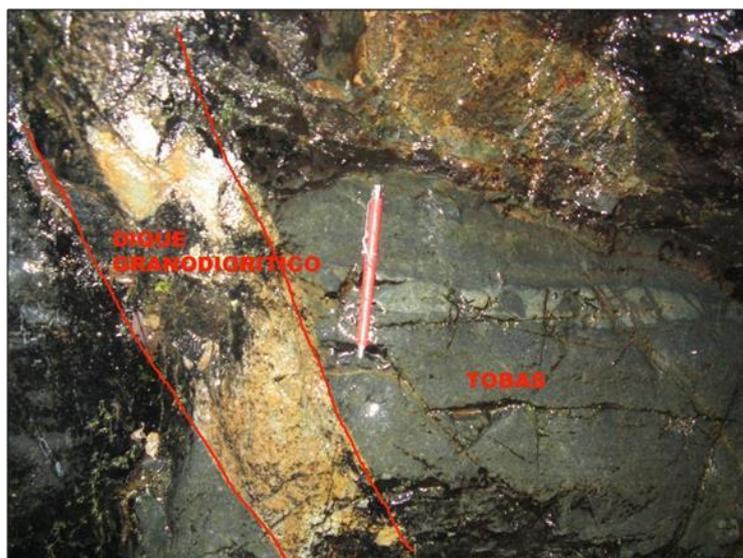
**Figura 3.1.** Rocas volcano-sedimentarias del Sector de Choropamba  
**Fuente:** ENAMI EP. (2016)

### **3.2.2 Rocas volcánicas**

Afloran en la parte centro occidental del área de estudio y sobreyacen a los volcano-sedimentos posiblemente de manera discordante. Las rocas volcánicas en general son de color gris oscuro, están constituidas principalmente por lavas y pequeñas intercalaciones de tobas de composición andesítica a basáltica (Figura 3.2).

Toda esta secuencia esta intruida por rocas de composición granodiorítica y diorítica. Las lavas se caracterizan principalmente por tener una moderada silicificación, textura subporfírica en matriz afanítica, con fenocristales de plagioclasas y piroxenos en un porcentaje del 1%. En los contactos con las

rocas intrusivas existen fracturas rellenas con pirita  $\pm$  calcopirita, vetillas de cuarzo-epidota y pequeñas eyecciones de intrusivos granodioríticos. (Yepez, 2016)



**Figura 3.2.** Toba de composición andesítica intruida por dique granodiorítico  
**Fuente:** ENAMI EP. (2016)

### 3.2.3 Rocas intrusivas.

Esta unidad litológica aflora en el sector centro oriental de la zona de estudio. Las rocas que conforman ésta unidad corresponden a granodioritas, cuarzodioritas, dioritas, brechas magmáticas y dioritas porfíricas.

- **Granodioritas:** Presentan color gris claro a blanco, textura granular de grano medio a grueso y constituidas de plagioclasas, biotita, hornblenda

y cuarzo (Figura 3.3). En general los máficos están leve a moderadamente alterados a clorita. En el contacto intrusivo - volcánicos las plagioclasas están levemente alteradas a epidota. Los contactos con las rocas volcánicas en general son muy irregulares y en muchas ocasiones de aspecto brechoso y con menos frecuencia fallada.



**Figura 3.3.** Granodiorita de grano grueso con biotita  
**Fuente:** ENAMI EP. (2016)

- **Cuarzodioritas:** Afloran con pequeños cuerpos principalmente en los Sectores de Ashcoaca y El Atio. Se caracterizan por ser rocas de grano fino a medio, constituidas de plagioclasas, cuarzo, biotita y un poco de hornblenda (Figura 3.4). En general no se observa los contactos con los otros intrusivos, pero se observa contactos con la granodiorita muy localmente.



**Figura 3.4.** Cuarzodiorita de grano fino (Quebrada Ugshacocha)  
**Fuente:** ENAMI EP. (2016)

- **Dioritas:** Se encuentran en la parte centro-oriental (Sector Ashcoaca) y ocasionalmente en el límite oriental de la concesión. Las dioritas son de color gris oscuro, de textura equigranular de grano fino y en los bordes del intrusivo con textura porfirítica. Están constituidos de plagioclasas, piroxenos, anfíboles y magnetita (Figura 3.5).

Estas rocas corresponden a pequeños/medianos stocks que intruyen tanto a las rocas volcánicas como a los otros intrusivos antes mencionados. Los contactos no están bien definidos, pero en ocasiones pueden ser fallados, verticales y subhorizontales.



**Figura 3.5.** Diorita de grano fino (Sector Ashcoaca)  
**Fuente:** ENAMI EP. (2016)

- **Brechas intrusivas:** Pequeños cuerpos aislados que afloran en las quebradas Ashcoaca, Tres Cruces y Coronel. Intruyen a la granodiorita y se caracterizan por tener soporte de matriz y clastos subangulares a subredondeados correspondientes a granodioritas, muy localmente presenta soporte de clasto, en cuyo caso la textura tiende a ser craquelada. La matriz de color gris oscuro tiene composición diorítica, contiene plagioclasas, piroxenos y anfíboles, con presencia de algunas trazas de sulfuros (Figura 3.6).



**Figura 3.6.** Brecha intrusiva con matriz soportada y clastos granodioríticos. Telimbela Central  
**Fuente:** ENAMI EP. (2016)

- **Diorita porfirítica:** Ubicada entre las quebradas Q. Ugshacochoa y Ashcoaca, posiblemente corresponde al último evento intrusivo, se presenta como un pequeño stock que intruye a la diorita granular. En general son de color gris oscuro, se caracterizan por tener una textura porfirítica y una matriz fanerítica, están constituidos de plagioclasas, piroxenos y cuarzo (<10%). Los máficos generalmente están leve a moderadamente alterados a clorita y en ocasiones a biotita; tienen magnetita diseminada <1% (Figura 3.7). (Yepez, 2016)

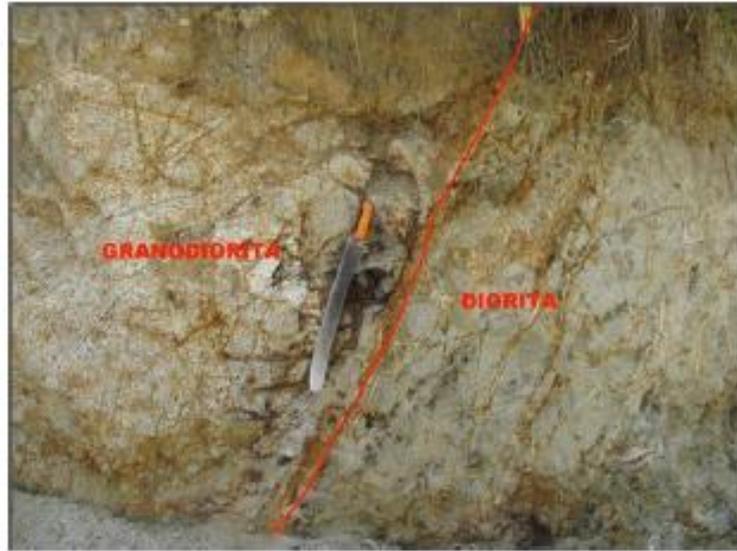


**Figura 3.7.** Diorita porfirítica con fenocristales de plagioclasas y matriz fanerítica (Ashcoaca)  
**Fuente:** ENAMI EP. (2016)

### 3.3 Geología Estructural

Las principales estructuras corresponden a fallas de dirección NE-SW y NW-SE (Mapa IX). Las fallas NE-SW en general son dextrales con rumbo comprendido entre  $N10^{\circ}$  a  $N60^{\circ}$  y buzamiento subvertical, mientras que las fallas NW – SE son sinestrales y probablemente posteriores a las primeras, tienen rumbo  $N110^{\circ}$  -  $N120^{\circ}$  y buzamiento de  $65^{\circ}$ NE a subvertical.

En varios sitios del área de estudio los contactos entre las diferentes litologías son fallados con direcciones de la falla tanto NE – SW como NW – SE (Figura 3.8).



**Figura 3.8.** Contacto fallado entre granodiorita y diorita (Sector Ashcoaca)  
**Fuente:** ENAMI EP. (2016)

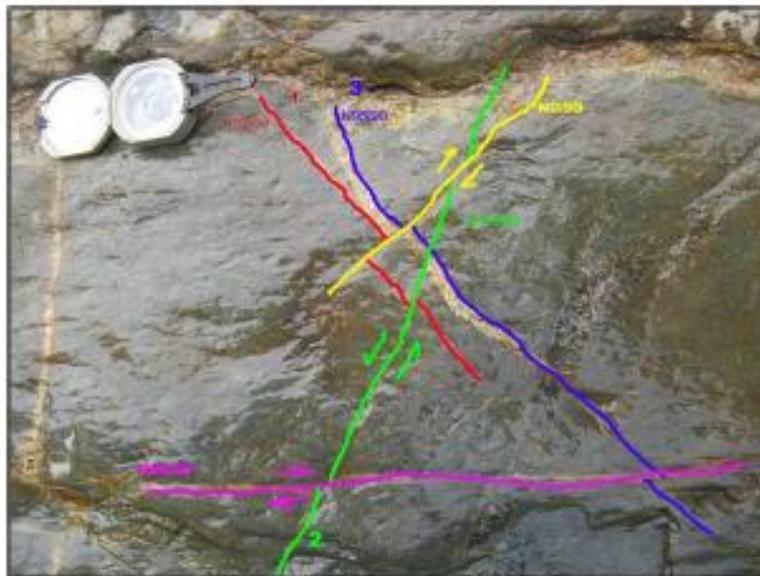
Las fallas en el sector de Ashcoaca posiblemente corresponden estructuras tipo “cola de caballo” a las cuales se asocian estructuras discontinuas dextrales de rumbo comprendido entre  $N60^\circ$  a  $N75^\circ$  y buzamiento preferente hacia el NW fluctuando entre  $55^\circ$  a  $75^\circ$ , que corresponderían a los rideles de las estructuras NE – SW de este sector, además muy localmente se observan pequeñas fracturas de tensión rellenas de sulfuros o yeso (Figura 3.9),



**Figura 3.9.** Diorita con fracturas de tensión rellenas de yeso  
**Fuente:** ENAMI EP. (2016)

En la quebrada Ugshacocha, la microtectónica nos indica la existencia de tres tipos de estructuras (Figura 3.10) (Yepez, 2016):

- Estructuras NW - SE (vetillas de Qtz-Mag±Mo y Qtz±Cpy±Mo)
- N120°/90° a N160°/90° (vetillas de Qtz-Mag) que desplazan sinistralmente a las primeras.
- N50°/70° NW a N60°/70° NW (Vetillas de Qtz) que desplazan dextralmente a las dos primeras familias.



**Figura 3.10.** Micro-estructuras NW-SE y NE-SW localizadas en un afloramiento de la Q.Ugshacochoa  
**Fuente:** ENAMI EP. (2016)

# CAPÍTULO 4

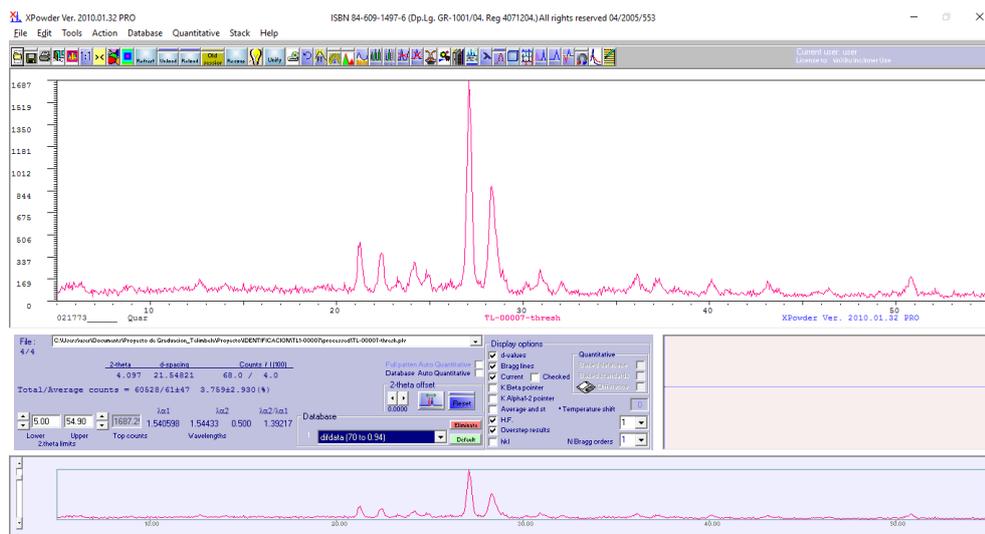
## 4 METODOLOGÍA

### 4.1 Metodología general de la Investigación

La metodología general propuesta se divide en cuatro fases que garanticen un buen desarrollo del proyecto.

- **FASE 1- Recopilación de información:** El presente estudio inició con los datos preexistentes de las lecturas del difractómetro, logeo geológico del pozo TEL-01 y recopilación bibliográfica adicional. Lecturas realizadas por los técnicos de la Empresa Nacional Minera ENAMI EP.
- **FASE 2- Identificación de especies minerales:** La identificación de especies minerales se realizó con ayuda del software Xpowder Ver. 2010.01.32 PRO (Figura 4.1). El software permitió comparar los picos del diagrama de la muestra con los del mineral que se buscaba, determinando con precisión la mineralogía que posee la muestra.

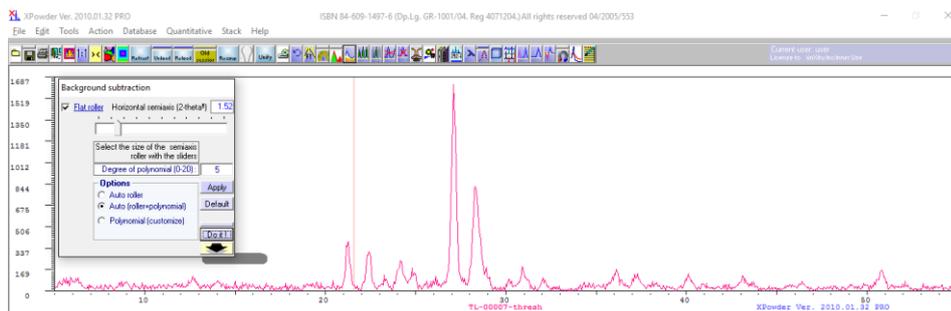
Xpowder suministra el listado de los picos que aparecen en el espectro de la muestra y la intensidad de cada uno de ellos además de una lista con los posibles minerales que puede tener la misma.



**Figura 4.1.** Pantalla principal del software Xpowder.

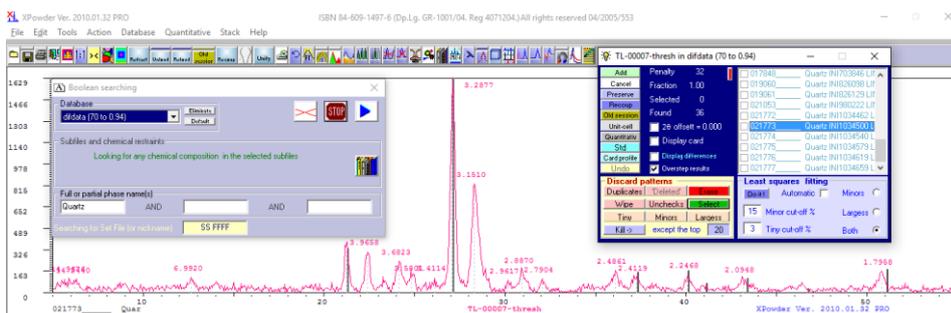
**Fuente:** Autor

Una vez cargada la lectura en el programa, se realizó la sustracción del 'Background' con la finalidad de disminuir los picos de ruido. Para lo cual se utilizó una sustracción de 152 y un grado polinomial de 5 (Figura 4.2)



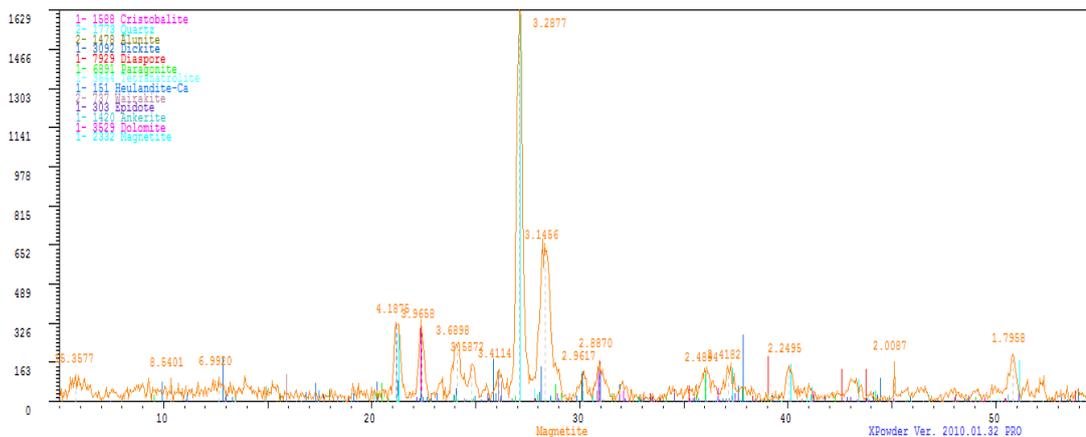
**Figura 4.2.** Sustracción del 'Background' del difractograma.  
Fuente: Autor

Posteriormente, se generaron los picos de difracción experimentales los cuales fueron comparados con las líneas teóricas para determinar la presencia de los minerales de interés. (Figura 4.3)



**Figura 4.3.** Identificación de las especies minerales mediante la comparación de los picos de difracción con las líneas teóricas.  
Fuente: Autor

Finalmente se obtiene un difractograma que muestra los picos correspondientes a minerales de alteración hidrotermal (Figura 4.4)

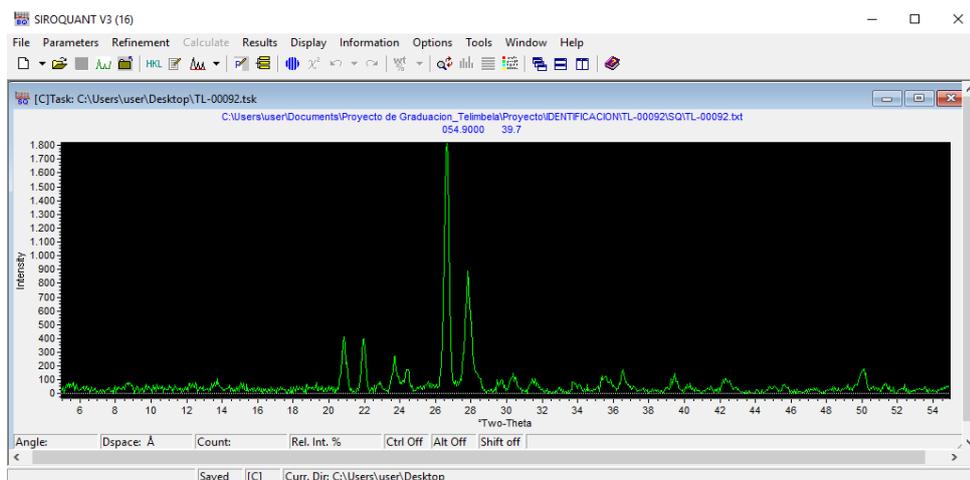


**Figura 4.4.** Difractograma señalando los picos correspondientes a minerales de alteración hidrotermal.

**Fuente:** Autor

- FASE 3- Cuantificación de especies minerales:** A partir de los difractogramas interpretados es decir la identificación de los minerales de alteración con el software Xpovder Ver. 2010.01.32 PRO se cuantificó la composición mineralógica de las muestras con ayuda del software Siroquant versión 3. Softwares que en conjunto forma parte del equipo XRD / (Espectrómetro) XRF Portable TERRA INXITU.

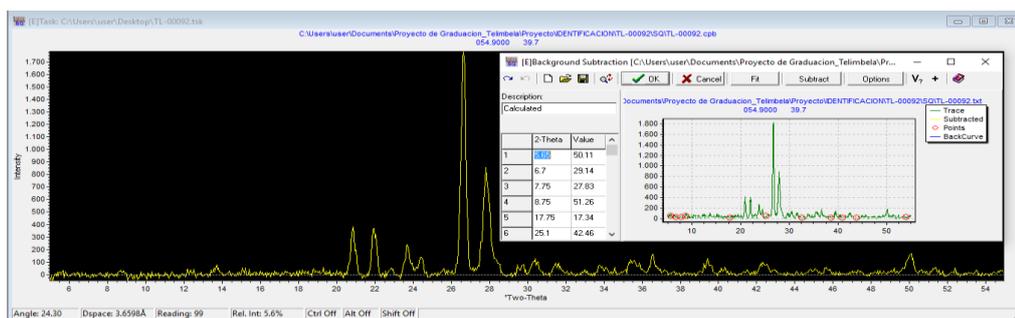
Inicialmente se cargan las lecturas del difractograma en el programa Siroquant y simultaneamente se especifican los minerales de alteración (previamente identificados con el programa Xpovder) a cuantificar (Figura 4.5)



**Figura 4.5.** Pantalla inicial del software Siroquant.

**Fuente:** Autor

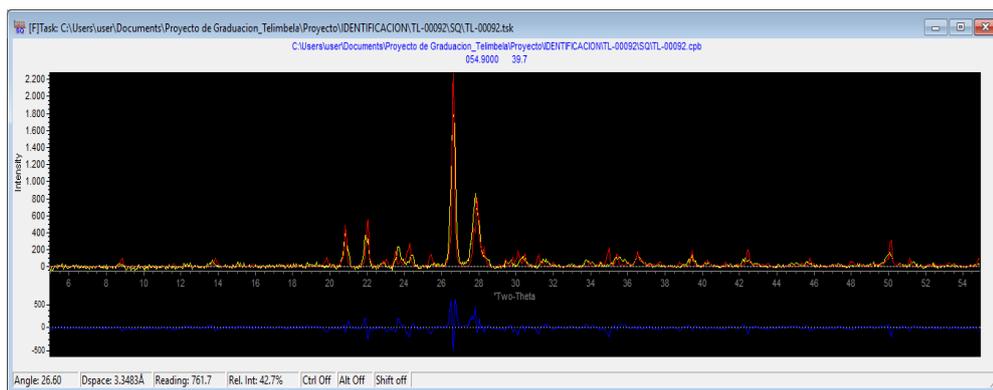
Al igual que en la identificación de minerales que se extrajo el 'background' debe hacerse en la cuantificación para disminuir los picos de baja intensidad considerados como ruido. (Figura 4.6).



**Figura 4.6.** Sustracción del 'Background' del difractograma.

**Fuente:** Autor

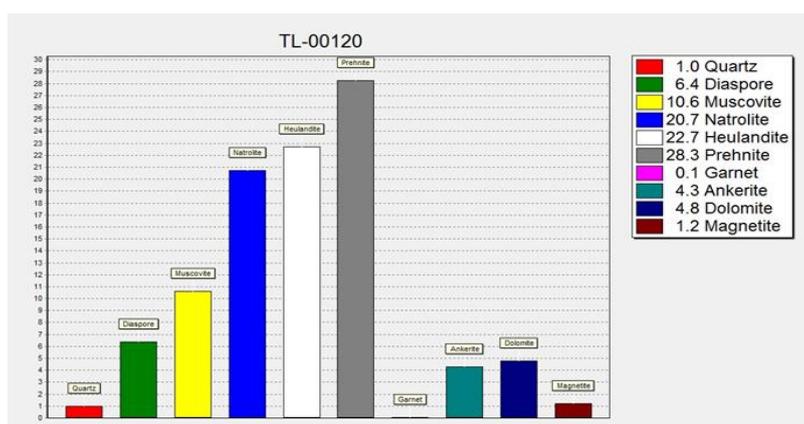
Una vez corregido el 'background' utilizamos la herramienta 'Start Refinement' que generará un modelo de picos en base a los minerales de alteración ingresados en el momento de cargar los difractogramas. (Figura 4.7)



**Figura 4.7.** Superposición de un modelo de picos de los minerales de alteración hidrotermal sobre el difractograma original de la muestra.

**Fuente:** Autor

Por último, se muestra gráficamente los resultados de la cuantificación en porcentajes de cada mineral (Figura 4.8).



**Figura 4.8.** Cuantificación de los minerales de alteración hidrotermal.

**Fuente:** Autor

- **FASE 4- Análisis de relación Litología, Mineralogía, Alteraciones:**

Consiste en el análisis e interpretación de los resultados obtenidos, la relación que existe entre los diferentes parámetros (litología, mineralogía, alteraciones), para llegar a determinar el comportamiento de los minerales de alteración hidrotermal con la profundidad, es decir con los cambios de temperatura.

Para cada muestra los porcentajes de minerales de alteración obtenidos a través de la cuantificación se tabularon y se agruparon (Ver Anexo III). Posteriormente, utilizando la tabla de Corbett, 1980 (Ver Anexo II) se establecieron los minerales característicos para cada alteración hidrotermal, definiéndolos de la siguiente manera.

**Tabla VI.** Grupos de alteraciones hidrotermales y sus minerales que los conforman

PROPILITICA	FILICA	POTASICA	ARGILICA
chlorite	quartz	orthoclase	gypsum
natrolite	muscovite	magnetite	diaspore
chabazite	paragonite	wollastonite	kaolinite
mordenite	apatite	biotite	dickite
heulandite		actinolite	pyrophyllite
prehnite		tremolite	crystalite
pumpellyite			
epidote			
dolomite			
albite			
calcite			

Fuente: Autor

En base a la tabla VI se sumaron los porcentajes de cada mineral por muestra, permitiendo establecer los diferentes grados de alteración (Ver Anexo IV).

En último lugar, para obtener nuestro resultado final se procedió a realizar los diferentes perfiles (Profundidad Vs Grado de alteración) para analizar la variabilidad en profundidad de los ensambles de alteración y su relación con la litología y mineralización (Ver Anexo V).

Diagrama de la metodología general empleada en el proyecto (Ver Anexo I.)

# CAPITULO 5

## 5 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El alcance del presente estudio será el de determinar los minerales de alteración presentes en cada una de las pulpas, producto de los rechazos de las 31 muestras analizadas del sondaje TEL-01 (datos previamente levantados por ENAMI EP), agrupar dichos minerales de alteración dentro de las familias propilítica, fílica, argílica y potásica. Las familias de alteración registradas deberán ser correlacionadas con la litología que corresponde, es decir identificar un patrón litológico, para posteriormente poder indicar en el sondaje TEL-01 el tipo de alteración predominante.

El fin es conocer el comportamiento de las alteraciones hidrotermales sobre las litologías en profundidad sobre este punto X, Y en el espacio, con la finalidad de que la Empresa ENAMI EP cuente para este proyecto con un punto de partida o comparación para futuras interpretaciones sobre litologías que no han sido intervenidas por procesos tectónicos o que hayan generado brechas hidrotermales en el sector.

En la sección más superficial del sondeo se encuentran brechas hidrotermales con enriquecimiento de trazas de pirita y ocasionalmente trazas de calcopirita y malaquita, con una alteración propilítica dominante. Seguido de una diorita porfirítica con una mineralización muy baja de trazas de pirita y calcopirita, en este tramo es notable un ligero incremento en el grado de alteración fílica a diferencia de la propilítica que disminuye notablemente. Continuamente una potente capa de granodioritas presenta mineralización de pirita y calcopirita con poca ocurrencia de trazas de las mismas, la alteración propilítica en esta capa sigue disminuyendo levemente, la alteración fílica disminuye bruscamente en la parte superior y aumenta de igual modo en la parte inferior, conjuntamente las alteraciones argílica y potásica aparecen en la zona superior y desaparecen en la inferior. Seguido encontramos nuevamente diorita porfirítica con muy poca mineralización de trazas de pirita y calcopirita, la alteración propilítica se mantiene con un grado de alteración de moderado a fuerte al igual que la fílica; sin embargo, en la transición superior e inferior de esta capa litológica disminuye bruscamente. En lo que respecta a la parte central del sondeo se encuentra una potente capa de granodioritas con mineralización continua de trazas de pirita, calcopirita y concentrándose en la zona superior trazas de molibdenita, la alteración fílica se encuentra como dominante con un grado de alteración de moderado a fuerte, mientras que en la parte inferior existe la presencia de alteraciones propilítica, fílica y potásicas débiles. A los 190 m de profundidad se encuentra una potente capa de

intercalaciones de cuarzodioritas y brechas intrusivas y volcánicas, con una débil y continua mineralización en trazas de pirita y calcopirita, la alteración propilítica caracteriza la sección con un grado de alteración moderado, la alteración fílica disminuye con la profundidad mientras que la argílica y potásica aumentan ligeramente hasta alcanzar un grado débil. A los 255 m de profundidad aparece la capa más potente del sondeo conformada por cuarzodioritas con ciertas intercalaciones de brechas volcánicas con poca mineralización en trazas de pirita y calcopirita, en la parte superior de esta sección se encuentra con un grado de alteración moderada tanto la alteración propilítica y argílica, llegando a la zona central la alteración propilítica empieza a decaer y la argílica desaparece, la alteración fílica únicamente aparece en esta zona con un grado de alteración moderado, ya en la parte inferior la alteración propilítica es casi despreciable y se desarrolla la alteración potásica, la argílica nuevamente se vuelve significativa pero con bajo grado de alteración. El sondeo termina con brechas intrusivas que presentan poca mineralización en trazas de pirita y calcopirita, la alteración propilítica muestra un gran incremento en el grado de alteración, contrario a las demás que se vuelven poco representativas.

En base a las diferentes litologías interceptadas por el sondeo claramente se observa una predominancia de la alteración propilítica variando de moderada a fuerte, con minerales de alteración hidrotermal como la albita, clorita, epidota,

zeolitas, entre otros; seguida de la alteración filica la misma que presenta muchas variaciones de grados de alteración llegando incluso a desaparecer por tramos con minerales presentes como la muscovita, paragonita (grupo de las micas), etc. Existe también presencia de alteraciones tanto argílica como potásica, más sin embargo éstas no son proporcionalmente representativas en relación a las dos anteriores alteraciones mencionadas, apareciendo solamente en ciertos sectores. (Ver Figura 5.1)

De acuerdo a las muestras analizadas macroscópicamente por los técnicos de ENAMI EP, la mineralización menos significativa de Py y Cpy se encuentra en las brechas intrusivas y volcánicas, y en las dioritas porfiríticas, presentes solamente en trazas y en sectores hasta nula. A diferencia de las litologías anteriores las cuarzodioritas y granodioritas presentan los mejores porcentajes de Py y Cpy con trazas de Mo incluida. Claramente esto da a entender que los porcentajes altos de mineralización se encuentran dentro de rocas ricas en cuarzo.



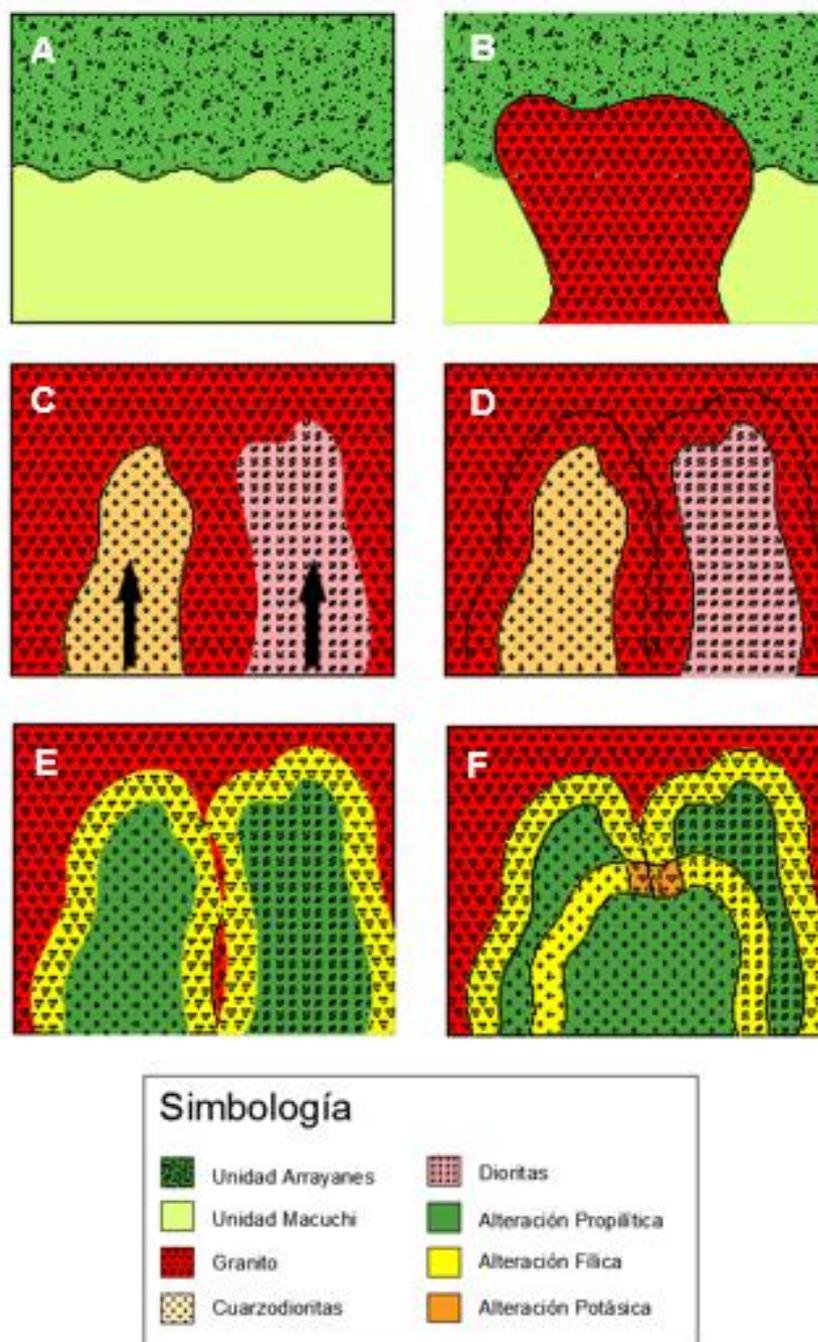
**Figura 5.1** Comparación de las alteraciones en profundidad.  
Fuente: Autor

Reconstruyendo la historia de que eventos tuvieron que pasar para formar a las alteraciones hidrotermales mencionadas; en base a la información obtenida hasta el momento, se puede mencionar que se inyectaron fluidos calientes sobre la roca huésped o granodiorita (batolito) alterando su mineralogía inicial (Figura 5.1), provocando por ende una alteración predominantemente filica.

Se evidencia en este punto x, y del espacio que no han ocurrido otros pulsos o intrusiones que hayan generado o sobrepuesto otra alteración de mayor temperatura sobre los cuerpos dioríticos y cuarzdioríticos ambos de alteración propilítica, ya que estos cuerpos fueron los encargados de inyectar los fluidos calientes llenos de soluciones mineralizantes sobre la granodiorita, haciendo que su mineralogía original cambie parcial o totalmente.

Posterior a este primer evento no se evidencia la presencia de otros tipos de intrusiones que hayan modificado la alteración de la granodiorita previamente alterada, de igual manera no se evidencia que la diorita y cuarzdiorita tengan

una alteración de mayor temperatura. Si estas rocas tuvieran una alteración fílica o potásica (alteraciones más calientes) significaría que después del primer evento ocurrió una segunda intrusión que inyectaría fluidos calientes afectando a dicha litología e incluso al basamento granodiorítico, pero no se encuentra evidencia alguna de tal acción. Por lo que tanto las cuarzodioritas y dioritas solamente guardan alteración propilítica predominantemente (alteración fría).



**Figura 5.2.** Modelo geológico idealizado del primer evento de intrusión.

**Fuente:** Autor

# CAPITULO 6

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

1. Visualmente se consigue apreciar que la alteración potásica es la que se encuentra en menor porcentaje, exceptuando tres picos que se evidencian en las profundidades de 50 – 52 metros, 180 – 182 metros y 350 – 352 metros, seguida de la alteración argílica de igual manera mostrando tres puntos interesantes. Las alteraciones propilítica y fílica son las predominantes en el estudio aplicado, hasta cierto punto es ventajoso puesto que basándose en el modelo de la zonalidad en los yacimientos tipo pórfidos cupríferos (Lowell y Guilbert, 1970) y por las características mineralógicas que previamente han sido investigadas por ENAMI EP, el modelo para un pórfido de cobre dentro de la zona de estudio estaría completo (sin erosionarse). (Ver Figura 5.1)
2. Basándonos en este sondaje (TEL-01), a simple vista no se observa relación alguna entre las litologías y las alteraciones, sin embargo si se

visualiza a detalle si se define una predominancia de la alteración propilítica sobre los cuerpos cuarzodioríticos y dioríticos, a diferencia de la alteración fílica que predomina sobre la granodiorita. (Ver Anexo IV)

3. En base a la interpretación del sondaje TEL-01 hipotéticamente se piensa en un modelo idealizado zonal de alteración hidrotermal con un núcleo de alteración potásica (feldespato K, biotita), que gradúa hacia fuera a una alteración fílica (cuarzo-sericítica). Más periféricamente encontraremos facies argílicas (intermedia o avanzada) y propilíticas (con clorita, epidota, calcita). Por lo que la secuencia de alteración quedaría de la siguiente manera: 1) formación de las zonas de alteración potásica y propilítica; 2) desarrollo de la alteración fílica (hacia fuera y arriba); y 3) formación de facies de alteración argílica en la parte superior del sistema.
  
4. Se podría indicar de manera general que el pozo TEL-01 en lo largo del recorrido del mismo indicó la presencia de mayor alteración propilítica sobre todo el sondaje, dejando ciertas ventanas donde se evidenció la permanencia de alteración fílica, lo que indicaría que este punto de estudio estaría ubicado dentro del sistema, pero en la zona de menor temperatura.

5. En este punto x, y del espacio en profundidad se interpreta la presencia de un evento de intrusión, el cual fue el responsable de afectar la mineralogía y textura inicial de la granodiorita, otorgándole una alteración predominantemente fílica, debido a que, si tanto la cuarzodiorita como la diorita que poseen alteración propilítica hubieran presentado otro tipo de alteración de mayor temperatura, significaría que posteriormente hubo un segundo evento de intrusión que inyectó fluidos calientes al sistema en general.
  
6. La ausencia de un segundo evento de intrusión es de alguna manera desfavorable al proyecto, ya que no hay mayor probabilidad de ingreso de fluidos mineralizantes al sistema para la posterior formación o depositación de minerales de interés como calcopirita, molibdenita, pirita y demás sulfuros en estructuras como vetas, vetillas, stockworks, brechas o en forma diseminada en la roca huésped.

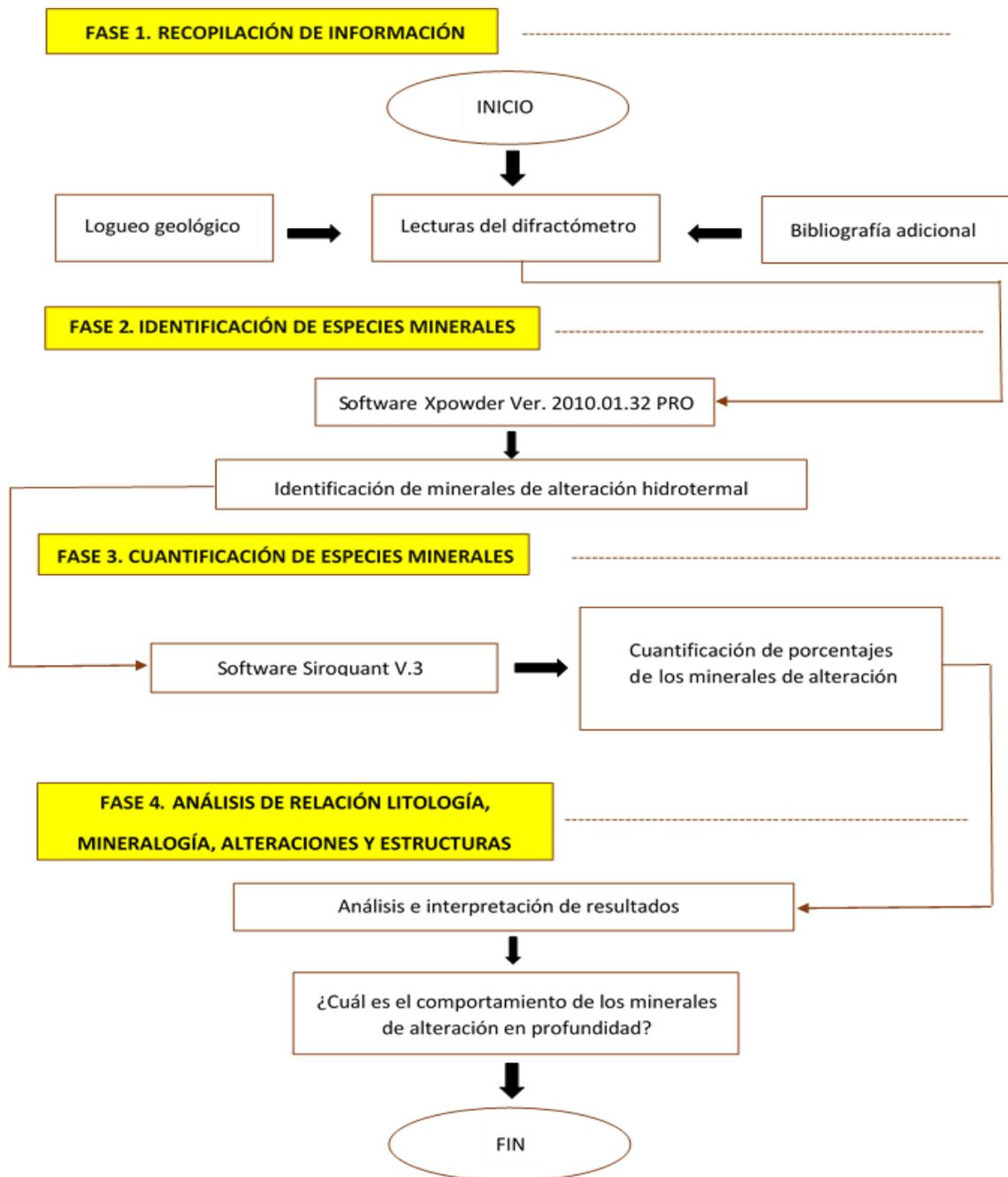
## **6.2 Recomendaciones**

1. Para un análisis más exhaustivo de las familias de alteraciones hidrotermales en el sondaje TEL-01, se deben analizar más pulpas de muestras para tener un mayor grado de confiabilidad en los resultados.

2. Se debería a futuro realizar un análisis completo de los 9 sondajes para poder establecer un modelo geológico del depósito, para estudiar a detalle la variabilidad de los minerales de alteración en profundidad, cubriendo casi en su totalidad el área del proyecto.
3. Para posteriores análisis de pulpas de muestras, además de utilizar el método de difracción de rayos X, sería de gran ayuda el incluir otros métodos como los de fluorescencia y reflectancia permitiendo obtener un mayor soporte al momento de concluir.
4. Realizar una campaña geofísica aérea con la finalidad de encontrar zonas de alteración potásica en base a la respuesta de la resistividad (bajos resistivos).
5. Para un estudio más completo de ensambles de alteración hidrotermal, conocer su paragénesis y verificar la descripción macroscópica de las muestras de roca diferenciando los minerales primarios de los alterados por procesos hidrotermales, por medio de análisis de láminas delgadas se puede llegar a una conclusión acertada.

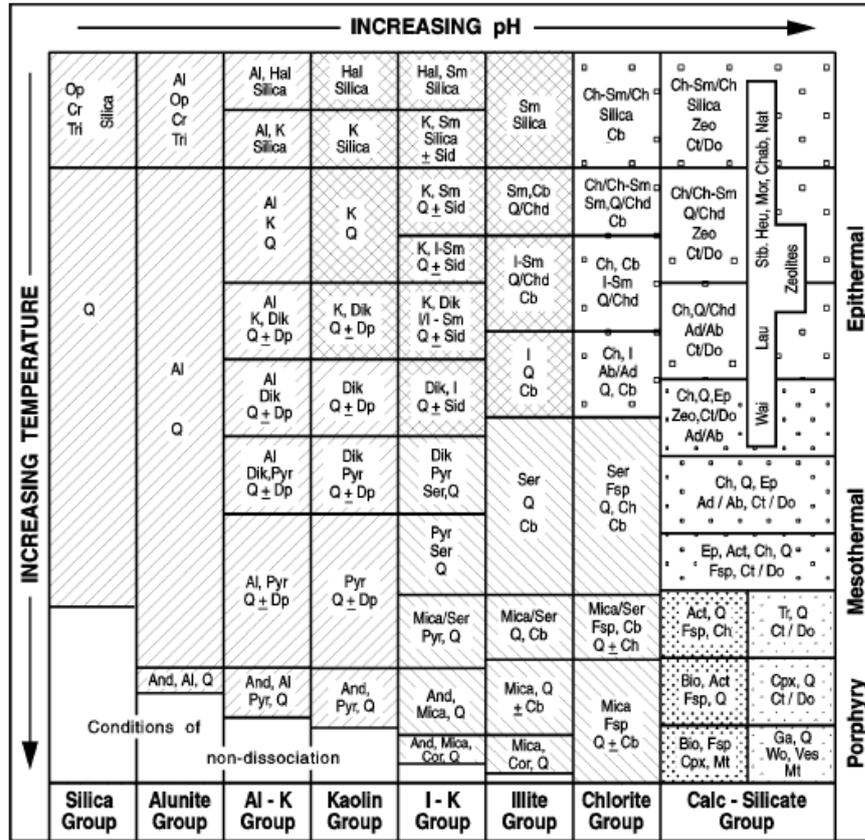
# **ANEXOS**

## ANEXO I. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN



Fuente: Autor

ANEXO II. MINERALES DE ALTERACIÓN TÍPICOS EN SISTEMAS HIDROTERMALES



Mineral Abbreviations :

Ab - albite; Act - actinolite; Ad - adularia; Al - alunite; And - andalusite; Bio - biotite; Cb - carbonate (Ca, Mg, Mn, Fe); Ch - chlorite; Chab - chabazite; Chd - chalcedony; Ch-Sm - chlorite-smectite; Cor - corundum; Cpx - clinopyroxene; Cr - cristobalite; Ct - calcite; Do - dolomite; Dik - dickite; Dp - diaspore; Ep - epidote; Fsp - feldspar; Ga - garnet; Hal - halloysite; Heu - heulandite; I - illite; I-Sm - illite-smectite; K - kaolinite; Lau - laumontite; Mt - magnetite; Mor - mordenite; Nat - natrolite; Op - opaline silica; Pyr - pyrophyllite; Q - quartz; Ser - sericite; Sid - siderite; Sm - smectite; Stb - stilbite; Tr - tremolite; Tri - tridymite; Ves - vesuvianite; Wai - wairakite; Wo - wollastonite; Zeo - zeolite

	Potassic		Propylitic		Outer / Sub Propylitic
	Skarn		Argillic		Advanced Argillic
	Phyllic				

Fuente: Corbett, (1980)

### ANEXO III. PORCENTAJES DE MINERALES DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

MUESTRA	Silica Group		Kaolin Group				Illite Group			Chlorite Group	Calc-Silicate Group										Others minerals							
	Cr(%)	Qz(%)	K(%)	Pyr(%)	Dik(%)	Dp(%)	Illite(%)	Muscovite(%)	Paragonite(%)	Ch(%)	Nat(%)	Chab(%)	Mor(%)	Heu(%)	Prenhite(%)	Pumpellyite(%)	Ep(%)	Act(%)	Bio(%)	Tr(%)	Wo(%)	Do(%)	Ab(%)	Ct(%)	Gypsum(%)	Mt(%)	Apatite(%)	Orthodase(%)
TL-00007	0	1.5	0	2.8	1.5	7.3	0	0	25.3	5.5	16.7	0	0	14.1	0	0	0	0	0	0	0	6.5	15.5	0	0	0	0	0
TL-00012	1	2.2	0	0	4.2	7.5	0	0	35.4	0	19.1	0	0	18.9	0	0	2.7	0	0	0	0	6.1	0	0	0	0	0	0
TL-00018	1.2	23.3	6	0	0.9	0	0	16.5	0	0	0	3.2	3.2	0	0	0	1.2	0	0	0	0	0	37.1	2	2.7	1.8	0	0
TL-00024	1.4	1.8	0	0	4.5	11.7	0	0	44.6	11.1	19.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
TL-00030	1.7	1.6	0	10.6	0	7.4	0	9.5	0	0	18.6	0	0	13.7	0	0	0	0	15.9	0	13.7	4.6	0	0	0	0	0	0
TL-00035	0	3	0	14.7	10.9	7.9	0	0	0	0	0	0	0	16.3	0	0	0	0	0	0	19.4	0	27.7	0	0	0	0	0
TL-00041	0.4	35.2	0	0	0	0	0	17.3	12.7	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	30	0	2.8	0	0	0
TL-00046	1.6	36.3	0	0	0	0	0	20.5	0	0	0	4.3	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0	0	33.1	0	2.2	1	0	0
TL-00052	1.8	3.8	0	0	0	15.2	0	0	0	0	32.8	0	0	0	0	19.1	9.4	0	0	0	0	6.1	0	0	0	2.3	9.4	0
TL-00058	0.3	27.5	0	0	0	0	0	17.4	0	0	3.1	2.6	2.9	0	0	0	2.5	0	0	0	0	0	37.9	1.2	1.7	1.3	0	0
TL-00064	0.4	29.1	2.9	0	0	0	0	15.3	0	1.3	0	2.1	0	0	0	0	0	0.5	0	4.1	0	0	41.4	0.6	1.1	1.1	0	0
TL-00069	0.2	28.9	2.8	0	0	0	0	16.3	0	1.8	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	0.6	0	0	0	0
TL-00075	2.8	4.5	0	0	0	14.1	0	0	0	25	0	0	0	42.4	0	0	0	0	0	0	0	11.1	0	0	0	0	0	0
TL-00081	0	36.4	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	1.3	0	0	0	0	0	0	42.2	0	2.1	1.1	0	0
TL-00086	0	0.2	0	6.8	7.3	2.1	0	8	51.4	0	0	0	0	12.7	0	0	0	0	6.7	0	0	4.4	0	0	0	0	0	0
TL-00092	1.8	31.5	0	0	0	0	0	17.6	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45.8	1.1	0.9	1.3	0	0
TL-00098	0.2	27	0	0	0	0	0	22.4	0	2.6	0	2.6	0	0	0	0	0	3.7	0	0	0	0	34.5	0	0	1.2	2.5	0
TL-00103	4.9	4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.4	0	40.9	0	0	0	14.1	0	0	0	2.3	14.6	0
TL-00109	0	19.4	0	0	0	0	2.1	0	15.9	0	2.1	1.8	0	0	0	0	0	4.7	8.3	0	0	0	37.5	0	0	0	0	0
TL-00116	1.5	17.3	0	0	0	0	2.6	20.6	15.8	0	0	3.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36.8	0	0	0.7	0	0
TL-00120	0	1	0	0	0	6.4	0	10.6	0	0	20.7	0	0	22.7	28.3	0	0	0	0	0	0	4.8	0	0	0	1.2	0	0
TL-00126	3.7	19.9	0	0	0	0	0	0	19.1	0	0	0	0	0	0	0	4.5	0	14.8	0	0	0	37.3	0	0	0	0	0
TL-00132	0	3.3	0	13.8	0	18.4	0	0	0	0	27.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18.2	8.9	0	0	0	0	9.4	0
TL-00161	0	0	0	0	13.5	25.7	0	0	0	0	45.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.1	0	0	0	3.1	0	0
TL-00167	0.1	0.6	0	0	0	1.5	0	1.7	32.7	5.9	12.7	0	0	15.8	22.2	0	3	0	0	0	0	3.8	0	0	0	0	0	0
TL-00173	0.5	28.5	0	0	0	0	3.9	0	16.7	7.9	0	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41.7	0	0	0	0	0
TL-00178	0.3	29	0	0	0	0	0	23.2	0	4	0	0.4	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38.4	0.4	0	0.9	0	0
TL-00183	0	0	0	8.2	0	9.9	0	8.3	0	0	16.6	0	0	9.1	0	1.2	0	0	18.3	0	15.9	6.3	0	0	0	0	1.9	0
TL-00200	0.9	1.3	0	0	0	7.9	22.2	0	19.6	0	9.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.8	0	0.1	0	0	0	30
TL-00206	0.8	5.3	2.7	0	0	0	0	9.3	12.1	8.1	0	2.3	0	0	0	0	6.5	0	15.7	0	0	0	35.5	1.2	0.4	0.1	0	0
TL-00211	1.8	1.5	0	0	0	8.9	0	11.9	0	13.9	18.4	8.4	2.7	22.9	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	1.7	0	0

Fuente: Autor

## ANEXO IV. GRADO DE ALTERACIÓN POR MUESTRA

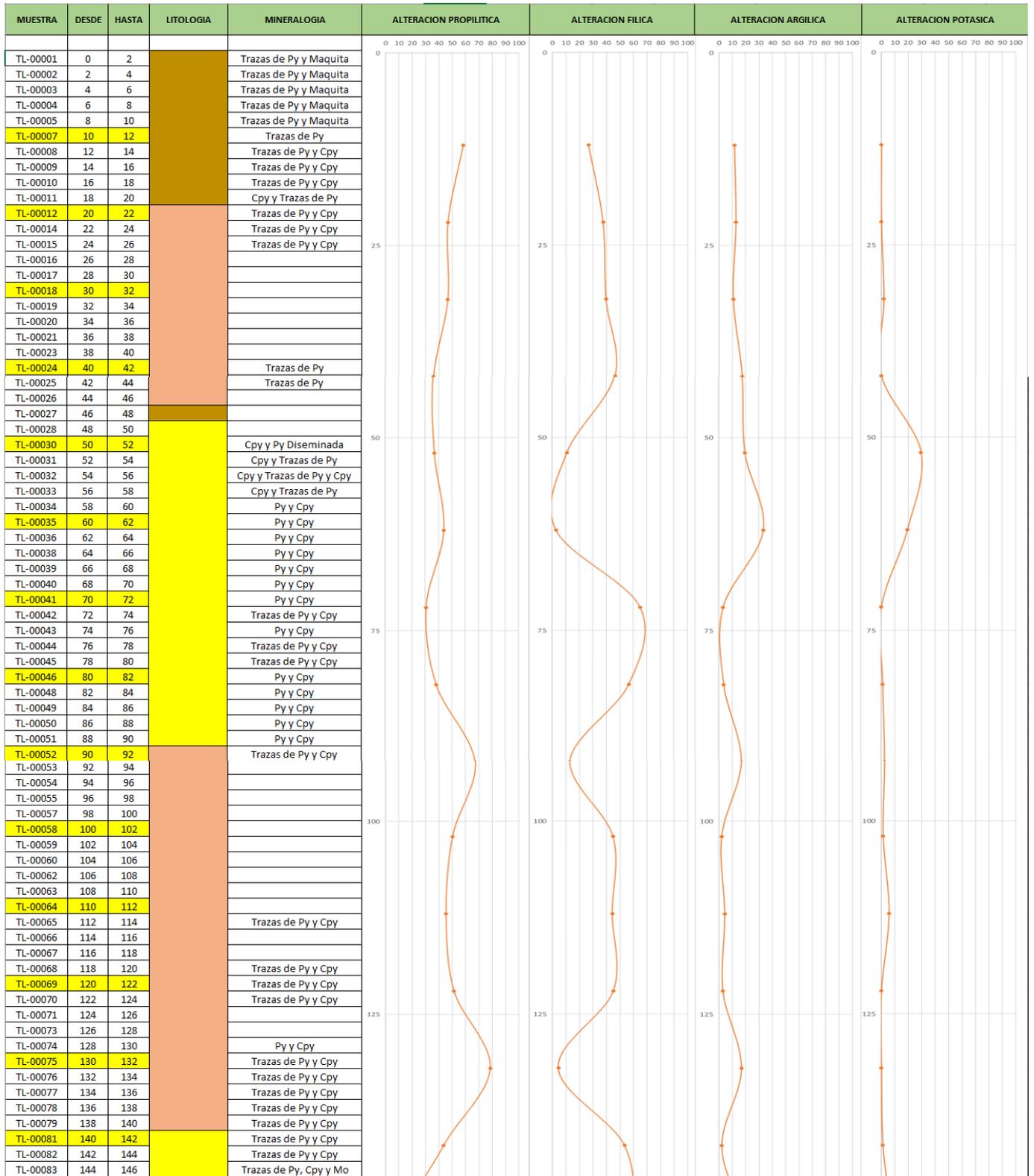
MUESTRA	DESDE	HASTA	LITOLOGIA	ALTERACIONES (DRX)			
				PROPILITICA	FILICA	POTASICA	ARGILICA
TL-00007	10	12	Brechas intrusivas	58.3	26.8	0	11.6
TL-00012	20	22	Diorita porfirítica	46.8	37.6	0	12.7
TL-00018	30	32	Diorita porfirítica	46.7	39.8	1.8	10.8
TL-00024	40	42	Diorita porfirítica	36	46.4	0	17.6
TL-00030	50	52	Granodioritas	36.9	11.1	29.6	19.7
TL-00035	60	62	Granodioritas	44	3	19.4	33.5
TL-00041	70	72	Granodioritas	30.7	65.2	0	3.2
TL-00046	80	82	Granodioritas	38.3	56.8	1	3.8
TL-00052	90	92	Diorita porfirítica	67.4	13.2	2.3	17
TL-00058	100	102	Diorita porfirítica	50.2	44.9	1.3	2
TL-00064	110	112	Diorita porfirítica	45.4	44.4	5.7	4.4
TL-00069	120	122	Diorita porfirítica	51.4	45.2	0	3
TL-00075	130	132	Diorita porfirítica	78.5	4.5	0	16.9
TL-00081	140	142	Granodioritas	43.5	53.4	1.1	2.1
TL-00086	150	152	Cuarzodioritas	17.1	59.6	6.7	16.2
TL-00092	160	162	Granodioritas	47	49.1	1.3	2.7
TL-00098	170	172	Granodioritas	39.7	51.9	4.9	0.2
TL-00103	180	182	Granodioritas	27.5	19.4	43.2	4.9
TL-00109	190	192	Volcanicas	41.4	35.3	13	2.1
TL-00116	202	204	Volcanicas	40.6	53.7	0.7	4.1
TL-00120	210	212	Brechas intrusivas	76.5	11.6	1.2	6.4
TL-00126	220	222	Brechas intrusivas	37.3	39	19.3	3.7
TL-00132	230	231	Volcanicas	36.6	12.7	18.2	32.2
TL-00161	280	282	Cuarzodioritas	57.8	0	3.1	39.2
TL-00167	290	292	Cuarzodioritas	63.4	35	0	1.6
TL-00173	301	303	Cuarzodioritas	50.4	45.2	0	4.4
TL-00178	310	312	Cuarzodioritas	45	52.2	0.9	0.3
TL-00183	320	322	Cuarzodioritas	33.2	10.2	34.2	18.1
TL-00200	350	352	Volcanicas	12.5	20.9	30	31
TL-00206	360	362	Brechas intrusivas	47.1	26.7	22.3	3.9
TL-00211	370	372	Brechas intrusivas	71.3	13.4	1.7	10.7

### ALTERACION

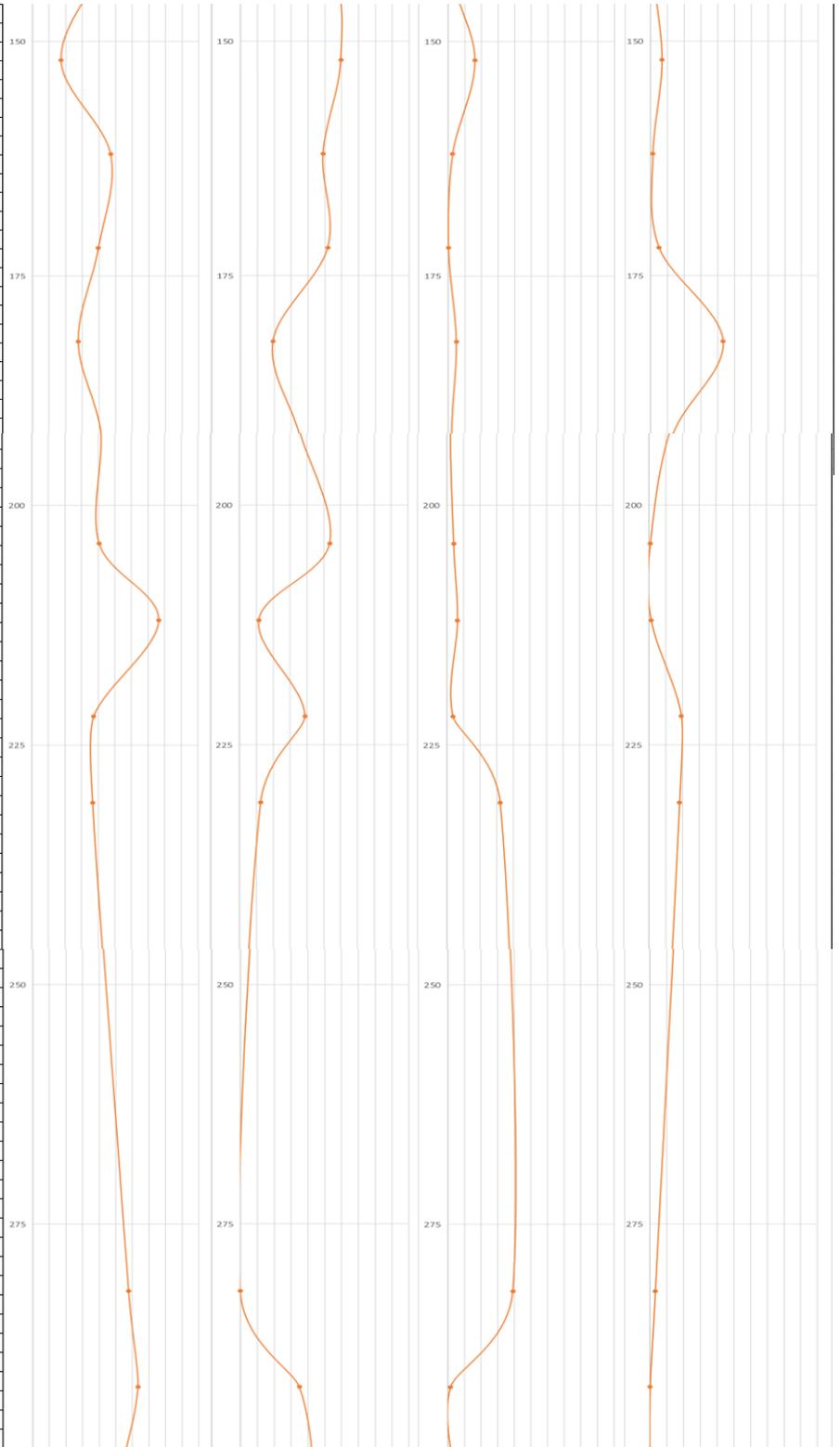
(0-20%) DEBIL	
(21-60%) MODERADA	
(61-100%) FUERTE	

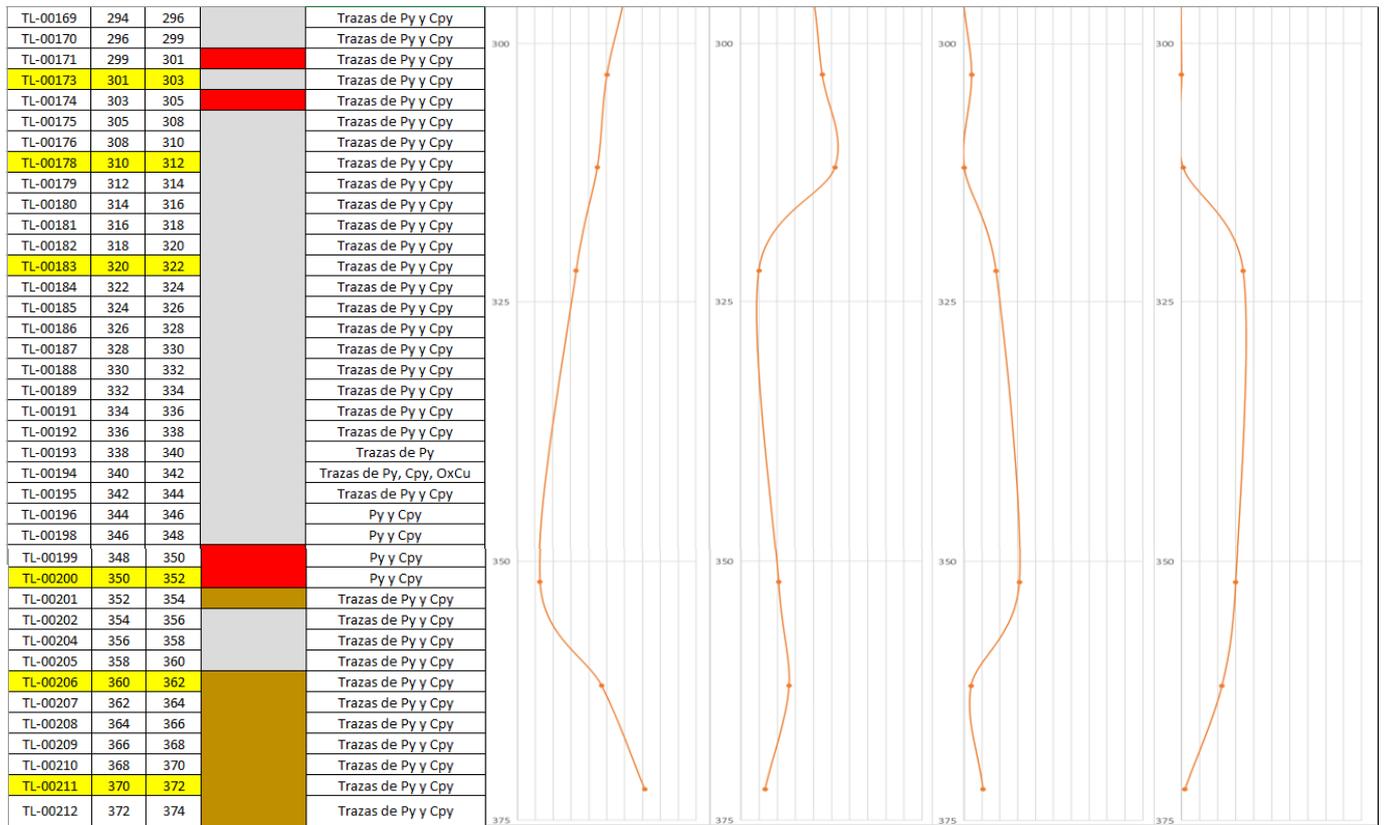
Fuente: Autor

## ANEXO V. PERFILES DE ALTERACION HIDROTHERMAL



TL-00084	146	148		Trazas de Py, Cpy y Mo
TL-00085	148	150		Trazas de Py, Cpy y Mo
TL-00086	150	152		Trazas de Py, Cpy y Mo
TL-00087	152	154		Trazas de Py, Cpy y Mo
TL-00088	154	156		Trazas de Py, Cpy y Mo
TL-00089	156	158		Trazas de Py, Cpy y Mo
TL-00091	158	160		Trazas de Py, Cpy y Mo
TL-00092	160	162		Trazas de Py, Cpy y Mo
TL-00093	162	164		Trazas de Py, Cpy y Mo
TL-00094	164	166		Trazas de Py
TL-00095	166	168		Trazas de Py
TL-00096	168	170		Trazas de Py
TL-00098	170	172		Trazas de Py
TL-00099	172	174		Trazas de Py
TL-00100	174	176		Trazas de Py
TL-00101	176	178		Trazas de Py
TL-00102	178	180		Trazas de Py
TL-00103	180	182		Trazas de Py
TL-00104	182	184		Trazas de Py
TL-00106	184	186		Trazas de Py
TL-00107	186	188		Trazas de Py
TL-00108	188	190		Trazas de Py y Cpy
TL-00109	190	192		Trazas de Pv v Cov
TL-00110	192	194		Trazas de Py y Cpy
TL-00111	194	196		Trazas de Py y Cpy
TL-00113	196	198		Trazas de Py y Cpy
TL-00114	198	200		Trazas de Py, Cpy y Albita
TL-00115	200	202		Trazas de Cpy
TL-00116	202	204		Trazas de Cpy
TL-00117	204	206		Trazas de Py y Cpy
TL-00118	206	208		Trazas de Py y Cpy
TL-00119	208	210		Trazas de Py y Cpy
TL-00120	210	212		Trazas de Py y Cpy
TL-00121	212	213		Trazas de Py y Cpy
TL-00123	213	216		Trazas de Py y Cpy
TL-00124	216	217		Trazas de Py y Cpy
TL-00125	217	220		Trazas de Py y Cpy
TL-00126	220	222		Trazas de Py y Cpy
TL-00127	222	224		Trazas de Py y Cpy
TL-00128	224	226		Trazas de Py y Cpy
TL-00130	226	228		Trazas de Py y Cpy
TL-00131	228	230		Trazas de Py, Cpy y Albita
TL-00132	230	231		Trazas de Py y Cpy
TL-00133	231	234		Trazas de Py y Cpy
TL-00134	234	236		Trazas de Py y Cpy
TL-00135	236	238		Trazas de Py y Cpy
TL-00136	238	240		Trazas de Py y Cpy
TL-00137	240	241		Trazas de Py y Cpy
TL-00138	241	242		Trazas de Py y Cpy
TL-00140	242	244		Trazas de Py y Cpy
TL-00141	244	246		Trazas de Py y Cpy
TL-00142	246	248		Trazas de Py y Cpy
TL-00143	248	250		Trazas de Py y Cpy
TL-00144	250	252		Trazas de Py y Cpy
TL-00145	252	254		Trazas de Py y Cpy
TL-00146	254	255		Trazas de Py y Cpy
TL-00148	255	258		Trazas de Py y Cpy
TL-00149	258	260		Trazas de Py y Cpy
TL-00150	260	262		Trazas de Py y Cpy
TL-00151	262	263		Trazas de Py y Cpy
TL-00152	263	266		Trazas de Py y Cpy
TL-00153	266	267		Trazas de Py y Cpy
TL-00154	267	270		Trazas de Py y Cpy
TL-00155	270	272		Trazas de Py y Cpy
TL-00157	272	274		Trazas de Py y Cpy
TL-00158	274	276		Trazas de Py y Cpy
TL-00159	276	278		Trazas de Py y Cpy
TL-00160	278	280		Trazas de Py y Cpy
TL-00161	280	282		Trazas de Py y Cpy
TL-00162	282	284		Trazas de Py y Cpy
TL-00163	284	286		Trazas de Py y Cpy
TL-00164	286	288		Trazas de Py y Cpy
TL-00166	288	290		Trazas de Py y Cpy
TL-00167	290	292		Trazas de Py y Cpy
TL-00168	292	294		Trazas de Py y Cpy
TL-00169	294	296		Trazas de Py y Cpy

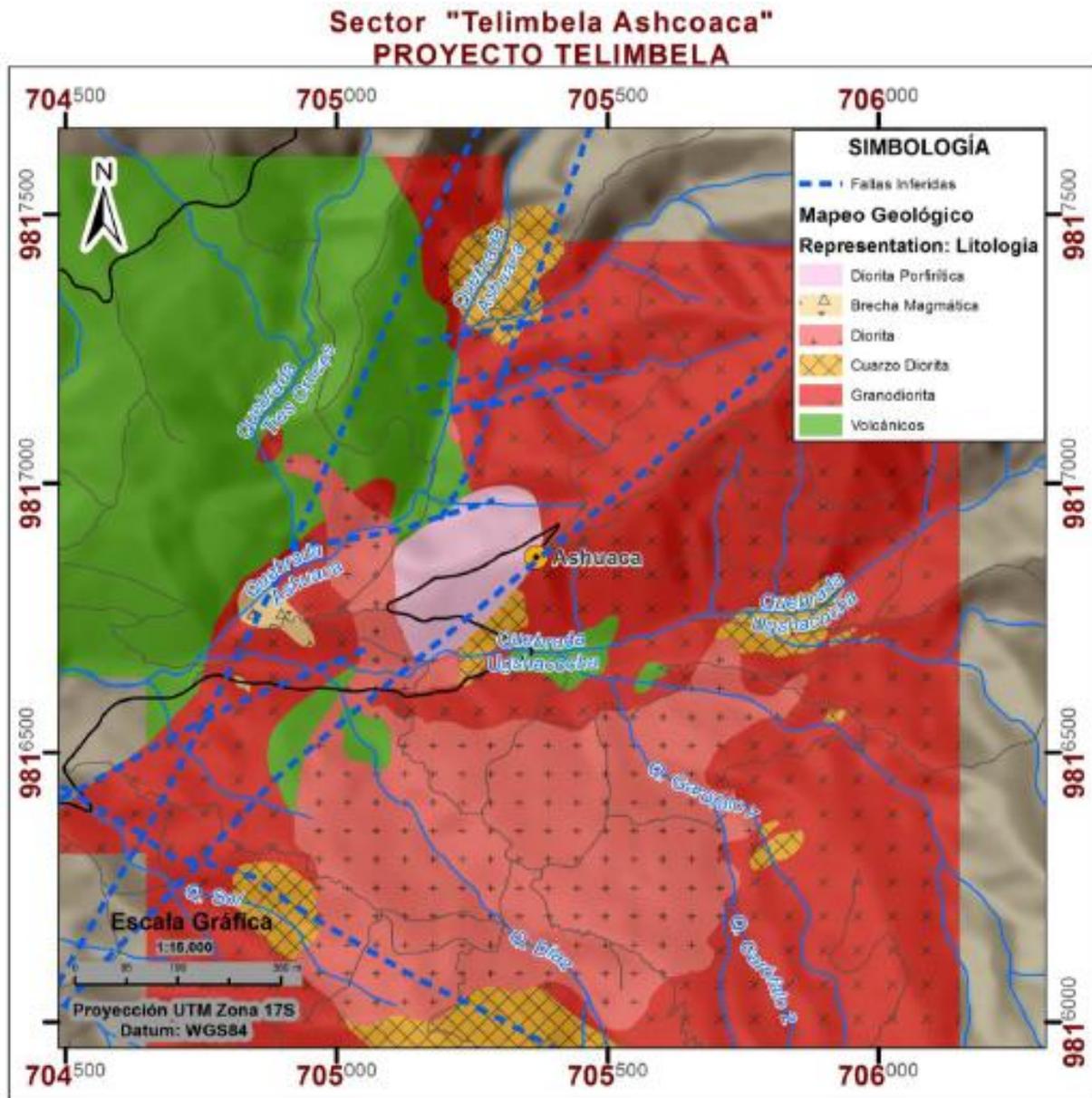




PROYECTO TELIMBELA	
	LITOLOGIA
Sector: Ashcoaca	Brechas intrusivas
Pozo: Tel-01	Diorita porfirítica
Profundidad: 374.45 m	Granodioritas
Inclinación: -60°	Cuarzodioritas
Azimut: 180°	Volcanicas

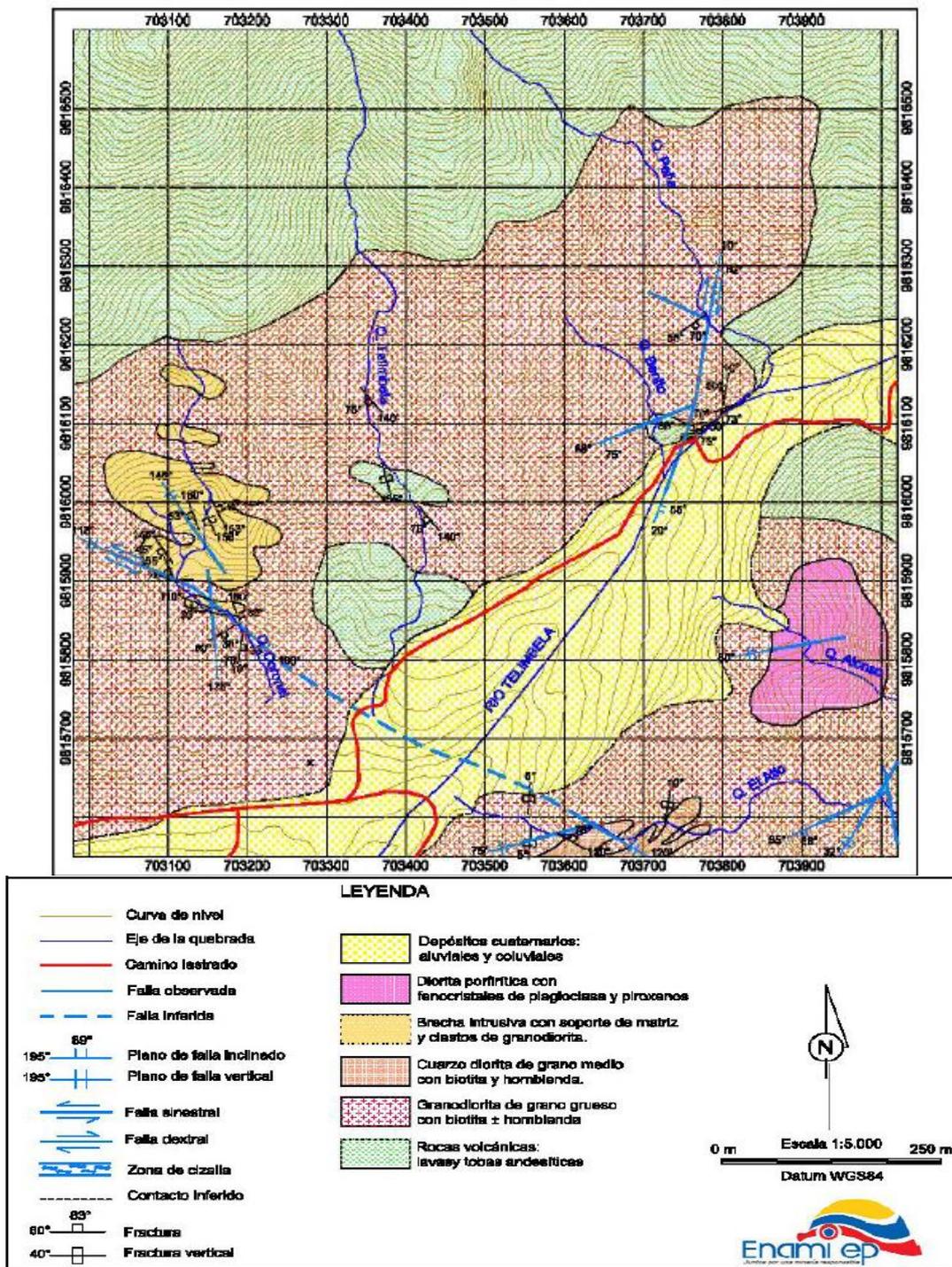
Fuente: Autor

ANEXO VI. MAPA GEOLOGICO DEL SECTOR DE ASHCOACA



Fuente: ENAMI EP. (2016)

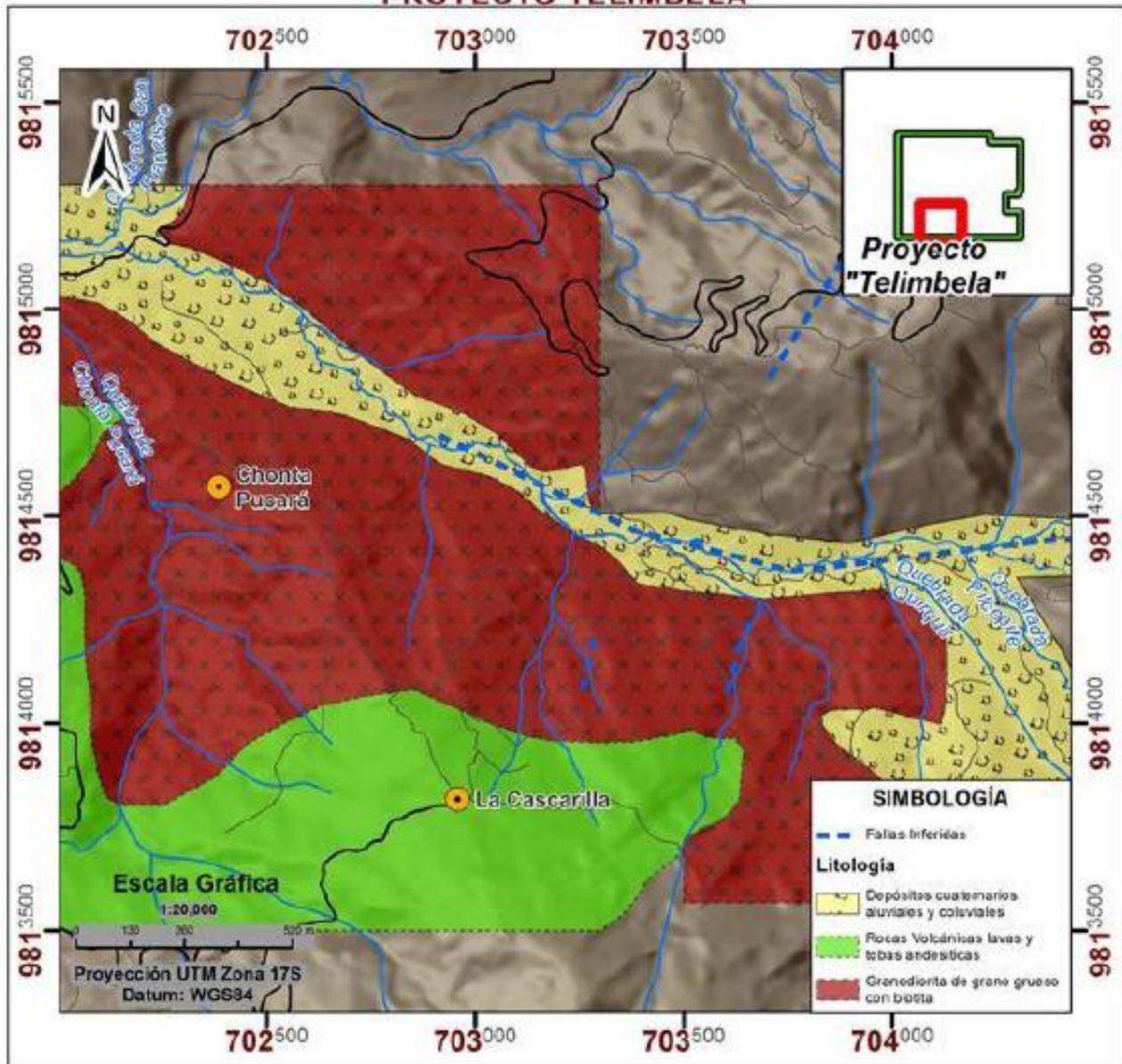
## ANEXO VII. MAPA GEOLOGICO DEL SECTOR DE TELIMBELA CENTRAL



Fuente: ENAMI EP. (2016)

ANEXO VIII. MAPA GEOLOGICO DEL SECTOR DE TELIMBELA SUR

MAPA GEOLOGICO Escala 1:2000  
Sector "Telimbela Sur"  
PROYECTO TELIMBELA

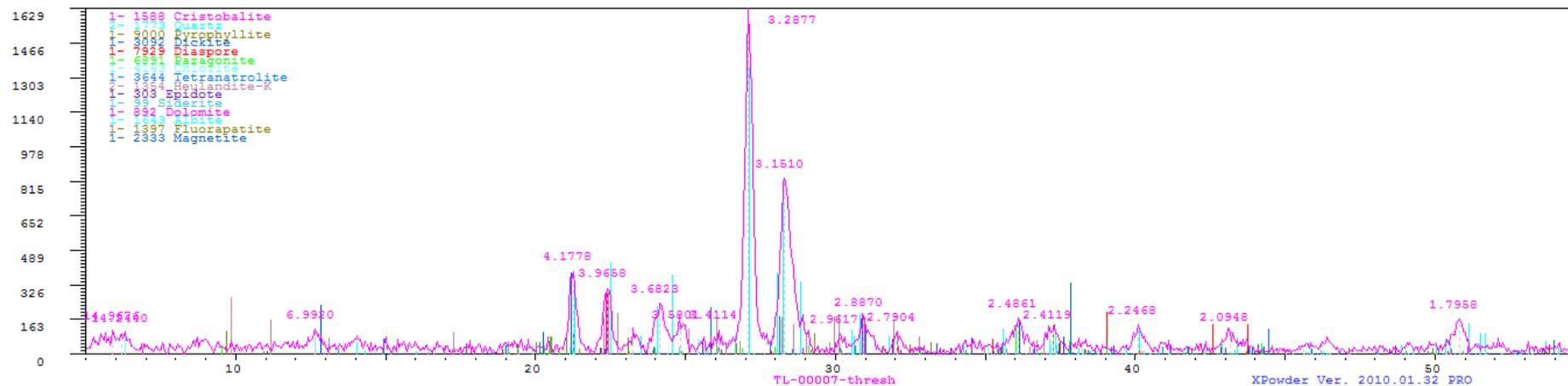
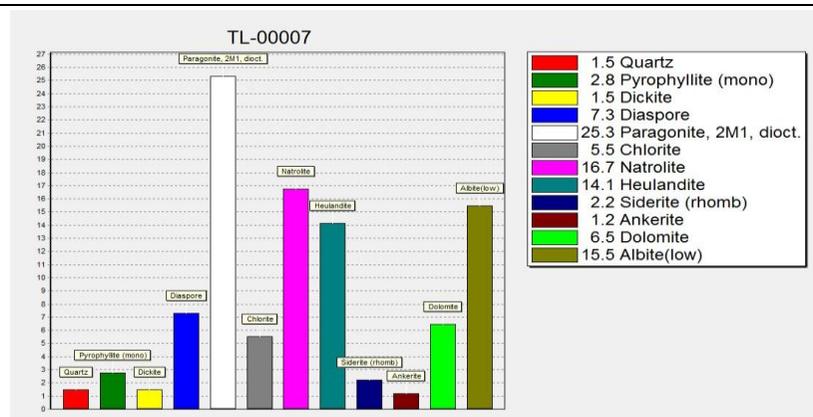


Fuente: ENAMI EP. (2016)

## ANEXO IX. FICHAS DE MINERALES

### TEL-00007

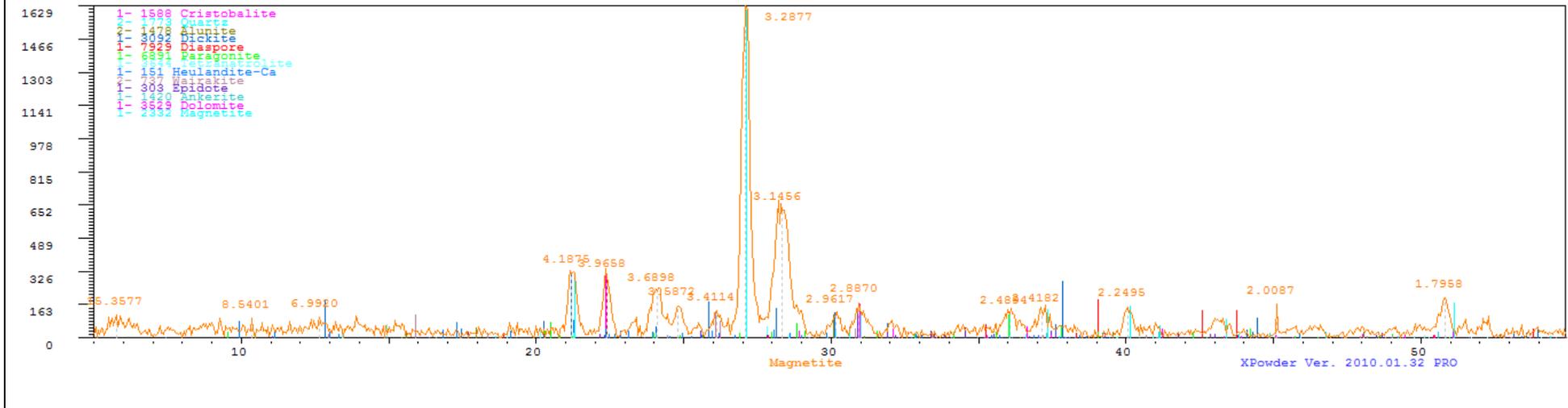
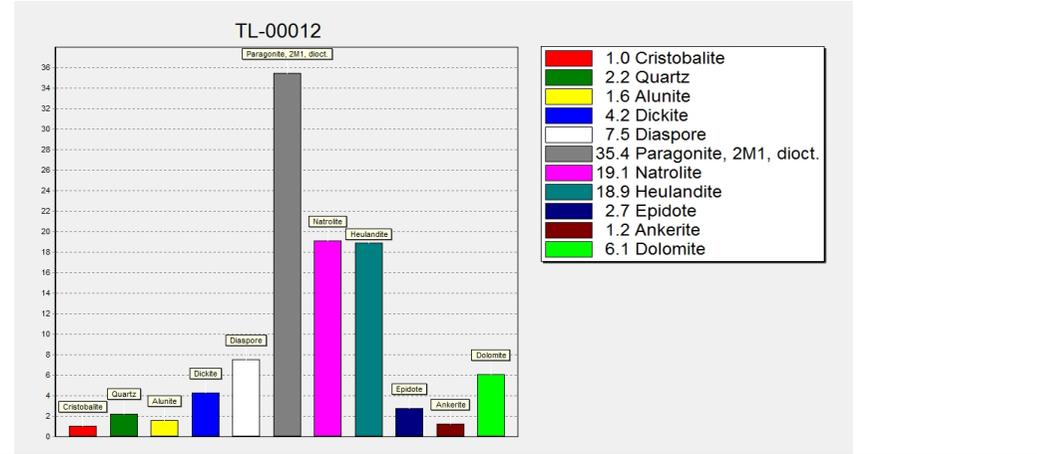
(CUARZODIORITA) DE COLOR GRIS VERDOSA, DE GRANO MEDIO, TEXTURA PORFIRITICA CONFORMADO POR CRISTALES DE PLAGIOCLASAS, Y ANFÍBOLES EN UNA MATRIZ GRIS DE GRANO FINO A AFANÍTICAS CON BIOTITAS, ALTERACIÓN CHL Y SERICITA MODERADA.



Fuente: Autor

# TEL-00012

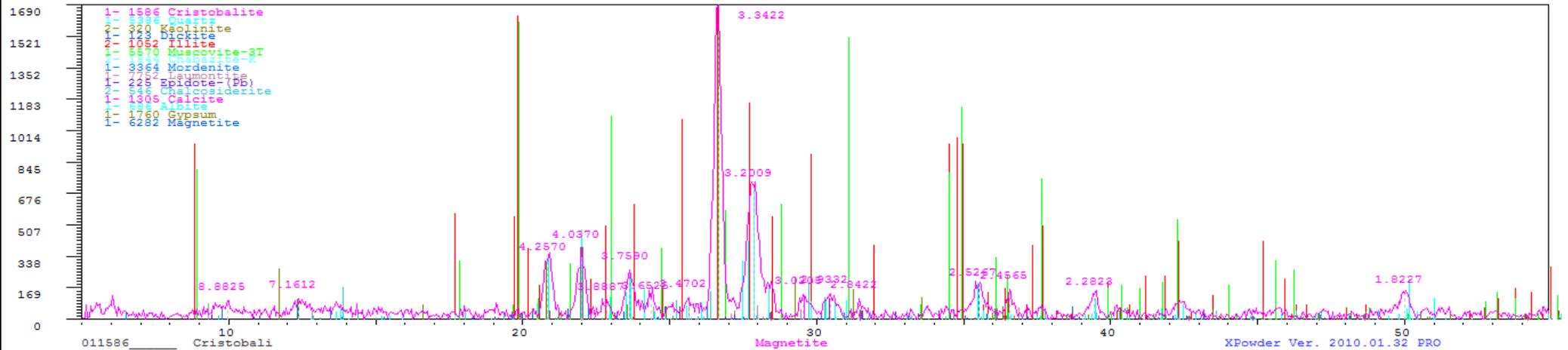
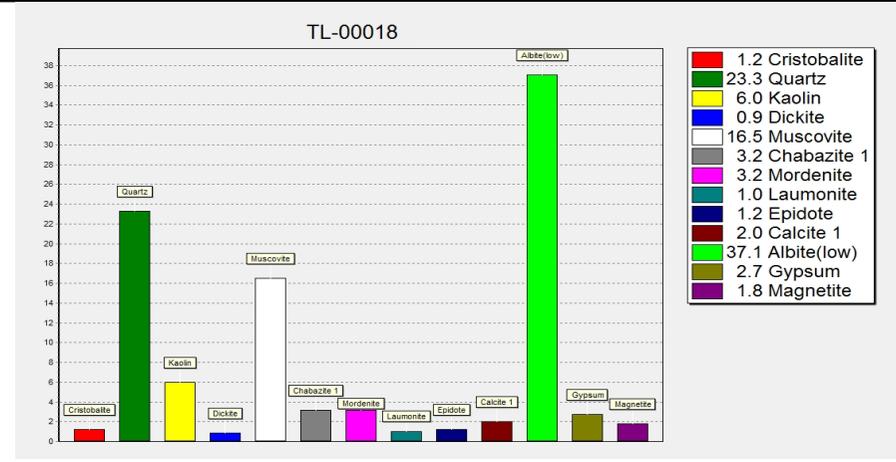
DIORITA PORFIRÍFICA DE COLOR GRIS OSCURO, CON DESARROLLO DE FENOCRSITALES DE PLAGIOCLASA, ANFÍBOLES Y PIROXENOS, EN UNA MATRIZ FANERÍTICA GRIS OSCURA. ALT, CHL-SER MODERADA, MINERALES DE CPY Y PY EN VETILLAS EN TRAZAS.



Fuente: Autor

# TEL-00018

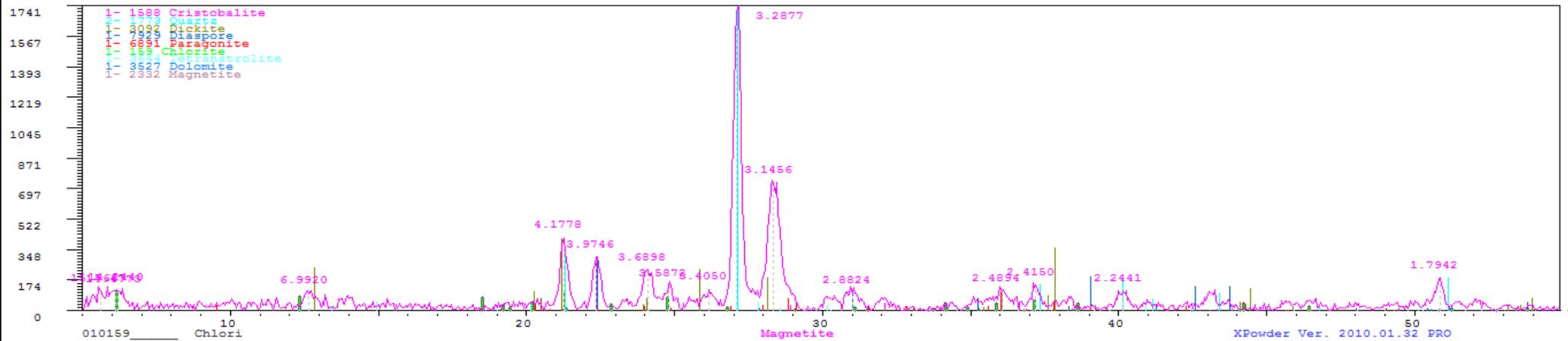
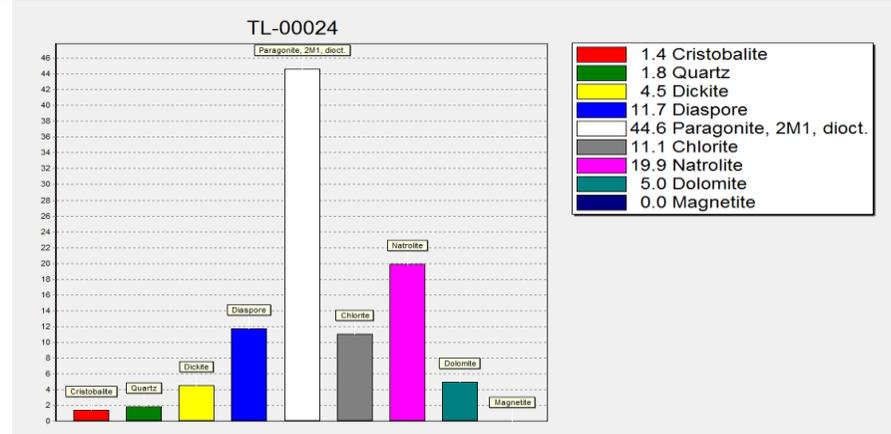
DIORITA PORFIRÍFICA DE COLOR GRIS OSCURO, CON DESARROLLO DE FENOCRITALES DE PLAGIOCLASA, ANFÍBOLES Y PIROXENOS, EN UNA MATRIZ FANERÍTICA GRIS OSCURA. ALT, CHL-SER MODERADA, MINERALES DE CPY Y PY EN VETILLAS EN TRAZAS.



Fuente: Autor

## TEL-00024

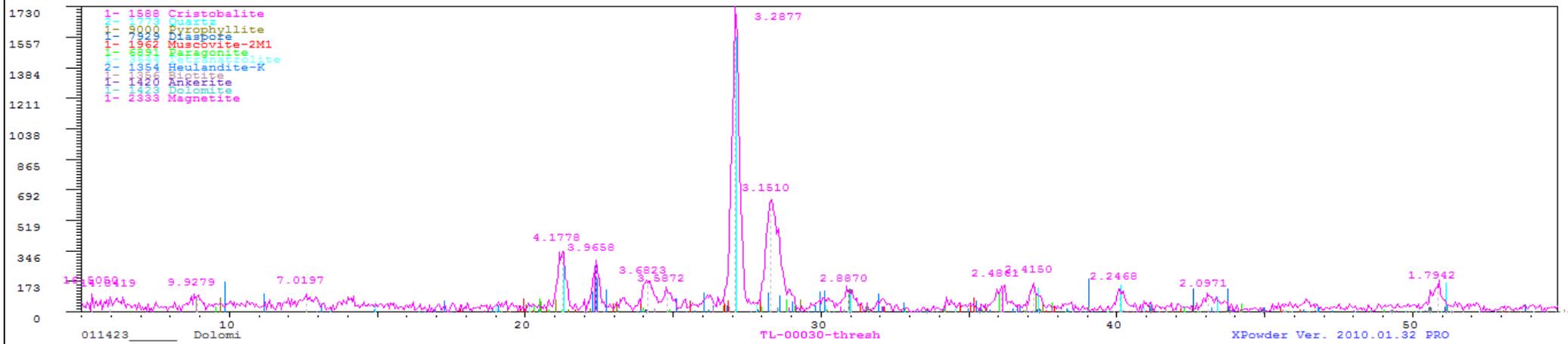
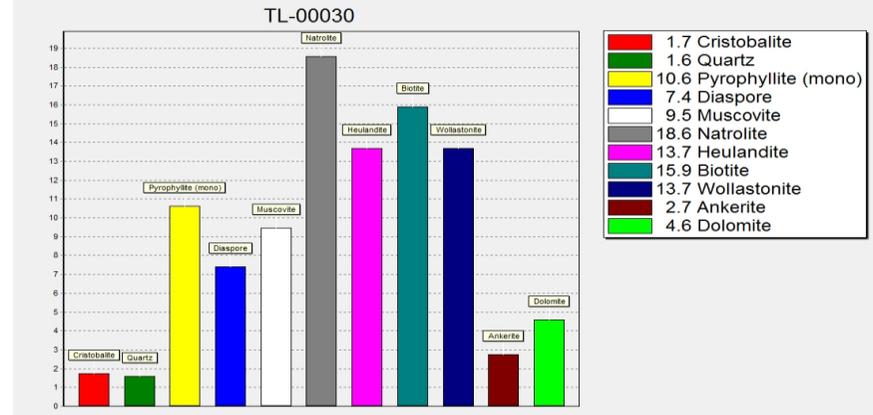
DIORITA PORFIRÍFICA DE COLOR GRIS OSCURO, CON DESARROLLO DE FENOCRSITALES DE PLAGIOCLASA, ANFÍBOLES Y PIROXENOS, EN UNA MATRIZ FANERÍTICA GRIS OSCURA. ALT, CHL-SER MODERADA, MINERALES DE CPY Y PY EN VETILLAS EN TRAZAS.



Fuente: Autor

## TEL-00030

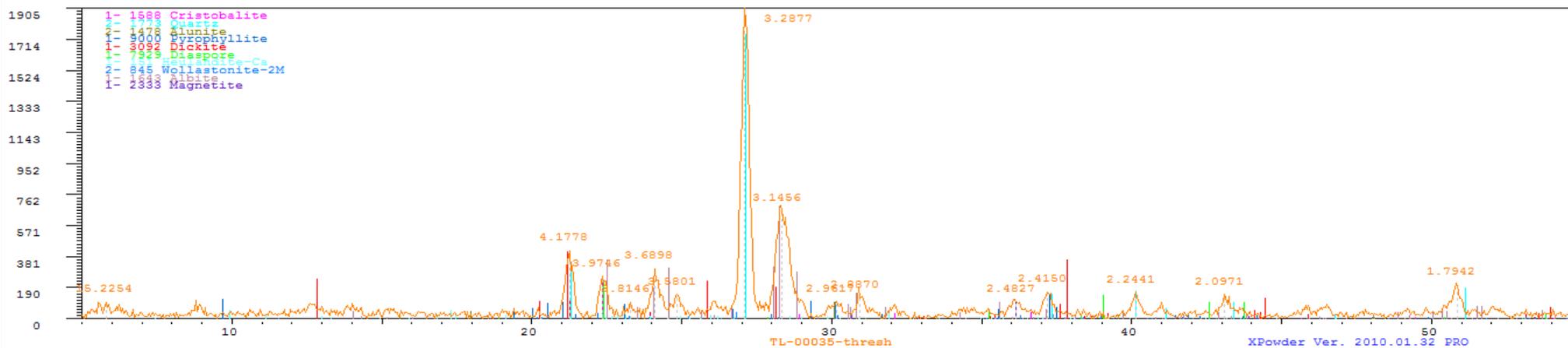
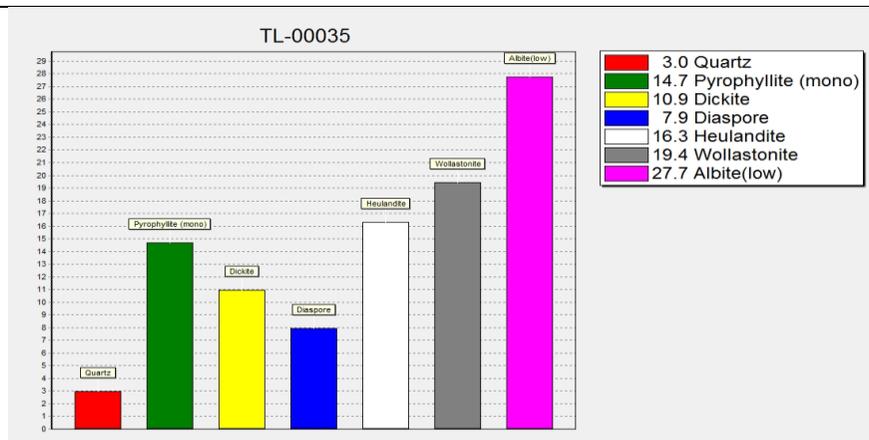
GRANODIORITA DE COLOR GRIS VERDOSA, DE GRANO GRUESO FANERÍTICA, EQUIGRANULAR CONFORMADO POR PLAGIOCLASAS, CUARZO Y MÁFICOS CLORITIZADOS, MAGNETISMO MODERADO. ALTERACIÓN QZ-SER Y CHL DEBIL, MINERALIZACIÓN DE CPY DISEMINADA Y EN FRACTURAS, VETILLAS DE QZ ESPORÁDICAS Y EPIDOTAS. MAGNETITAS DISEMINADA.



Fuente: Autor

## TEL-00035

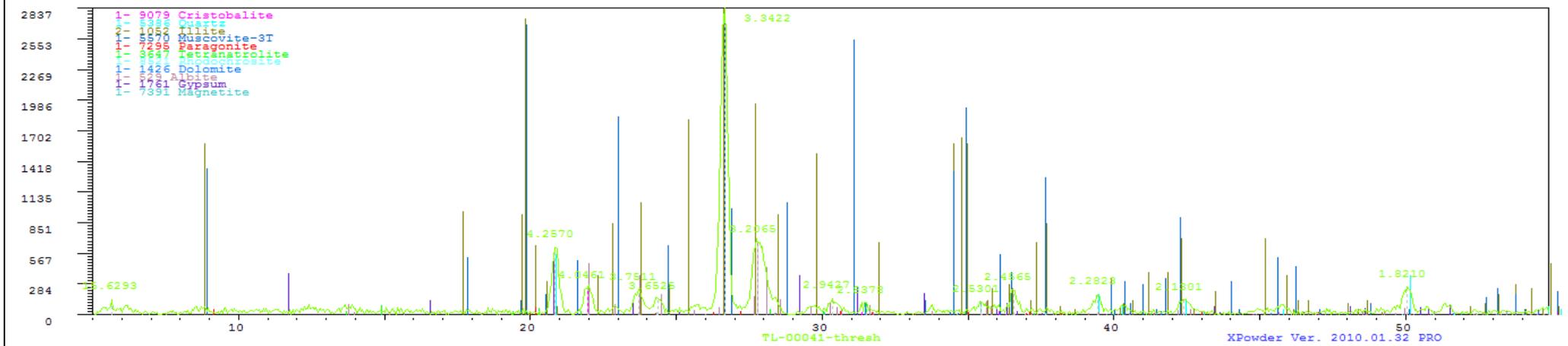
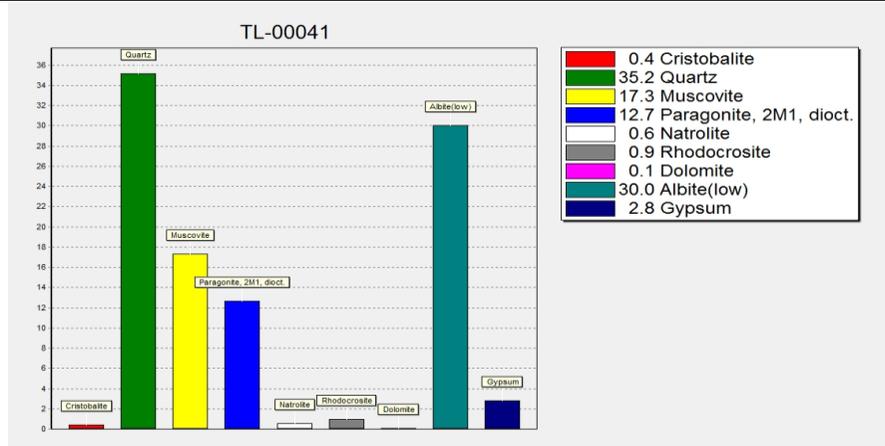
GRANODIORITA DE COLOR GRIS VERDOSA, DE GRANO GRUESO FANERÍTICA, EQUIGRANULAR CONFORMADO POR PLAGIOCLASAS, CUARZO Y MÁFICOS CLORITIZADOS, MAGNETISMO MODERADO. ALTERACIÓN QZ-SER Y CHL DEBIL, MINERALIZACIÓN DE CPY DISEMINADA Y EN FRACTURAS, VETILLAS DE QZ ESPORÁDICAS Y EPIDOTAS. MAGNETITAS DISEMINADA.



Fuente: Autor

# TEL-00041

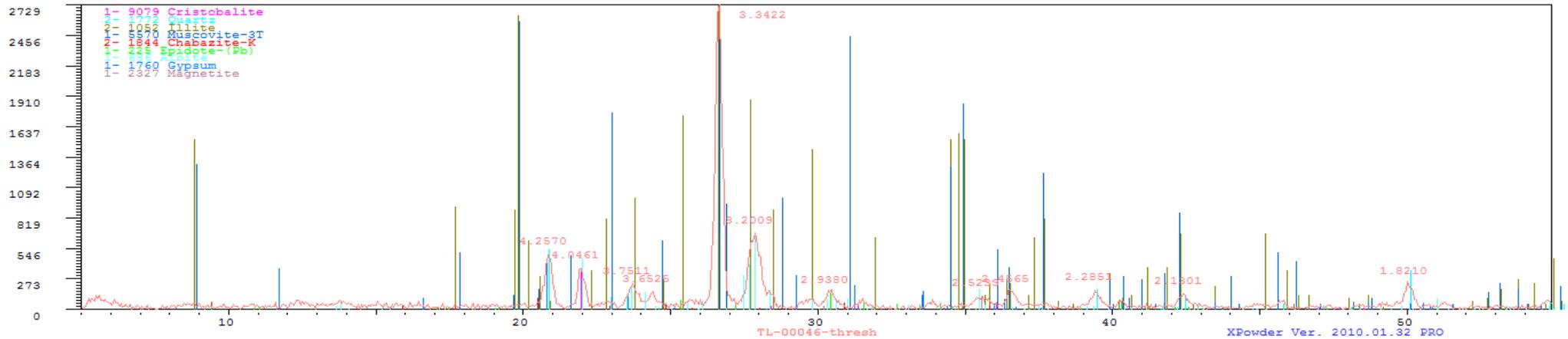
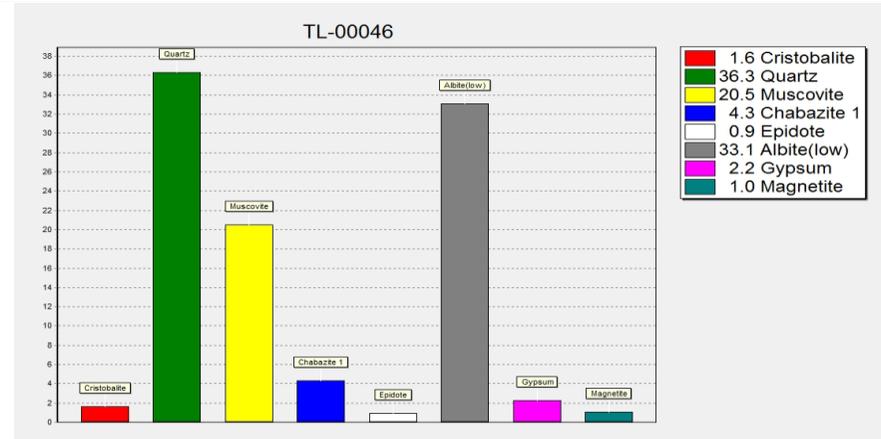
GRANODIORITA DE COLOR GRIS VERDOSA, DE GRANO GRUESO FANERÍTICA, EQUIGRANULAR CONFORMADO POR PLAGIOCLASAS, CUARZO Y MÁFICOS CLORITIZADOS, MAGNETISMO MODERADO. ALTERACIÓN QZ-SER Y CHL DEBIL, MINERALIZACIÓN DE CPY DISEMINADA Y EN FRACTURAS, VETILLAS DE QZ ESPORÁDICAS Y EPIDOTAS. MAGNETITAS DISEMINADA.



Fuente: Autor

## TEL-00046

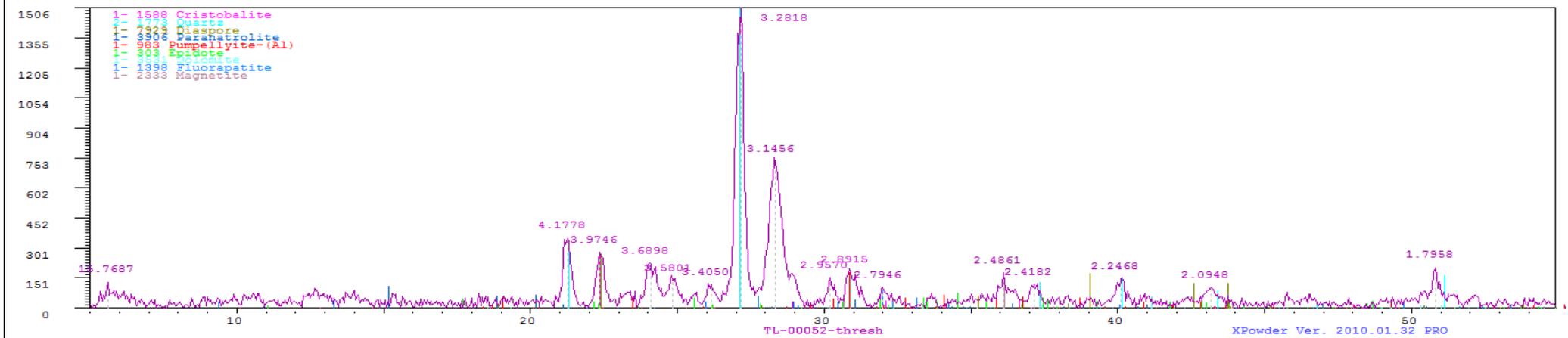
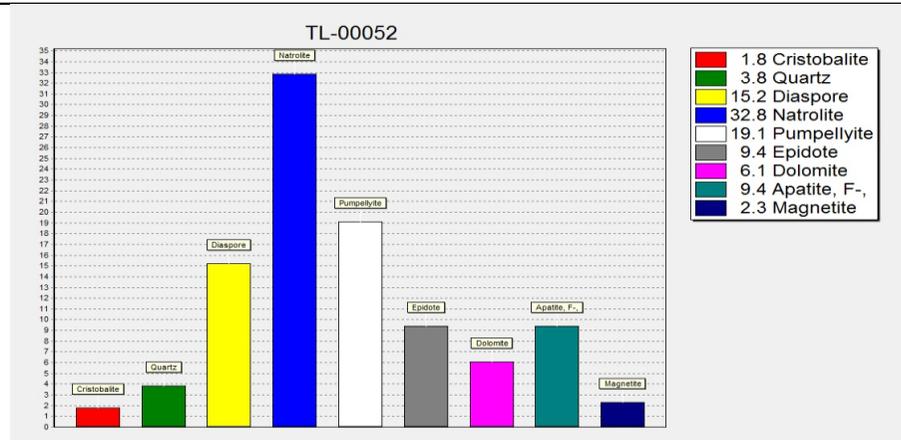
GRANODIORITA DE COLOR GRIS VERDOSA, DE GRANO GRUESO FANERÍTICA, EQUIGRANULAR CONFORMADO POR PLAGIOCLASAS, CUARZO Y MÁFICOS CLORITIZADOS, MAGNETISMO MODERADO. ALTERACIÓN QZ-SER Y CHL DEBIL, MINERALIZACIÓN DE CPY DISEMINADA Y EN FRACTURAS, VETILLAS DE QZ ESPORÁDICAS Y EPIDOTAS. MAGNETITAS DISEMINADA.



Fuente: Autor

## TEL-00052

GRANODIORITA DE COLOR GRIS VERDOSA, DE GRANO GRUESO FANERÍTICA, EQUIGRANULAR CONFORMADO POR PLAGIOCLASAS, CUARZO Y MÁFICOS CLORITIZADOS, MAGNETISMO MODERADO. ALTERACIÓN QZ-SER Y CHL DEBIL, MINERALIZACIÓN DE CPY DISEMINADA Y EN FRACTURAS, VETILLAS DE QZ ESPORÁDICAS Y EPIDOTAS. MAGNETITAS DISEMINADA.



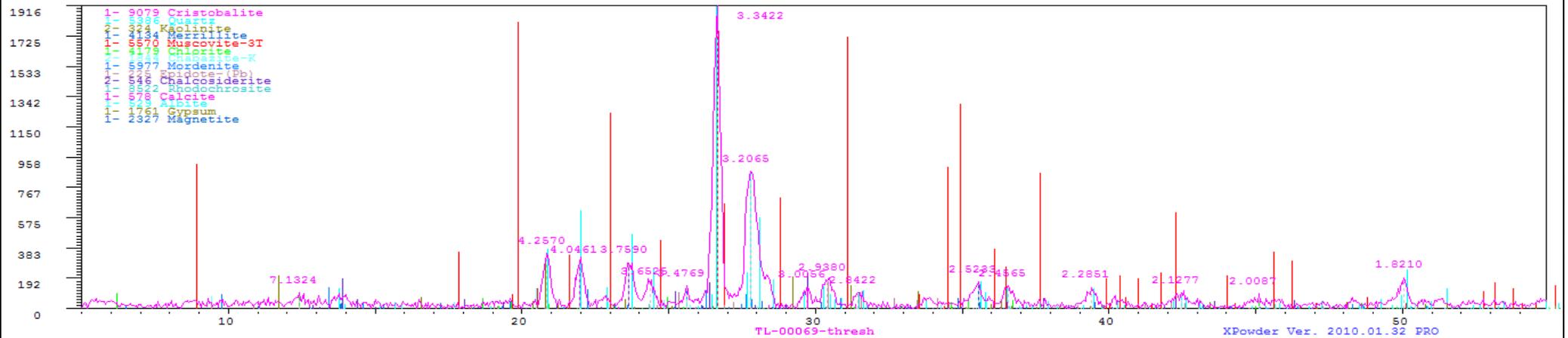
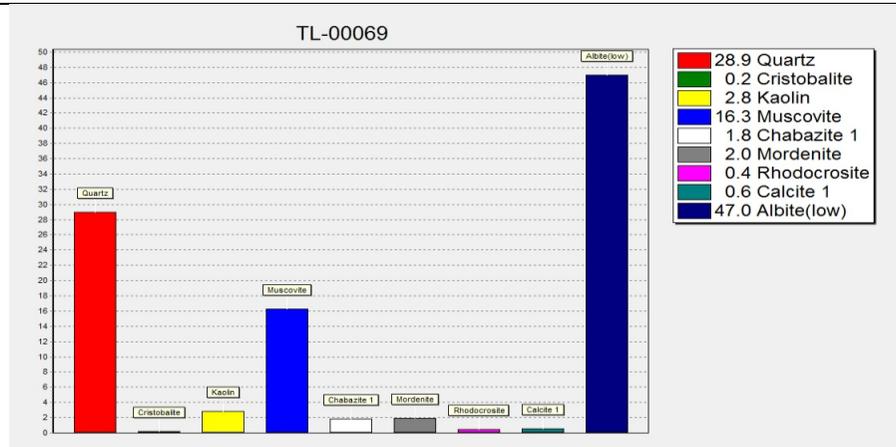
Fuente: Autor





## TEL-00069

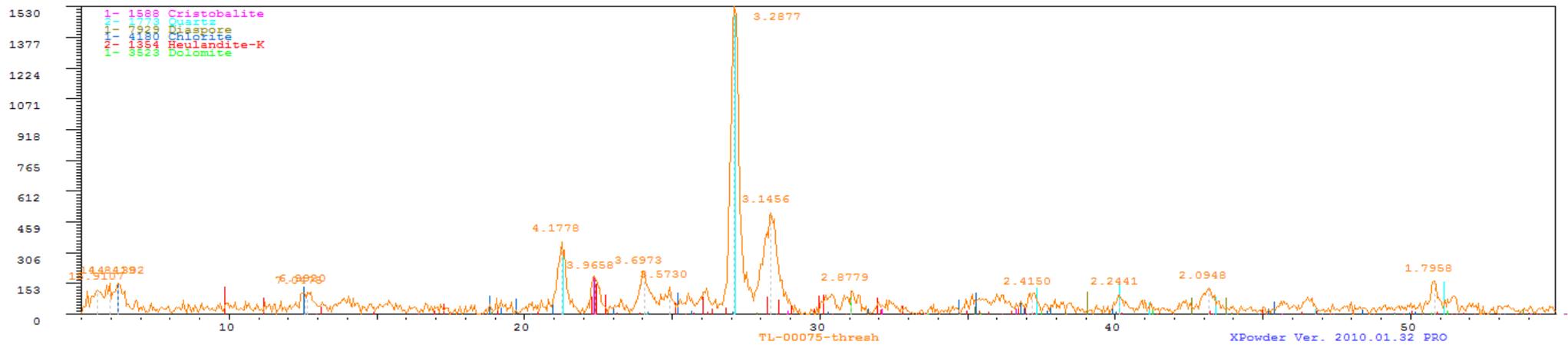
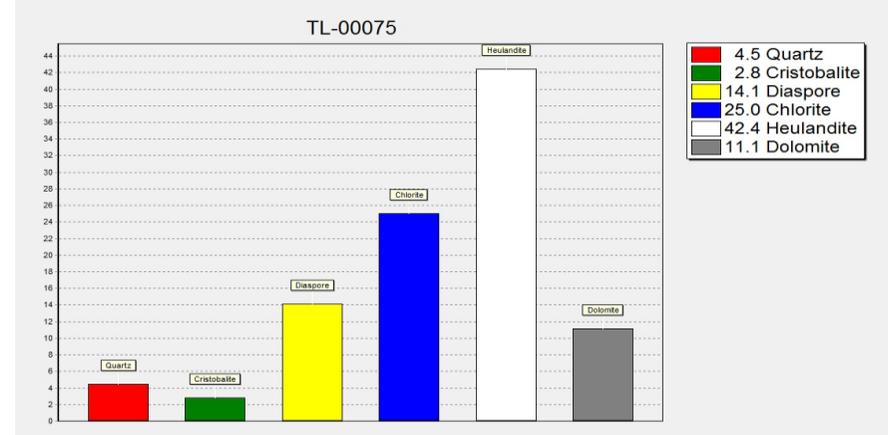
DIORITA PORFIRÍFICA DE COLOR GRIS OSCURO, CON DESARROLLO DE FENOCRSITALES DE PLAGIOCLASA, ANFÍBOLES Y PIROXENOS, EN UNA MATRIZ FANERÍTICA GRIS OSCURA. ALTERACIÓN CLORÍTICA FUERTE A MODERADA, EPIDOTAS EN VETILLAS Y TRAZAS DE SERICITAS, MINERALES DE CPY Y PY EN VETILLAS Y EN TRAZAS.



Fuente: Autor

## TEL-00075

DIORITA PORFIRÍCA DE COLOR GRIS OSCURO, CON DESARROLLO DE FENOCRSITALES DE PLAGIOCLASA, ANFÍBOLES Y PIROXENOS, EN UNA MATRIZ FANERÍTICA GRIS OSCURA. ALTERACIÓN CLORÍTICA FUERTE A MODERADA, EPIDOTAS EN VETILLAS Y TRAZAS DE SERICITAS, MINERALES DE CPY Y PY EN VETILLAS Y EN TRAZAS.

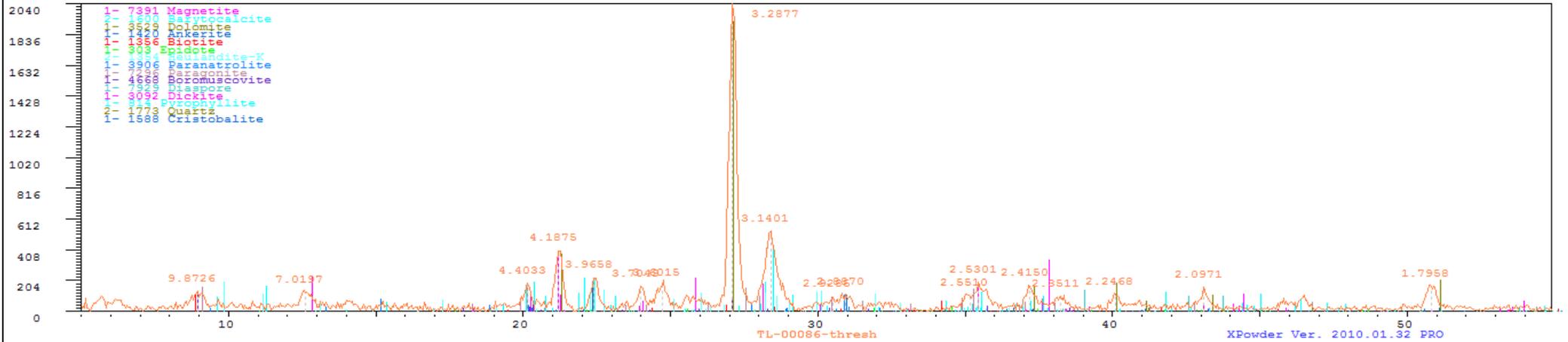
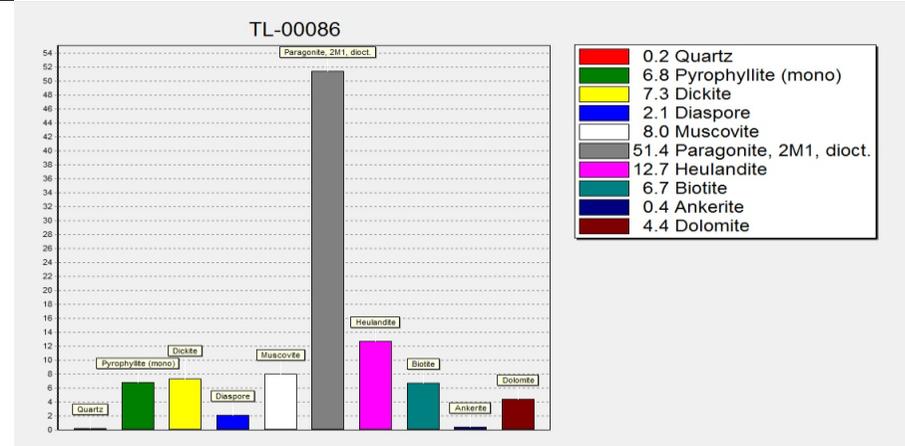


Fuente: Autor



# TEL-00086

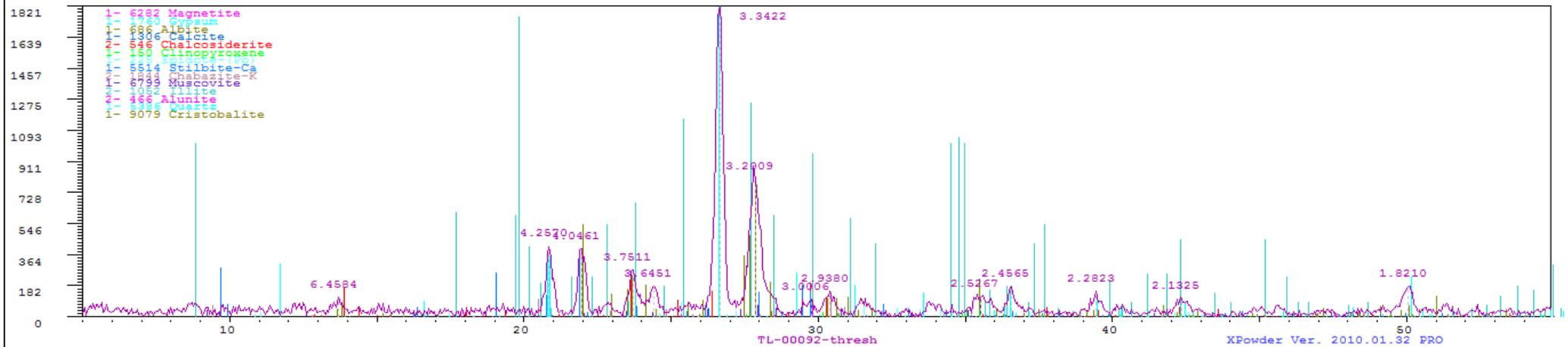
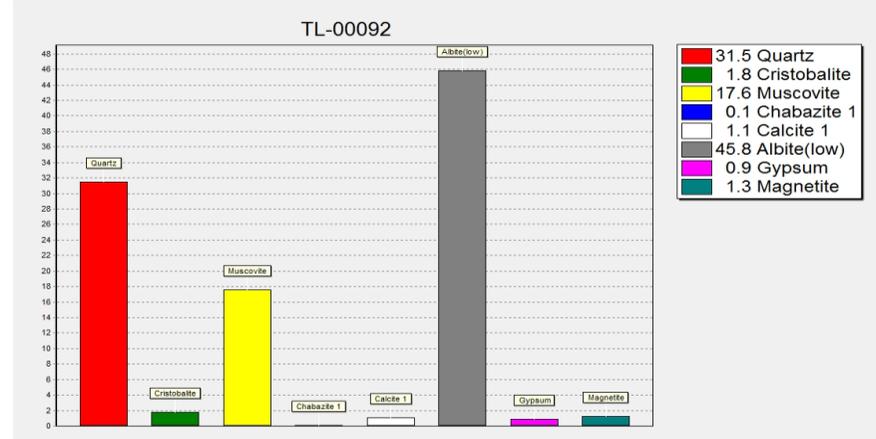
(GRANODIORITA) DE COLOR GRIS VERDOSA, DE GRANO GRUESO  
 FANERÍTICA, EQUIGRANULAR INTRUIDA POR DIQUES DE  
 COMPOSICIÓN CUARZODIORITA Y CLASTOS DE DIORITAS



Fuente: Autor

## TEL-00092

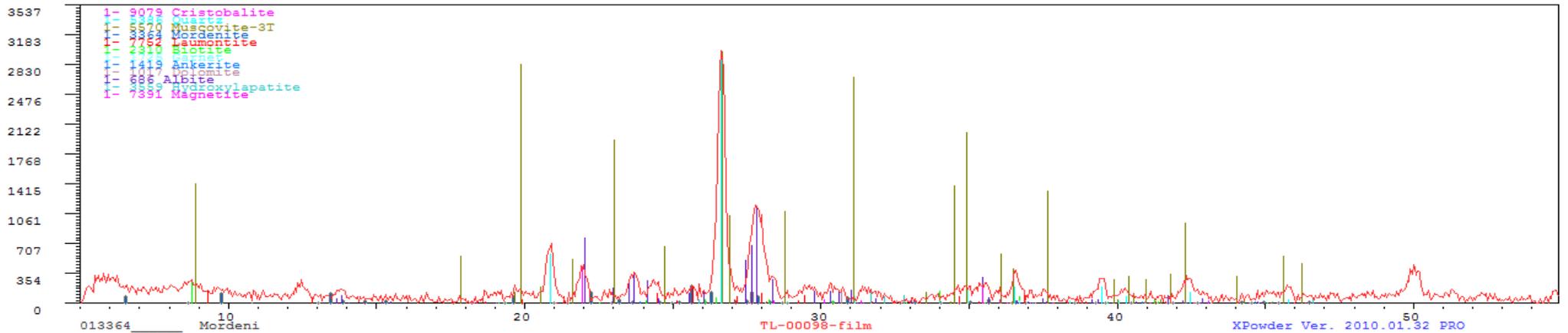
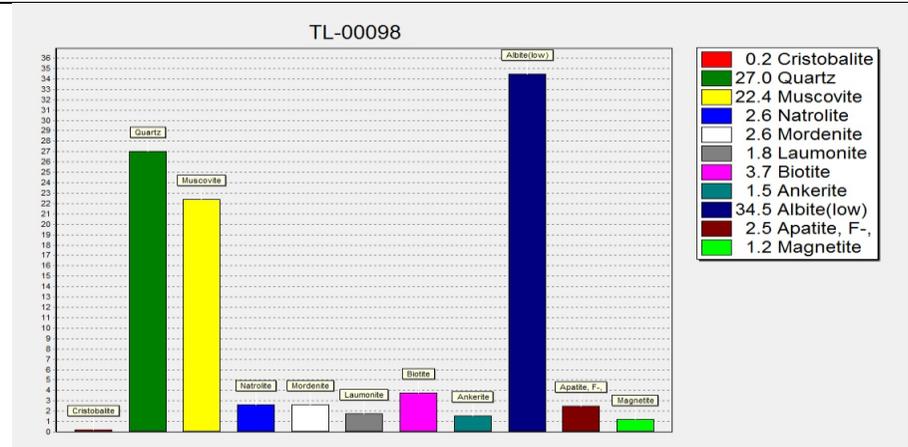
(GRANODIORITA) DE COLOR GRIS VERDOSA, DE GRANO GRUESO FANERÍTICA, EQUIGRANULAR CONFORMADO POR PLAGIOCLASAS, CUARZO Y MÁFICOS CLORITIZADOS, MAGNETISMO MODERADO



Fuente: Autor

# TEL-00098

(GRANODIORITA) DE COLOR GRIS VERDOSA, DE GRANO GRUESO FANERÍTICA, EQUIGRANULAR CONFORMADO POR PLAGIOCLASAS, CUARZO Y MÁFICOS CLORITIZADOS, MAGNETISMO MODERADO

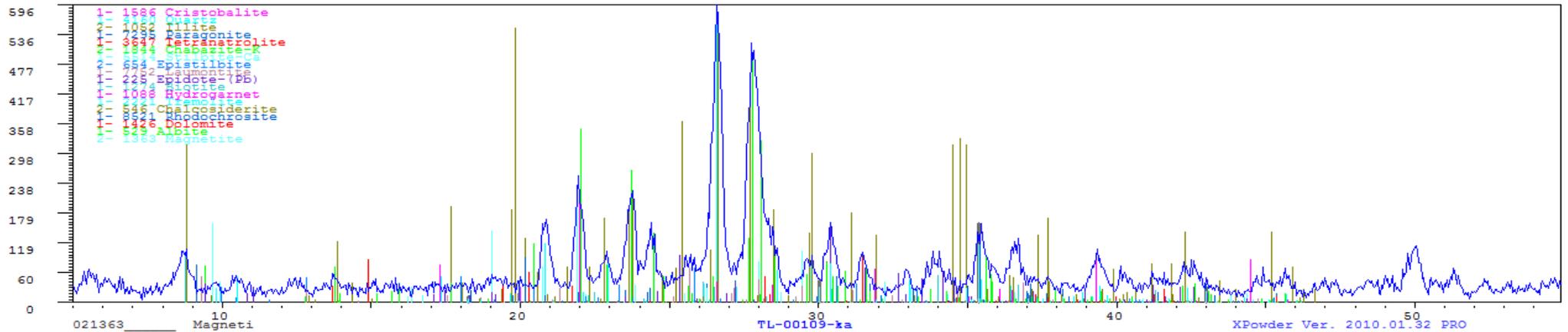
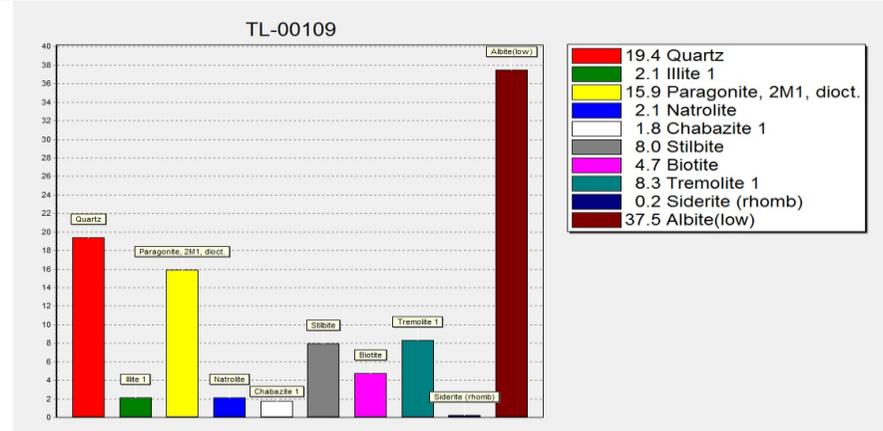


Fuente: Autor



## TEL-00109

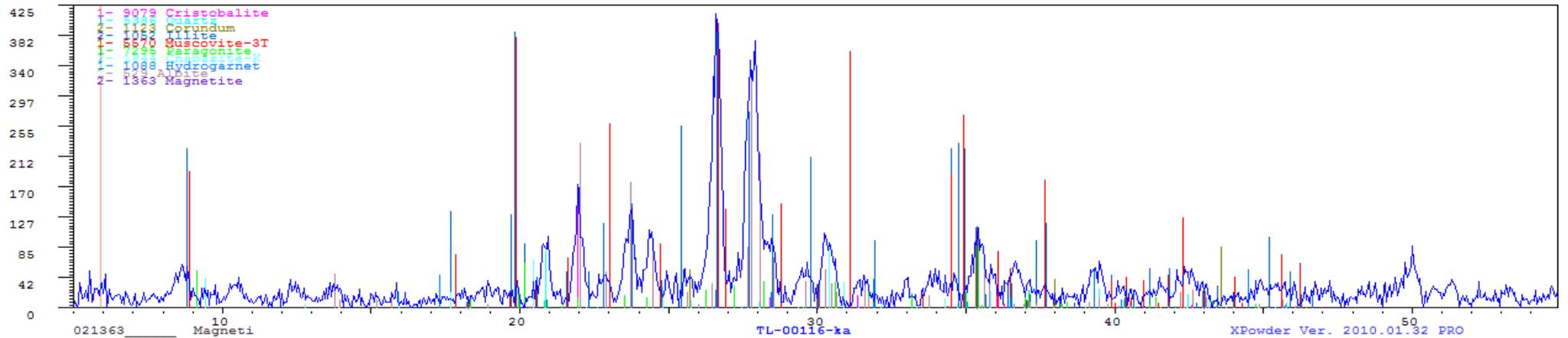
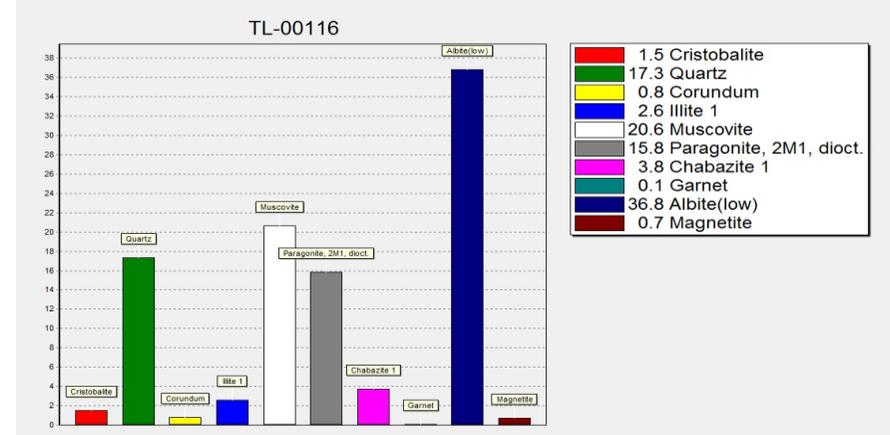
CUARZODIORITA DE COLOR GRIS OSCURO, DE GRANO MEDIO, TEXTURA GRANULAR Y FANERÍTICA CONFORMADO POR CRISTALES DE PLAGIOCLASAS, CUARZO Y BIOTITAS, CONTIENE XENOLITOS DE COMPOSICIÓN VOLCÁNICA LOCALMENTE CON TRAZAS DE PY+/-CPY.



Fuente: Autor

## TEL-00116

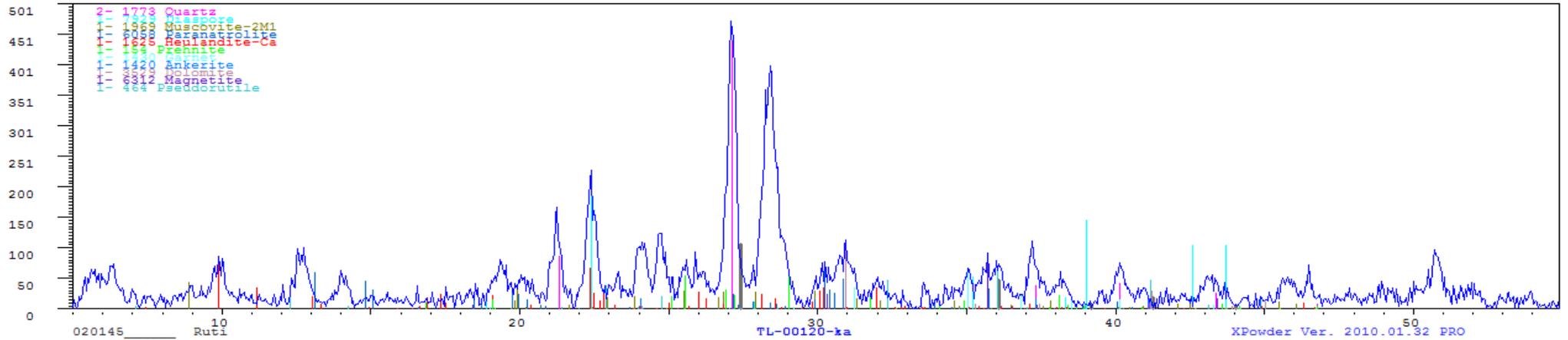
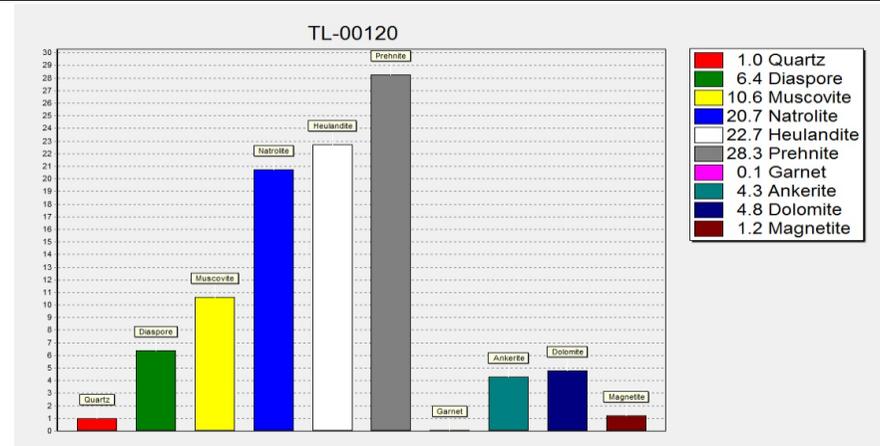
ROCAS VOLCANICAS DE COMPOSICIÓN ANDESÍTICA DE GRANO FINO CON TEXTURA AFANÍTICA, EN SECTORES TEXTURAS PORFIRÍDICAS CON FENOCRISTALES DE PLAGIOCLASAS, LAS ROCAS VOLCÁNICAS ESTÁN CORTADAS POR DIQUES INTRUSIVOS DE HASTA 20 CM DE ESPESOR, TAMBIÉN SE OBSERVAN MÚLTIPLES EVENTOS DE VETILLOS DE CUARZO, Y POSTERIORES EVENTOS DE VETILLOS DE SULFUROS COMO PY+/-CPY- EP-CHL. LOS ESPACIOS SON RELLENADOS POR ALBITAS DE COLOR AMARILLENTO. TAMBIÉN ESTOS ESPACIOS ESTAN RELLENOS POR MINERALES DE COLOR BLANCO DE HÁBITO FIBROSO RADIAL DE DUREZA >3



Fuente: Autor

## TEL-00120

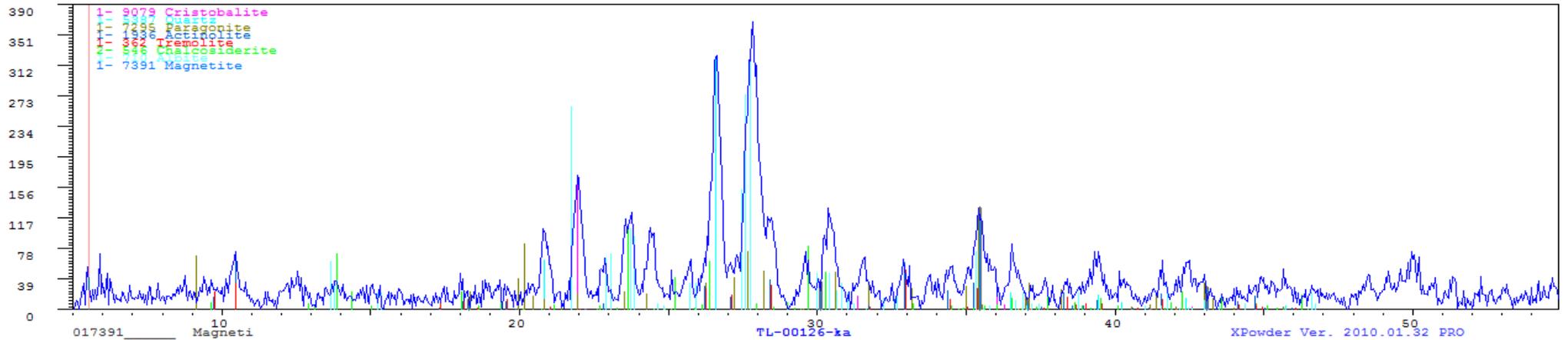
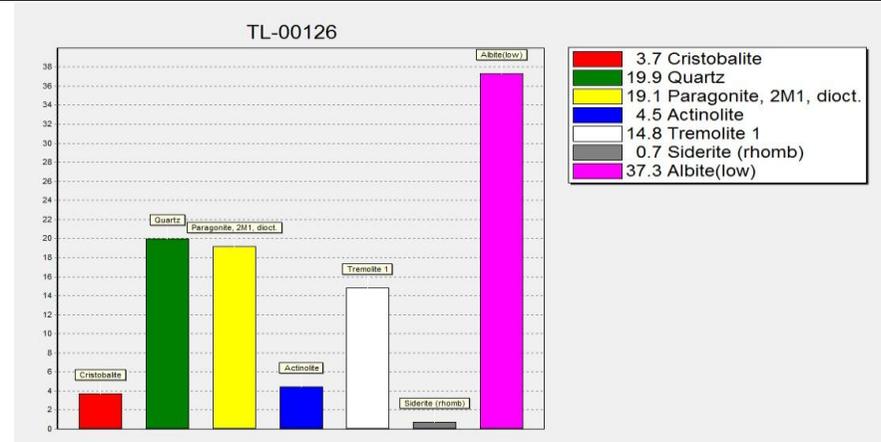
BRECHA INTRUSIVA, CLASTO SOPORTADA POLIMÍCTICA. LOS CLASTOS SON DE ROCAS VOLCÁNICAS E INTRUSIVAS DE SUBREDONDEADOS A SUBANGULOSOS. EN SECTORES SE OBSERVAN BRECHAS TIPO CRACKLE. LAS BRECHAS SON CORTADAS POR MÚLTIPLES EVENTOS DE VETILLAS DE QZ-EP-CHL Y EN SECTORES PY+/-CPY.



Fuente: Autor

## TEL-00126

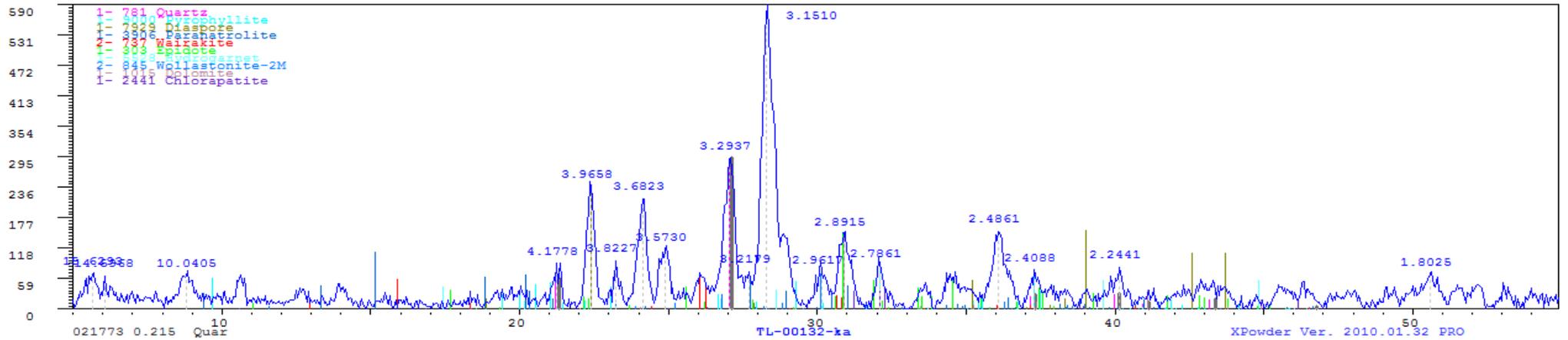
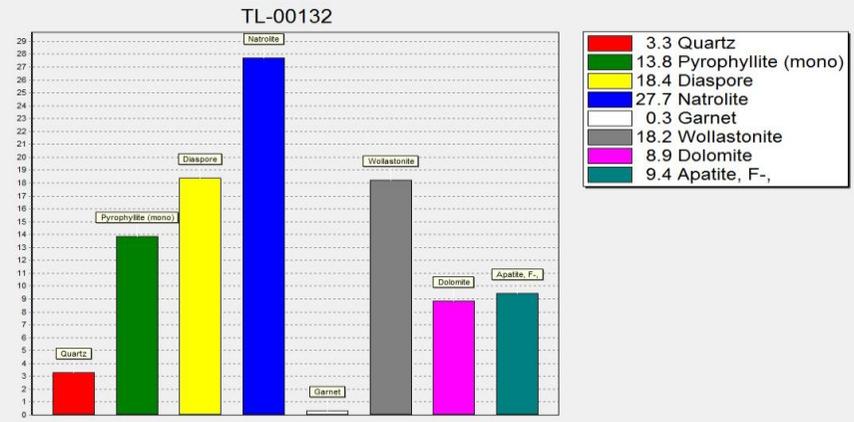
BRECHA DE CONTACTO CON SOPORTE DE CLASTOS, CLASTOS DE GRANODIORITA Y VOLCÁNICOS SUBREDONDEADOS A SUBANGULARES, MATRIZ GRIS OSCURA DE TEXTURA PORFIRÍTICA CON FENOCRIALES DE PLAGIOCLASAS, CUARZO AZUL Y BIOTITA FINA EN LA MATRIZ. PY-CPY RELLENANDO ESPACIOS. EN LOS CONTACTOS EXISTE UN BRECHAMEINTO TIPO CRACKLE, SE OBSERVAN INTRUSIONES CENTIMÉTRICAS DE GRANODIORITA.



Fuente: Autor

## TEL-00132

CUARZODIORITA DE COLOR GRIS OSCURO, DE GRANO MEDIO, TEXTURA GRANULAR Y FANERÍTICA CONFORMADO POR CRISTALES DE PLAGIOCLASAS, CUARZO Y BIOTITAS. LEVEMENTE FRACTURADA CONTIENE VETILLAS ESPORÁDICAS DE QZ, QZ-EP-CHL. LOCALMENTE VETILLAS DE QZ-PY\_CPY. ALTERACIÓN QZ-SER DÉBIL Y CLORITA MODERADA.

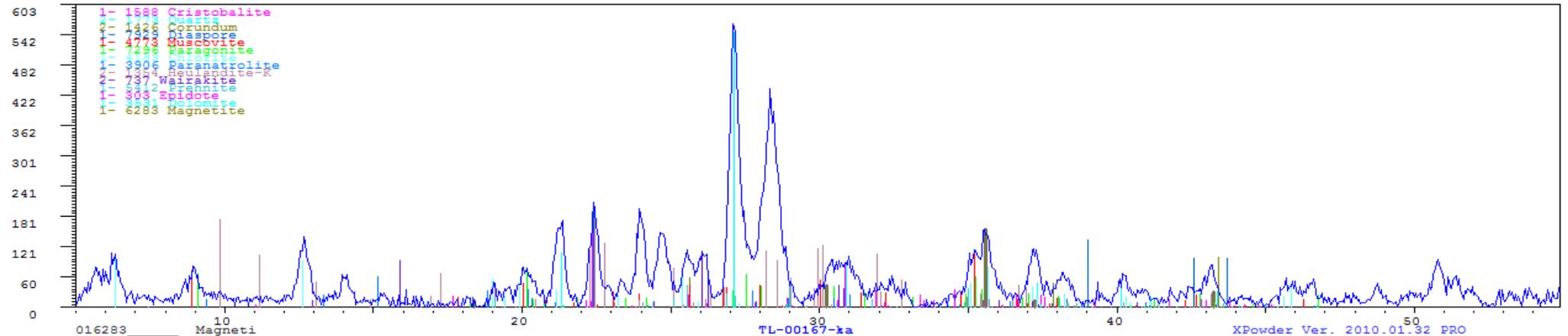
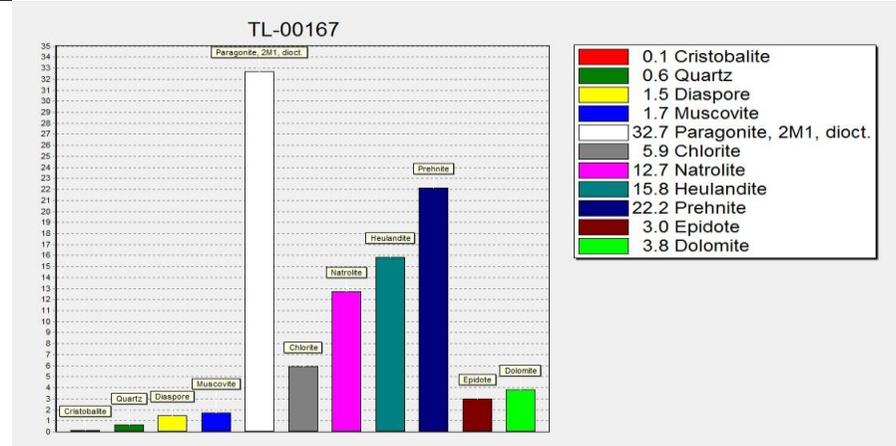


Fuente: Autor



## TEL-00167

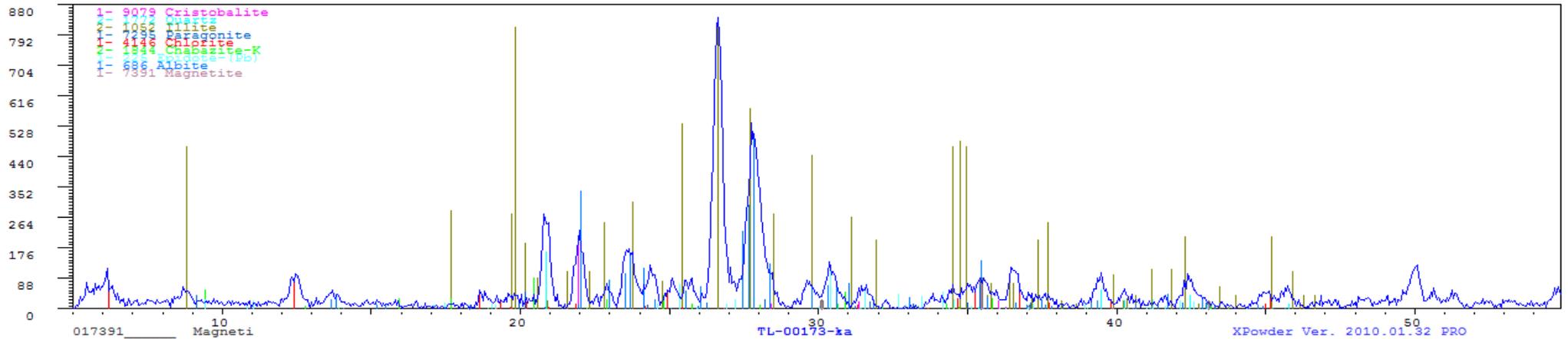
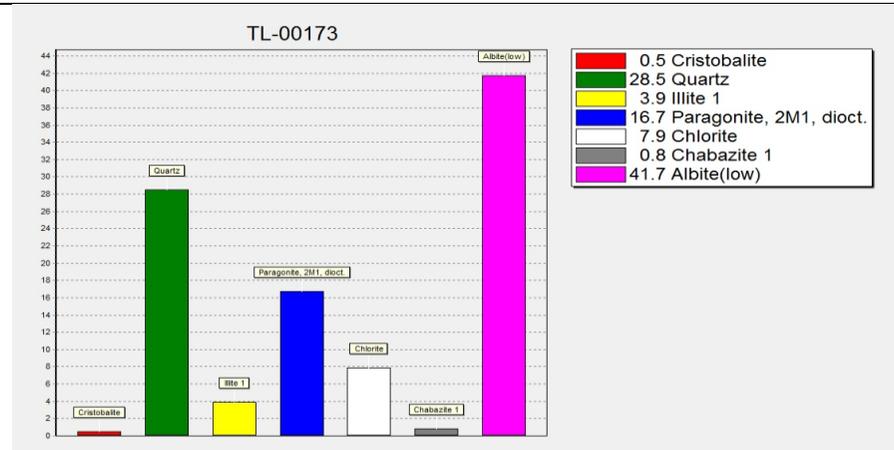
CUARZODIORITA DE COLOR GRIS OSCURO, DE GRANO MEDIO, TEXTURA GRANULAR Y FANERÍTICA CONFORMADO POR CRISTALES DE PLAGIOCLASAS, CUARZO Y BIOTITAS, CON INTERCALACIONES CENTIMÉTRICAS DE ROCAS VOLCÁNICAS. LEVEMENTE FRACTURADA CONTIENE VETILLAS ESPORÁDICAS DE QZ, ALTERACIÓN QZ-SER MODERADA. POCA INCIDENCIA DE PY-CPY EN FRACTURAS Y DISEMINADA.



Fuente: Autor

## TEL-00173

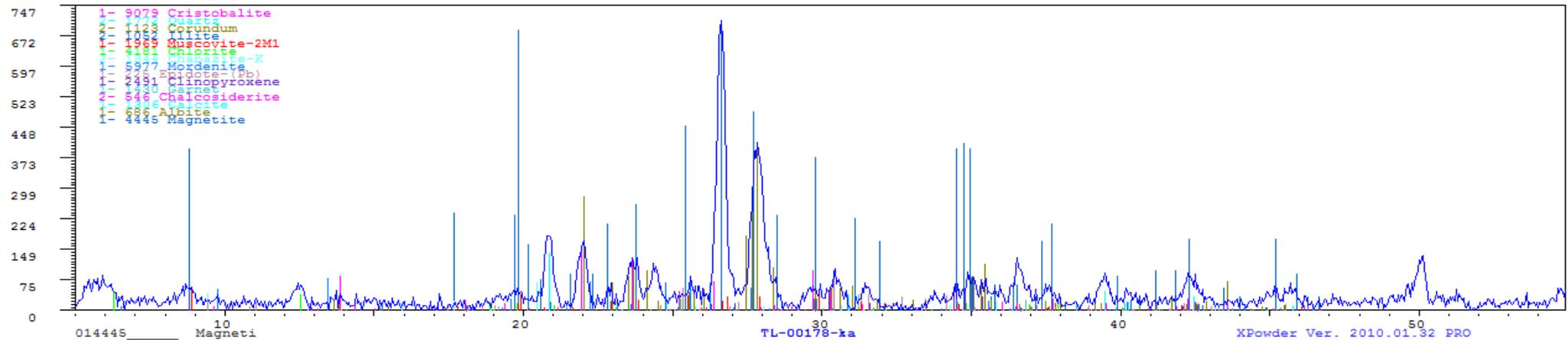
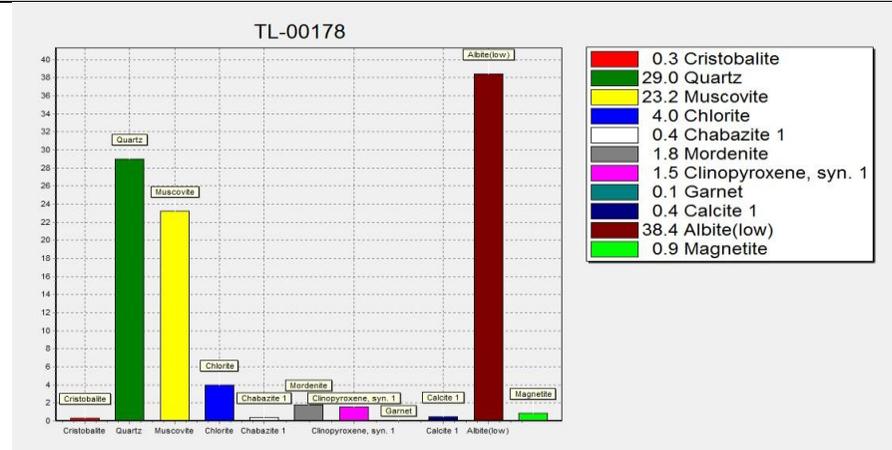
CUARZODIORITA DE COLOR GRIS OSCURO, DE GRANO MEDIO, TEXTURA GRANULAR Y FANERÍTICA CONFORMADO POR CRISTALES DE PLAGIOCLASAS, CUARZO Y BIOTITAS, CON INTERCALACIONES CENTIMÉTRICAS DE ROCAS VOLCÁNICAS.



Fuente: Autor

## TEL-00178

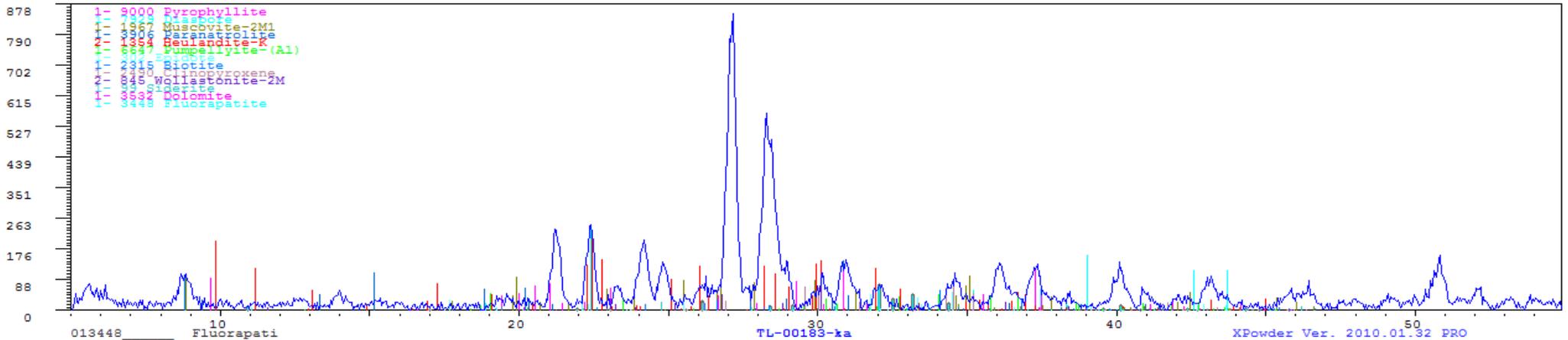
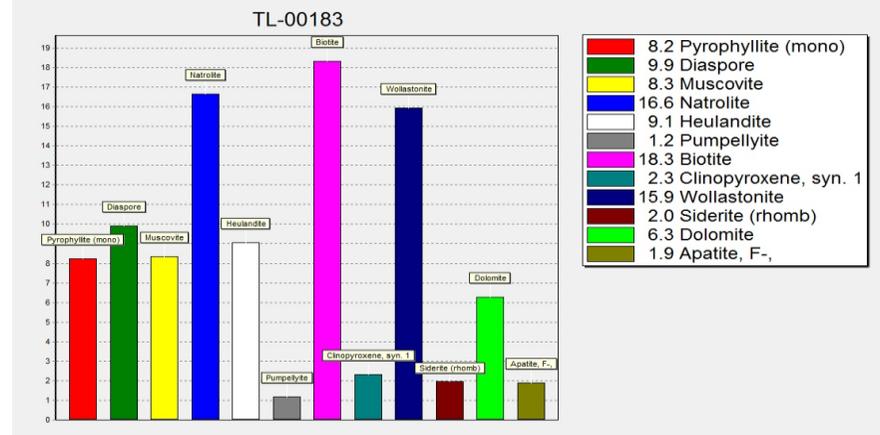
CUARZODIORITA DE COLOR GRIS OSCURO, DE GRANO MEDIO, TEXTURA GRANULAR Y FANERÍTICA CONFORMADO POR CRISTALES DE PLAGIOCLASAS, CUARZO Y BIOTITAS, CON INTERCALACIONES CENTIMÉTRICAS DE ROCAS VOLCÁNICAS. LEVEMENTE FRACTURADA CONTIENE VETILLAS ESPORÁDICAS DE QZ, ALTERACIÓN QZ-SER DÉBIL Y CLORITAS DÉBIL. POCA INCIDENCIA DE PY-CPY EN FRACTURAS Y DISEMINADA. SE OBSERVAN TRAZAS DE ALBITAS Y ACTINOLITAS DISEMINADAS Y EN FRACTURAS. A PARTIR DE 344 M SE OBSERVAN OXIDACIONES DE FE DISEMINADAS A LO LARGO DEL TESTIGO CON CPY-PY DISEMINADAS <1%.



Fuente: Autor

## TEL-00183

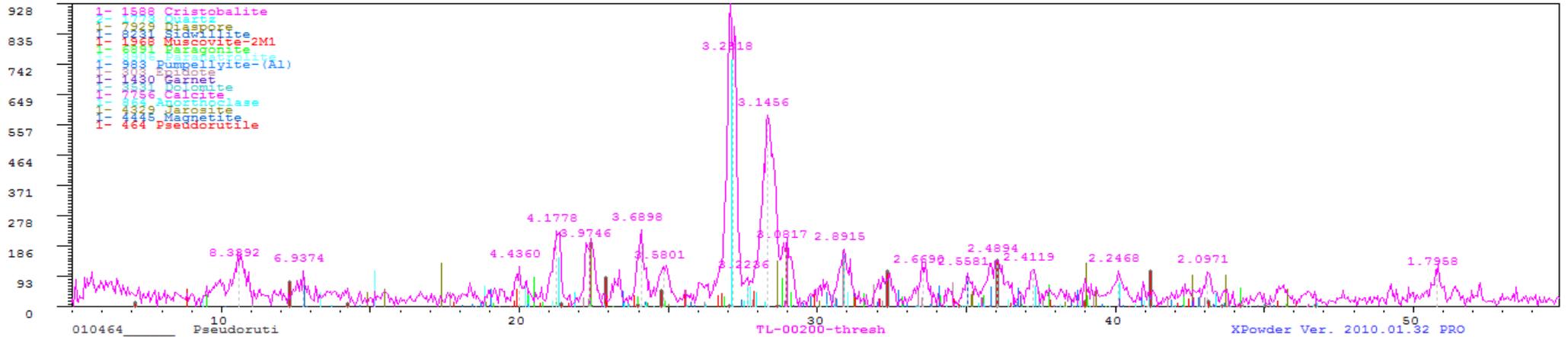
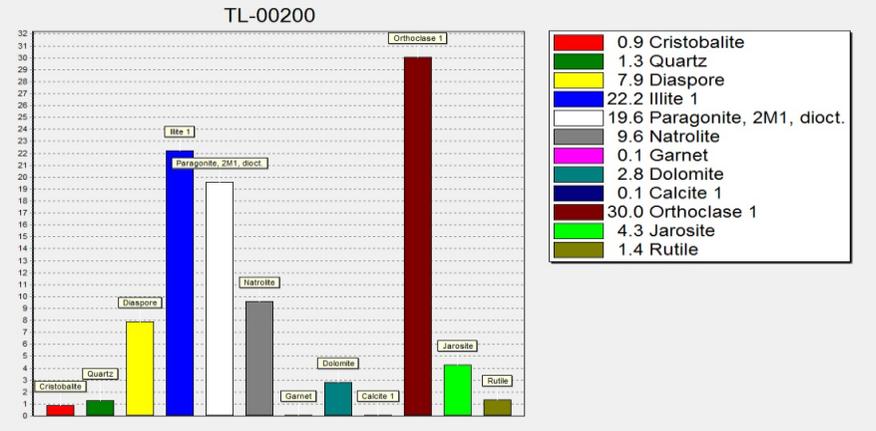
CUARZODIORITA DE COLOR GRIS OSCURO, DE GRANO MEDIO, TEXTURA GRANULAR Y FANERÍTICA CONFORMADO POR CRISTALES DE PLAGIOCLASAS, CUARZO Y BIOTITAS, CON INTERCALACIONES CENTIMÉTRICAS DE ROCAS VOLCÁNICAS. LEVEMENTE FRACTURADA CONTIENE VETILLAS ESPORÁDICAS DE QZ, ALTERACIÓN QZ-SER DÉBIL Y CLORITAS DÉBIL. POCA INCIDENCIA DE PY-CPY EN FRACTURAS Y DISEMINADA. SE OBSERVAN TRAZAS DE ALBITAS Y ACTINOLITAS DISEMINADAS Y EN FRACTURAS. A PARTIR DE 344 M SE OBSERVAN OXIDACIONES DE FE DISEMINADAS A LO LARGO DEL TESTIGO CON CPY-PY DISEMINADAS <1%.



Fuente: Autor

# TEL-00200

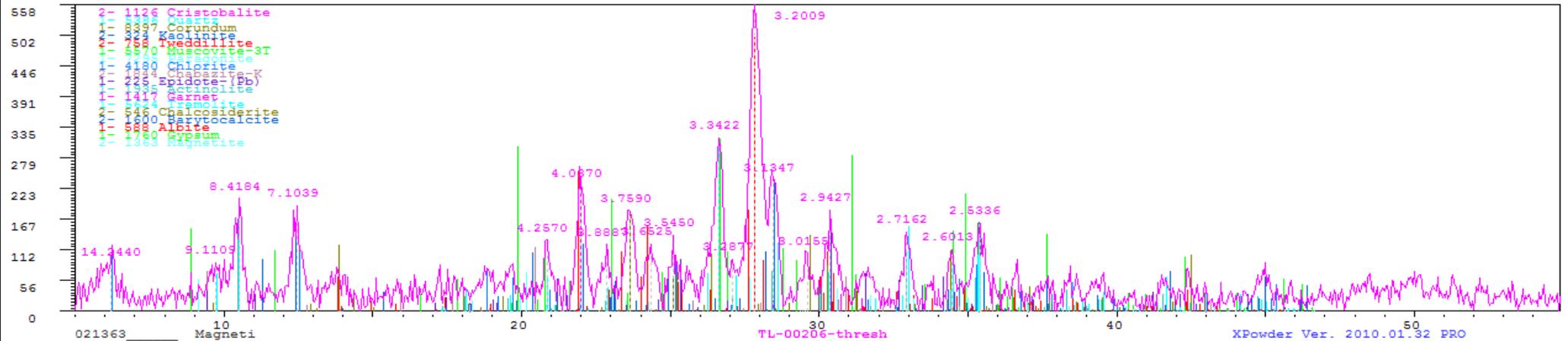
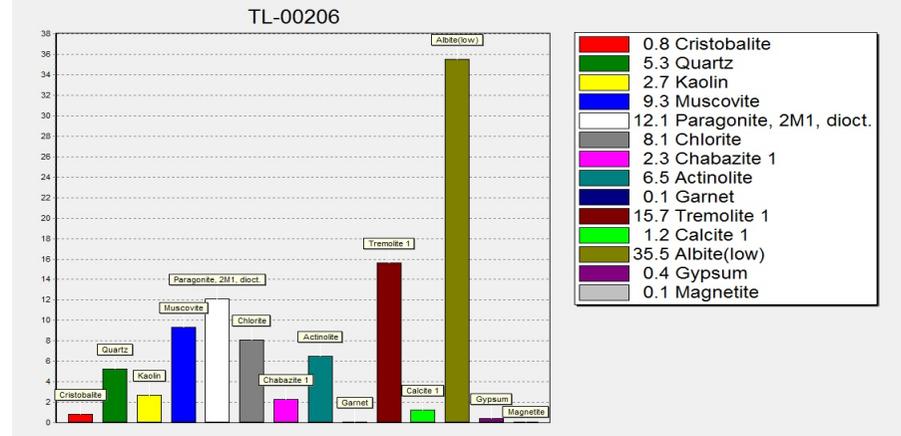
ROCAS VOLCÁNICAS DE COMPOSICIÓN ANDESÍTICA DE TEXTURAS PORFIRÍTCAS CON DESARROLLO DE FENOCRISTALES DE PY+/-CPY EN TRAZAS. SE ENCUENTRAN CORTADAS POR UNA SERIE DE DIQUES CENTIMÉTRICOS DE INTRUSIVOS. RELLENOS PUNTUALES DE FRACTURAS CON PY+/-CPY- HEMATITAS. BRECHAS CRACKLES.



Fuente: Autor

## TEL-00206

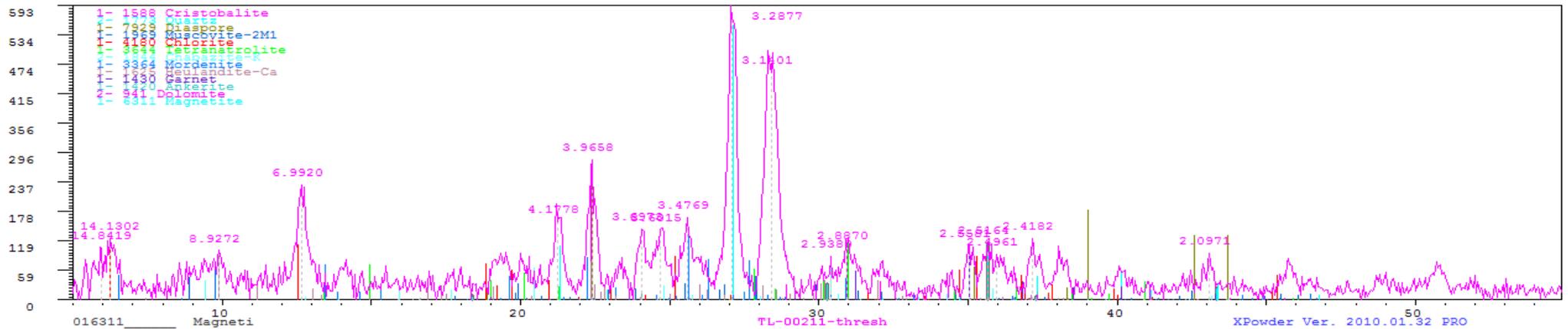
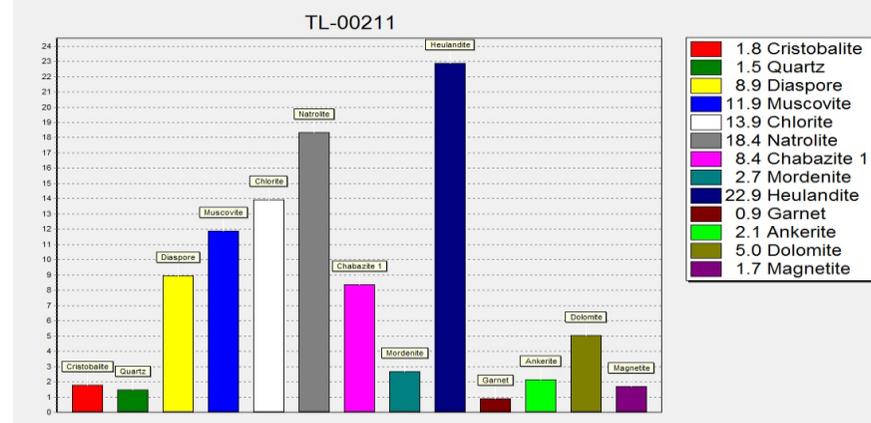
BRECHA INTRUSIVA, MATRIZ SOPORTADA POLIMÍCTICA, MATRIZ DE GRANO MEDIO Y EN SECTORES PRESENTA TEXTURAS PORFIRÍTCAS. LOS CLASTOS SON DE ROCAS VOLCÁNICAS E INTRUSIVAS SUBREDONDEADOS A SUBANGULOSOS DE HASTA 5 CM DE DIÁMETRO. LA ROCA ES CORTADA POR VETILLAS DE QZ-MT-EP. SE OBSERVA UNA MINERALIZACIÓN DISEMINADA DE PY-CPY EN TRAZAS SECTORIZADAS. EN SECTORES SE OBSERVA UNAS BRECHAS DE FALLA.



Fuente: Autor

## TEL-00211

BRECHA INTRUSIVA, MATRIZ SOPORTADA POLIMÍCTICA, MATRIZ DE GRANO MEDIO Y EN SECTORES PRESENTA TEXTURAS PORFIRÍTCAS. LOS CLASTOS SON DE ROCAS VOLCÁNICAS E INTRUSIVAS SUBREDONDEADOS A SUBANGULOSOS DE HASTA 5 CM DE DIÁMETRO. LA ROCA ES CORTADA POR VETILLAS DE QZ-MT-EP. SE OBSERVA UNA MINERALIZACIÓN DISEMINADA DE PY-CPY EN TRAZAS SECTORIZADAS. EN SECTORES SE OBSERVA UNAS BRECHAS DE FALLA.



Fuente: Autor

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Cruz, P. (2008). "Espectrometría de Reflectancia (SWIR) aplicada para mapeo de alteración, Proyecto La India, Distrito Minero Mulatos". Universidad de Sonora. México.

[2] Loy, J., & Mariño, D. (2016). "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". Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

[3] Salazar, P., & Beate, B. (2009). "Geología, alteración y mineralización del pórfido de cobre - molibdeno Junín, provincia de Imbabura". Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

[4] Núñez del Arco, E. (2003). Geología del Ecuador. FICT-ESPOL. Guayaquil, Ecuador.

[5] Yepez, B. (2016). Presentación de la geología y exploración del Proyecto Telimbela para Cobre – Molibdeno, ubicado en la Provincia de Bolívar, en las estribaciones de la cordillera Occidental. ENAMI EP, Ecuador.

[6] Crespo, J. (2014). Presentación de la geología y exploración del Proyecto Telimbela para Cu – Mo, ubicado en la provincia de Bolívar, en las estribaciones de la cordillera occidental. ENAMI EP, Ecuador.

[7] Villegas, F. (2014). Presentación de la geología y exploración del Proyecto Telimbela para Cu – Mo, ubicado en la provincia de Bolívar, en las estribaciones de la cordillera occidental. ENAMI EP, Ecuador.

[8] Wolf, D. (1980). La Difractometría de Rayos X y su aplicación en la Geología y el estudio de materias primas. Perú.

[9] Pérez, J. (2015). Difracción de Rayos X. Departamento de Geología. Universidad Politécnica de Cartagena. Colombia.

[10] CULLITY, B. (1956). "Elements of X-Ray Diffraction". University of Notre Dane. Indiana, USA.

[11] Maksaev, V. (2004). Pórfidos Cupríferos, Depósitos de Cu (Mo) de gran tonelaje y baja ley. Departamento de Geología. Universidad de Chile. Chile.

[12] Maksaev, V. (2004). Alteración Hidrotermal. Departamento de Geología. Universidad de Chile. Chile.

[13] Maksaev, V. (2003). Evolución del Conocimiento de los Procesos Involucrados en la Génesis de los Pórfidos Cupríferos. Departamento de Geología. Universidad de Chile. Chile

[14] Espinoza, T. (2014). “Modelo Geológico-Térmico De Guayaquil” . Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

[15] Lucero, G. (2014). Optimización de los Procesos de Extracción de Grava Aurífera y Proceso de Lavado del Frente “El Porvenir” en El Proyecto Río Santiago, Empresa Nacional Minera EP. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.

[16] Dolores, G. (2014). Caracterización Mineralógica de las Alteraciones Hidrotermales en el Yacimiento de Oro La India, Sonora, México. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

[17] Bonilla, W. (2009). METALOGENIA DEL DISTRITO MINERO ZARUMA-PORTOVELO REPUBLICA DEL ECUADOR. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. Argentina.

[18] Rodríguez, R. (2010). Metodología para la exploración de pórfidos cupríferos aplicando el método magnético. Instituto Politécnico Nacional, México D.F. México.