

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“APLICACIÓN DEL MÉTODO DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X
PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE
MINERALES DE ALTERACIÓN HIDROTERMAL SOBRE LAS
CONCESIONES MINERAS DEL PROYECTO LA BONITA -
SUCUMBIOS”

PROYECTO DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA EN GEOLOGÍA

Presentada por:

María Alejandra Vera Bureau

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2016

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme culminar esta etapa.

A mamá por sus delicados cuidados, a papá por su infinito apoyo.

A mis hermanos Eduardo, Andrés y Daniel, por ser los mejores en entenderme y ayudarme.

Al Ing. Ángel Chávez y al Ing. Patricio Aguilar por la paciencia, apoyo y dedicación en la realización de este trabajo.

A todos mis profesores por compartir sus conocimientos y formarme profesionalmente.

A mis 9 compañeros de clases por convertirse en verdaderos amigos.

A Zeila, J. Antonio, Miguel y Johan por contribuir de gran forma en este trabajo.

A Yuyi, mi mejor amigo, por estar en buenos y malos momentos.

DEDICATORIA

Para mi Papito,

Con mucho amor, cariño y respeto.

Tu hija que te quiere,

Bebé

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Ángel Chávez Cueva

TUTOR DE PROYECTO

Ph. D. Fernando Morante

VOCAL

MsC. Glenda Loayza

VOCAL

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”

María Alejandra Vera Bureau

RESUMEN

Se pretende definir un método para identificar el tipo de alteración hidrotermal que predomina en un área del proyecto de exploración “La Bonita” en base a la identificación y cuantificación de minerales de alteración. Se requiere delimitar las zonas de baja y alta temperatura a partir de un análisis de la distribución espacial de las alteraciones hidrotermales, para luego definir vectores de alteración. La búsqueda de estos vectores da paso a la ubicación de las zonas que, apegadas a las teorías de un depósito tipo pórfido de cobre – oro (según el diagrama de Corbett & Leach (1998) y el modelo Lowell & Guilbert (1970)), vislumbrarían los futuros targets de perforación.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	VI
ABREVIATURAS	IX
SIMBOLOGÍA.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	1
1. GENERALIDADES.....	3
1.1. Definición del proyecto de exploración “La Bonita”	3
1.2. Definición del problema	4
1.3. Propósito de la investigación	4
1.4. Objetivos.....	5
2. MARCO GEOLÓGICO	8
2.1. Geología Regional	8
2.2. Geología Local.....	17
2.3. Tectonismo regional.....	24
3. MARCO TEÓRICO.....	26
3.1. Difractometría de rayos X	26
3.2. Alteración hidrotermal	29

3.3.	Tipos de alteración hidrotermal por ensambles de minerales	33
3.4.	Zonalidad para yacimientos de pórfidos cupríferos.....	34
4.	METODOLOGÍA.....	36
4.1.	Descripción Macroscópica	39
4.2.	Difractometría de Rayos X.....	39
4.3.	Determinación cualitativa y cuantitativa de minerales y fases minerales	43
4.4.	Interpretación de ensambles de alteración hidrotermal	46
4.5.	Elaboración de mapas de distribución y concentración de alteraciones hidrotermales.....	48
5.	RESULTADOS	50
6.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	56
6.1.	Alteraciones hidrotermales	58
6.2.	Relación de la alteración hidrotermal con litología.....	62
7.	DISCUSIÓN.....	66
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
	ANEXOS	
	BIBLIOGRAFÍA	

ABREVIATURAS

BGS	British Geologic Survey
CODIGEM	Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico-Minero-Metalúrgia
DRX	Difracción de RX
ENAMI EP	Empresa Nacional Minera del Ecuador
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FICT	Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra
Fm	Formación
FRX	Fluorescencia de Rayos X
INEMIN	Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero
Ma	Millones de años
PSAD 56	Provisional South American Datum 1956
RX	RX
SENPLADES	Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo
UTM	Universal Transversal of Mercator
WGS 84	World Geodetic System 1984

SIMBOLOGÍA

°	Grados
°C	Grados centígrados
Å	Angstrom
Ag	Plata
Ar	Argón
Au	Oro
cm	Centímetros
Cu	Cobre
E	Este
g	Gramos
ha	Hectáreas
K	Potasio
Kg	Kilogramos
Km	Kilómetros
m	metros
Mg	Magnesio
mm	Milímetros
Mo	Molibdeno
N	Norte
Na	Sodio
NE	Noreste
NO	Noroeste
O	Oeste
oz	Onzas
Pb	Plomo
pH	Potencial de hidrogeno
ppm	Partes por millón
S	Sur
SE	Sureste
SO	Suroeste
T	Temperatura
ton	Toneladas
Zn	Zinc
µm	Micrómetros

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Esquema de rocas ígneas relacionadas al proyecto “La Bonita” .	18
Figura 2.2 Esquema de rocas sedimentarias relacionadas al proyecto “La Bonita”	23
Figura 2.3 Esquema de rocas sedimentarias relacionadas al proyecto “La Bonita”	24
Figura 3.1 Alteración mineralógica común en sistemas hidrotermales.	32
Figura 3.2 Zonalidad en los yacimientos de pórfidos cupríferos	35
Figura 4.1 Esquema representativo de la metodología para la caracterización mineralógica por DRX.....	38
Figura 4.2 Difractómetro portátil TERRA	39
Figura 4.3 Equipo de preparación de muestra. (A) Taladro DREMET 8220 (B) Malla #100	41

Figura 4.4 Consola difractómetro portátil TERRA de OLYMPUS conectada al ordenador.	42
Figura 4.5 Contorno de trabajo del software X Powder Ver. 2010.01.32 PRO	45
Figura 4.6 Contorno de trabajo del software Siroquant Ver. 3	46
Figura 4.7 Contorno de trabajo del software ArcGis Ver. 10.3.0.4322	49
Figura 5.1 Muestra de mano “302820070”	51
Figura 5.2 Muestra de mano “302820094”	51
Figura 5.3 Difractograma de la muestra “302820070”	52
Figura 5.4 Diagrama de barras de la cuantificación de minerales de alteración de la muestra “302820070”	53
Figura 5.5 Difractograma de la muestra “302820094”	54
Figura 5.6 Diagrama de barras de la cuantificación de minerales de alteración de la muestra “302820094”	54

Figura 6.1 Gráfico del grado de alteración de cada muestra.	58
Figura 6.2 Comparación del grado de alteración de propilítica y filica para cada muestra.	59
Figura 6.3 Comparación del grado de alteración de potásica y argílica para cada muestra.	60
Figura 6.4 Modelo de zonalidad en los yacimientos de pórfidos cupríferos. .	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I Método simple para identificación de minerales de alteración	33
Tabla II Especificaciones técnicas del difractómetro portátil TERRA de OLYMPUS	40
Tabla III Grupo de minerales de alteración en sistemas hidrotermales	47
Tabla IV Grado de alteración según porcentaje de minerales de alteración presente en la muestra	48
Tabla V Grado de alteración para rocas granodioritas.....	62
Tabla VI Grado de alteración para rocas dioritas.....	63
Tabla VII Grado de alteración para rocas cuarzomonzonitas	64
Tabla VIII Grado de alteración para rocas cuarzodioritas	64

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I Mapa de ubicación del proyecto de exploración “La Bonita”	71
Anexo II Mapa de ubicación de nuevas concesiones y área de estudio.	72
Anexo III Mapa de afloramientos	72
Anexo IV Mapa de estructuras.....	74
Anexo V Grupo de minerales de alteración en sistemas hidrotermales.....	74
Anexo VI Fichas de resultados por muestra ... ¡Error! Marcador no definido.	
Anexo VII Resultados de cuantificación de minerales por muestra	109
Anexo VIII Resultados de concentración de alteraciones por muestra	110
Anexo IX Mapa de distribución y concentración de alteración propilítica....	111
Anexo X Mapa de distribución y concentración de alteración argílica.	112
Anexo XI Mapa de distribución y concentración de alteración fílica.....	113

Anexo XII Mapa de distribución y concentración de alteración potásica.....	114
Anexo XIII Mapa de distribución y concentración de alteraciones hidrotermal.	115
Anexo XIV Mapa de vector de alteración de menor a mayor temperatura para la alteración fílica.	116
Anexo XV Mapa de vector de alteración de menor a mayor temperatura para la alteración propilítica.	117
Anexo XVI Mapa de zonas de alta y baja temperatura	118

INTRODUCCIÓN

El proyecto de exploración “La Bonita” está conformada por tres concesiones mineras: La Chispa, Rosa Florida y La Bonita, el titular de mencionadas concesiones mineras es la Empresa Nacional Minera (ENAMI EP) quien se encuentra desarrollando actividades enmarcadas en la fase de exploración inicial dentro de todas las fases que compete la exploración minera. Las actividades de exploración inicial incluyen el mapeo geológico, geoquímica de rocas en afloramientos y suelos.

Se pretende identificar y cuantificar los minerales de alteración para 32 muestras recolectadas por geólogos de ENAMI EP en un área fuera de las concesiones mineras. Esta nueva área es aledaña a las concesiones del proyecto y es objeto de estudio debido a que en los afloramientos junto a la carretera se presentan rocas con evidente alteración hidrotermal.

Teniendo como base una descripción macroscópica de las muestras, se utiliza una de las técnicas analíticas que han sido de gran ayuda para el estudio mineralógico de proyectos mineros. La DRX permite identificar y cuantificar minerales de alteración para que, en su posterior análisis, se logre definir qué tipo de alteración hidrotermal predomina en cada zona, y según su distribución

y concentración se delimitan zonas de alta y baja temperatura en el área de estudio, y se definen vectores de alteración que van de baja a alta temperatura.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. Definición del proyecto de exploración “La Bonita”

El proyecto de exploración “La Bonita” está localizado en la provincia de Sucumbíos, cantón Sucumbíos. El proyecto se ubica a 65 *Km*, al *NE* de la ciudad de Ibarra en las estribaciones orientales de la Cordillera Real y a 130 *Km* al *NE* de la ciudad de Quito. El proyecto comprende tres concesiones mineras: La Bonita, Rosa Florida, La Chispa con un total de 13.590 *ha*. (Anexo I)

Según Drobe et al. (2013), el batolito de La Bonita de edad Jurásico-Cretácico de tipo granodiorita, está alineado al sistema de intrusivos Jurásico-Cretácico del depósito de pórfidos de *Cu* Mocoa al *N* y con el distrito de *Cu-Au* al *S* del Ecuador. Por lo que información preexistente a las campañas de ENAMI EP han demostrado que en la zona de estudio existen indicios de una mineralización asociada a un pórfido de *Cu-Au* y a un depósito epitermal vetiforme.

1.2. Definición del problema

El alcance del presente estudio se enfoca en la mayor extensión hidrotermal identificada hasta el momento por los geólogos de ENAMI EP. Esta zona de alteración hidrotermal se encuentra en las zonas altas de los afluentes del río Chingual, al *SE* de la concesión Rosa Florida. Además, se tomaron en cuenta otras pocas muestras a lo largo del río Laurel al *O* de la misma concesión.

En esta zona, de 6000 *ha* aproximadamente (Anexo II), los geólogos de campo han identificado en muestras de mano algunos ensambles de alteración como clorita-epidota, cuarzo-sericita, clorita-epidota-magnetita, por lo que se pretende identificar y cuantificar los minerales de alteraciones para cada muestra recolectada y asociarla a la litología correspondiente, además de definir qué tipo de alteración hidrotermal predomina en cada muestra. Posteriormente, con un análisis en cuanto a la distribución espacial de las alteraciones hidrotermales se requiere identificar las zonas de baja y alta temperatura, para luego definir vectores de alteración hidrotermal que irían de zonas de menor a mayor temperatura.

1.3. Propósito de la investigación

El papel de definir mapas de distribución y concentración de las alteraciones hidrotermales es importante en cuanto a la determinación de vectores de

alteración hidrotermal que indican zonas de menor hacia mayor temperatura. Estos vectores podrían dar paso a la ubicación de toda el área de estudio dentro del modelo teórico de un depósito tipo pórfido de cobre – oro (según los modelos de Lowell y Guilbert, 1970).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Identificar y cuantificar minerales de alteración hidrotermal de 32 muestras de mano del proyecto minero “La Bonita”.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Identificar los tipos de alteraciones presentes en el área de estudio en base a la identificación y cuantificación de minerales de alteración.
- Proponer una ubicación para el área de estudio dentro del modelo de zonalidad para yacimientos de pórfidos cupríferos de Lowell & Gilbert (1970).
- Determinar una dirección para el vector de alteraciones de baja a alta temperatura en el área de estudio.

1.4.3. Antecedentes

Según el informe interno de ENAMI EP del 22 de junio del 2015 se han realizado las siguientes actividades:

Minera Australiana (1996 – 1998) realizó en el sector de la mina “El Encanto” una campaña de perforación en Join-Venture con una empresa canadiense denominada Peruvian Gold, y exploración básica en el sector de La Chispa.

Saxon Gold S.A. (1998 – 2001) realizó prospección y exploración inicial en los sectores de El Encanto y La Chispa e identificaron dos principales sets de mineralización: zona de cizalla que aloja *Au* en rocas metamórficas y pórfidos de *Cu* junto a alteración potásica del Granito La Bonita, similar a la mineralización de *Cu*, del pórfido de cobre Billiton/Corriente del Sur del Ecuador e incluyen un sistema mesotermal en una zona de cizalla frágil-dúctil donde se deposita *Au*.

All Metals Minería S. A. (2001 – 2009) efectuó trabajos exploratorios en los proyectos La Bonita, Rosa Florida, La Sofía y El Encanto, en este último se llegó a fase de explotación subterránea. En el Encanto identificaron que la mineralización del *Au* se asocia con sulfuros diseminados, metales preciosos y cuarzo en vetas-brechas. En la Chispa esta empresa generó el Proyecto La Chispa e identificaron mineralización de Pirita, Calcopirita, Malaquita y Azurita

relacionada con unidades volcánicas en contacto con rocas intrusivas con alteración hidrotermal y encontraron anomalías de *Au*, *Cu*, *Pb*, *Zn* y con poca mineralización de *Ag* y polimetálicos asociados a alteración hidrotermal en un área de 12 *Km*². A demás reportaron anomalías de Uranio sector entre La Bonita y Rosa Florida y otra cerca al poblado de la Barquilla.

Antes de esas compañías el estado ecuatoriano hizo investigación regional en el sector por parte de INEMIN/CODIGEM en 1994 en conjunto con la BGS y realizan un muestreo de sedimentos activos a lo largo de Cordillera Real incluyendo parte de las áreas La Bonita-Rosa Florida y Sofía, reportando 2 *ppm* de *Ag*, 494 *ppm* de *Cd*, 4% de *Zn* en skarn y hornfels con granate encontrados en la Quebrada la Industria (Borde Este de la Concesión Rosa Florida). A demás reporta 0,1% de *Cu* y 0,1 % de *Zn* en monzonitas de Rosa Florida y *Mo* a lo largo del carretero entre Santa Bárbara y La Sofía. Identifica un prospecto de polimetálicos principalmente *Cu-Pb-Zn* relacionados a vetas mesotermales en la zona de cizalla Cofanes al S de la localidad La Sofía.

En adición existen informes técnicos previos, realizados por geólogos de la ENAMI EP, desde mayo de 2013 hasta la fecha actual en los cuales se reportan actividades de exploración inicial como recolección de sedimentos activos y rocas, y mapeo geológico regional.

CAPÍTULO 2

MARCO GEOLÓGICO

Los estudios de la etapa de prospección del proyecto se denominaron como “Estudio de Prospección y Exploración Inicial del Proyecto ‘La Bonita’” e iniciaron a mediados del año 2013 luego de que ENAMI EP obtuvo los títulos mineros de las concesiones La Chispa, La Bonita y Rosa Florida.

1.5. Geología Regional

La Región Sierra está constituida por una cadena montañosa de 650 *Km* de largo y 150 *Km* de ancho que atraviesan al Ecuador longitudinalmente y está dividida en dos cordilleras paralelas: Cordillera Real y Cordillera Occidental. La Cordillera Real, formada por una cadena de rocas metamórficas de edad paleozoica a mesozoica temprana y por terrenos alóctonos del Cretácico Superior (Litherland, Aspden, & Jemielita, 1994), está intruida por complejos de granitoides de tipo S e I (Aspden, Fortey, Litherland, Viteri, & Harrison, 1992). Según Vallejo (2007) La Cordillera Occidental está constituida en su base por rocas máficas y ultramáficas del Cretácico Tardío, las cuales están

acrecionadas en el Cenozoico Temprano (Litherland et al., 1994), cubiertas por secuencias de rocas basálticas a andesíticas y volcano-sedimentos del Eoceno Temprano y posteriormente intruidas por granitoides del Terciario. La mitad norte de la cordillera presenta un arco volcánico continental constituido por 68 volcanes entre no activos, según Hall et al. (2008) de actividad holocénica, algunos de ellos alcanzan los 6000 *m* de altura. La parte sur no presenta un arco volcánico activo debido a un “flat slab” de la Placa Nazca bajo el continente y que se extiende hasta el Perú según Gutscher (1999). Gran parte de las dos cordilleras fue cubierta por la actividad terciaria y cuaternaria, la cual rellena el valle interandino que se forma entre ellas.

El proyecto “La Bonita” está ubicado en el flanco oriental de la Cordillera Real, se encuentra situado al *NO* de la provincia de Sucumbíos, en el cantón Sucumbíos con alturas entre 1600 *m* a 3500 *m*, el cual presenta un relieve accidentado con pendientes mayores a los 40°, con estructuras regionales que darían forma al posible yacimiento dentro del proyecto “La Bonita” y que corresponden de forma directa a patrones de mineralización *N-S* y *NE-SO* subparalelas a las estructuras principales como por ejemplo: la franja de cabalgamiento oriental de la Zona Subandina que incluye la falla regional Cosanga-Méndez, la Unidad Azafrán (que incluye el Plutón Chingual-La Bonita), el Plutón Rosa Florida, el Granito de Condue, el levantamiento Napo entre otros, que modifican la fisiografía de la zona. (Anexo XVI)

1.5.1. Lito estratigrafía Regional

1.5.1.1. Terrenos Metamórficos de la Cordillera Real (Cretácico Superior)

Según Coney et al. (1980), los terrenos metamórficos son las mayores divisiones litotectónicas de la Cordillera Real, los cuales muestran homogeneidad y continuidad en la estratigrafía. Los límites entre estos terrenos se dan por las distintas secuencias de rocas que se encuentran. Cinco terrenos lito-tectónicos de edad paleozoica y mesozoica (Litherland et al., 1994) constituyen el basamento de la Cordillera Real:

- Terreno Guamote
- Terreno Alao
- Terreno Loja
- Terreno Amazónico
- Terreno Salado

Terreno Guamote: (Jurásico) Se encuentra definido entre las fallas regionales de Ingapirca al *E* y Peltetec al *O*. Este terreno está constituido por cuarcitas y pizarras de la Subdivisión Punín y ortocuarcitas intercaladas con filitas de la Subdivisión Cebadas que constituyen un cinturón de 10 km de dirección *N-S* entre Ibarra y Pimampiro. (Litherland et al., 1994)

Terreno Alao: (Jurásico) Se encuentra definido entre el Frente Baños al *E* y la Falla Peltetec al *O*. Principalmente constituido de un cinturón de rocas verdes intercaladas con esquistos verdes, grafitosos y pelíticos de la Unidad Alao-Paute, además de metasedimentos de la Subdivisión El Pan, metaturbiditas y metavolcánicos de la Unidad Maguazo y el cinturón ofiolítico de la Unidad Peltetec que aflora junto a la Subdivisión Cebadas del Terreno Guamote. (Litherland et al., 1994)

Terreno Loja: (Paleozoico-Triásico) Se encuentra limitado por el Frente Baños al *E* y por la Falla Llanganates al *O*. Constituido por cuarcitas y filitas negras de la Subdivisión Chiguinda, esquistos pelíticos con moscovita y granate de la Unidad Agoyán que afloran de manera continua desde Sigsipamba hasta la parte Sur del Poblado de Huaca, anfibolitas de la Unidad Monte Olivo que afloran en el sector de Monte Olivo al *O* de La Bonita y que cortan a manera de sill a los sedimentos pre-metamórficos Agoyán y Chiguinda (Litherland et al., 1994). Estas unidades están intruidas por granitos tipo S, Tres Lagunas que afloran entre los metamórficos de la Unidad Agoyan en el sector de Sigsipamba (Aspden et al., 1992)

Terreno Amazónico: (Jurásico-Cretácico Inferior) Se define como el borde occidental del cratón amazónico. Se encuentra limitado hacia el *O* por la Falla Cosanga-Méndez y al *E* por la Cuenca Oriente. Constituido por volcánicos no

diferenciados, rocas silíceas y deformadas de la Unidad Misahualli que afloran junto a las rocas de la Unidad Azafrán en el Sector de La Bonita. Este terreno también está constituido por metasedimentos continentales de la Unidad Isimanchi y secuencias volcano sedimentarias continentales y marinas de la Unidad Piuntza. Estas secuencias son intruidas por dioritas y granodioritas tipo I del Complejo de Batolitos Zamora (Aspden et al., 1992) que incluye el Plutón de Rosa Florida. Según Baldock (1982) está separado del Plutón La Bonita por el cinturón volcánico Misahualli y la Falla Cosanga Mendez (Litherland et al., 1994).

Terreno Salado: (Jurásico) Constituye el relicto de una cuenca marginal desarrollada sobre corteza continental (Litherland et al., 1994). Está formada por metasedimentos de origen volcánico y metandesitas calcoalcalinas agrupados dentro de la unidad jurásica Cuyuja posiblemente equivalentes laterales con los volcánicos jurásicos de la unidad Misahualli (Litherland et al., 1994). El granito Azafrán de edad U–Pb de 142.7 ± 1 Ma, se localiza en la parte oeste del terreno Salado e intruye localmente a las rocas carbonatadas jurásicas de la unidad Cerro Hermoso (Litherland et al., 1994). Representa parte del magmatismo Jurásico Medio a Cretácico Inferior del segmento norte la Cordillera Real (Litherland et al., 1994).

1.5.1.2. Formaciones sedimentarias de la Zona Subandina

Formación Pumbuiza (Silúrico-Devónico): Según Baldock (1982) es de ambiente marino de plataforma, compuesta de pizarras grises a negras en algunos lugares graníticas, areniscas cuarcíticas duras de grano fino y conglomerados con clastos subangulares a subredondeados muy compactos. Estas rocas están sometidas a fuertes plegamientos y fallamientos, y a un cierto grado de metamorfismo anterior a la sedimentación de la formación Macuma. No se conoce el espesor ni la base de la formación.

Formación Macuma (Carbonífero Superior -Pérmico?): De ambiente de plataforma carbonatada marina somera, sobreyace con una discordancia angular sobre la Fm. Pumbuiza (Canfield et al., 1982), y al tope también discordante con la Fm. Santiago. Comprende potentes estratos de caliza bioclásticas marinas, con intercalaciones de margas y areniscas finas. Según Faucher y Savoyat (1973) esta formación es más fosilífera y menos plegada que la subyacente formación Pumbuiza.

Formación Santiago (Triásico Superior-Jurásico Temprano): Según Tschopp (1953) se divide en dos miembros:

Miembro Inferior: Según Barragán (1999) es de ambiente sedimentario es de plataforma carbonatada en contexto transgresivo. Según Baby et al., (1998)

está constituido por tres facies: La primera una alternancia de calizas finas intercaladas con areniscas finas de color gris. La segunda es una alternancia de calizas de grano fino negras y areniscas volcanoclásticas de color café. Y la última comprende calizas silíceas grises.

Miembro Superior: El ambiente de depositación es continental a marino proximal. Según Baby et al., (1998) se identifican cuatro facies de sedimentos detríticos volcanoclásticos y volcánicos. La primera compuesta por areniscas volcanoclásticas, arcillas tobáceas y lutitas negras. La segunda formada por sedimentos gruesos, brechas volcánicas, areniscas volcanoclásticas, coladas de lavas andesíticas y arcillas tobáceas. La tercera es una alternancia de arcillas grises y areniscas estrato creciente de color café. La cuarta es una alternancia de lutitas negras compactadas y areniscas finas.

Formación Napo (Albiano-Santoniano): Aflora a lo largo del Alto Napo. Serie variable de calizas fosilíferas grises a negras entremezcladas con areniscas calcáreas y lutitas negras. Muchos componentes son bituminosos por lo que la consideran la roca madre del petróleo, descansa concordantemente sobre la formación Hollín y está cubierta por las capas rojas de la Tena con ligera discordancia erosional. Esquistos calcáreos bituminosos correlacionados con la Napo se conocen en el margen oriental de la Cordillera Real. Se ha subdividido en tres litologías: Napo inferior consiste de areniscas, lutitas con

calizas subordinados, Napo medio consiste de caliza principal de espesor constante de 70 a 90 m, Napo superior, consiste de lutitas verde grises hasta negras interestratificadas con escasas calizas grises parcialmente fosilíferas.

Formación Tena (Santoniano-Campaniano): Alcanza una potencia de 1000 m en el centro y 270 m hacia los bordes, sus capas rojas corresponden a la cubierta normal. La litología principal corresponde a arcillas abirragadas pardo rojizas, las arcillas son margosas a arenosas desde macizas a laminadas. El contacto Tena-Napo es aparentemente concordante.

1.5.1.3. Rocas Intrusivas relacionadas al Proyecto La Bonita

Granitoides Zamora (Jurásico): Según la BGS corresponde al denominado "Terreno Amazónico". Comprende tres granitoides mayores: Plutón Rosa Florida, granito de Abitagua, batolito de Zamora. Estos granitoides no deformados y no metamorfizados ocurren sobre el cratón amazónico, formando una cadena subandina asociada a rocas volcánicas de la Unidad Misahualli. (Litherland et al., 1994; Duque 2000)

Plutón Rosa Florida (Jurásico): Es parte del Plutón original La Bonita y constituyente de los granitoides Zamora separado de éste por el cinturón de rocas volcánicas de Misahualli y la falla Cosanga, litologías dominantes son cuarzomonzonitas biotíticas de grano grueso y una cuarzo-sienita biotítica de

grano grueso, de color rosado profundo. Hacia el Sur pasa a equivalentes porfíricos subvolcánicos antes de entrar a la facie volcánica. Una característica del Plutón es el color rosado brillante del feldespatos de K en las rocas sieníticas. (Litherland et al., 1994; Duque 2000)

Plutón La Bonita (Jurásico-Cretácico): Es parte de la Unidad Granitoides de Azafrán, se extiende desde la frontera con Colombia en el norte hasta el río Oyacachi en el sur (100Km). Se interpreta como parte del Plutón de Azafrán, la mayor parte del cual estaría tectónicamente enterrado bajo el complejo de Napas Cuyuja. La litología dominante son un ortogneis biotítico y una granodiorita con porfiroblastos de biotita de hasta 1.5 cm. Se encuentran también gneises, dioritas, gabros, hornblenditas, metagabros pegmáticos. Geoquímicamente es muy similar a los granitoides de Azafran y Zamora. Generalmente está rodeado de aureolas de metamorfismo de contacto con rocas sedimentarias. Edad de 156 +- 21 Ma. (Litherland et al., 1994; Duque 2000)

Granito Condué (Cretácico): Ocurre en una sección poco accesible en la confluencia de los ríos Condué y San Jorge. Es un granito pálido rico en biotita, también presente en los ríos Cofanes y Condué cerca de La Sofía. (Litherland et al., 1994)

1.6. Geología Local

Con el objetivo de elaborar un mapa de afloramientos (

Anexo III), las campañas de campo del proyecto de exploración “La Bonita” han logrado diferenciar importantes grupos litológicos. A continuación, se detallan las litologías encontradas:

1.6.1. Rocas ígneas

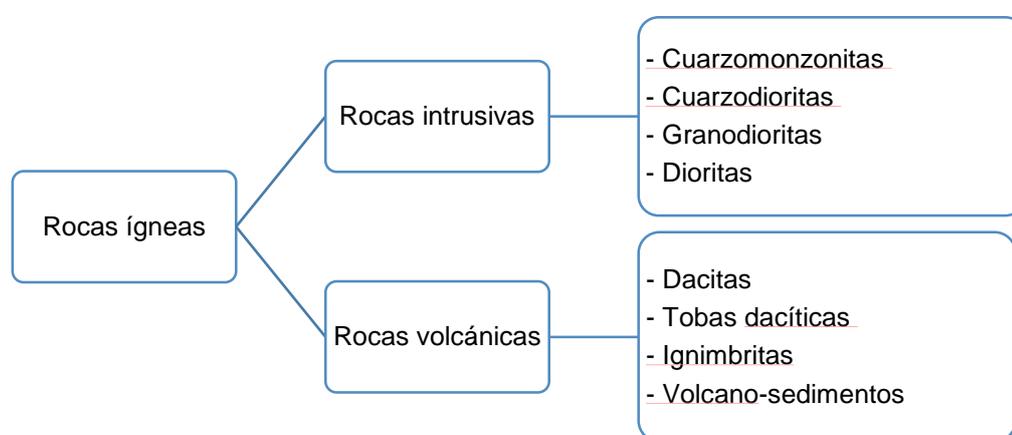


Figura 0.1 Esquema de rocas ígneas relacionadas al proyecto “La Bonita”
Fuente: ENAMI EP (2015)

Las rocas intrusivas se encuentran a lo largo del proyecto y son parte de los “Granitos Azafrán”, y del Plutón de La Bonita que pertenece a un cinturón de granitoides tipo I metamorfizados a lo largo del borde oriental del N de la Cordillera Real (Aspden et al., 1992). Este grupo comprende dos áreas principales donde comúnmente aflora (Plutón de Azafrán y Plutón de La Bonita), que son parte de un batolito continuo afectado tectónicamente por el complejo de las Napas Cuyuja. Las rocas intrusivas comprenden la mayor extensión del área de estudio con presencia de los siguientes cuerpos ígneos:

Cuarzomonzonitas y granodioritas: Estas rocas se evidencian en gran parte del carretero que va de La Bonita hacia Rosa Florida, ambas litologías aparecen intercaladas a lo largo de los afloramientos hasta ahora encontrados.

Las cuarzodioritas se presentan de coloraciones grises claras a verdosas, textura fanerítica, de grano medio a grueso compuesto por plagioclasas, cuarzo, minerales ferromagnesianos como hornblendas, piroxenos y puntualmente biotitas; la roca suele tener magnetita. Se evidencia por lo general la alteración de minerales máficos a clorita, aunque normalmente se presenta la roca fresca. Ocasionalmente se encuentra mineralización de interés.

Las cuarzomonzonitas se presentan de coloración gris clara a gris rosácea, textura fanerítica con granos medios a finos, compuestas mayoritariamente por feldespatos potásicos y plagioclasas, menor proporción de cuarzo; entre los máficos dominan los anfíboles, aunque también se hallan piroxenos y en ocasiones biotita, también suele presentar magnetita. Por lo general se halla alteración de minerales primarios a epidota y clorita, por lo que es común su coloración verdosa.

Granodioritas: Este grupo de rocas afloran en la parte Norte de la Concesión La Bonita, en la parte centro-occidental y sur de la concesión Rosa Florida y

en la parte occidental de la concesión La Chispa. Están a lo largo del carretero La Bonita – La Sofía.

Las granodioritas tienen textura fanerítica con granos medios a finos, compuestas por plagioclasas, cuarzo y en menor proporción feldespatos potásicos, entre los máficos dominan los anfíboles y en bajo porcentaje piroxenos, ocasionalmente presentan mineralización importante de interés, localmente se encuentra en sus grandes fracturamientos emplazados por diques de diorita y vetillas de cuarzo masivo sin mineralización. En algunos sectores la roca se encuentra localmente metamorfizada a manera de gneiss.

Diques dioríticos: Se los encuentra por lo general en todas las concesiones del proyecto cortando a los intrusivos granodioríticos, cuarzodioríticos y cuarzomonzoníticos, así como también a los metasedimentos negros en varios sectores. Normalmente sus potencias varían de métricas a centimétricas, presentan una textura fanerítica de grano medio a fino, localmente tienen alto contenido de magnetita. Los diques centimétricos serían parte de eventos posteriores hipoabisales, normalmente presentan grano fino y son afectados por eventos de vetilleo con epidota. En ocasiones estas fases intrusivas presentan sulfuros diseminados como pirita.

Intrusivos dioríticos: Aflora como cuerpos menores a manera de stocks o plugs en varios lugares del proyecto. Estos cuerpos plutónicos se hallan expuestos con un característico color gris oscuro, presentando textura fanerítica por lo general de grano medio ($\approx 1-2 \text{ mm}$) y subhedrales; su composición mayoritaria es de plagioclasas y los máficos normalmente son hornblendas y biotitas. En ocasiones se hallan vetas de cuarzo cristalino ($< 8 \text{ cm}$) con limonita en los bordes de las vetas, además en algunos sectores se halla otras fases intrusivas correspondientes a diques microdioríticos ($\leq 30 \text{ cm}$) que parecen deformar y hacen perder la textura original de la primera fase intrusiva diorítica. Adicionalmente, se puede observar de manera local a estas rocas intrusivas deformadas con bajo grado metamórfico y alteración de minerales principalmente de máficos a biotita y clorita, además de forma común se observa diaclasamiento preferencial en algunos afloramientos.

Granitos: Este flanquea parte de la zona occidental de la concesión Rosa Florida desde su parte centro-oeste hacia el Sur. En los afloramientos este granito se caracteriza por su coloración gris clara a blanca, de textura fanerítica generalmente inequigranular (entre $1 - 5 \text{ mm}$), compuesto principalmente por feldespatos, cuarzo y un menor porcentaje de anfíboles y biotita. Este cuerpo intrusivo de forma general se halla fresco, sin rasgos de mineralización y alteración, en ocasiones es cortado por diques aplíticos y dioríticos (entre 20-30 cm de espesor). De acuerdo a trabajos anteriores en la Cordillera Real este

cuerpo intrusivo correspondería al granito pálido, rico en biotita encontrado en la confluencia de los ríos Condue y San Jorge al *NO* del poblado La Sofía. (Litherland et al., 1994)

Las rocas volcánicas afloran en el camino La Bonita-Rosa Florida como flujo de lava dacítico La Bonita y por el camino a La Sofía donde se encuentran secuencias locales de dacitas y tobas dacíticas, ignimbritas y volcano-sedimentos, cuyo posible origen es el volcán el Soche ubicado al *N* del área de estudio. El flujo La Bonita presenta una matriz porfírica con fenocristales de cuarzo y en ocasiones biotita en una matriz de composición ácida vítrea.

1.6.2. Rocas sedimentarias

Afloran a manera de una faja de dirección aproximada *NE-SO*, de varios kilómetros de largo y pocos de ancho (0.5-2 *Km*).

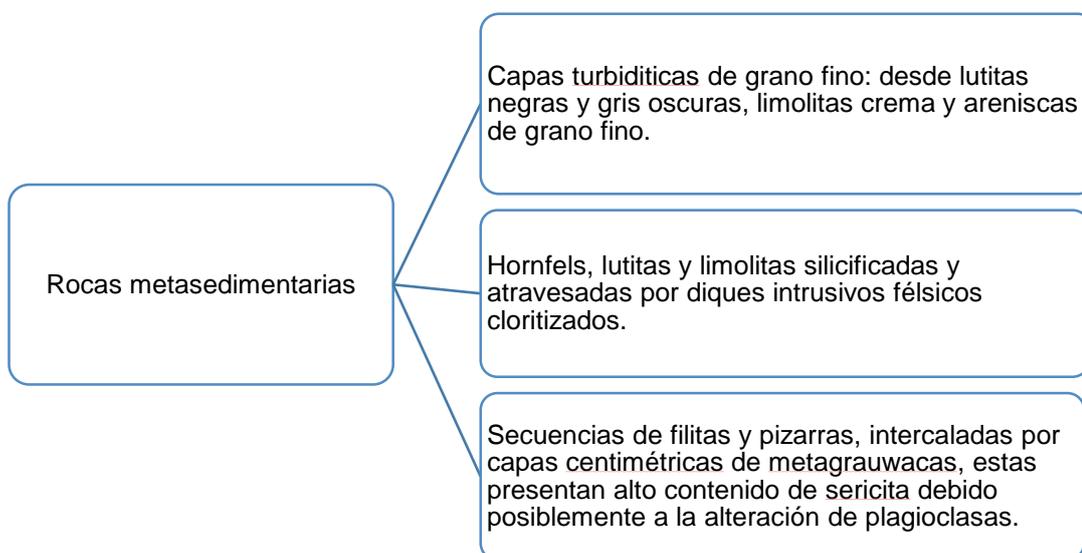


Figura 0.2 Esquema de rocas sedimentarias relacionadas al proyecto “La Bonita”
Fuente: ENAMI EP (2015)

1.6.3. Rocas metamórficas

Estas rocas afloran de manera casi continua a lo largo de la carretera entre La Sofía y La Bonita intercalada con cuerpos graníticos metamorfozados. Según las publicaciones de Barrow (1993) entran en las zonas de clorita (volcánicos y sedimentos metamorfozados a pizarras negras), zona de biotita (aparecen esquistos verdes, con biotita y sericita) y zona de granate (afloramiento de esquistos con granate posiblemente almandinico de protolito diorítico). Lo que implica un grado metamórfico bajo a medio.

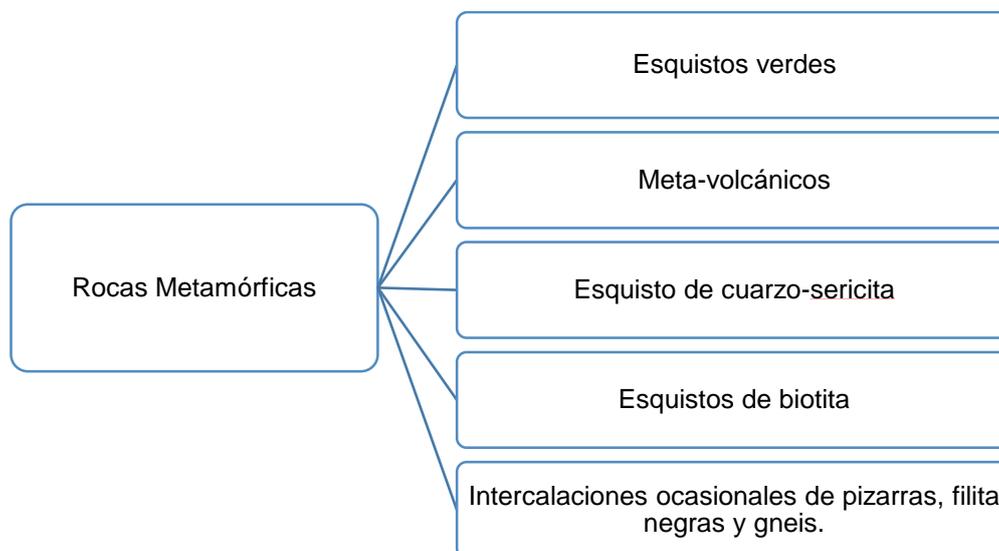


Figura 0.3 Esquema de rocas sedimentarias relacionadas al proyecto “La Bonita”
Fuente: ENAMI EP (2015)

1.6.4. Tectonismo regional

Los principales elementos estructurales consisten en elementos tectónicos y neotectónicos que controlan la forma de los Andes Ecuatorianos y los Valles Interandinos. Los principales sistemas tectónicos relacionados a la Cordillera Real son: La Sutura de Peltetec que es una estructura por la cual se acrecionó el Terreno Guamote (Aspden et al., 1997). El Frente Baños es una sutura cuya expresión actual es la Falla Baños y que se relaciona con la Falla Las Aradas en el Perú (Aspden et al., 1992a). Falla los Llanganates que separa los terrenos metamórficos Loja y Salado presentando zonas de corrimiento con movimiento mesozoico y la falla Casanga-Méndez que junto a la falla La Sofía exhiben un tren NE-SW con movimiento cenozoico dextral y zonas de

milonitización N-S (Litherland et al., 1994) y son el principal control estructural del proyecto “La Bonita”.

Los datos neotectónicos en base a la interacción entre las Placas Nazca, Caribe, Cocos y Sudamericana que controla la deformación cortical, la alta sismicidad y el volcanismo en el Bloque Norandino (Lonsdale, 2005), indican la presencia de segmentos cuaternarios como el segmento Algeciras, Sibundoy y Afiladores de Colombia que se prolonga hacia el Ecuador en el segmento Chingual hasta la Zona Transpresiva Baeza (Soulas et al., 1991), segmento que cruza y afecta tectónicamente al Proyecto “La Bonita”, generando estructuras evidentes en los afloramientos a lo largo del carretero La Bonita – La Sofía, que han sido mapeadas a partir de fotografías aéreas (Anexo IV).

CAPÍTULO 3

MARCO TEÓRICO

1.7. Difractometría de rayos X

La radiación X fue descubierta por el físico alemán Roentgen en el año 1895. Los alemanes Laue, Knipping y Friedrich, y el inglés W. L. Bragg, en el año 1912, aclararon la naturaleza de los RX y los fenómenos que se producen cuando éstos inciden sobre un cristal.

La unidad de medida en la región de los RX es el angstrom (\AA), equivalente a $10^{-10} m$. Los RX son radiación electromagnética de la misma naturaleza que la luz (6000\AA), pero de longitud de onda mucho más corta ($0.5 - 2.5 \text{\AA}$).

Un descubrimiento importante fue que los cristales actúan como una red difractante tridimensional frente a la radiación electromagnética de los RX, cuyas longitudes de onda son parecidas a las distancias interplanares de los cristales (Wolf, 1980). Con estos descubrimientos se comprobó el carácter ondulatorio de los RX y se empezaron a desarrollar los métodos de difracción.

Según Wolf (1980), la difracción es un fenómeno de dispersión de RX en donde participan todos los átomos de la sustancia irradiada. Ya que existe un ordenamiento periódico de los átomos en una estructura cristalina, los rayos dispersados en distintos átomos llevan entre si un cierto desfase. Interfiriendo estos rayos dispersados en su trayectoria posterior, son extinguidos porque su diferencia de fases $\Delta\lambda = n\lambda$ ($n = 1,2,3 \dots$), y solo en algunas direcciones, donde las diferencias de fases son $\Delta\lambda = n\lambda$ se forman rayos difractados por interferencia constructiva. Las condiciones para la interferencia constructiva, es decir para una diferencia de fase $n\lambda$ entre ondas diferentes, se cumple sólo cuando:

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

n ; número entero denominado orden de difracción;

λ ; longitud de onda del haz incidente de rayos X;

d ; distancia entre los planos difractantes, es decir, la distancia entre los planos reticulares sobre el cual incide la radiación.

θ ; ángulo de incidencia (ángulo de Bragg) medido entre los planos en consideración y el haz incidente.

Esta ecuación es conocida como la Ley de Bragg, siendo fundamental para la DRX. Según Wolf (1980), se definió que la DRX en una muestra cristalina

produce un campo de interferencias de RX, es decir, un campo de rayos difractados. Este campo se compone de todas las interferencias producidas por los grupos de planos reticulares que se encuentran en la muestra y está caracterizado por la distribución o ubicación de las interferencias frente al haz incidente y las intensidades de dichas interferencias.

Según Hanawalt (1936) una sustancia pura o una mezcla de sustancia produce un patrón de difracción característico cuando el tubo de RX, de donde se obtienen los RX, supera cierto voltaje crítico. Estas líneas características se las conoce como huella digital y son comparadas con una base de datos de patrones conocidos se puede identificar rápidamente los minerales presentes.

Todo patrón de difracción está compuesto por un conjunto de líneas de posiciones 2θ e intensidad relativa I . Estas posiciones angulares de las líneas dependen de la longitud de onda del ánodo usado y el espaciado d de los planos de la red cristalina de cada mineral.

Hanawalt inicio la descripción de cada patrón listando los valores de d e I . Él arregló los patrones conocidos en valores decrecientes de d para las 3 líneas más intensa en el patrón (d_1, d_2, d_3) , además tomo en cuenta los valores de intensidades, lo que permitió diferenciar cierta sustancia de sustancias parecidas (Jaramillo, 2015). Esta descripción de patrones hecha por Hanawalt

se traduce a una gran base de datos que ha tenido muchos colaboradores y que se convirtió en un proceso de búsqueda rápido.

La base de datos "DifData.txt", utilizada en el presente trabajo, es una base de datos libre cuyo contenido se limita a minerales y es mantenida por AMSCD. Las fichas de los difractogramas se han generado a partir de las estructuras cristalinas y muestran en general una gran precisión.

1.8. Alteración hidrotermal

La alteración hidrotermal es la repuesta mineralógica, textural y química de las rocas a un cambio del ambiente, en términos químicos y termales, por causa de agua, vapor o gas. La alteración hidrotermal es un proceso que ocurre cuando las fases minerales se transforman, existe un crecimiento de nuevos minerales, se diluyen o precipitan minerales, todo esto como producto del intercambio iónico entre los minerales constituyentes de la roca y el fluido caliente. (Maksaev, 2001)

Los minerales presentes producto de alteración hidrotermal son en su mayoría minerales de arcilla, siendo los más comunes los filosilicatos (Camuti, 2008). Estos filosilicatos son típicamente de grano fino, poco cristalinos, friables y suaves, por lo que son difíciles de identificar en muestra de mano o en sección delgada. Como consecuencia de esto, se recomienda utilizar la técnica

analítica de DRX cuando se trabaja con arcillas o minerales asociados a mineralización epitermal y pórfidos.

El objetivo de la mayoría de los estudios de minerales de alteración es identificar la relación espacial entre minerales, los cuales indican cambios en las condiciones de formación y proveen vectores que representan la dirección del fluido hidrotermal. (Camuti, 2008)

Browne (1978) agrupó algunas de las variables que influyen en la formación de minerales de alteración en sistemas hidrotermales y propuso siete categorías principales:

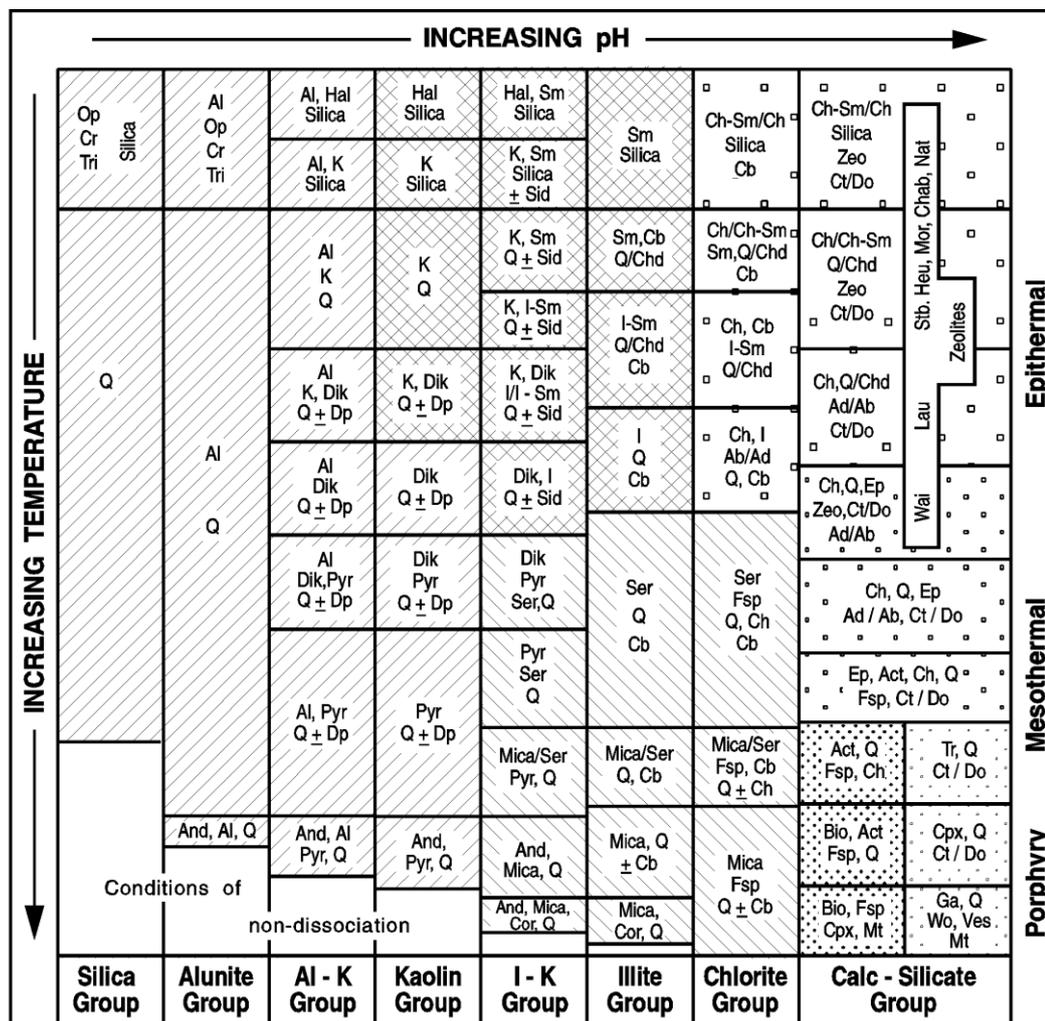
- Temperatura
- Química del fluido
- Concentraciones
- Composición de la roca de caja
- Cinética de las reacciones
- Duración de la actividad o grado de equilibrio
- Permeabilidad

Siendo la temperatura y la química del fluido las de mayor influencia en los estilos de alteraciones hidrotermales. Así, el incremento de la temperatura favorece la estabilidad de especies minerales progresivamente deshidratadas.

Además, la temperatura influye en el grado de ordenamiento o cristalinidad de los minerales por lo que a altas temperaturas se forman minerales más cristalinos. (Corbett & Leach, 1998)

Corbett y Leach (1998) clasificaron los minerales de alteración en conjuntos que representan sus condiciones de formación (Figura 0.1) esto permitió que el estudio de minerales de alteración hidrotermal se lleve a cabo con eficacia.

La Figura 3.1 muestra, en términos de temperatura y pH del fluido, los rangos de estabilidad para minerales hidrotermales comunes del borde geotermal activo del Pacífico y sistemas de minerales hidrotermales de Filipinas, Japón, Estados Unidos, Islandia y Nueva Zelanda, en combinación con termodinámica y trabajos de laboratorio de varias fases minerales. La concentración y proporción de elementos del fluido es constante, así mismo la presión (presión parcial de gases, hidrostática y litoestática), por lo que la Figura 3.1 es un diagrama que incorpora gran cantidad de datos geoquímicos y que combina los efectos de la temperatura y pH , e ilustra los cambios de la mineralogía y los patrones que se dan en zonas de alteración hidrotermal (Camuti, 2008).



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		

Figura 0.1 Alteración mineralógica común en sistemas hidrotermales.

Fuente: Corbett & Leach (1998)

1.9. Tipos de alteración hidrotermal por ensambles de minerales

Resultado de la alteración hidrotermal se tiene un amplio rango de mineralogía, abundancia mineral y texturas en distintas rocas. El desafío de obtener un criterio uniforme para la clasificación de tipos de alteraciones ha sido complejo. (Maksaev, 2001) Los geólogos de campo comúnmente utilizan términos que describen al mineral de alteración más abundante. (Tabla I)

Tabla I Método simple para identificación de minerales de alteración

Denominación	Presencia dominante de
Silicificación	Silice o cuarzo
Sericitización	Sericita
Argilización	Minerales de arcilla
Cloritización	Clorita
Epidotización	Epidota
Actinolitización	Actinolita

Fuente: Maksaev (2001)

Esta clasificación simple no representa la realidad debido a que las alteraciones hidrotermales no se presentan de forma individual, si no que forman asociaciones o comúnmente llamados ensambles de alteración.

Una asociación de minerales de alteración refleja el ambiente en donde se formaron. Es decir, si se logra identificar adecuadamente los minerales presentes en una roca alterada por fluidos hidrotermales, se puede determinar condiciones de temperatura, presión, composición química del fluido

hidrotermal, mineralogía de la roca original y el tiempo que tomó para lograr un equilibrio termodinámico entre la roca y el fluido. (Maksaev, 2001)

Meyer y Hemley (1967) clasificaron las alteraciones hidrotermales en cuatro tipos según la abundancia de minerales encontrados:

- Alteración Propilítica: Epidota, clorita ± sericita ± pirita ± cuarzo ± albita ± hematita ± calcita ± allanita.
- Alteración Argílica: Sericita y arcillas como caolinita, montmorillonita, smectita.
- Alteración Fílica: Cuarzo, sericita, pirita ± clorita ± turmalina ± montmorillonita
- Alteración Potásica: Biotita secundaria, clorita, epidota ± magnetita ± ortoclasa ± cuarzo ± sericita ± albita ± hematita.

1.10. Zonalidad para yacimientos de pórfidos cupríferos

Según Lowell y Guilbert (1970), el modelo de zonalidad para yacimientos de pórfidos cupríferos (Figura 0.2) presenta un núcleo de alteración potásica (feldespato K, biotita secundaria y magnetita) y se presenta en posición proximal a la intrusión central. Hacia afuera, se encuentra una alteración fílica (cuarzo-sericítica-pirita). Más periféricamente encontraremos facies argílicas

(minerales de arcilla como caolinita y montmorillonita) y propilítica (con clorita, epidota, calcita).

La secuencia de alteración es la siguiente: 1) formación de las zonas de alteración potásica y propilítica; 2) desarrollo de la alteración fílica; y 3) formación de facies de alteración argílica en la parte superior del sistema.



Figura 0.2 Zonalidad en los yacimientos de pórfidos cupríferos

Fuente: Lowell & Guilbert (1970)

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA

La metodología empleada en el presente trabajo (Figura 0.1) inició con el análisis macroscópico de 32 muestras provenientes en su mayoría de un área aledaña a las concesiones mineras del proyecto. Esta zona se la conoce como “Nueva Concesión” y se divide en “Área 1” y “Área 2”, las cuales son objeto de estudio debido a que en los afloramientos junto a la carretera se presentan rocas con evidente alteración hidrotermal.

Se utilizó una de las técnicas analíticas que han sido de gran ayuda para el estudio mineralógico de proyectos mineros: la técnica de DRX. Esta técnica es comúnmente utilizada con otra técnica conocida como FRX que permite identificar elementos en la muestra. La técnica de FRX no fue utilizada debido a varias restricciones del equipo.

La información de la geología local y detalles del proyecto fueron tomados de reportes internos de la ENAMI EP y la recolección de las muestras la realizaron

geólogos de campo de la ENAMI EP días antes del inicio del trabajo de laboratorio.

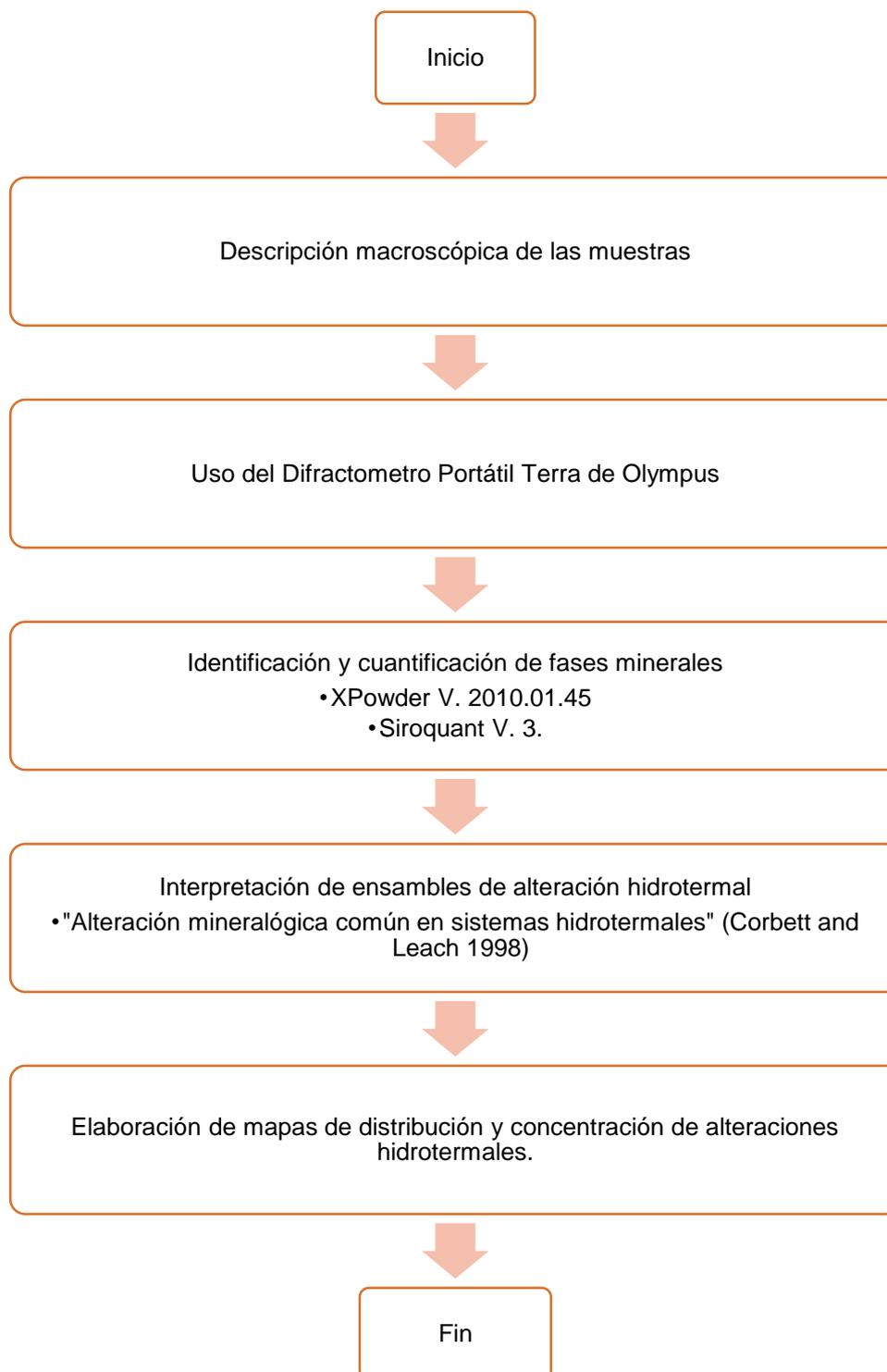


Figura 0.1 Esquema representativo de la metodología para la caracterización mineralógica por DRX.

Fuente: Autor

1.11. Descripción Macroscópica

Comprende la descripción litológica a detalle de las 32 muestras de mano, definiendo el tipo de roca, color, textura, minerales primarios y secundarios presentes, alteraciones, mineralización, oxidación y magnetismo.

1.12. Difractometría de Rayos X

1.12.1. Descripción del Equipo



Figura 0.2 Difractómetro portátil TERRA
Fuente: Barona Díaz (2014)

El diseño del difractómetro portátil TERRA (Figura 0.2) es específicamente para el análisis de rocas y minerales (Barona Díaz, 2014). Las especificaciones técnicas del equipo se detallan en la siguiente tabla:

Tabla II Especificaciones técnicas del difractómetro portátil TERRA de OLYMPUS

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Resolución DRX	0.25° 2 θ FWHM
Rango DRX	5-55° 2 θ
Resolución FRX	230 eV a 5.9 keV
Rango FRX	2.5 a 25 keV
Tipo de detector	1024 x 256 pixels 2D Peltier-cooled CCD
Tamaño del grano de la muestra	< 150 μ m minerales triturados (100 tamizado, 150 μ m)
Cantidad de muestra	> 15 mg
Ánodo del tubo de RX	Cu
Voltaje del tubo de RX	30kV
Potencia del tubo de RX	de 10W hasta 35W con ánodo de Cu
Autonomía en campo	4hr con baterías
Consumo	85-90W durante el análisis
Memoria	Disco duro robusto de 40 GBytes
Conexión Wireless	802.11 B/G para control remoto desde el navegador de la WEB
Temperatura de operación	-30°C to 40°C
Peso	14,5 kg con 4 baterías
Tamaño	48.5x39.2x19.2cm

Fuente: Barona Díaz (2014)

Para el presente trabajo, la identificación de minerales y fases minerales se obtuvo por medio de la comparación de la señal de difracción o difractograma de cada muestra con una base de datos. Además, con el equipo se puede obtener directamente resultados cualitativos de FRX durante el proceso de

identificación de fases. Para este trabajo el ánodo de cobre utilizado no fue compatible.

1.12.2. Procedimiento

1.12.2.1. Preparación de las muestras

La etapa de preparación de la muestra inició con la selección de una parte específica de la roca, en donde se evidenciaron procesos de alteración hidrotermal y se evitaron partes que presenten oxidación. Con ayuda del martillo geológico y mortero se redujo el tamaño de la roca hasta que se obtuvo una muestra representativa de aproximadamente 10 g, en ciertos casos se utilizó un taladro DREMET 8220 (Figura 0.3.A).

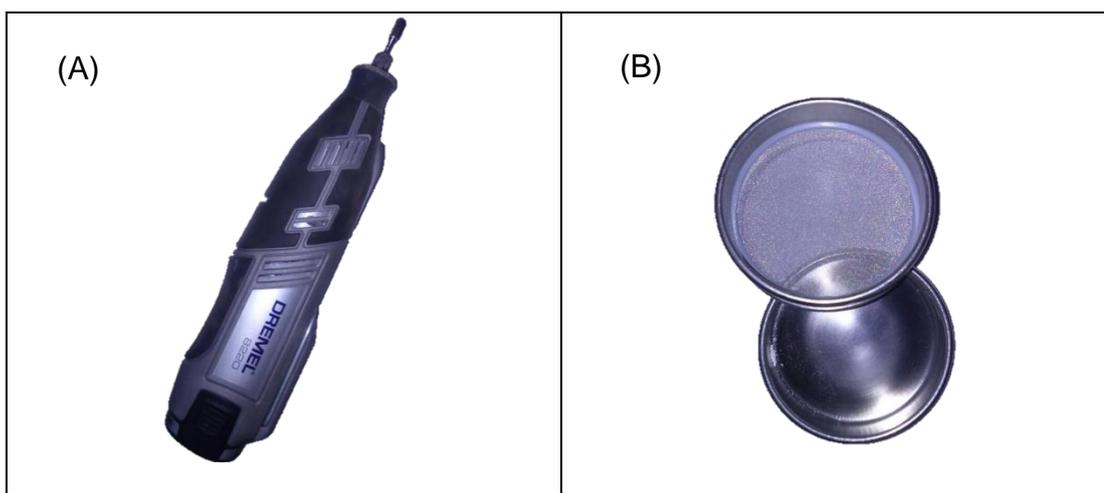


Figura 0.3 Equipo de preparación de muestra. (A) Taladro DREMET 8220 (B) Malla #100

Fuente: Autor

Se tamizó la muestra con la malla #100 (Figura 0.3.B) del set de preparación de muestras para asegurar el tamaño de grano sea menor a 150 μm . Se debe tomar en cuenta que mientras más pequeño es el tamaño del grano, mejores son los resultados. Una vez tamizada la muestra, se envasó en una funda plástica y se rotuló con su respectivo código.

1.12.2.2. Operación de la consola y adquisición de datos



Figura 0.4 Consola difractómetro portátil TERRA de OLYMPUS conectada al ordenador.
Fuente: Autor

Para encender la consola (Figura 0.4) se enciende el interruptor principal, girando el "Llave principal de corriente" hacia la derecha en la cerradura. El

arranque del sistema tomará aproximadamente tres minutos y el detector comenzará automáticamente a enfriarse a $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El acceso interno al software de la consola se obtiene por la conexión WIFI predeterminada conectada a un ordenador. Se abre una página con un explorador de internet y se coloca la dirección de la consola.

La muestra, completamente seca, se introdujo en la guía del porta muestras con ayuda de una pequeña espátula. Utilizando el shaker, instrumento que provoca vibración, y se verificó que dentro de la cámara no haya espacios vacíos. Luego se introdujo nuevamente el porta muestras en la consola del TERRA.

En la pantalla de texto se inicia el proceso y en el ordenador se escribió el código de la muestra y se programaron 100 mediciones por muestra. Cada adquisición mejora la calidad de los resultados. Estos resultados pueden ser visualizados en el ordenador hasta que el difractograma esté definido.

1.13. Determinación cualitativa y cuantitativa de minerales y fases minerales

Para la identificación cualitativa de minerales y fases minerales se utilizó el software X Powder Ver. 2010.01.32 PRO (Figura 0.5). Este software permite

comparar los picos del difractograma de la muestra con minerales de la base de datos "Difdata.txt" de AMSCD.

Se inició el trabajo de identificación mineralógica cargando el difractograma a analizar. Se escogió el tipo de tubo de RX utilizado (Cu) y seleccionó la base de datos. Además, para eliminar los picos de ruido se eliminó el "background" o ruido. La eliminación del ruido es un paso esencial en el proceso ya que estos picos pueden confundirse con minerales presentes en menor cantidad. Para la sustracción del ruido se utilizó un rango de 108 y un grado polinomial de 5.

Una vez extraído el "background", se buscaron las fases minerales presentes en la muestra. El software facilita directamente una lista de minerales que son posibles opciones de las fases minerales que contiene la muestra. Esta lista es el resultado de la comparación de los picos de difracción de la muestra con picos teóricos de la base de datos.

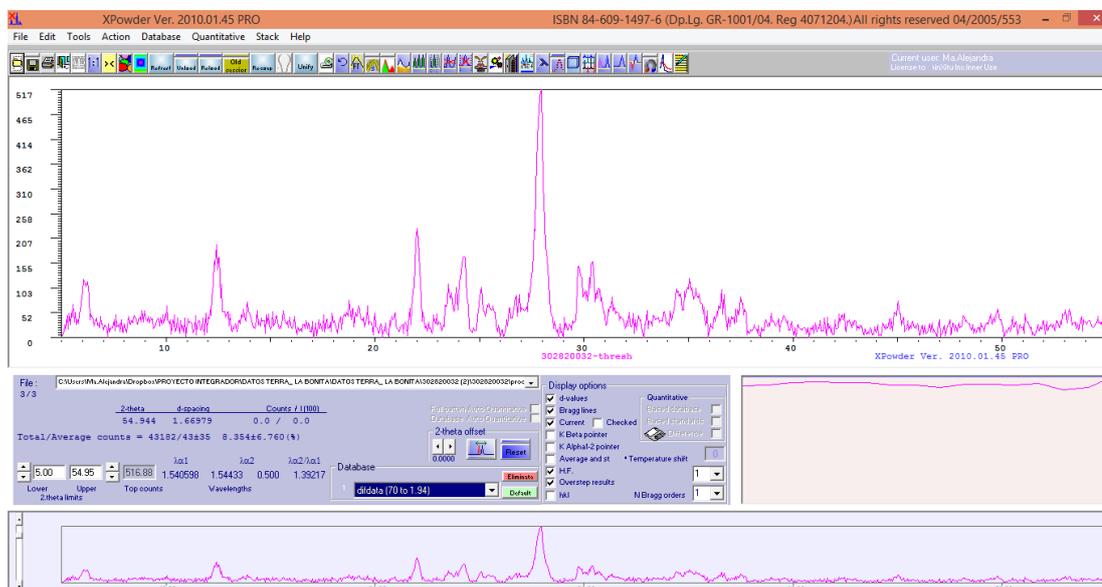


Figura 0.5 Contorno de trabajo del software XPowder Ver. 2010.01.32 PRO
Fuente: Autor

Para la cuantificación de minerales y fases minerales se utilizó el software Siroquant Ver. 3 (Figura 0.6). Este software da como respuesta la cantidad presente en porcentaje de cada mineral dependiendo de los minerales identificados anteriormente que se ingresan al programa.

Se inició el proceso de cuantificación de minerales cargando el difractograma y escogiendo los minerales identificados anteriormente. De la misma forma se eliminó el “background” o ruido escogiendo los puntos que se considera ruido.

Una vez eliminado el ruido, se generó un modelo que compara los picos del difractograma con los picos teóricos de los minerales escogidos en el inicio del

buscan representar, de forma simplificada, los ensambles de alteración representativos de cada tipo de alteración hidrotermal.

Tabla III Grupo de minerales de alteración en sistemas hidrotermales

PROPILITICA	ARGILICA	FILICA	POTASICA
albite	alunite	apatite	actinolite
anhydrite	andalusite	corundum	biotite
calcite	ankerite	muscovite	clinopyroxene
chabazite	crystalite	paragonite	garnet
chlorite	diaspore	quartz	magnetite
dolomite	dickite		orthoclase
epidote	gypsum		rutile
Gypsum	halloysite		tremolite
heulandite	Illite		wollastonite
mesolite	Illite-Smectite		
mordenite	kaolinite		
natrolite	kutnahorite		
prehnite	montmorillonite		
pumpellyite	pyrophyllite		
stilbite	rhodochrosite		
	siderite		

Fuente: Corbett & Leach (1998)

Una vez que se ha determinado el porcentaje de los minerales de alteración presentes en cada una de las muestras con el software Siroquant V. 3, se realizó una suma de dichos porcentajes siguiendo los grupos mostrados en la Tabla III. Así para conocer el porcentaje de alteración propilítica en cualquier muestra se sumaron los porcentajes de minerales como albite, anhydrite, calcite, chabazite, etc. Para la alteración argílica se sumaron los porcentajes de minerales como alunite, andalusite, ankerite, etc. Así mismo ocurrió para la alteración fílica y potásica.

Por último, una vez realizada las sumas de los porcentajes se asignó un grado de alteración (Tabla IV) para cada tipo de alteración que presenta, a simple vista, el tipo de alteración que predomina en cada muestra.

Tabla IV Grado de alteración según porcentaje de minerales de alteración presente en la muestra

PORCENTAJE	GRADO DE ALTERACION
(0-20%)	Débil
(21-60%)	Moderada
(61-100%)	Fuerte

Fuente: Autor

1.15. Elaboración de mapas de distribución y concentración de alteraciones hidrotermales.

Los mapas de distribución y concentración de alteraciones hidrotermales se realizaron en el software ArcGis Ver. 10.3.0.4322 (Figura 0.7). Los archivos base para la elaboración de los mapas fueron proporcionados por ENAMI EP. Las muestras de mano fueron ubicadas espacialmente según sus coordenadas (x,y) y se graficaron círculos, los cuales representan el tipo de alteración y varían su tamaño según el grado en el que se presenta.

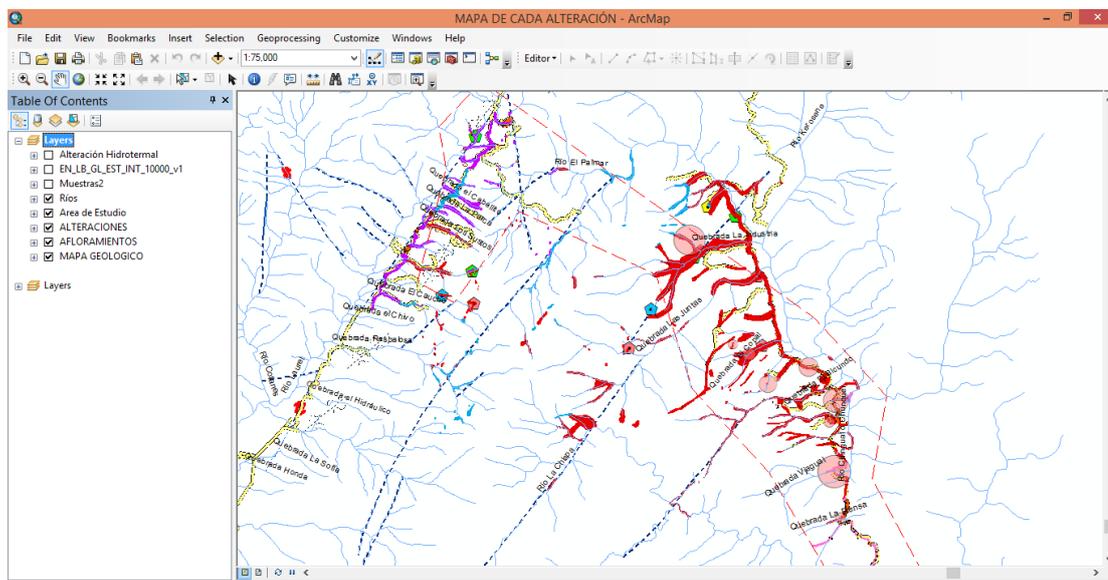


Figura 0.7 Contorno de trabajo del software ArcGis Ver. 10.3.0.4322
Fuente: Autor

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

La descripción macroscópica permitió clasificar a las rocas en litologías como granodioritas, dioritas, cuarzomonzonitas, cuarzodioritas. Además, se encontró que tres muestras son de aplita, cuarcita y microdiorita. La identificación macroscópica se dio por la evidente presencia de minerales de alteración, y se logró reconocer ciertos ensambles de alteración hidrotermal como clorita-epidota, cuarzo-sericita, clorita-epidota-magnetita.

La muestra #7 (Figura 0.1) es una roca metamórfica cuarcita, de color gris azulado, textura fanerítica con fuerte diaclasamiento, presencia de cuarzo, feldespatos y plagioclasas, alteración fuerte de la matriz por silicificación, cuarzo-sericita en “overprinting” y epidota con minerales arcillosos en menor proporción, trazas de pirita como parte de la mineralización, oxidación de manganeso diseminado en fracturas.



Figura 0.1 Muestra de mano "302820070"
Fuente: Autor

La muestra #11 (Figura 0.2) es una roca intrusiva, cuarzomonzonita, color gris azulada, la textura es irreconocible por matriz silicificada, alteración fuerte de cuarzo-sericita, trazas de epidota y clorita, mineralización de pirita y calcopirita diseminada <1%, fuerte oxidación de hierro en fracturas.



Figura 0.2 Muestra de mano "302820094"
Fuente: Autor

Luego de la preparación de las muestras, el uso de la consola del difractómetro portátil TERRA y la adquisición de los difractogramas para cada muestra, se identificaron y cuantificaron los minerales de alteración.

En el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se tiene una ficha para cada muestra que contiene la información recolectada en cuanto a la descripción macroscópica, identificación y cuantificación de minerales de alteración, incluyendo una fotografía de la muestra de mano y el difractograma obtenido.

Continuando con la presentación de los resultados de las muestras #7 y #11, se tiene que el difractograma de la muestra #7 presenta picos de cuarzo (3.29 Å), cristobalita (3.95 Å), diásporo (3.95 Å), heulandita, pumpellyta, ankerita, dolomita, albita.

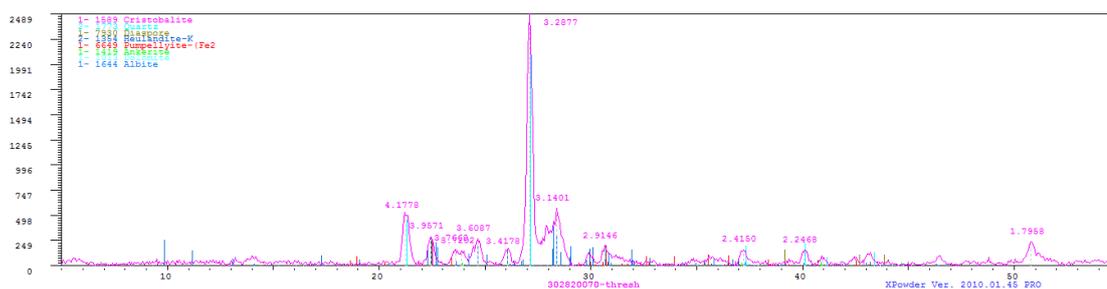


Figura 0.3 Difractograma de la muestra “302820070”

Fuente: Autor

En cuanto a la cuantificación de minerales de alteración de la muestra #7 (Figura 0.4) se tiene que la albita se presenta en mayor proporción (47.7%), seguido por la heulandita (24.11%), ankerita (8.44%), pumpellyita (5.43%), dolomita (4.88%), diásporo (4.73%), cuarzo (3.22%) y cristobalita (1.49%).

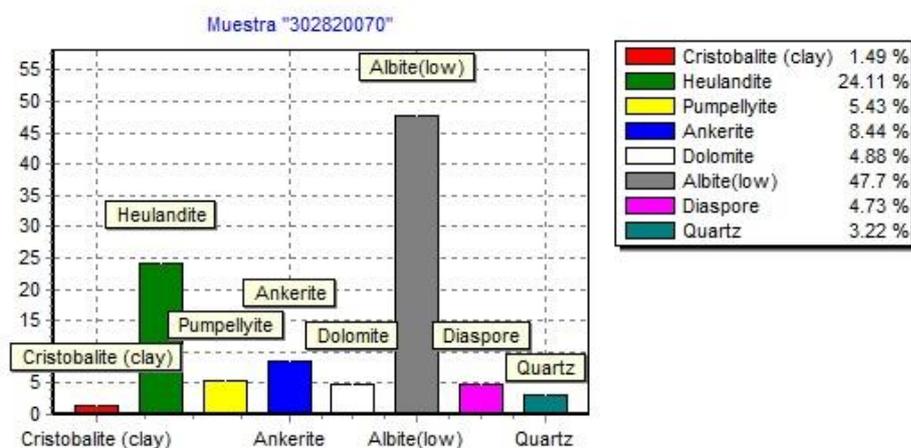


Figura 0.4 Diagrama de barras de la cuantificación de minerales de alteración de la muestra "302820070"
Fuente: Autor

El difractograma de la muestra #11 presenta picos de cuarzo (3.29 Å), cristobalita (3.95 Å), pirofilita, dickita, diásporo, clorita, heulandita, ankerita, albita.

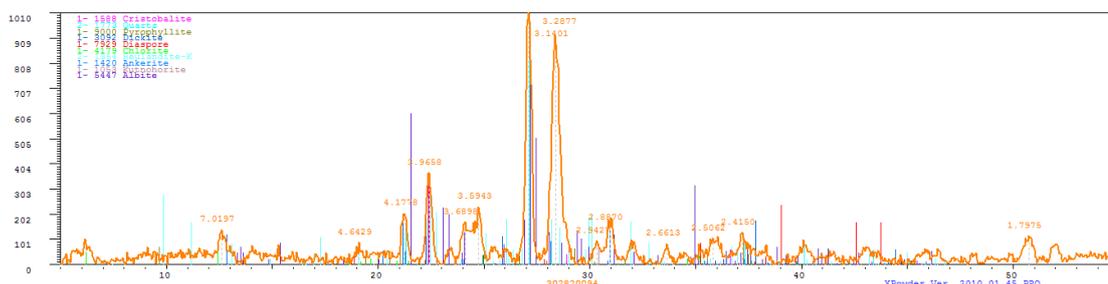


Figura 0.5 Difractograma de la muestra “302820094”

Fuente: Autor

En cuanto a la cuantificación de minerales de alteración de la muestra #11 (Figura 0.6) se tiene que la albita se presenta en mayor proporción (28.8%), seguido por la heulandita (22.47%), dickita (10.62%), pirofilita (10.47%), clorita (10.13%), diásporo (9.61%), ankerita (4.52%), cristobalita (1.39%), cuarzo (1.11%), kutnahorita (0.88%).

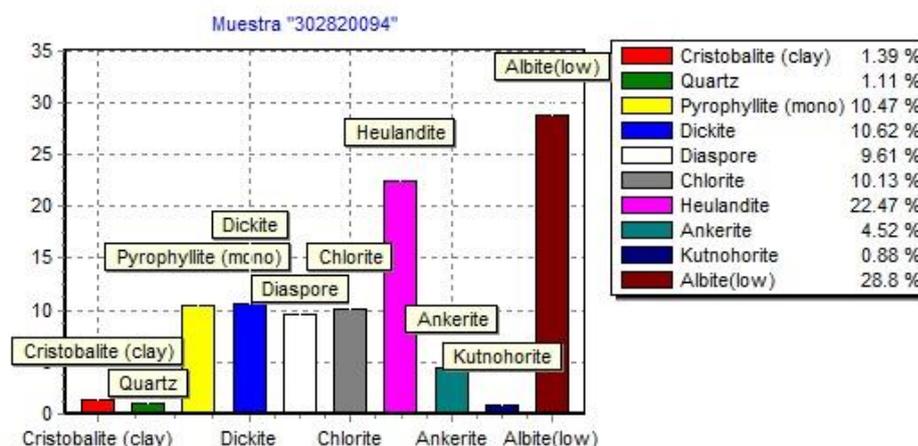


Figura 0.6 Diagrama de barras de la cuantificación de minerales de alteración de la muestra “302820094”

Fuente: Autor

Además, se detalla el porcentaje de cada mineral de alteración encontrado de las 32 muestras (Anexo VI).

Finalmente, se realizó la suma de los porcentajes de minerales de alteración según los conjuntos o familias de Corbett & Leach (1998). Se tiene la suma de dichos porcentajes y se indica el grado de alteración de cada tipo de alteración para cada muestra (Anexo VII).

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Una vez determinado el porcentaje de los minerales de alteración presentes en cada una de las muestras y realizar la suma de dichos porcentajes según las familias de alteración propuestas para cada tipo de alteración hidrotermal, el análisis inicia identificando visualmente la distribución espacial de cada familia de alteración hidrotermal sobre el área de estudio (Anexo VIII, Anexo IX, Anexo X, Anexo XI)

Al *E* de la concesión La Chispa en el “Área 1” de la nueva concesión se encuentran en los afloramientos del carretero intercalaciones de cuarzomonzonitas del Plutón de Rosa Florida asociada a rocas de la unidad Misahualli y dioritas. Esta zona presenta principalmente alteración Chl-Ep, correspondiente a alteración propilítica y rocas bien silicificadas que pierden su textura original correspondiendo a una alteración fílica que se debilita de Sur a Norte.

Al *E* de la concesión La Chispa en el *N* del “Área 1”, se encuentran los afloramientos de la quebrada Chorrera Chico (al *S* de la quebrada El Bicundo) constituidos principalmente por granodioritas del Plutón de Rosa Florida y rocas dioríticas. En esta zona prevalece la alteración fílica seguida de alteración propilítica. La alteración argílica es dominante en un sector al *N* de la quebrada.

En la quebrada Infiernilla al *NO* del “Área 1”, las alteraciones predominantes son propilítica y fílica. Las rocas presentes en esta zona son cuarzdioritas y en los alrededores se encuentran granodioritas y cuarzomonzonitas. Muy cerca, en la quebrada El Bicundo sucede algo similar, siendo las alteraciones propilítica y fílica predominantes en cuarzdioritas y cuarzomonzonitas.

Al *SE* de la concesión Rosa Florida, cerca de la quebrada El Copal, en afloramientos granodioríticos la alteración fílica es predominante. Además, la alteración propilítica es mayor en cuarzdioritas y dioritas.

Al *O* de la concesión La Chispa, a lo largo del Río Laurel, el cual está asociado a una falla, se presenta principalmente alteración propilítica y en menor grado fílica y argílica.

1.16. Alteraciones hidrotermales

En general, a lo largo del área de estudio se aprecia una predominancia de alteración propilítica y fílica (Anexo XII). Se observó que en ciertos puntos la alteración argílica toma predominancia, por lo que se la podría relacionar a ciertas estructuras como fallas. Por último, la alteración potásica se muestra muy débil en todas las zonas.

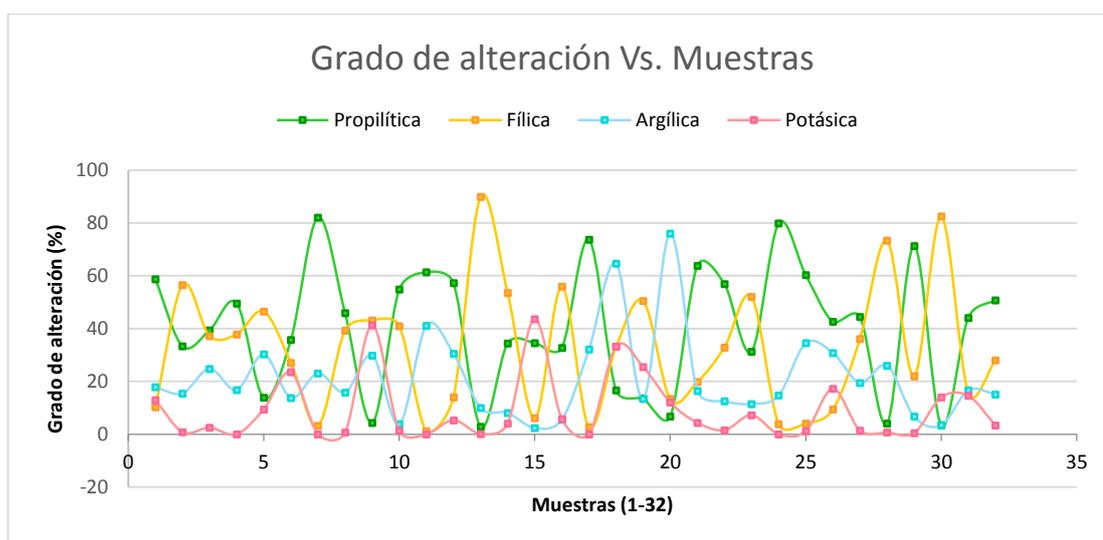


Figura 0.1 Gráfico del grado de alteración de cada muestra.
Fuente: Autor

Para observar de mejor de manera la predominancia de las alteraciones propilítica y fílica se construyeron curvas (Figura 0.1) en donde el eje “y” indica el grado de alteración y el eje “x” son las muestras enumeradas del 1 al 32. Estas curvas no hacen referencia de como varía la alteración de una muestra a otra, sino más bien se puede observar de forma sencilla la diferencia en

cuanto a grado de alteración de cada muestra. Es decir, para la muestra “1” (302820032) se observó rápidamente que la alteración propilítica (58.75%) tiene mayor grado de alteración, seguida por la alteración argílica (17.81%). Finalmente, con valores muy cercanos, se presenta la alteración potásica (12.94%) y fílica (10.24%).

Analizando la relación de las alteraciones propilítica y fílica (Figura 0.2) con respecto a cada muestra se puede notar que existe una relación inversa. Cuando se presentan valores altos en cuanto a la alteración propilítica, la alteración fílica disminuye; mientras que cuando la alteración fílica incrementa, la alteración propilítica disminuye. Así, para la muestra “5” (302820062) la alteración fílica (46.49%) es mayor que la alteración propilítica (13.81%).

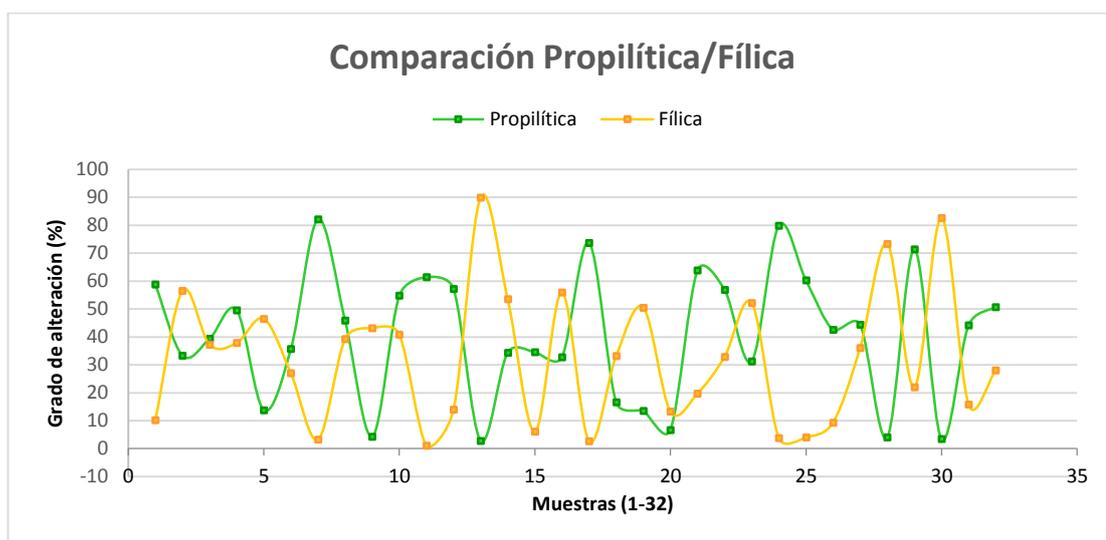


Figura 0.2 Comparación del grado de alteración de propilítica y fílica para cada muestra.
Fuente: Autor

Para las alteraciones argílica y potásica ocurre algo parecido (Figura 0.3). Cuando se presentan valores altos en cuanto a la alteración argílica, la alteración potásica disminuye; mientras que cuando la alteración potásica incrementa, la alteración argílica disminuye. Así, al analizar la misma muestra del caso anterior (302820062), se tiene que la alteración argílica (30.26%) es mayor que la alteración potásica (9.44%).

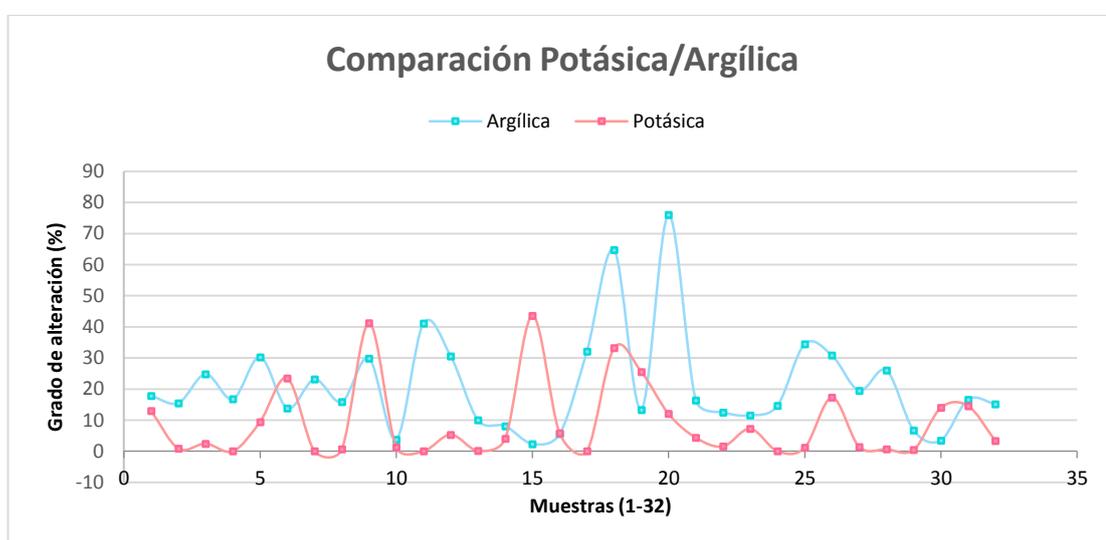


Figura 0.3 Comparación del grado de alteración de potásica y argílica para cada muestra.
Fuente: Autor

Estas comparaciones de alteraciones fílica–argílica sobre alteraciones propilítica–potásica demuestra la típica sobreimposición de alteraciones de *pH* elevado sobre alteraciones de bajo *pH* (Salazar, 2008). Las alteraciones argílica y fílica alteran parcialmente la textura de la roca, es decir, se sobreimponen a las alteraciones propilítica y potásica. En casi todas las rocas

de este estudio, las alteraciones son de grado moderado a débil por lo que se pueden observar remanentes de la textura original y minerales previos.

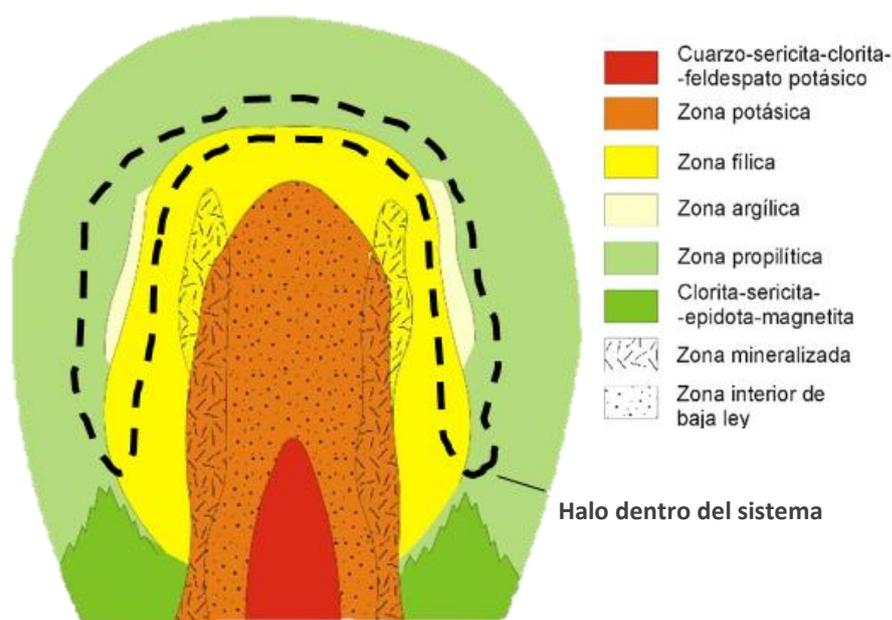


Figura 0.4 Modelo de zonación en los yacimientos de pórfidos cupríferos.
Fuente: Lowell & Guilbert (1970)

En base a el modelo de Lowell & Guilbert (1970) para zonación en los yacimientos de pórfidos cupríferos, y tomando en cuenta las características mineralógicas de pórfidos investigadas previamente por ENAMI EP, la predominancia de las alteraciones propilítica y filica muestran una situación favorable. En base a los porcentajes superiores de estas alteraciones se puede inferir que el modelo para un pórfido de cobre dentro del área de estudio estaría completo, es decir, no se trata de un sistema erosionado (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Al no haber obtenido porcentajes

representativos de minerales de alteración potásica no se puede dar un indicativo de cuál es la lejanía o profundidad del núcleo potásico.

1.17. Relación de la alteración hidrotermal con litología

La relación entre la alteración hidrotermal con la litología no es del todo clara debido a que no sigue un patrón estándar. En granodioritas (Tabla V) la alteración propilitica presenta valores de grado de alteración fuertes (73.71%, 79.84%), seguida por valores de grado de alteración de fuertes a moderados (89.89%, 56.53%) para la alteración fílica, valores de grado de alteración de moderados a débiles (76.84%, 34.48%) para la alteración argílica, y valores de grado de alteración débiles para la alteración potásica.

Tabla V Grado de alteración para rocas granodioritas

MUESTRA	ROCA	Alteraciones Hidrotermales			
		Propilítica (%)	Argílica (%)	Fílica (%)	Potásica (%)
302820033	Granodiorita	33.33	15.48	56.53	0.85
302820044	Granodiorita -	39.37	24.8	37.22	2.45
302820096	Granodiorita	2.83	9.99	89.89	0.12
302820108	Granodiorita	73.71	32.09	2.71	0
305020142	Granodiorita	6.71	76.05	13.32	12.02
305120049	Granodiorita	79.84	14.66	3.82	0
305120072	Granodiorita	60.31	34.48	4.08	1.13

Fuente: Autor

En dioritas (Tabla VI) la alteración fílica presenta valores de grado de alteración fuertes (82,58%, 73,35%), seguida por valores de grado de alteración de fuertes (71.35%, 63.85%) para la alteración propilítica, valores de grado de alteración de fuertes a moderados (64.7%, 29.86% y 25.98%) para la alteración argílica, y valores de grado de alteración moderados a débiles (41.26%, 33.23%) para la alteración potásica.

Tabla VI Grado de alteración para rocas dioritas

MUESTRA	ROCA	Alteraciones Hidrotermales			
		Propilítica (%)	Argílica (%)	Fílica (%)	Potásica (%)
302820032	Diorita	58.75	17.81	10.24	12.94
302820083	Diorita-	4.33	29.86	43.15	41.26
302820109	Dique diorítico	16.59	64.7	33.17	33.23
305020144	Diorita	63.85	16.36	19.77	4.35
306020004	Diorita	44.4	19.46	36.1	1.41
306020005	Diorita	4.1	25.98	73.35	0.63
306020006	Diorita	71.35	6.67	22	0.43
306020007	Diorita	3.45	3.45	82.58	13.97
A1	Diorita	44.14	16.61	15.78	14.55

Fuente: Autor

En cuarzomonzonitas (Tabla VII) la alteración propilítica presenta valores de grado de alteración de fuertes a moderados (61.4%, 54.80%), seguida por valores de grado de alteración moderados (55.92%, 52.12%) para la alteración fílica, valores de grado de alteración de moderados a débiles (41.13%, 16.74%) para la alteración argílica, y valores de grado de alteración moderados a débiles (43.60%, 7.22%) para la alteración potásica.

Tabla VII Grado de alteración para rocas cuarzomonzonitas

MUESTRA	ROCA	Alteraciones Hidrotermales			
		Propilítica (%)	Argílica (%)	Fílica (%)	Potásica (%)
302820045	Cuarzomonzonita-	49.59	16.74	37.86	0
302820093	Cuarzomonzonita	54.8	3.77	40.91	1.26
302820094	Cuarzomonzonita	61.4	41.13	1.11	0
302820099	Cuarzomonzonita	34.39	8.07	53.5	4.03
302820102	Cuarzomonzonita	34.57	2.32	6.09	43.6
302820103	Cuarzomonzonita	32.77	5.54	55.92	5.77
305120047	Cuarzomonzonita	31.3	11.5	52.12	7.22

Fuente: Autor

En cuarzodioritas (Tabla VIII) la alteración propilítica presenta valores de grado de alteración de moderados (50.74%, 42.59%), seguida por valores de grado de alteración moderados (46.49%, 28.04%) para la alteración fílica, valores de grado de alteración de moderados a débiles (30.26%, 13.78%) para la alteración argílica, y valores de grado de alteración débiles (23.49%, 17.25%) para la alteración potásica.

Tabla VIII Grado de alteración para rocas cuarzodioritas

MUESTRA	ROCA	Alteraciones Hidrotermales			
		Propilítica (%)	Argílica (%)	Fílica (%)	Potásica (%)
302820062	Cuarzodiorita	13.81	30.26	46.49	9.44
302820063	Cuarzodiorita	35.69	13.78	27.04	23.49
305620016	Cuarzodiorita	42.59	30.8	9.36	17.25
A4	Cuarzodiorita	50.74	15.13	28.04	3.36

Fuente: Autor

En general, en granodioritas y dioritas se presenta con mayor fuerza la alteración propilítica, argílica y fílica. Para cuarzomonzonitas los grados de alteración de propilítica y fílica son moderados. Finalmente, para rocas cuarzodioritas los grados de alteración de propilítica, argílica y fílica se encuentran en un rango de moderado a débil.

Como se indicó anteriormente las alteraciones no siguen un patrón estándar en las rocas, es decir, no se puede afirmar que la alteración fílica está relacionada únicamente con los eventos de intrusión dioríticos o cuarzomonzoníticos o que la alteración propilítica está relacionada únicamente con la roca hostrock del área de estudio. Para este caso de estudio la impresión de las alteraciones hidrotermales no se encuentra en relación con las rocas presentes en el sitio, puesto que la misma depende de una serie de eventos que puede modificar o alterar la mineralogía de las rocas previamente existentes.

CAPÍTULO 7

DISCUSIÓN

Una vez definida la predominancia de las alteraciones propilítica y fílica, se requiere precisar el ambiente en cuanto a temperaturas del área de estudio y definir un posible vector de alteración, cuya dirección sería de menor a mayor temperatura.

Se conoce que la alteración propilítica es de ambientes de bajas temperaturas y que la alteración fílica es de ambientes de mayor temperatura. Se tiene que 20 de 32 muestras presentan porcentajes mayores de alteración propilítica sobre la alteración fílica. Esto indica que existe una predominancia de un ambiente de bajas temperaturas sobre un ambiente de mayor temperatura. Además, considerando que 12 muestras de 32 tienen mayores porcentajes de alteración fílica, corrobora que el área de estudio está dentro del sistema de pórfido de cobre, descartando una ubicación externa del sistema o de un sistema de pórfido erosionado.

La alteración fílica se presenta dentro del área de estudio y según su concentración se puede identificar dos posibles vectores de temperaturas (Anexo XIII). Se ha considerado como primer vector el que inicia desde el centro del área de estudio hacia la dirección *SE* y el segundo vector en dirección *NE*.

Para el caso de la alteración propilítica (Anexo XIV), se observó dentro del área de estudio dos posibles vectores, pero con características extendidas. Se consideró el origen del primer vector donde inician la toma de muestras al *N* del área de estudio extendiéndose hacia el límite S, siguiendo una dirección de vector extendido *SE* del y el segundo vector extendido en dirección *NE*.

Producto del análisis de los vectores tanto propilítico como fílico se podría intuir que el vector general de indicativo de temperatura bajas a temperaturas altas estaría en sentido Este – Oeste (Anexo XV), lo cual sería desfavorable puesto que la dirección apuntaría hacia la línea de frontera con Colombia.

CAPÍTULO 8

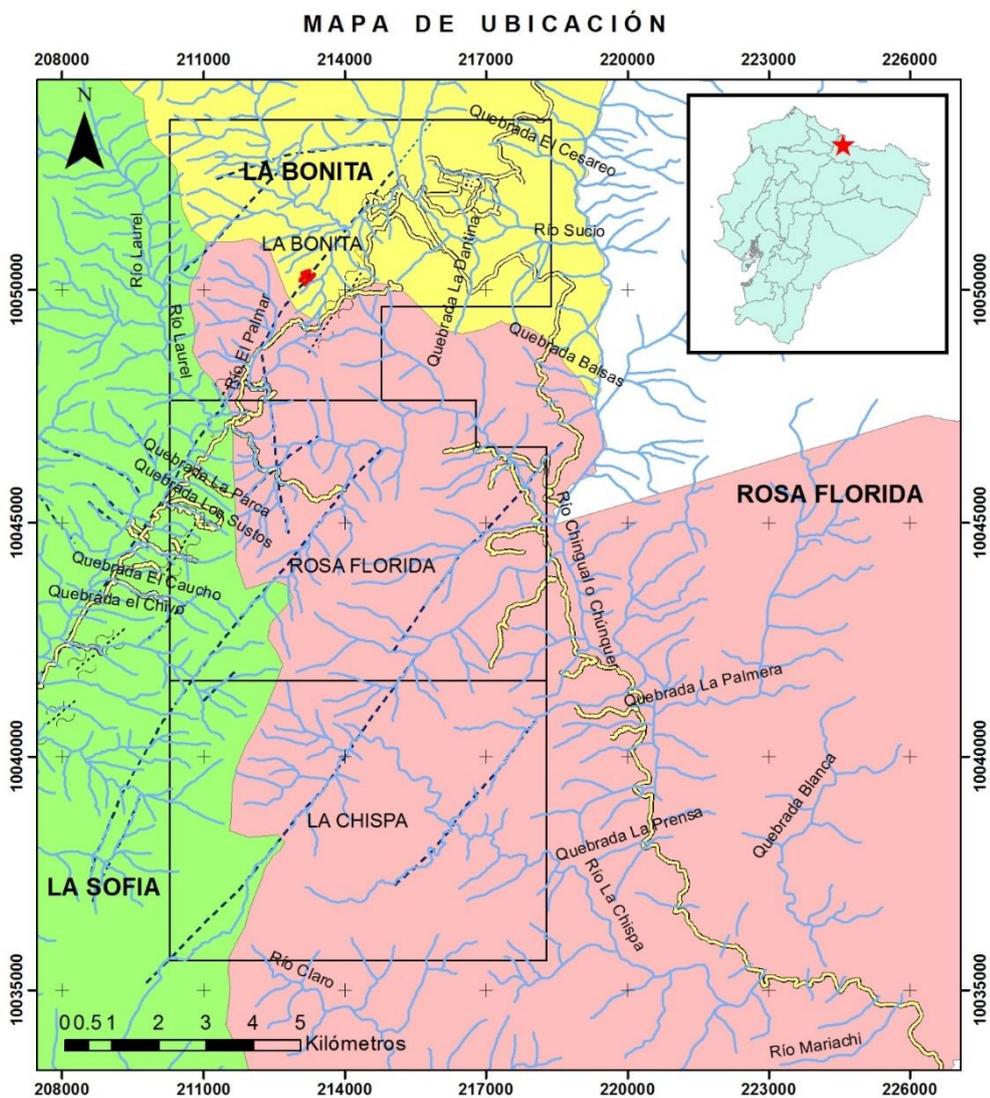
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) Se identificaron y cuantificaron minerales de alteración de 32 muestra de mano de zonas que evidencian las mayores extensiones de alteración hidrotermal encontradas hasta el momento por geólogos de campo de ENAMI EP. Estas zonas en granodioritas, dioritas y cuarzomonzonitas al SE de la concesión Rosa Florida perteneciente al proyecto de exploración “La Bonita”.
- 2) Granodioritas, dioritas, cuarzomonzonitas y filitas son las principales litologías presentes en el área de estudio. Estos paquetes litológicos no guardan relación alguna con las alteraciones hidrotermales identificadas, es decir, no se evidencia predominancia de un tipo de alteración en una litología específica.
- 3) En los afloramientos al N de la quebrada Chorrero Chico la alteración argílica, presente en granodioritas y dioritas, prevalece sobre las otras alteraciones de moderada a débil, pudiéndose relacionar a un sistema de estructuras.

- 4) La predominancia de alteraciones propilítica y fílica, junto con las características mineralógicas de la zona, demuestran que el modelo para pórfido de cobre está completo. Al no presentarse valores altos de alteración potásica se puede inferir que la zona no ha sido erosionada, por lo que el núcleo potásico estaría en una profundidad o lejanía desconocida.
- 5) Existe un ambiente de bajas temperaturas en relación a un ambiente de mayor temperatura. El vector general indicativo de temperatura bajas a temperaturas altas estaría hacia el E.
- 6) Se recomienda realizar un estudio de láminas delgadas para las muestras con el fin de validar los resultados.
- 7) Se recomienda que ENAMI EP concentre sus trabajos al E de la concesión Rosa Florida con campañas geofísicas con la finalidad de determinar altos y bajos de resistividad.

ANEXOS

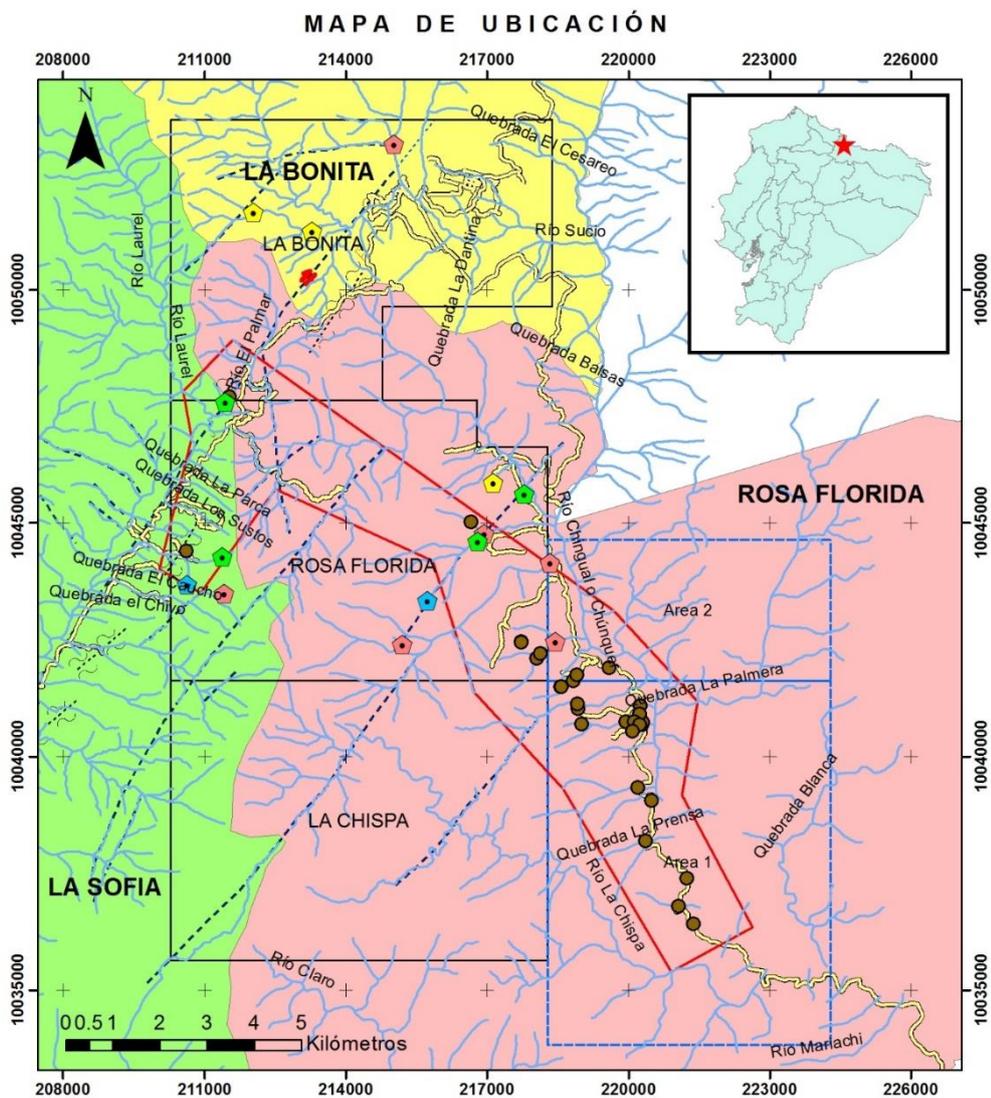
Anexo I Mapa de ubicación del proyecto de exploración “La Bonita”
Fuente: Autor



SIMBOLOGÍA

- Ríos Estructuras
- Vías
- Falla observada
- - - Falla Inferida
- Lineación
- · - · Zona de Cizalla
- ~~~~~ Deslizamiento

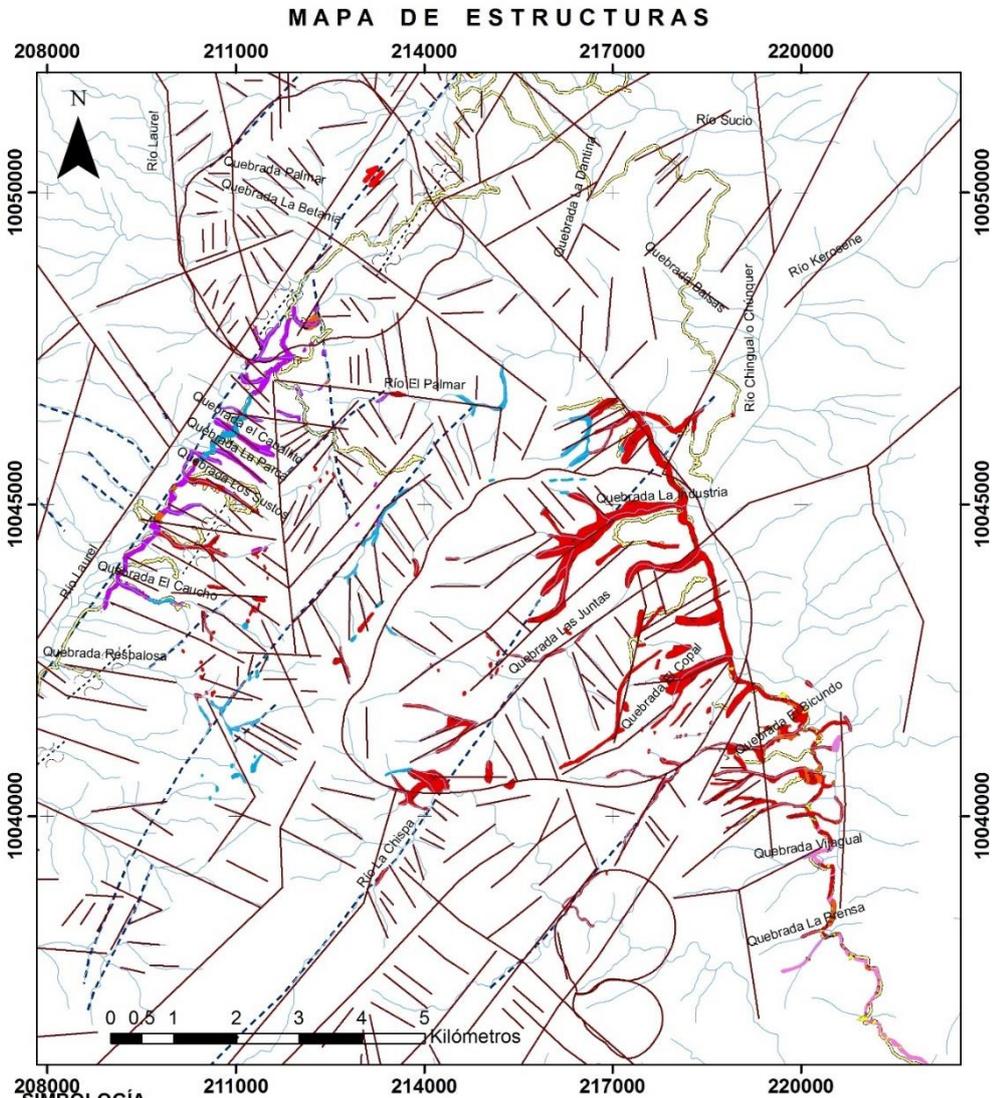
Anexo II Mapa de ubicación de nuevas concesiones y área de estudio.
Fuente: Autor



SIMBOLOGÍA

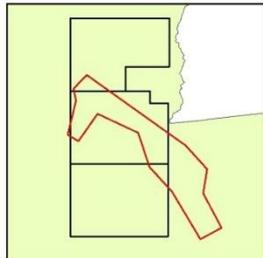
Ríos	Estructuras	Alteraciones (ENAMI EP)
Vías	Falla observada	Argílica
Muestras	Falla Inferida	Filica
Área de Estudio	Lineación	Potásica
Nueva Concesión	Zona de Cizalla	Propilítica
	Deslizamiento	

Anexo IV Mapa de estructuras
Fuente: Autor



208000 SIMBOLOGÍA

- | | | |
|--------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| — Vías | — Estructuras interpretadas | Afloramientos Geológicos |
| — Ríos | Estructuras | ■ Granodiorita |
| — Falla observada | — Falla observada | ■ Cuarzo Monzonita |
| --- Falla Inferida | --- Falla Inferida | ■ Diorita |
| ... Lineación | ... Lineación | ■ Andesita |
| ~ Zona de Cizalla | ~ Zona de Cizalla | ■ Metasedimento |
| --- Deslizamiento | --- Deslizamiento | ■ Filitas-esquistos-Ortoneiss |
| | | ■ Coluvial |



Anexo V Grupo de minerales de alteración en sistemas hidrotermales

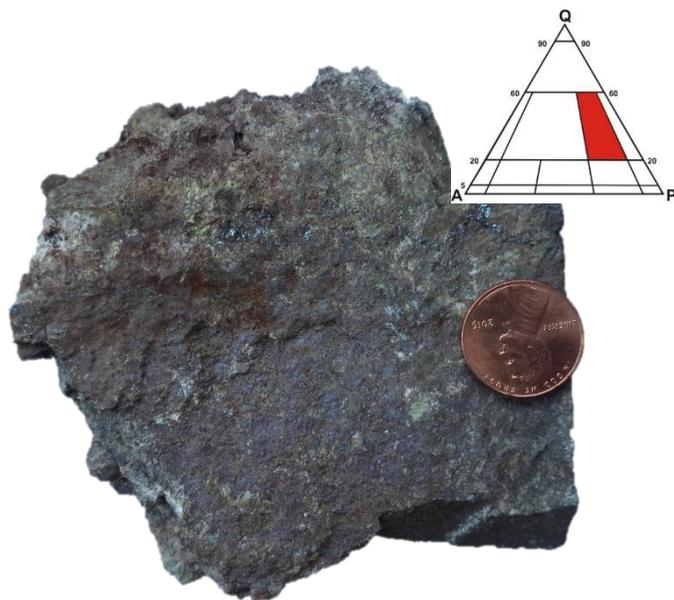
Fuente: (Corbett & Leach, 1998)

GRUPOS DE MINERALES DE ALTERACIÓN

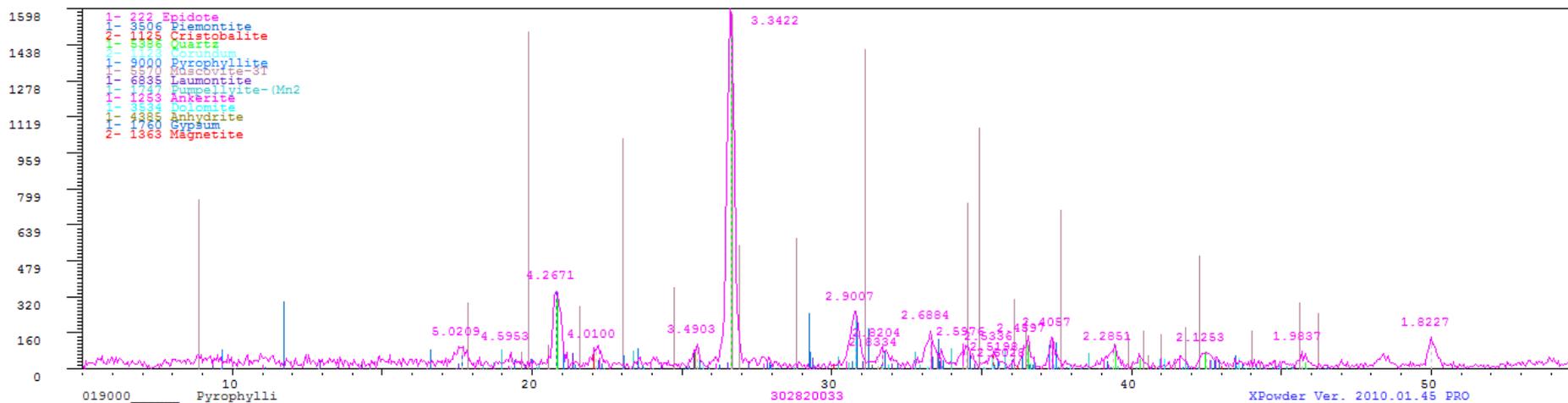
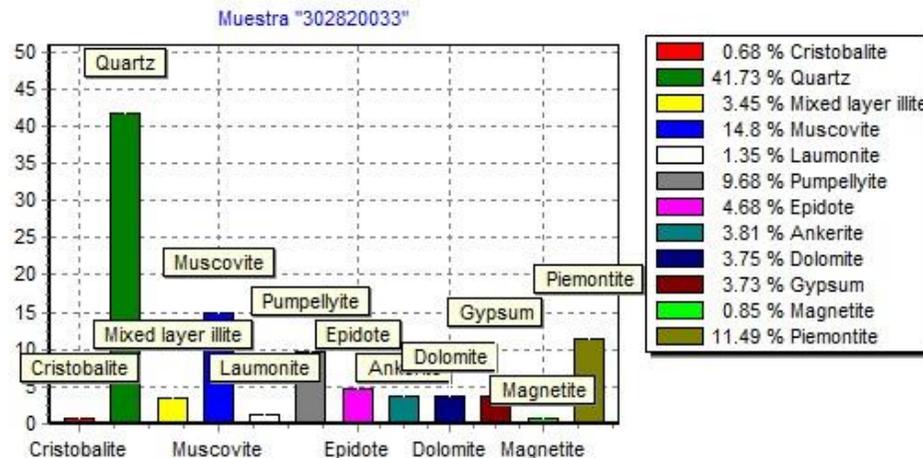
Grupo	Minerales	Características
Silica Group	Cristobalite Opaline silica Tridymite	Condiciones ácidas $T < 100^{\circ}\text{C}$
	Quartz	Único a altas temperaturas
	Chalcedony	Temperaturas intermedias ($100\text{-}200^{\circ}\text{C}$), en condiciones de rápido depósito.
Alunite Group	Alunite Andalusite	$T > 350\text{-}400^{\circ}\text{C}$
	Corundum	$T > 400\text{-}450^{\circ}\text{C}$
Kaolin Group	Halloysite	Ocurre a bajas temperaturas, producto de la meteorización supergena
	Kaolinite	Formado superficialmente, $T < 150\text{-}200^{\circ}\text{C}$
	Pyrophyllite	Formado a grandes profundidades, $T < 200\text{-}250^{\circ}\text{C}$
	Dickite	Entre los rangos anteriores
	Diaspore	Se encuentra junto a fases minerales del grupo de la alunita en zonas de alta silicificación.
Illite Group	Smectite	Ocurre a bajas $T < 100\text{-}150^{\circ}\text{C}$
	Illite-Smectite	$T < 100\text{-}200^{\circ}\text{C}$
	Illite	$T < 200\text{-}250^{\circ}\text{C}$
	Muscovite	$T > 250^{\circ}\text{C}$
	Sericite	Al ser muscovite fina con presencia de illite, es encontrada en niveles entre illite y muscovite bien cristalizada
	Paragonite	Es encontrada donde la roca de caja tiene elevada proporción $\text{Na}:\text{K}$
	Fuchsite Roscoelite	Comunmente depositadas por fluidos que atraviesan rocas volcánicas máficas o intrusivas.
Chlorite Group	Chlorite-smectite	Bajas temperaturas
	Chlorite Chamosite	Altas temperaturas
Calc-Silicate Group	Natrolite Chabazite Mesolite Mordenite Stilbite Heulandite	Zeolitas hidratadas se forman a $T < 150\text{-}200^{\circ}\text{C}$

	Laumontite Wairakite	Zeolitas menos hidratadas se forman a temperaturas entre 150-200°C, ocurren progresivamente a profundidad y niveles de mayor temperatura
	Prehnite Pumpellyite	En algunos sistemas son encontrados a temperaturas alrededor de 250-300°C
	Epidote	Poco cristalizada ocurre a temperaturas alrededor de 180-220°C, fases bien cristalizadas ocurren a $T > 250-300^\circ\text{C}$
	Actininolite	Ocurren en $T > 280-300^\circ\text{C}$
	Biotite	Predomina en intrusiones a $T > 300-325^\circ\text{C}$
	Clinopyroxene	$T > 300^\circ\text{C}$
	Garnet	$T > 325-350^\circ\text{C}$
	Montmorillonite Tremolite Vesuvianite Wollastonite	
Other minerals	Rhodochrosite Siderite	Carbonatos de Fe-Mn coexisten con kaolin e illita
	Ankerite Kutnahorite Dolomite	Carbonatos de <i>Ca-Mn-Mg-Fe</i> ocurren con clorita e illita
	Calcite	Carbonatos <i>Ca-Mg</i> coexisten con clorita y calco-silicatos
	Albite	Fluidos con alto $a_{Na} + /a_{K} +$
	Feldespatos alcalinos	Fluidos con bajo $a_{Na} + /a_{K} +$, la adularia ocurre a bajas temperaturas, mientras que la orthoclase es de altas temperaturas
	Anhydrite	Se forma en pH altos y $T > 100-150^\circ\text{C}$
	Gypsum	Ambientes de $T < 100-150^\circ\text{C}$
	Jarosite	Se forma como producto de meteorización en niveles superficiales y ambientes ácidos
	Apatite Tourmaline	Fases minerales que contienen elementos halógenos que indican que el fluido contiene componentes magmáticos volátiles, los cuales se asocian con sericita/mica formadas en ambientes a altas temperaturas y bajo pH
	Rutile Magnetite	

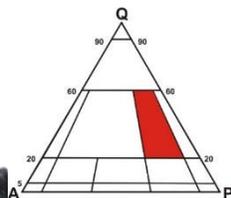
302820033



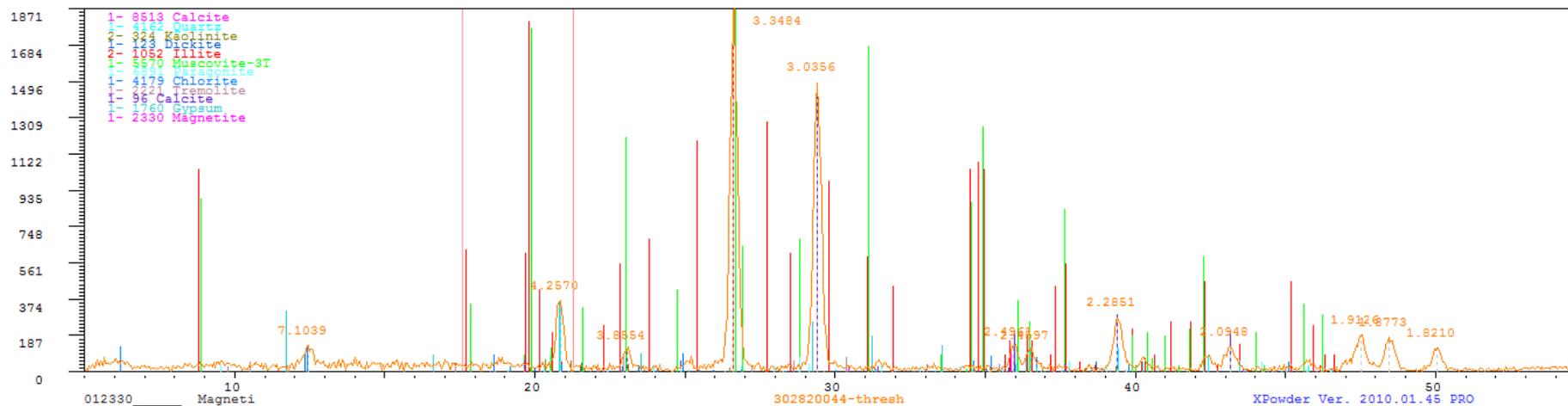
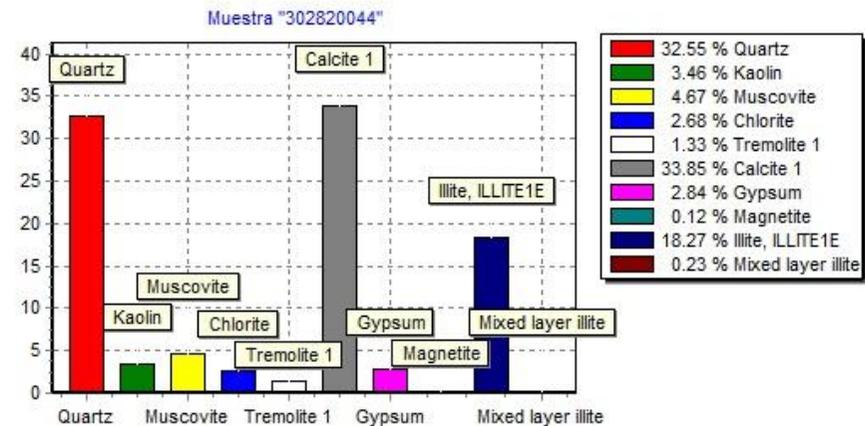
ROCA INTRUSIVA, GRANODIORITA, COLOR CAFÉ OSCURO, TEXTURA GRANULAR, LOS MINERALES PRIMARIOS SON CUARZO EN UNA MATRIZ ALTERADA DE MINERALES MÁFICOS, ALTERACIÓN DÉBIL DE EPIDOTA-CLORITA EN FRACTURAS, MINERALIZACIÓN DISEMINADA Y RELLENANDO ESPACIOS DE MAGNETITA Y ESPECULARITA <1%, OXIDACION DE MANGANESO, MAGNETISMO DEBIL A MODERADO



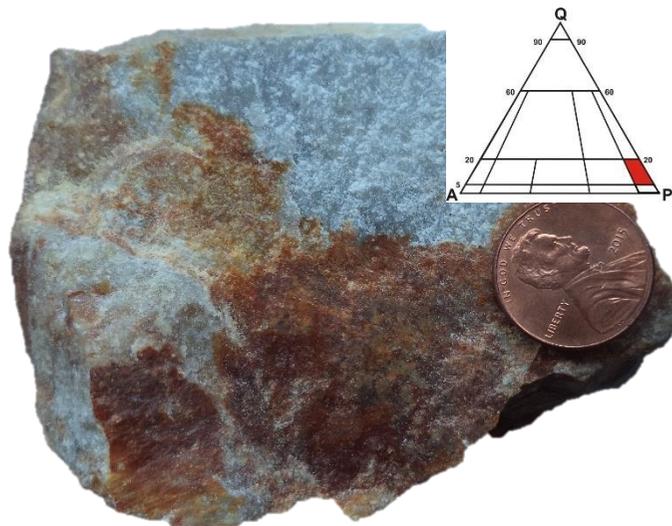
302820044



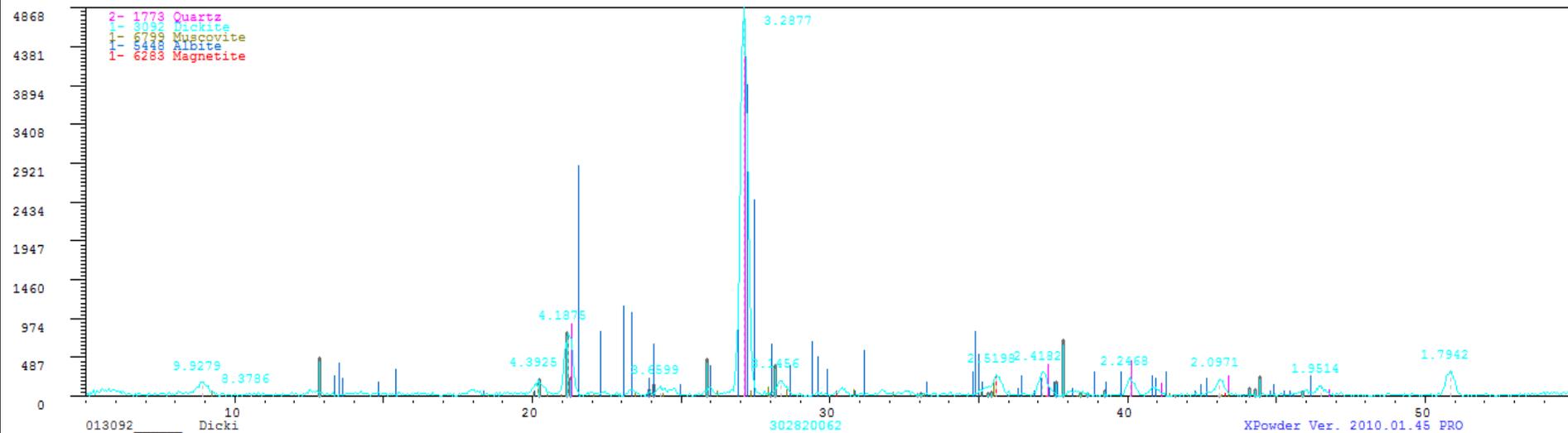
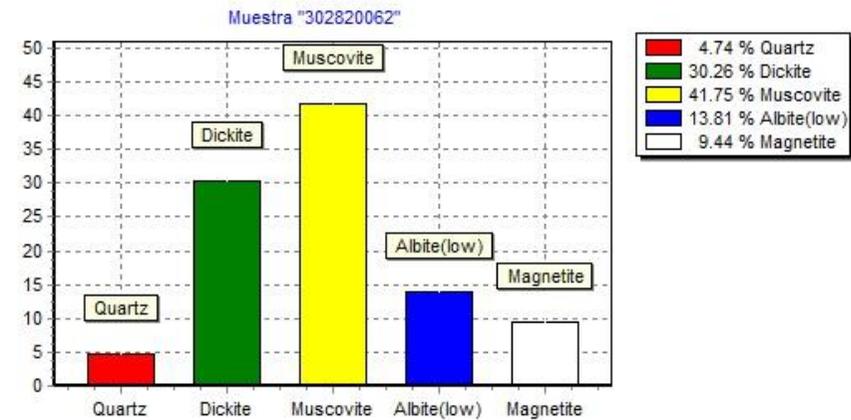
ROCA INTRUSIVA, GRANODIORITA, COLOR GRIS VERDOSO, LOS MINERALES PRIMARIOS SON CUARZO Y PLAGIOCLASAS, MINERAL SECUNDARIO ES CALCITA, ALTERACIÓN FUERTE DE CLORITA Y DE DÉBIL A MODERADA DE SERICITA, MINERALIZACIÓN DISEMINADA DE PIRITA <0.5% Y TRAZAS DE CALCOPIRITA, OXIDACIÓN DE HIERRO EN FRACTURAS DANDO LIMONITAS, HEMATITAS Y GOETHITA, MAGNETISMO DÉBIL, PRESENCIA DE PEQUEÑAS CAJAS RETRABAJADAS.



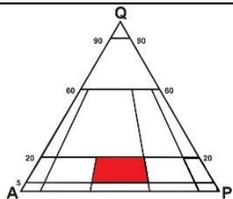
302820062



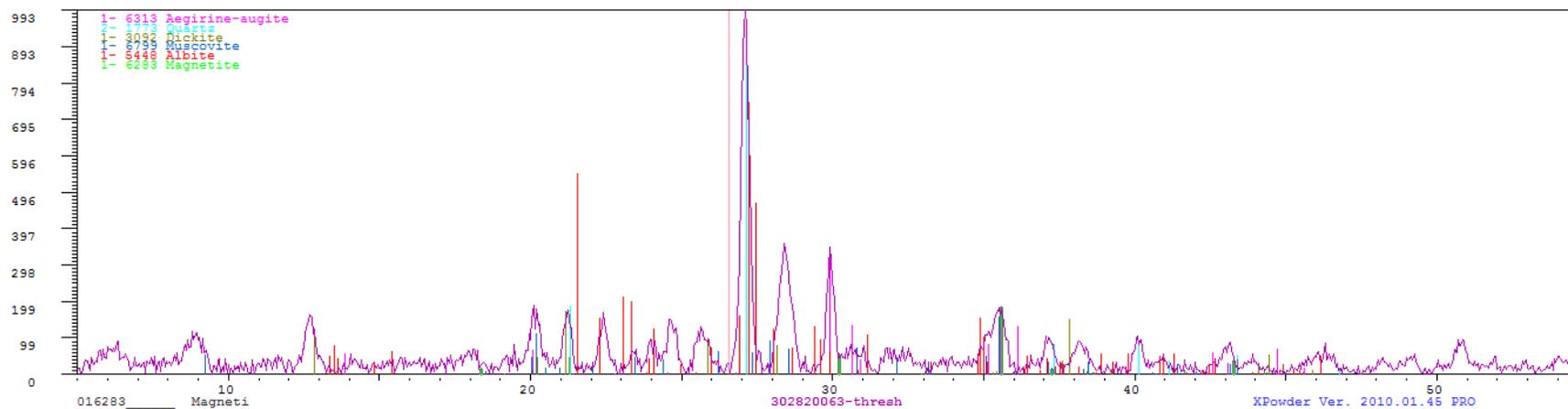
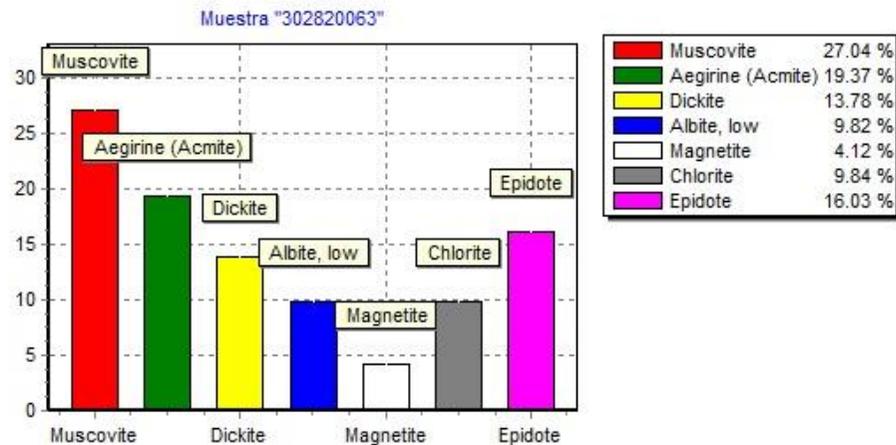
ROCA INTRUSIVA, CUARZODIORITA, COLOR CAFÉ ROJIZO, TEXTURA AFANITICA DEBIDO A LA FUERTE SILICIFICACION, TRAZAS DE PIRITA COMO PARTE DE LA MINERALIZACIÓN, TAMBIEN SE LA HALLA DISEMINADA, ALTERACIÓN DÉBIL A MODERADA DE SERICITA, OXIDOS DE HIERRO EN FRACTURAS



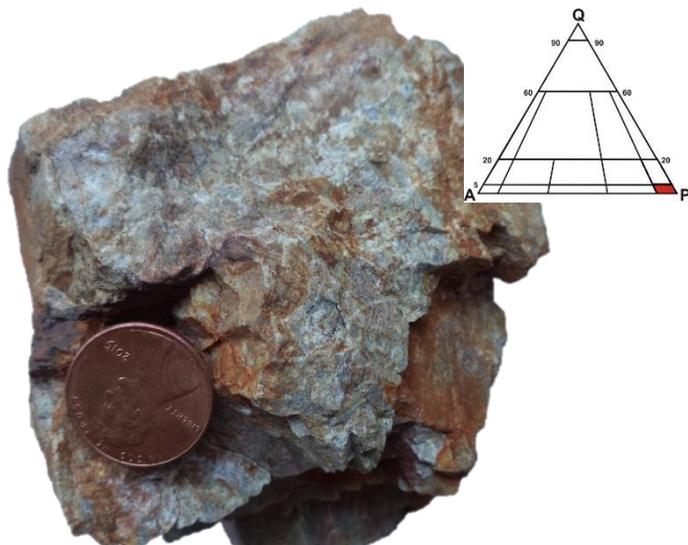
302820063



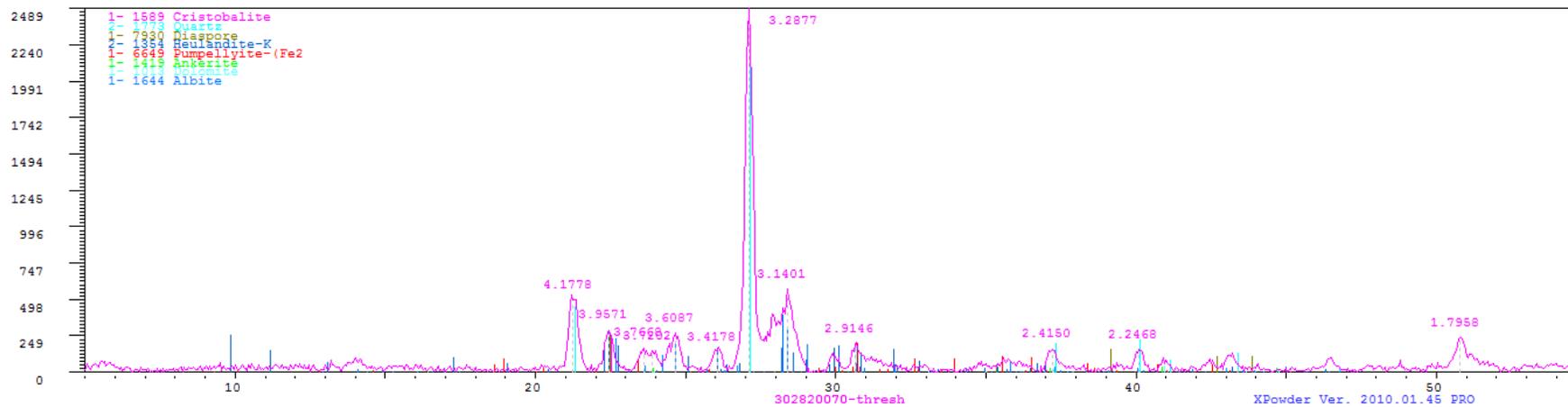
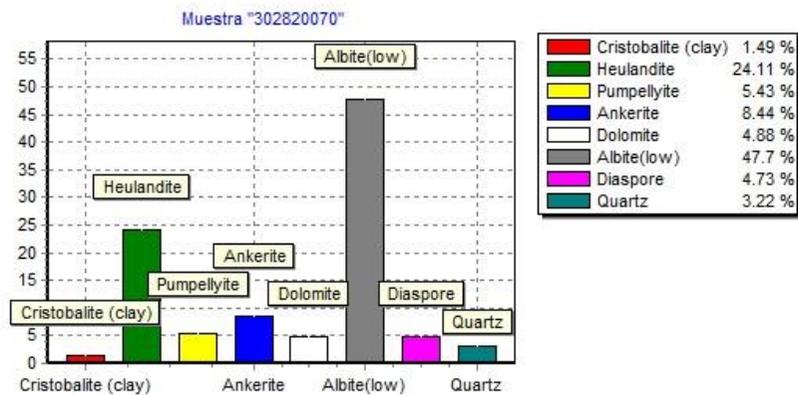
ROCA INTRUSIVA, CUARZOMONZONITA, COLOR VERDE, FUERTEMENTE ALTERADA **CLORITA Y EPIDOTA**, CARBONATO DE CALCIO EN FRACTURAS, SIN MINERALIZACION



302820070



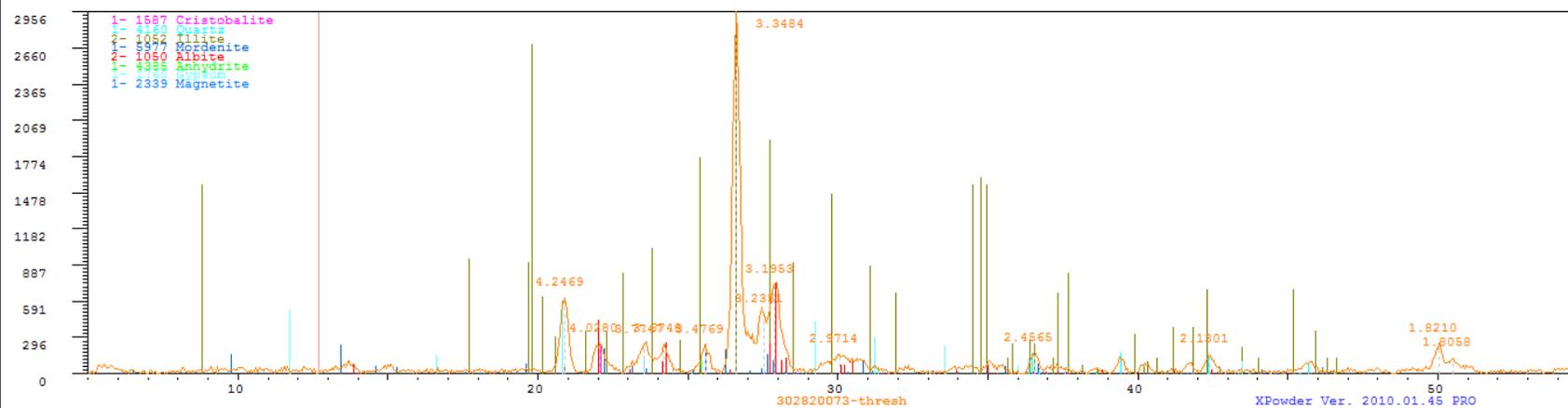
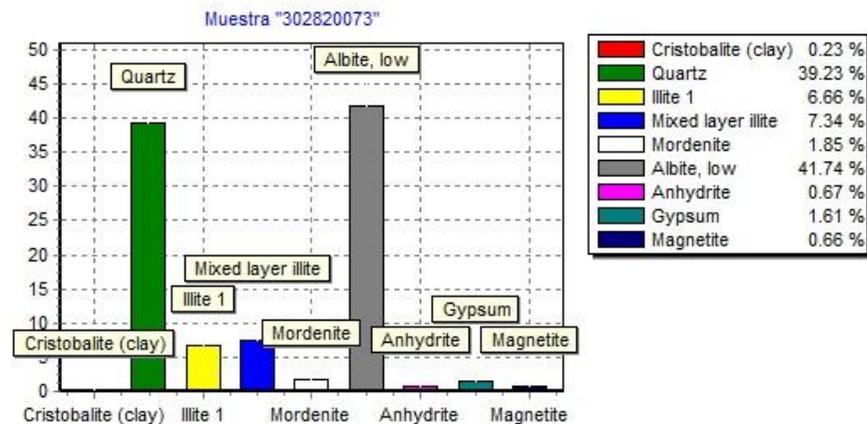
ROCA INTRUSIVA -VOLCÁNICA, DIORITA O CUARCITA?, COLOR GRIS AZULADO, TEXTURA FANERITICA CON FUERTE DIACLASAMIENTO, PRESENCIA DE CUARZO, FELDESPATOS Y PLAGIOCLASAS, ALTERACION FUERTE DE LA MATRIZ POR SILICIFICACIÓN, CUARZO-SERICITA EN OVER PRINTING Y EPIDOTA CON MINERALES ARCILLOSOS EN MENOR PROPORCIÓN, TRAZAS DE PIRITA COMO PARTE DE LA MINERALIZACIÓN, OXIDACIÓN DE MANGANESO DISEMINADO EN FRACTURAS



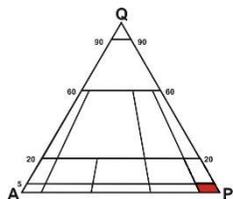
302820073



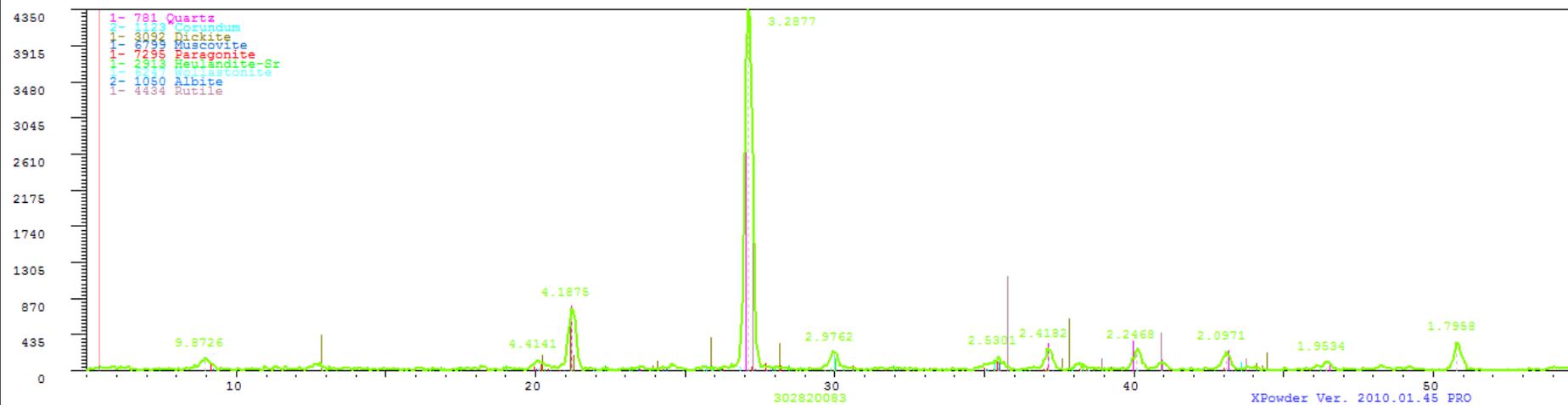
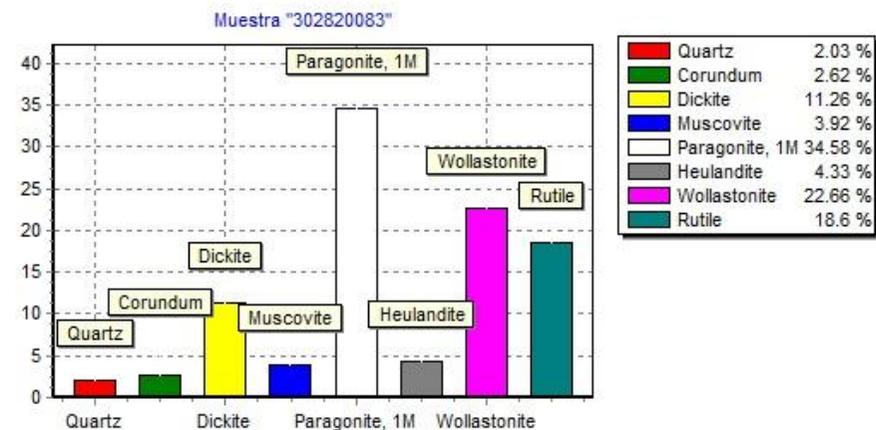
ESQUISTO SERICITICO, COLOR GRIS AZULADO, TEXTURA FANERÍTICA EQUIGRANULAR, COMPUESTA POR CUARZO, FELDESPATOS, PLAGIOCLASAS, ALTERACIÓN MODERADA CUARZO-SERICITA EN MATRIZ SILICIFICADA, TRAZAS DE EPIDOTA, MAGNETITA DISEMINADA COMO MINERALIZACIÓN, FUERTE MAGNETISMO



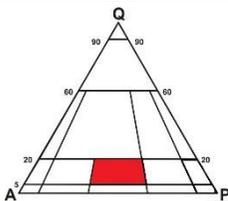
302820083



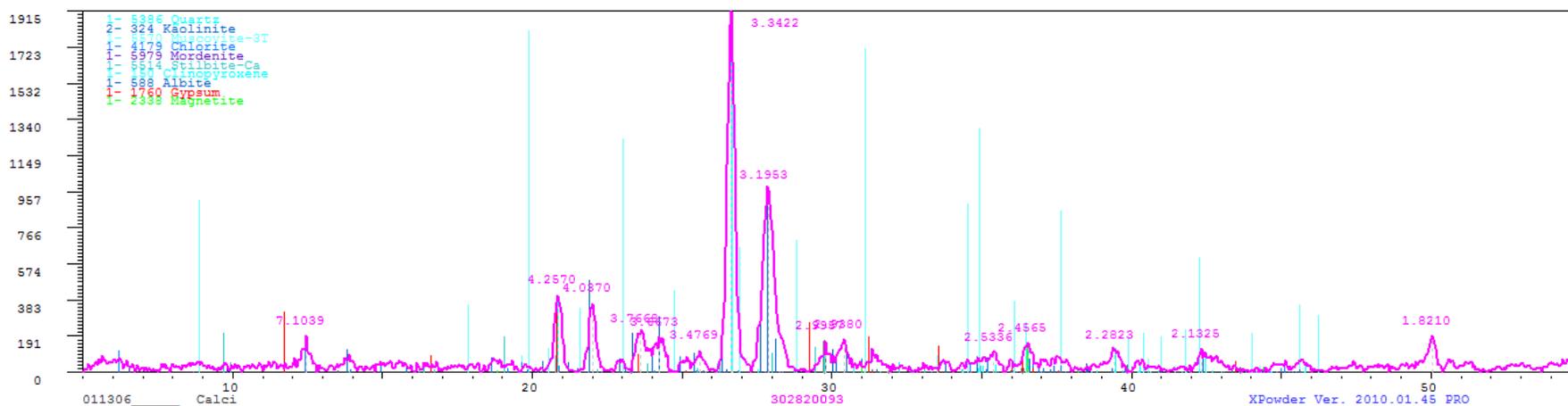
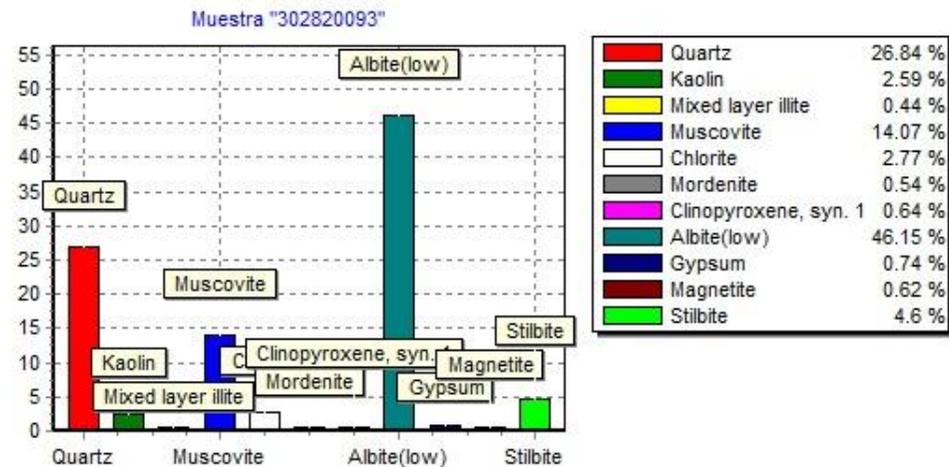
ROCA INTRUSIVA, DIORITA, COLOR GRIS CLARO, NO SE RECONOCE TEXTURA ORIGINAL, FUERTEMENTE ALTERADA CUARZO SERICITA MODERADA, CARBONATOS DISEMINADOS EN VETILLAS O RELLENANDO FRACTURAS, TRAZAS DE PIRITA



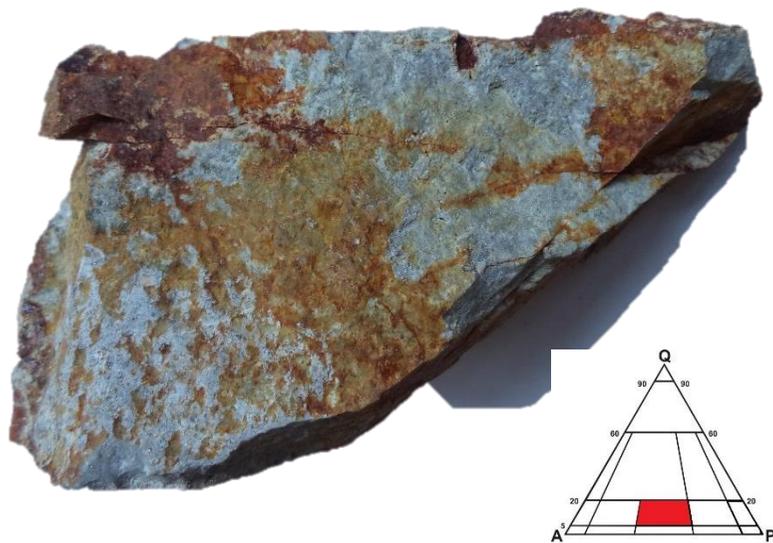
302820093



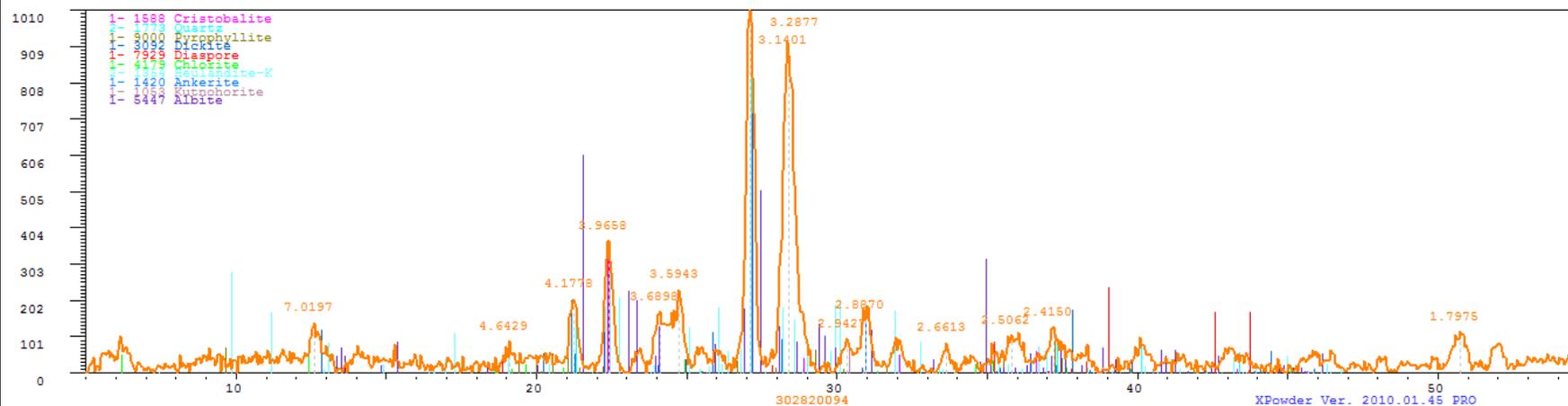
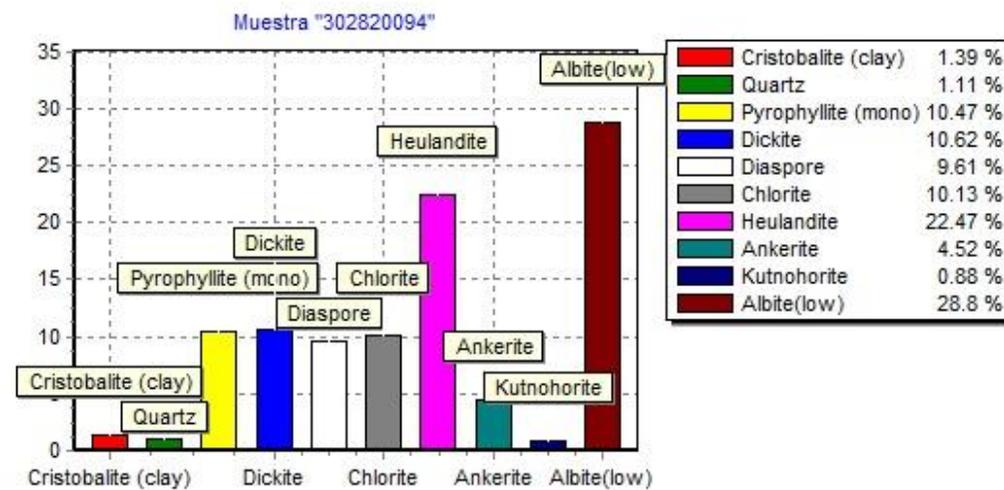
ROCA INTRUSIVA, CUARZOMONZONITA, COLOR GRIS VERDOSO, TEXTURA FANERITICA EQUIGRANULAR DE GRANO MEDIO, COMPUESTA POR CUARZO, FELDSPATO, HORBLENDA, ALTERACIÓN CUARZO-SERICITA, CLORITA MODERADA REMPLAZANDO MÁFICOS Y TRAZAS DE EPIDOTA, MINERALIZACIÓN DE PIRITA Y CALCOPIRITA DISEMINADA <1%, OXIDACIÓN DÉBIL, MAGNETISMO DÉBIL



302820094



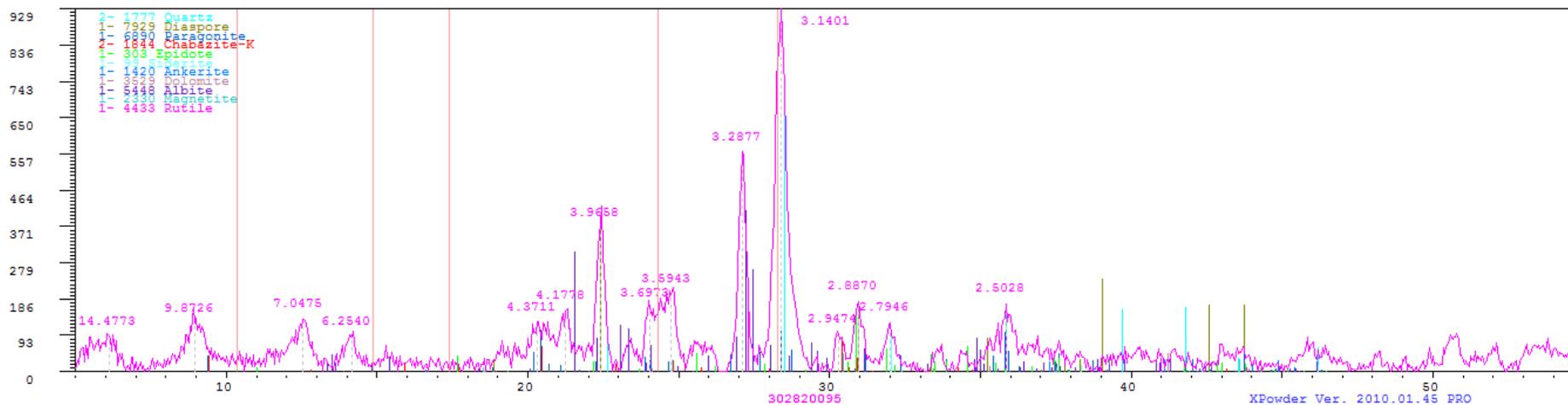
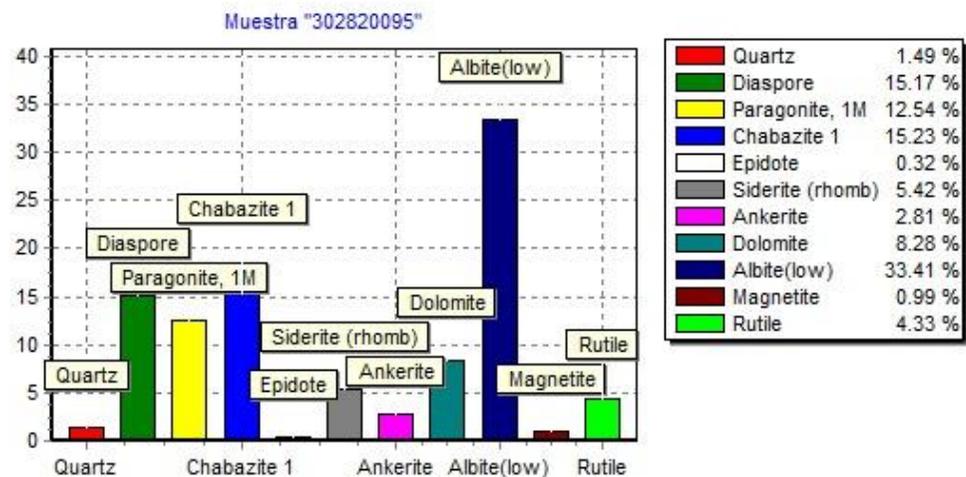
ROCA INTRUSIVA, CUARZOMONZONITA, COLOR GRIS AZULADA, LA TEXTURA ES IRRECONOCIBLE POR MATRIZ SILICIFICADA, ALTERACIÓN FUERTE DE CUARZO-SERICITA, TRAZAS DE EPIDOTA Y CLORITA, MINERALIZACIÓN DE PIRITA Y CALCOPIRITA DISEMINADA <1%, FUERTE OXIDACIÓN DE HIERRO EN FRACTURAS



302820095



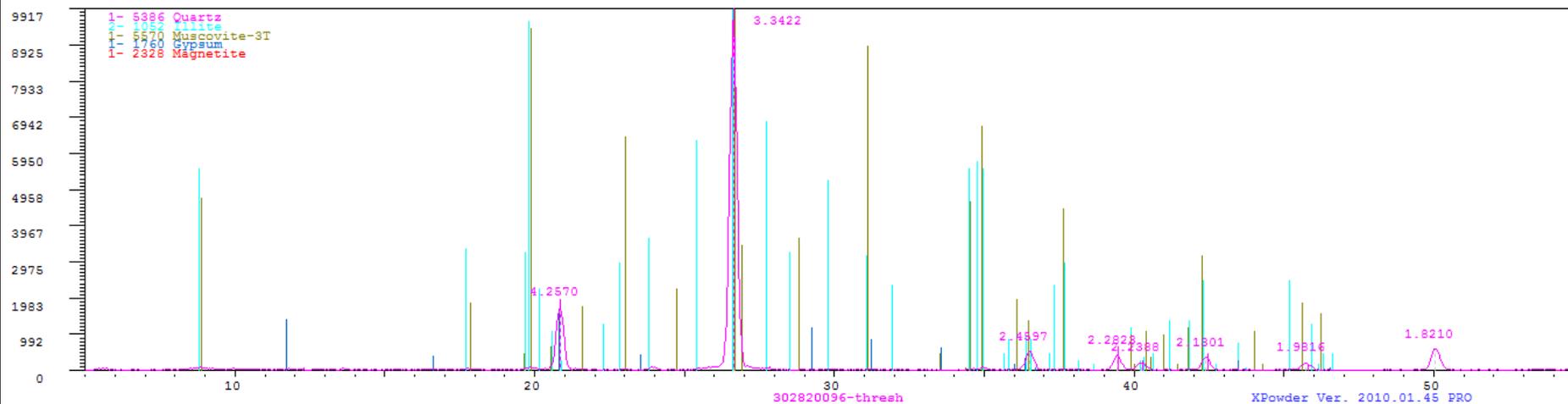
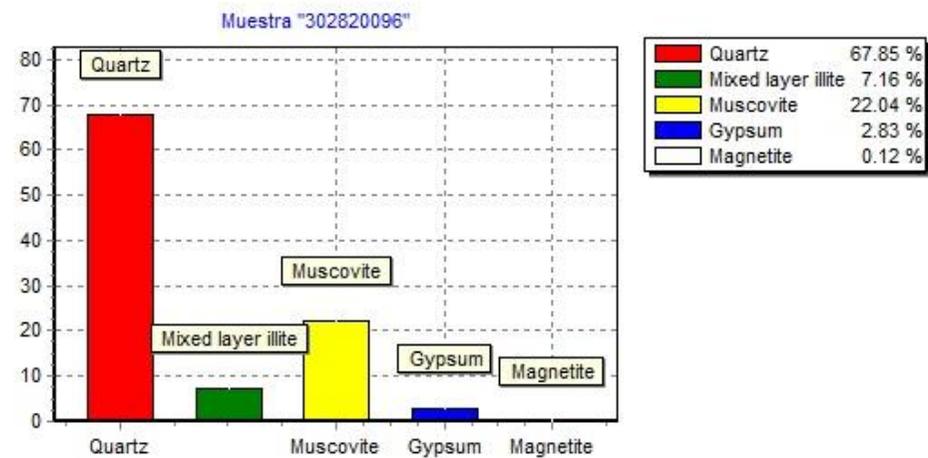
ROCA VOLCÁNICA, TOBA, COLOR BLANQUESINO, TEXTURA FUERTEMENTE ALTERADA, COMPUESTA POR FELDESPATOS, ALTERACIÓN FUERTE DE FELDESPATOS A ARCILLAS, CAOLIN Y SERICITA MODERADA, MINERALIZACIÓN DE PIRITA DISEMINADA <0.5%, OXIDOS DE HIERRO EN FRACTURAS Y DEBIL MAGNETISMO



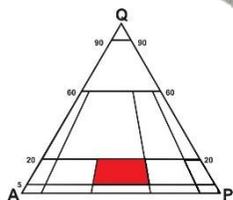
302820096



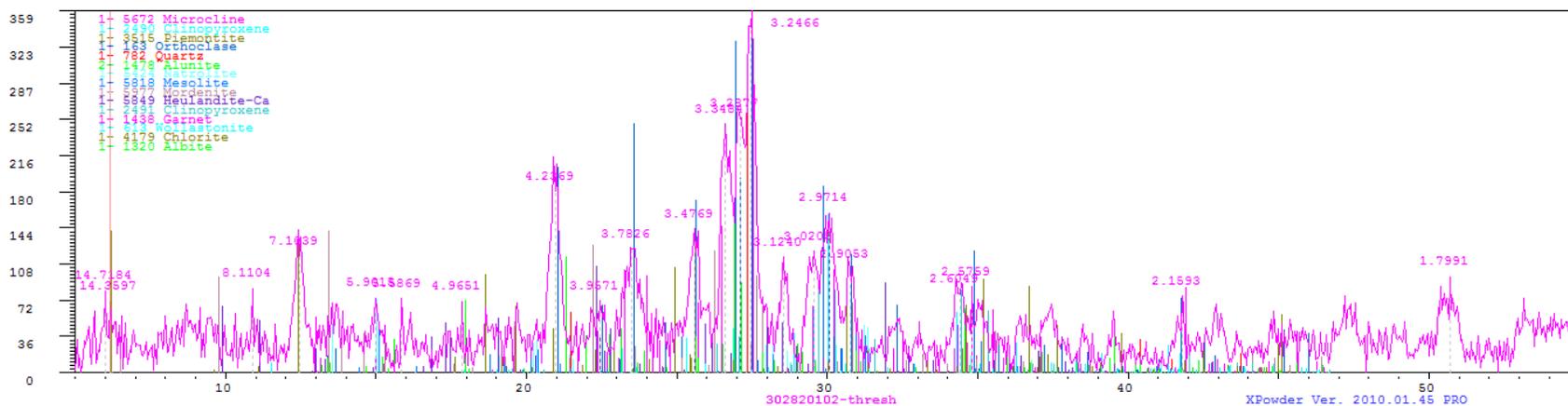
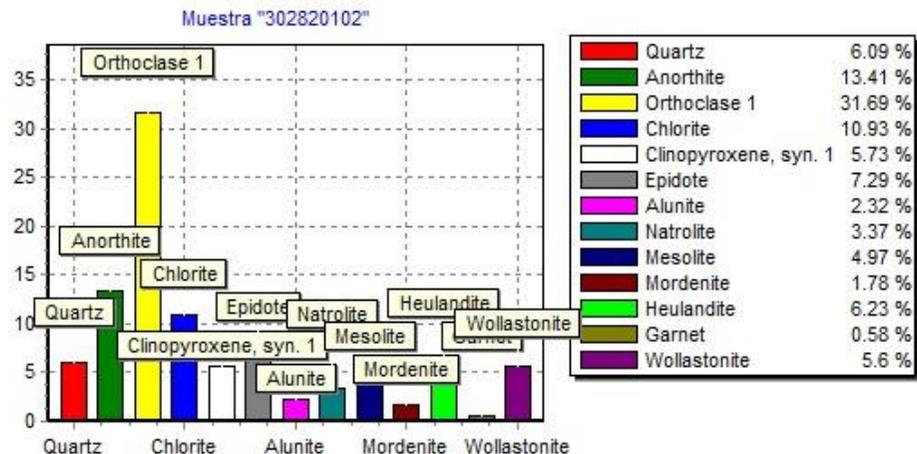
ROCA INTRUSIVA, GRANODIORITA, COLOR GRIS CLARO, FUERTEMENTE SILICIFICADA CON ALTERACIÓN MODERADA A FUERTE DE CUARZO-SERICITA-PIRITA, MINERALIZACIÓN DE PIRITA DISEMINADA, PRESENCIA DE OXIDOS COMO HEMATITE, GOETHITA



302820102



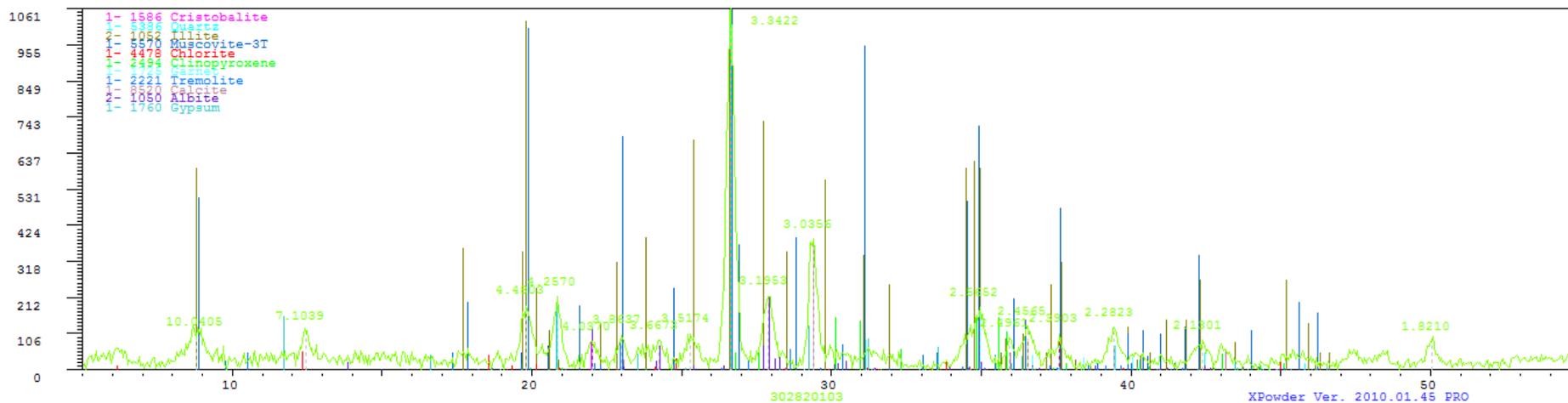
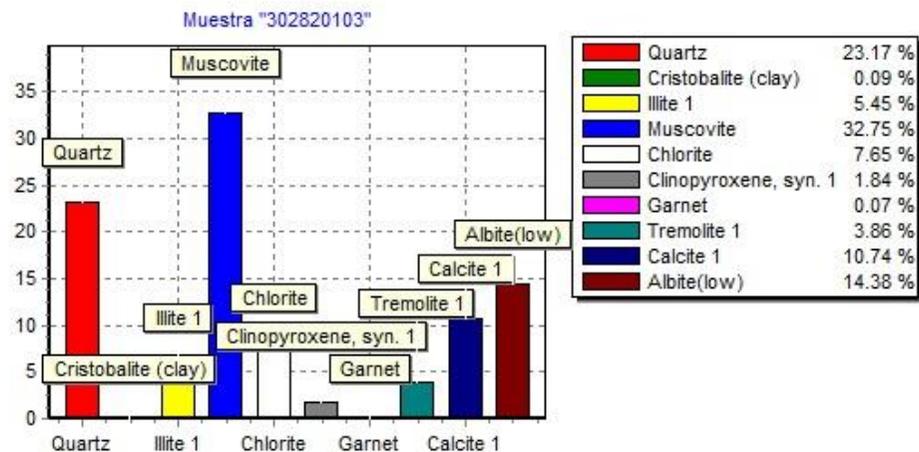
ROCA INTRUSIVA, DIORITA, COLOR GRIS VERDOSO, TEXTURA FANERITICA EQUIGRANULAR DE GRANO FINO A MEDIO, COMPUESTA POR CUARZOS, PLAGIOCLASAS, HORBLENDAS, ALTERACIÓN MODERADA DE CLORITA, ALTERACIÓN DÉBIL DE FELDESPATOS POTÁSICOS, ALTERACIÓN DEBIL DE SERICITA Y TRAZAS DE EPIDOTA, COMO PARTE DE LA MINERALIZACION PRESENCIA DE MINERALES GRISOS CON BRILLO METÁLICO Y ESPECULARITA



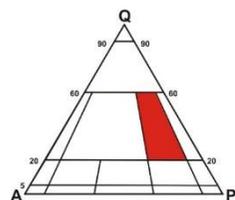
302820103



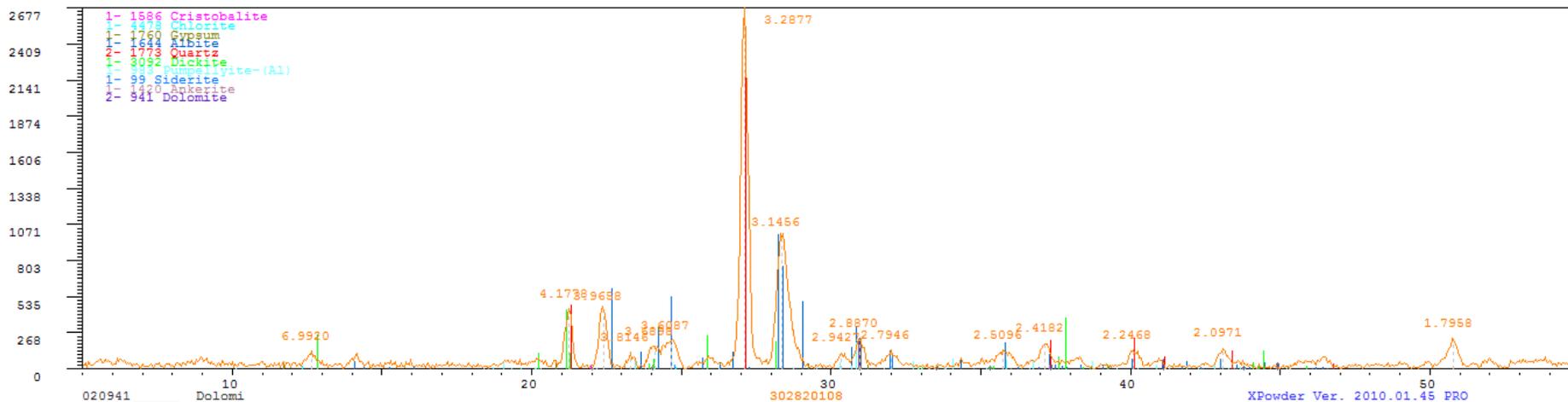
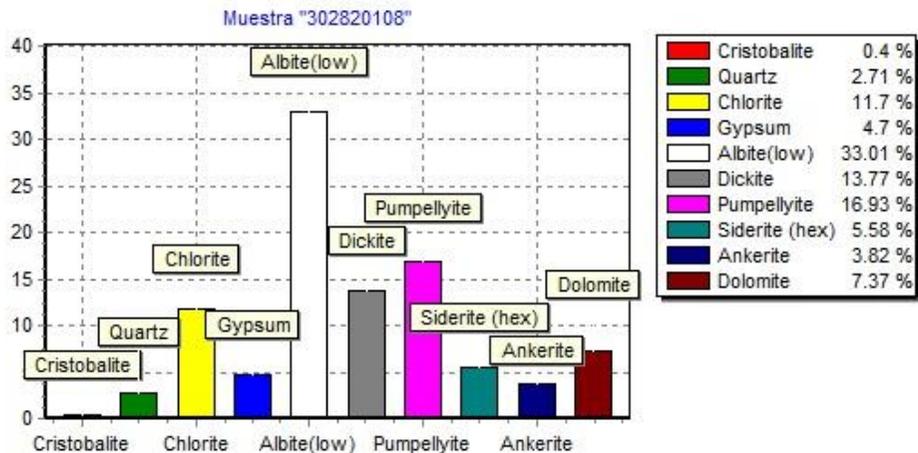
ROCA DE FALLA FUERTEMENTE ALTERADA, VETILLAS DE CALCITA Y ARCILLAS MILONITICAS RELLENANDO ESPACIOS.



302820108



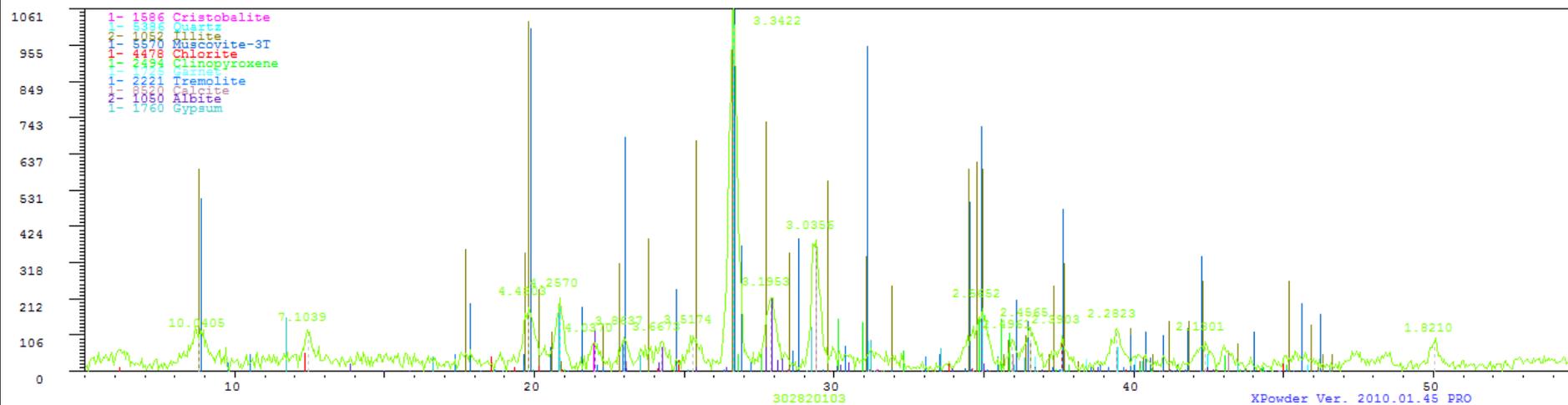
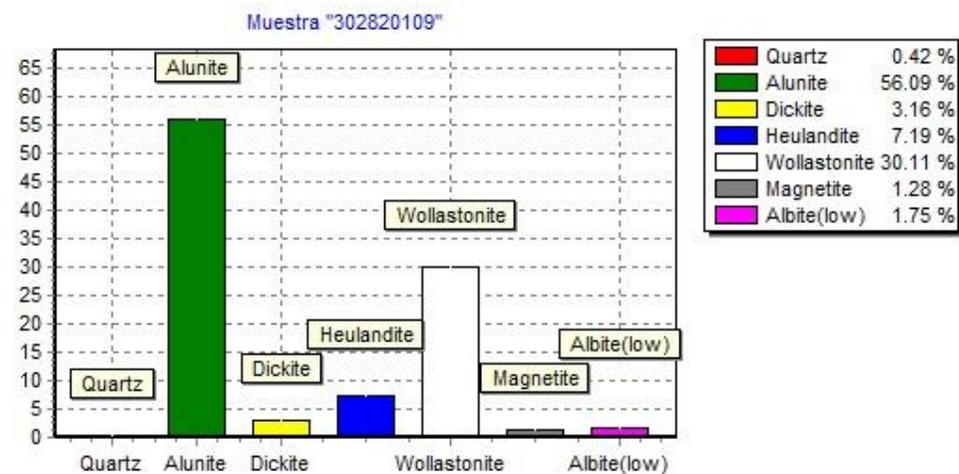
ROCA INTRUSIVA, DIORITA, COLOR GRIS VERDOSO, TEXTURA FANERITICA EQUIGRANULAR DE GRANO MEDIO, COMPUESTA POR CUARZO, FELDESPATO, HORBLENDA, ALTERACIÓN CUARZO-SERICITA, CLORITA MODERADA REMPLAZANDO MÁFICOS Y TRAZAS DE EPIDOTA, MINERALIZACIÓN DE PIRITA Y CALCOPIRITA DISEMINADA <1%, OXIDACIÓN DÉBIL, MAGNETISMO DÉBIL



302820109



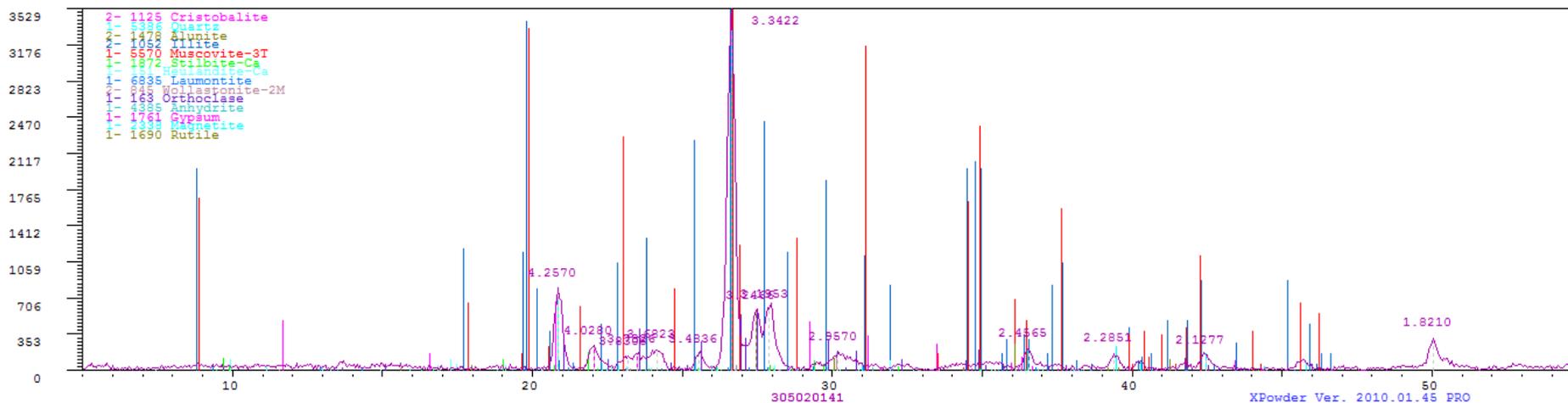
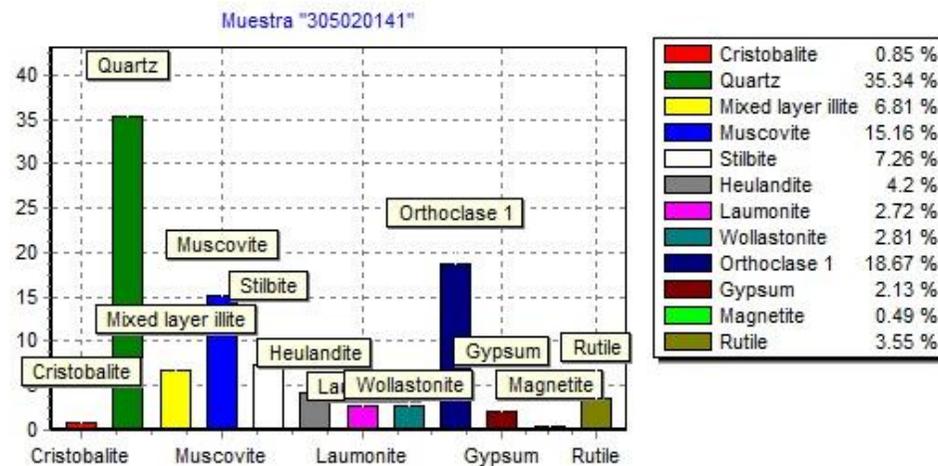
„ „, COLOR GRIS VERDOSA, SIN TEXTURA, FUERTEMENTE ALTERADA, SE OBSERVAN ESTRIAS POR MOVIMIENTOS, ALTERACION CLORITA-SERICITA MODERADA, CARBONATO DE CALCIO, POSIBLE PROTOMILONITA



305020141



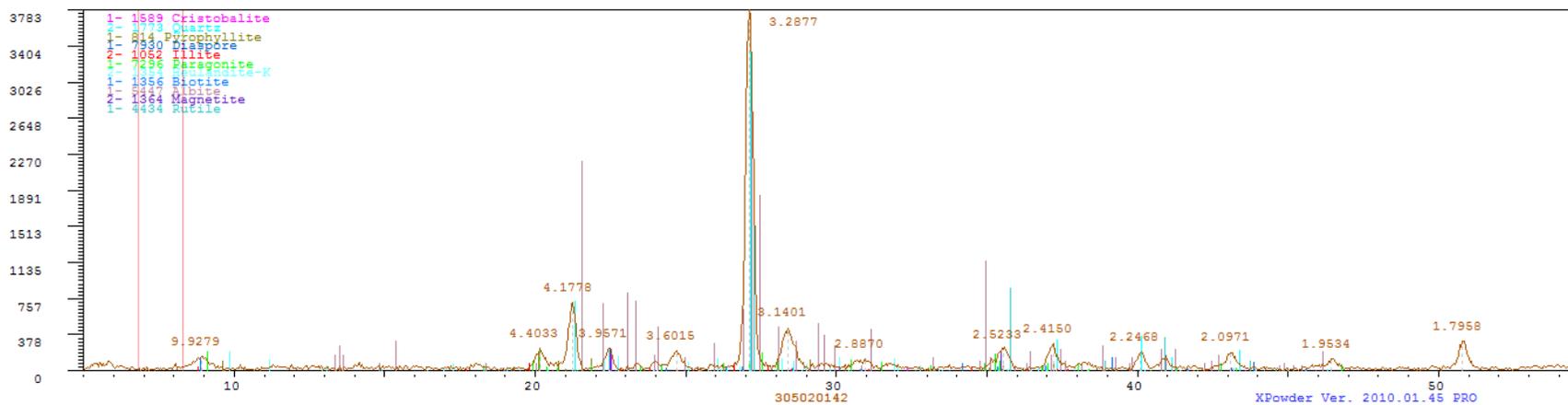
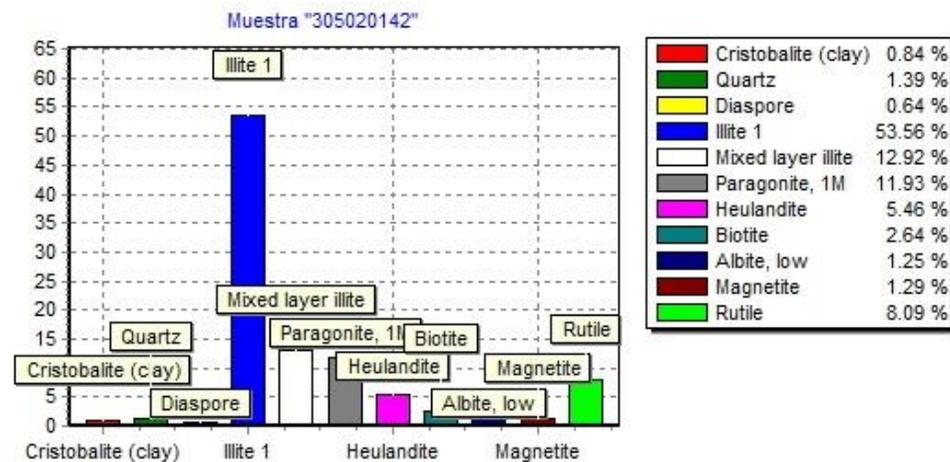
„ „ „ COLOR BLANCO, COMPUESTA POR CUARZO Y HORBLENDAS, ALTERACION DEBIL DE CLORITA, NO HAY MINERALIZACIÓN, DIQUE?



305020142



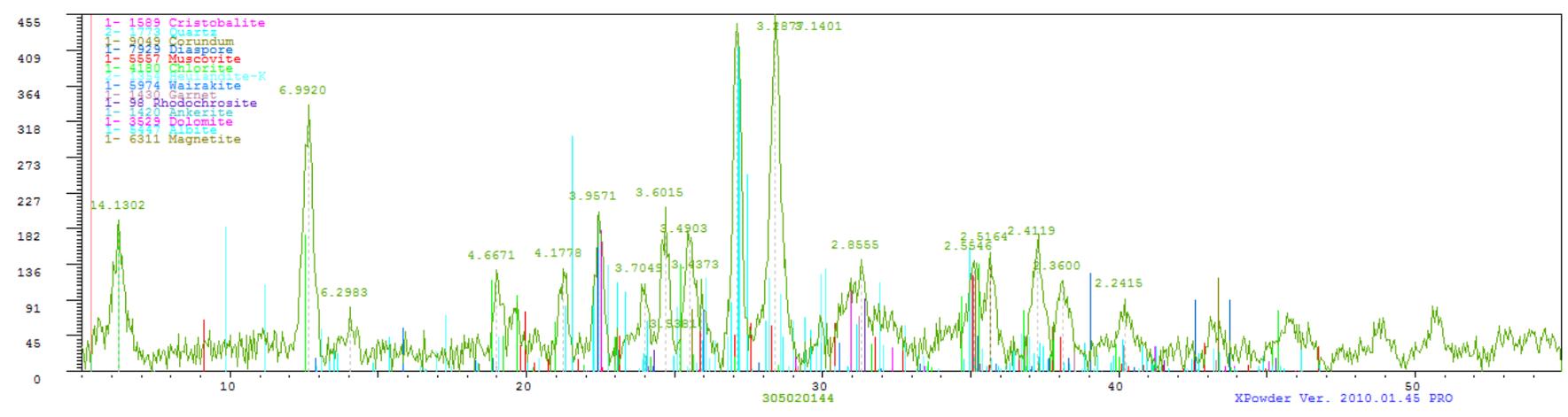
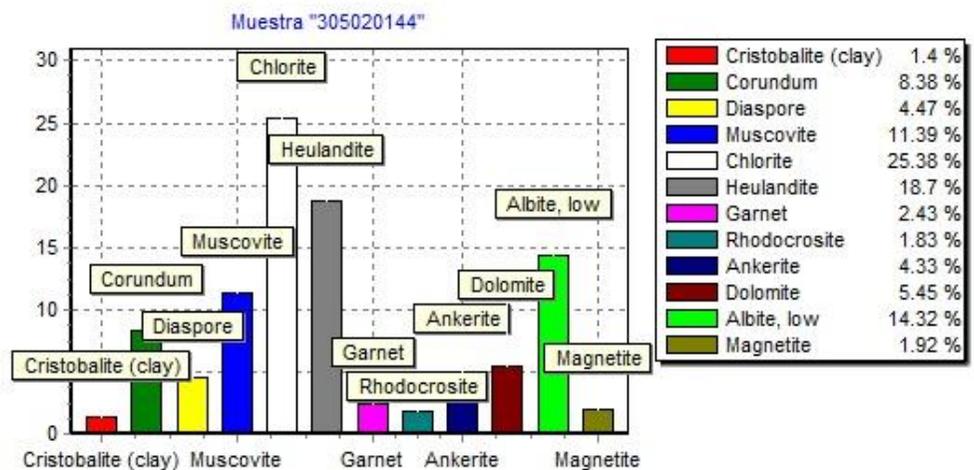
ROCA INTRUSIVA, DIORITA, COLOR GRIS VERDOSO, FUERTE ALTERACIÓN POR LO QUE NO SE RECONOCE MINERALES, ALTERACIÓN FUERTE CUARZO-SERICITA-PIRITA, MINERALIZACIÓN DE PIRITA DISEMINADA, OXIDACIÓN EN FRACTURA, DÉBIL MAGNETISMO



305020144



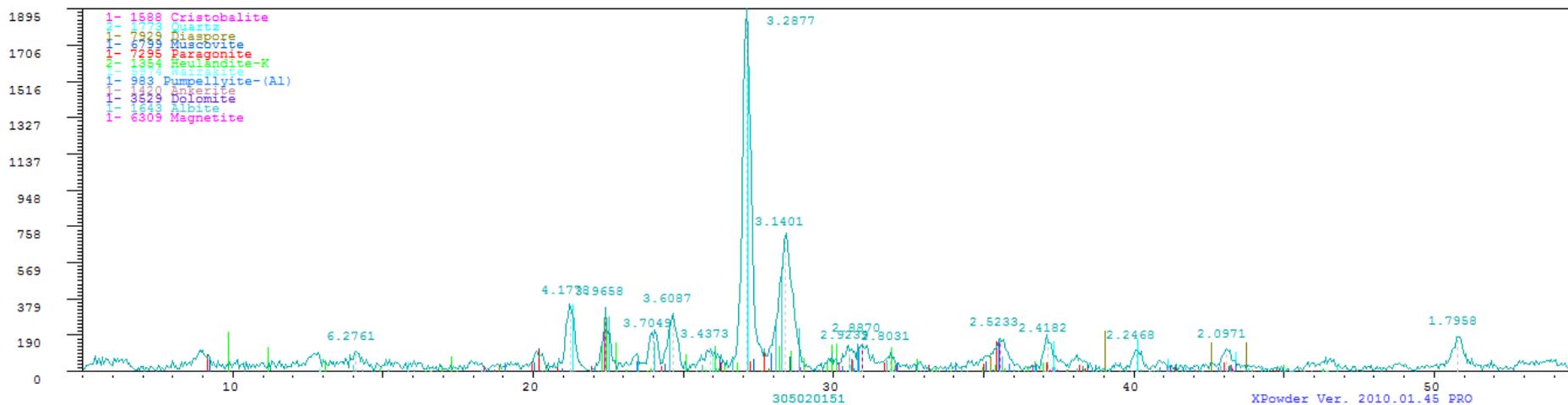
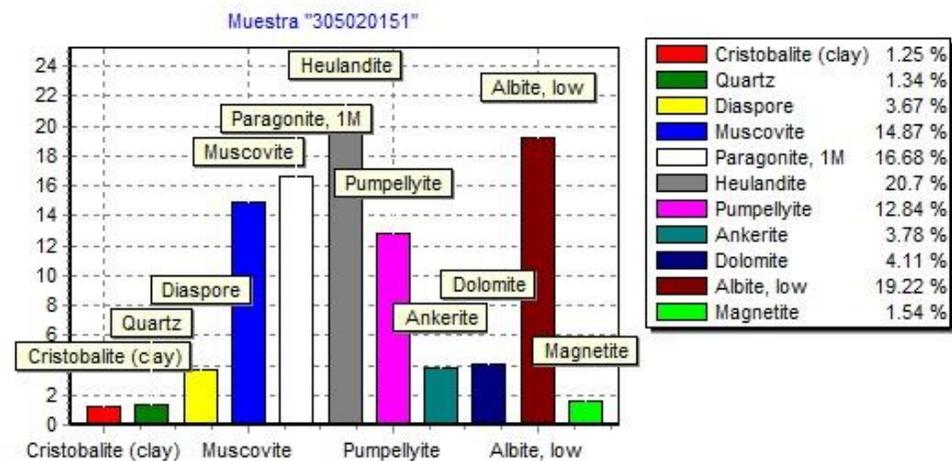
ROCA INTRUSIVA, DIORITA, COLOR GRIS VERDOSO, DE GRANO MEDIO, FUERTEMENTE ALTERADA, FUERTE CLORITIZACIÓN, MODERADA SERICITA, MINERALIZACIÓN DISEMINADA DE PIRITA <1%, MAGNETISMO DEBIL



305020151



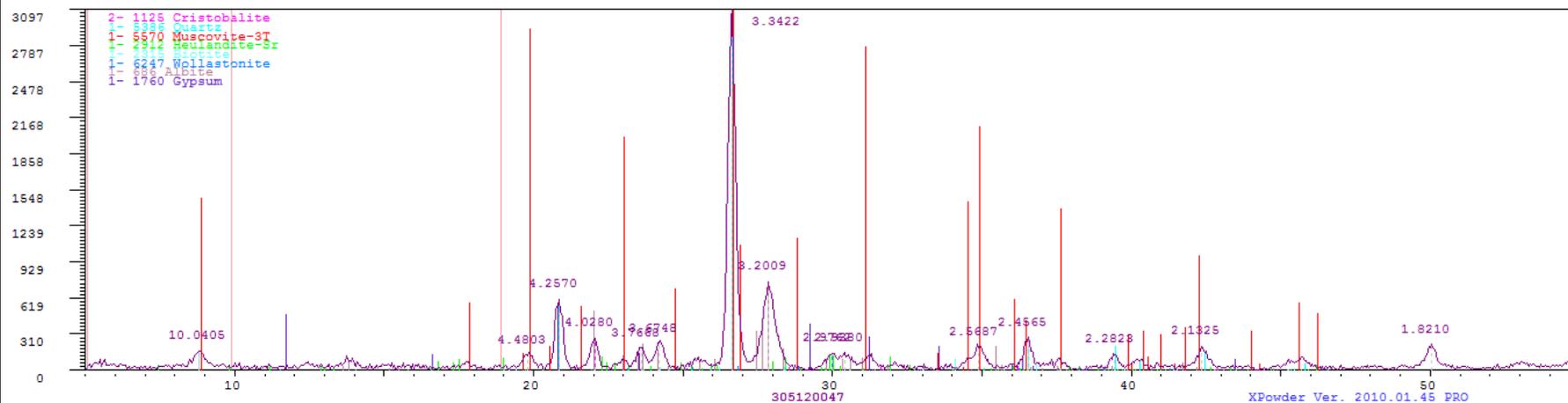
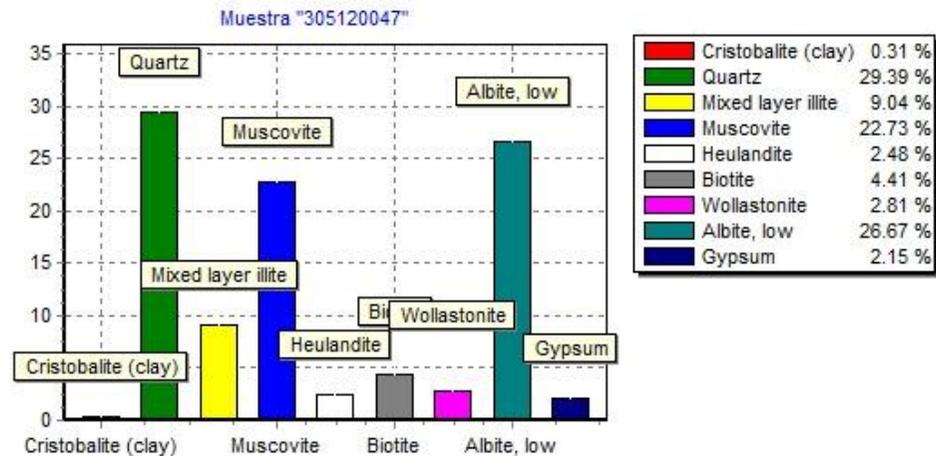
ROCA INTRUSIVA, DIORITA, EQUIGRANULAR, COMPUESTA POR CUARZO, PLAGIOCLASAS, ALTERACIÓN MODERADA DE CLORITA, SERICITA Y EPIDOTA DEBIL, MINERALIZACIÓN DE PIRITA DISEMINADA <1%, TRAZAS DE CALCOPIRITA, MAGNETISMO DEBIL.



305120047



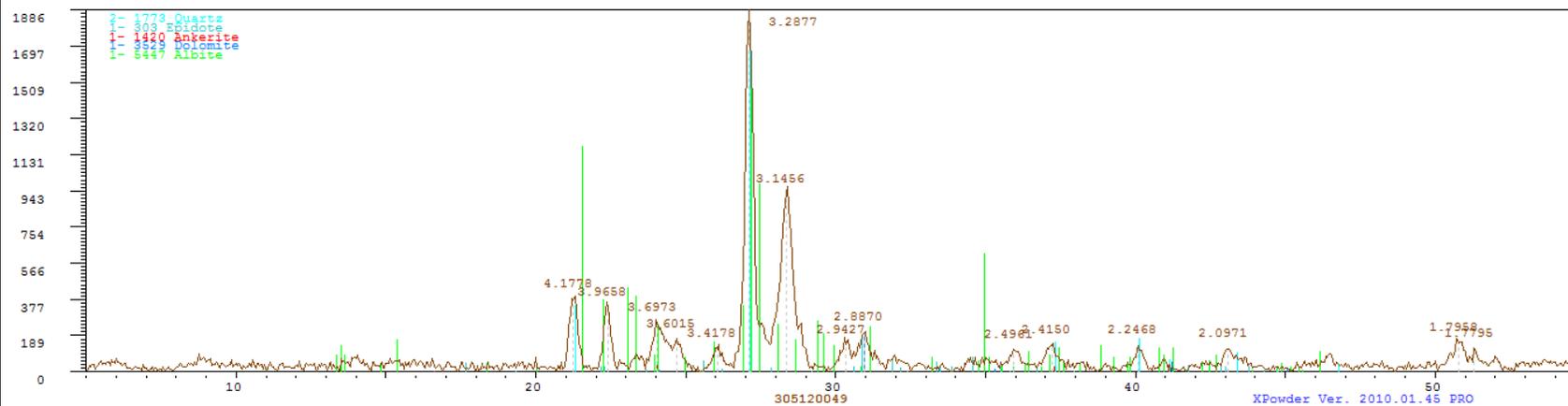
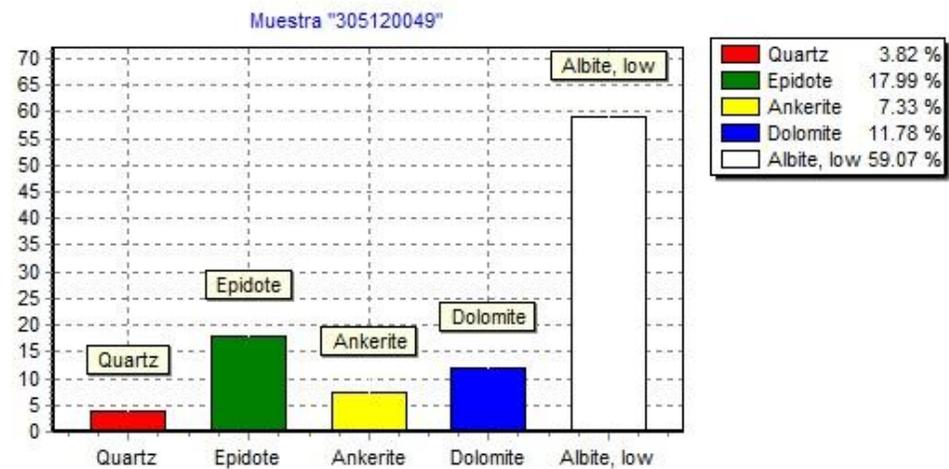
ROCA INTRUSIVA, GRANODIORITA, COLOR BLANCO, TEXTURA PORFIRITICA DE GRANO MEDIO COMPUESTA POR CUARZO, PLAGIOCLASAS Y HORBLENDAS, ALTERACIÓN MODERADA DE CLORITA Y TRAZAS DE EPIDOTA, PIRITA DISEMINADA COMO PARTE DE LA MINERALIZACIÓN, TRAZAS DE CALCOPITITA Y MAGNETITA, OXIDACIÓN EN LAS FRACTURAS



305120049



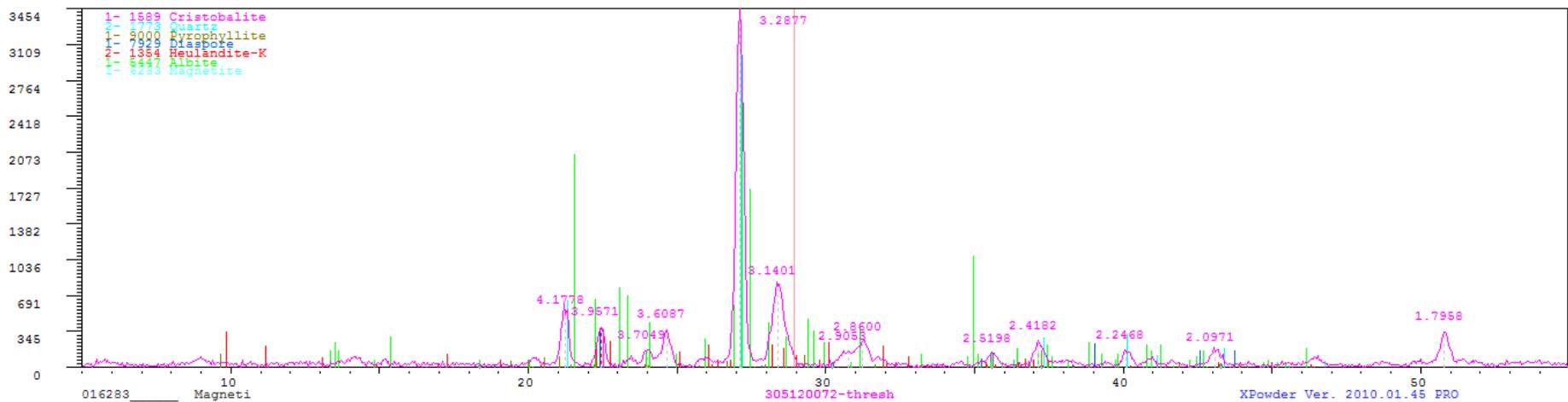
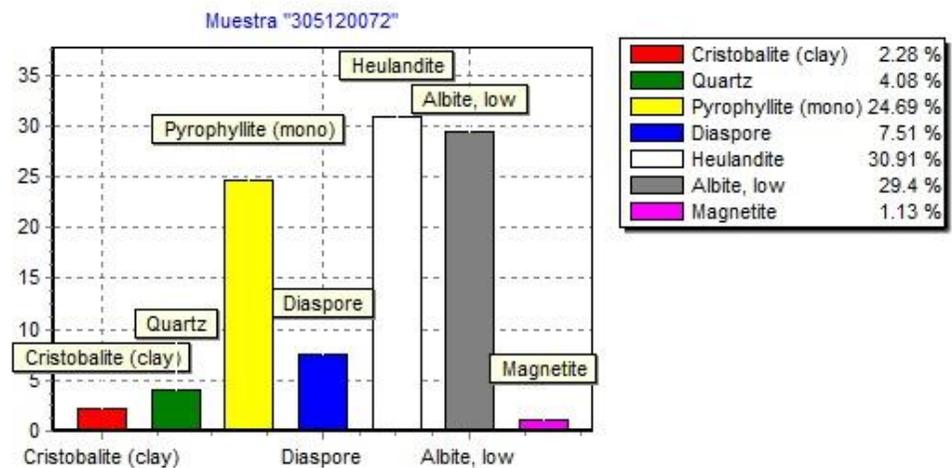
, GRANODIORITA, COMPUESTA POR CUARZO, PLAGIOCLASAS, HORBLENDA EN UNA MATRIZ FANERITICA, ALTERACIÓN DEBIL DE CLORITA, EN GENERAL LA ROCA ESTA INALTERADA



305120072



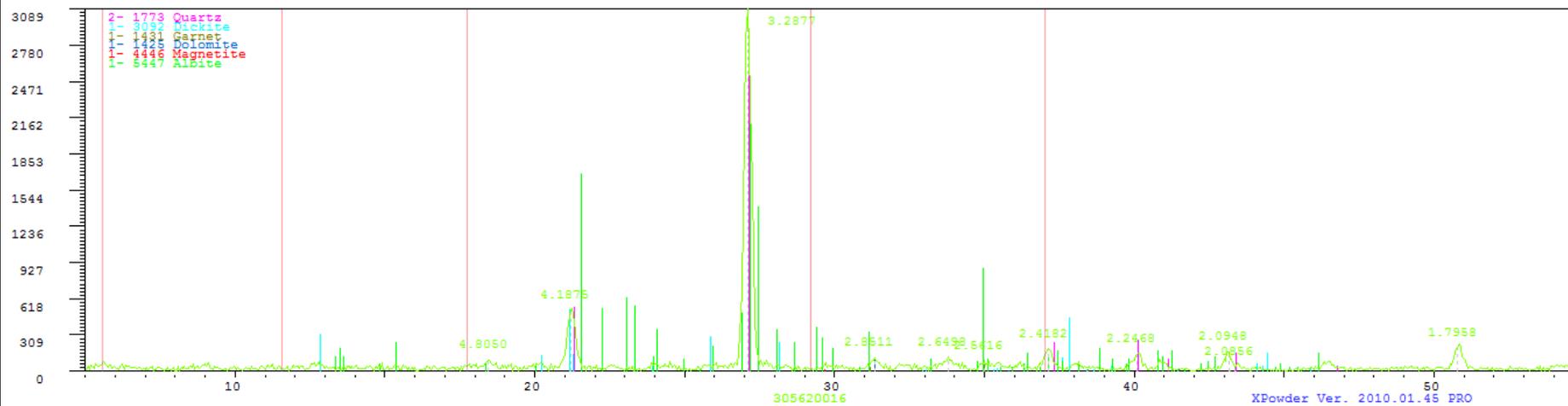
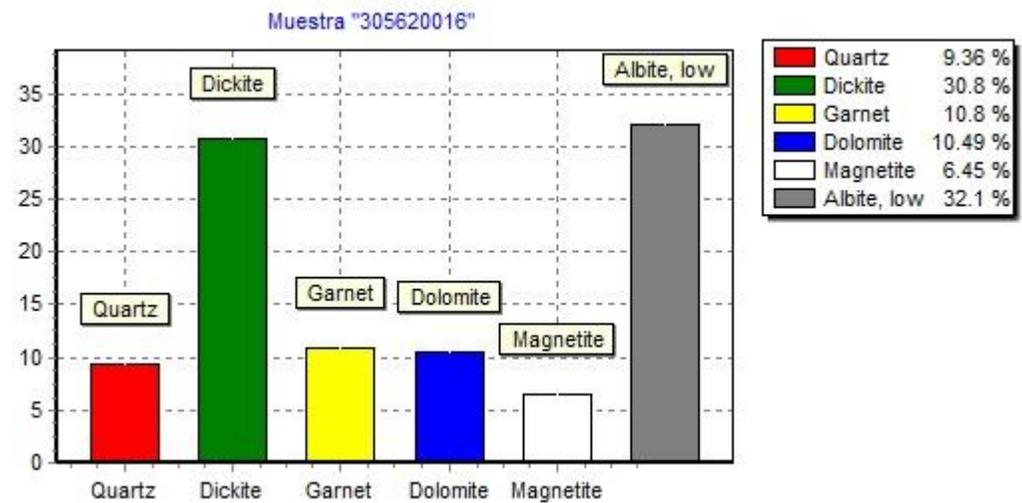
ROCA INTRUSIVA, GRANODIORITA, GRANO GRUESO, COMPUESTA POR CUARZO Y PLAGIOCLASAS FUERTEMENTE ALTERADAS, LA ROCA PERTENECE A ESTRUCTURAS DE CUARZO CON ALTERACIÓN DE SULFUROS, EPIDOTAS MODERADAS Y CAOLINIZACION PUNTUAL



305620016



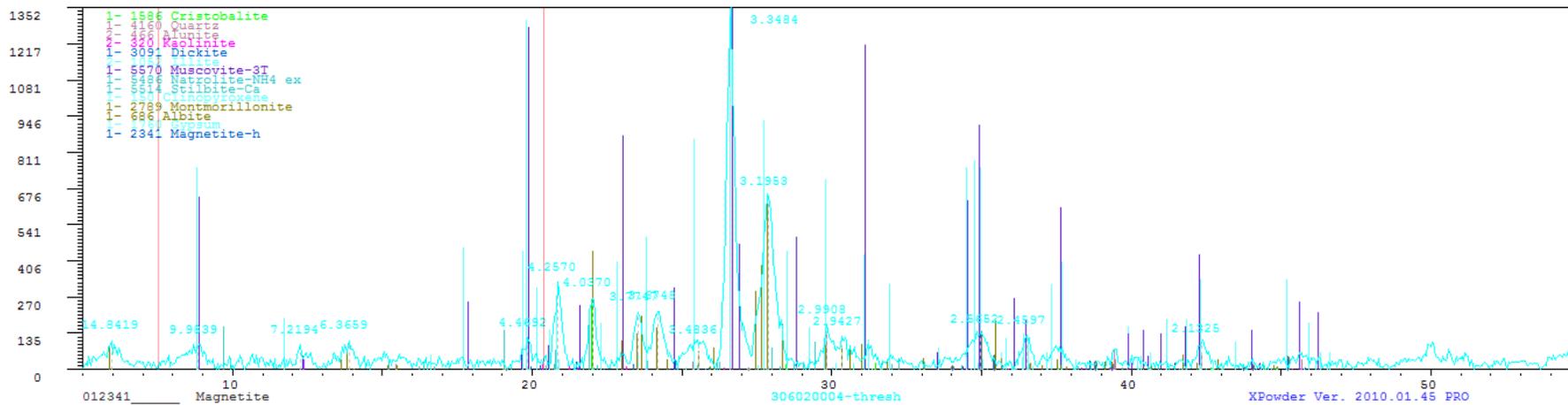
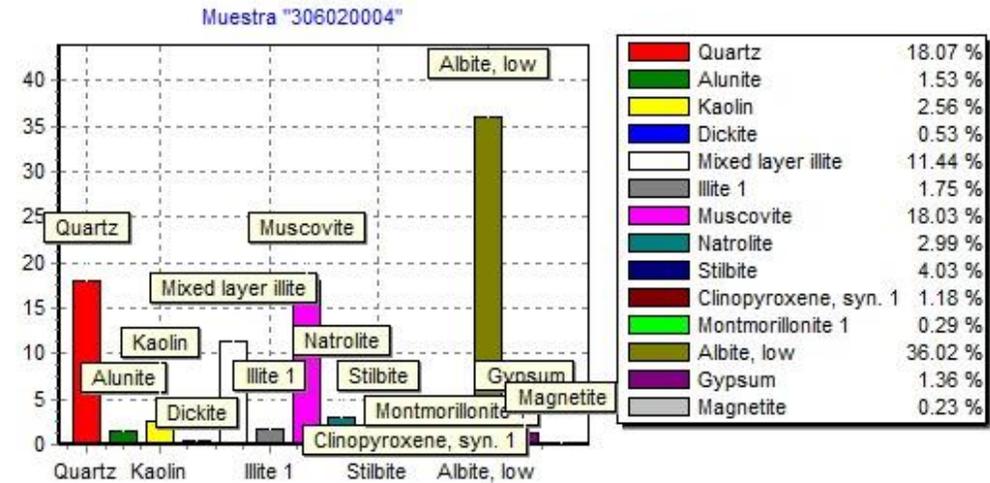
ESTRUCTURA MINERALIZADA, FUERTEMENTE OXIDADA, FRACTURAS RELLENAS POR MALAQUITAS, BORNITAS Y OXIDACIONES DE HIERRO COMO GOHETITA Y HEMATITA



306020004



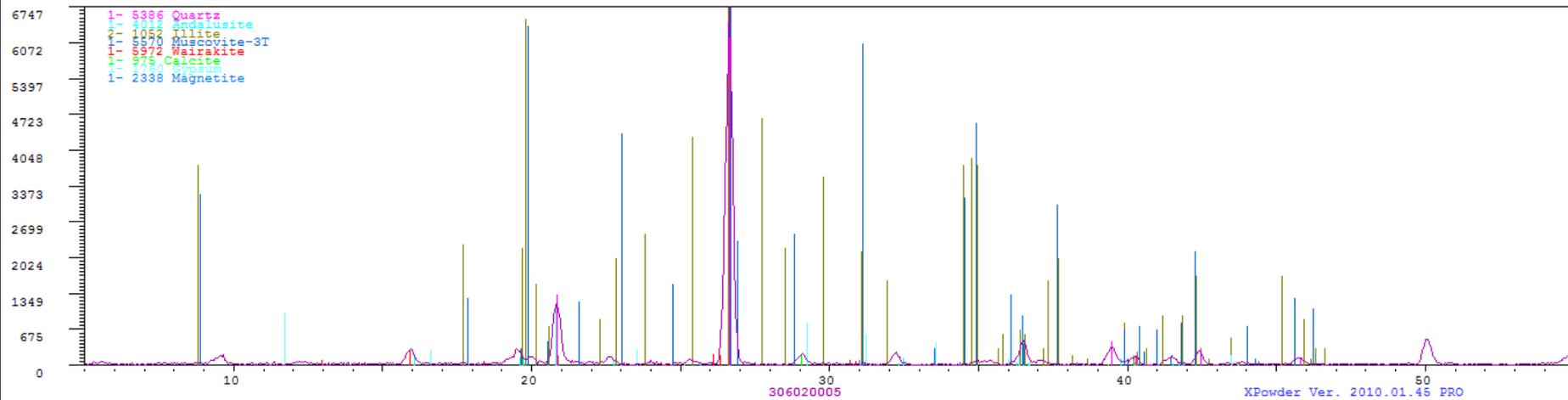
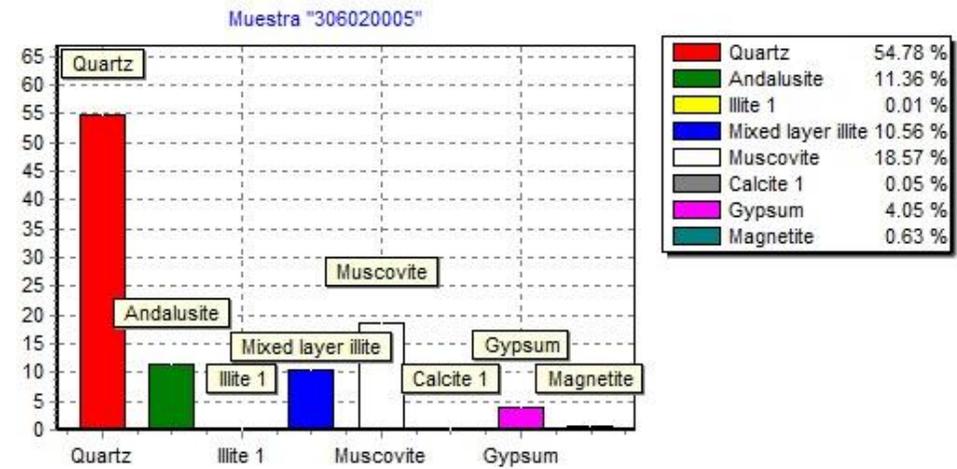
„ „, COLOR GRIS AZULADA, MINERALES INTACTOS, FUERTEMENTE SILICIFICADA, TRAZAS DE EPIDOTA, PRESENTA PIRITA EN PAREDES CCON OXIDACION DE MANGANESO, OXIDACIONES DE HIERRO EN FRACTURAS



306020005



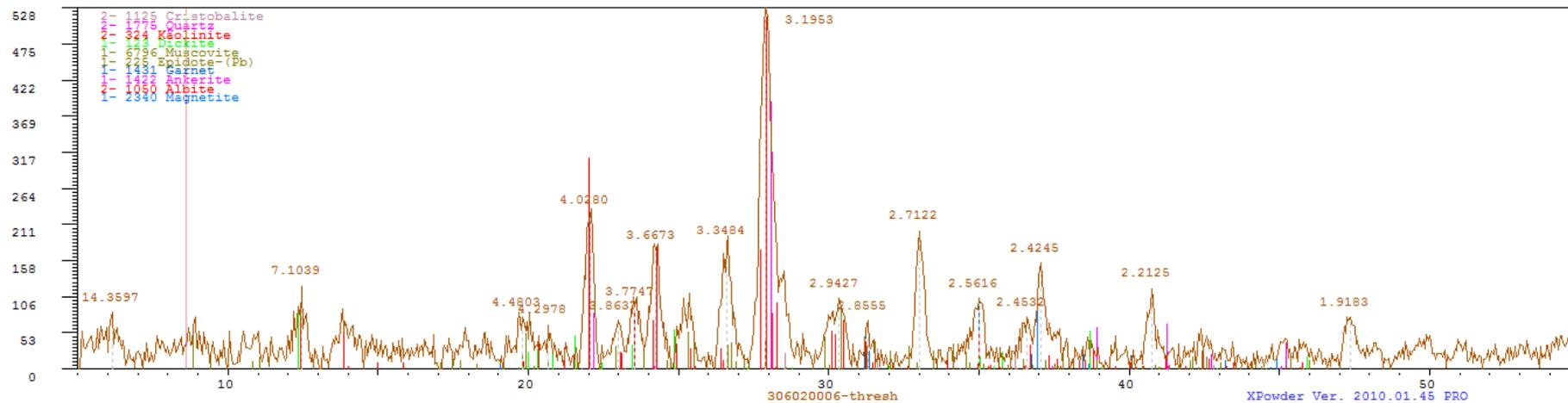
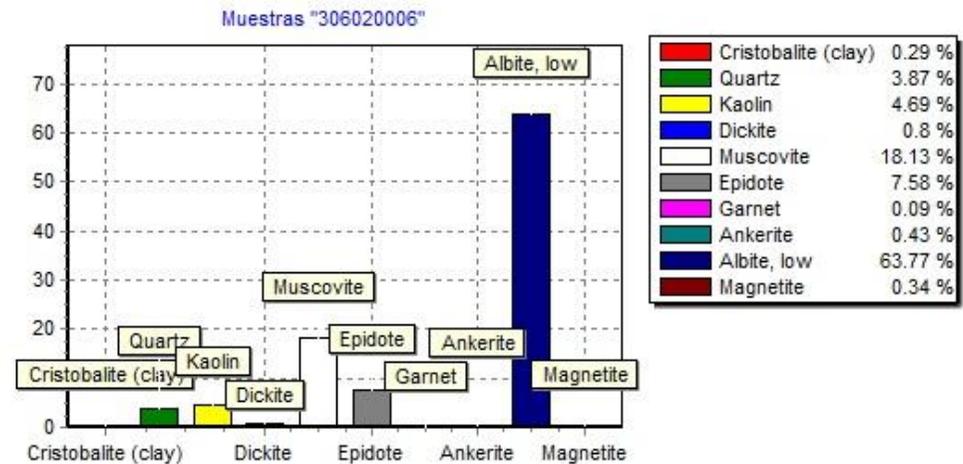
„ „ COLOR CAFÉ AMARILLENTO, GRANO FINO, ROCA CUARZOSA TIPO SACAROIDE CON MINERALES COMO MOSCOVITA, ALTERACION CUARZO -SERICITA MODERADA, MINERALIZACIÓN ASOCIADA A OXIDACIÓN DE SULFUROS EN FRACTURAS, POCA PIRITA RELLENANDO ESPACIOS



306020006



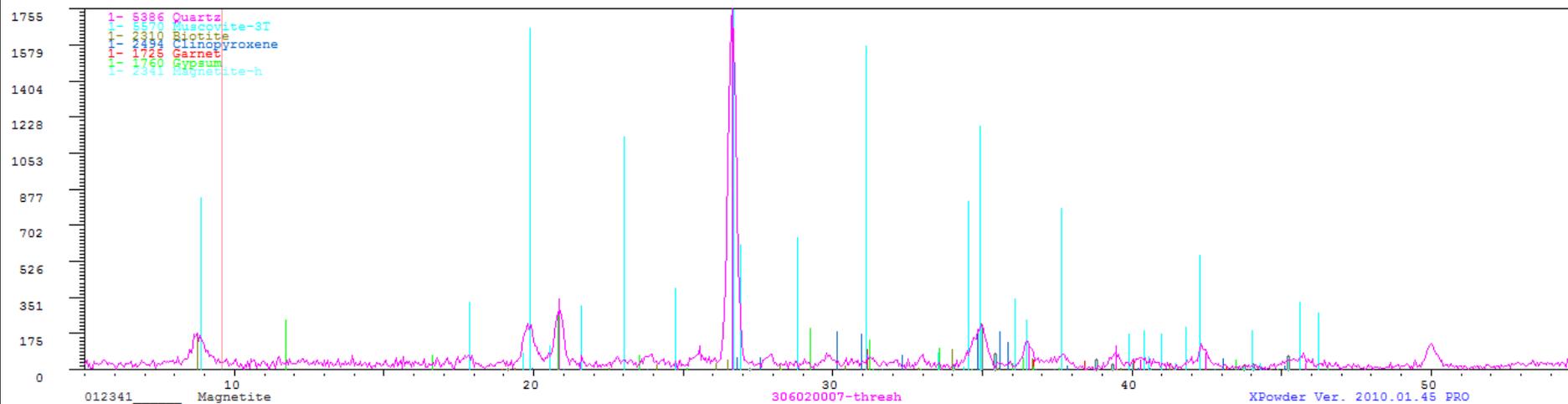
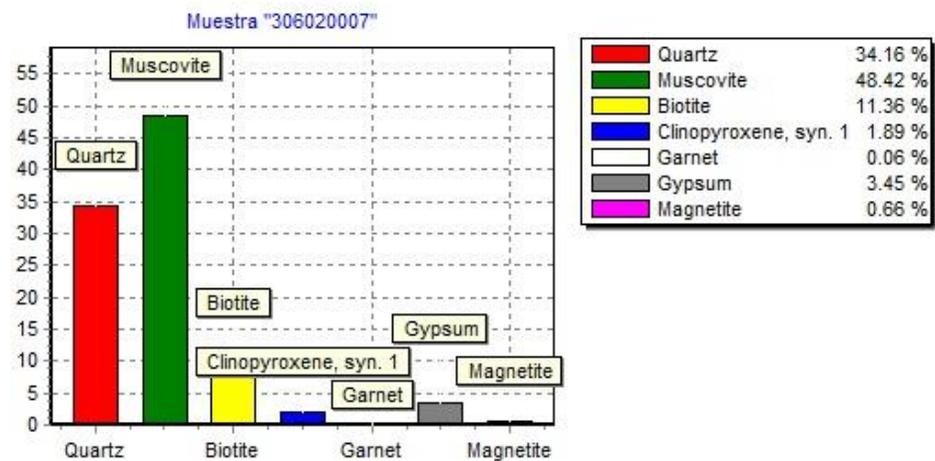
ROCA INTRUSIVA, GRANODIORITA, COLOR GRIS CLARO, DE GRANO GRUESO, COMPUESTA POR CUARZO, FELDESPATOS, PLAGIOCLASAS, HORBLENDAS EN MATRIZ SILICEA, ALTERACIÓN CUARZO-SERICITA-PIRITA, MINERALIZACIÓN DE PIRITA DISEMINADA <5% EN SECTORES PUNTUALES, MAGNETISMO DEBIL



306020007



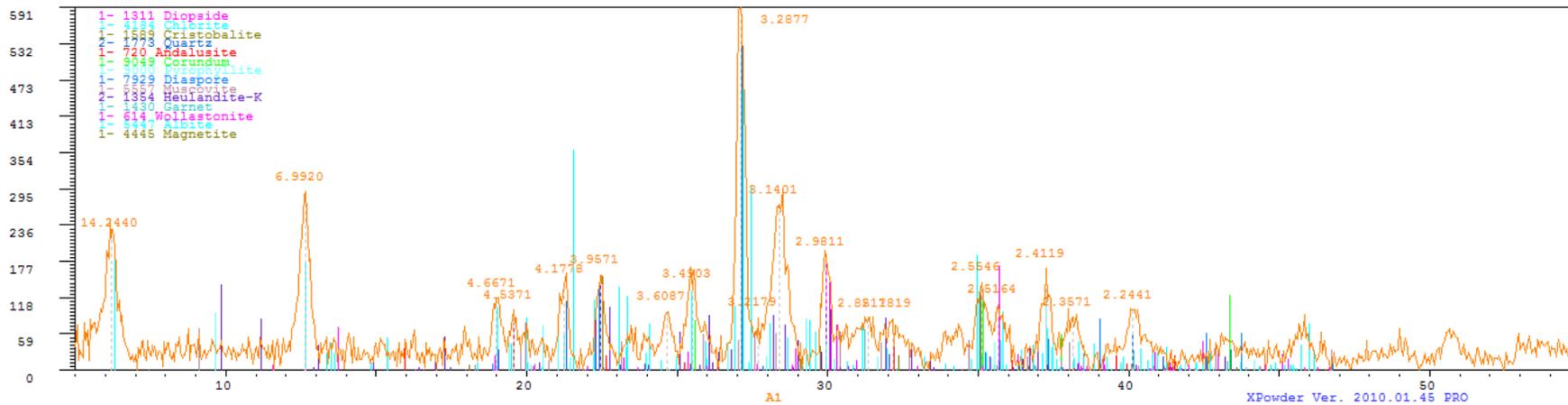
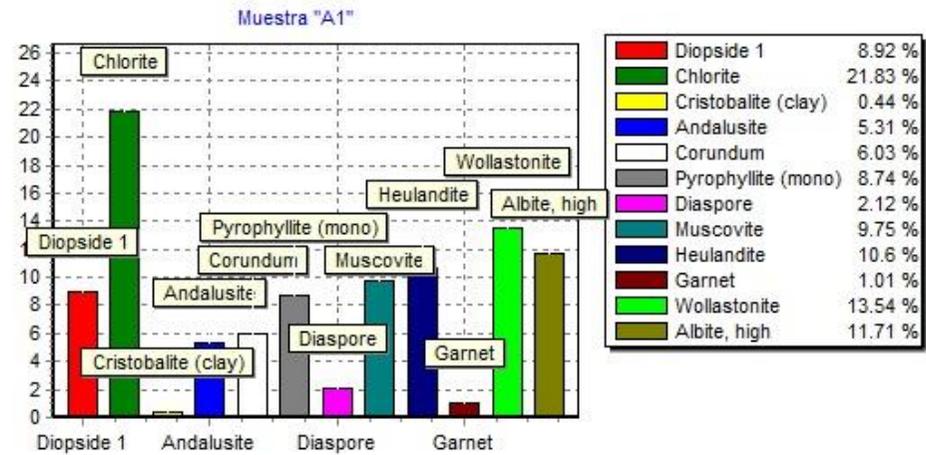
ROCA INTRUSIVA, DIORITA, COLOR GRIS AZULADA, PERDIDA DE TEXTURA POR LO QUE NO SE IDENTIFICAN LOS GRANOS, FUERTEMENTE ALTERADA CUARZO-SERICITA-PIRITA, SMECTITA LOCAL, MINERALIZACIÓN DE PIRITA DISEMINADA 1%, OXIDACION DE HIERRO EN FRACTURAS



A1



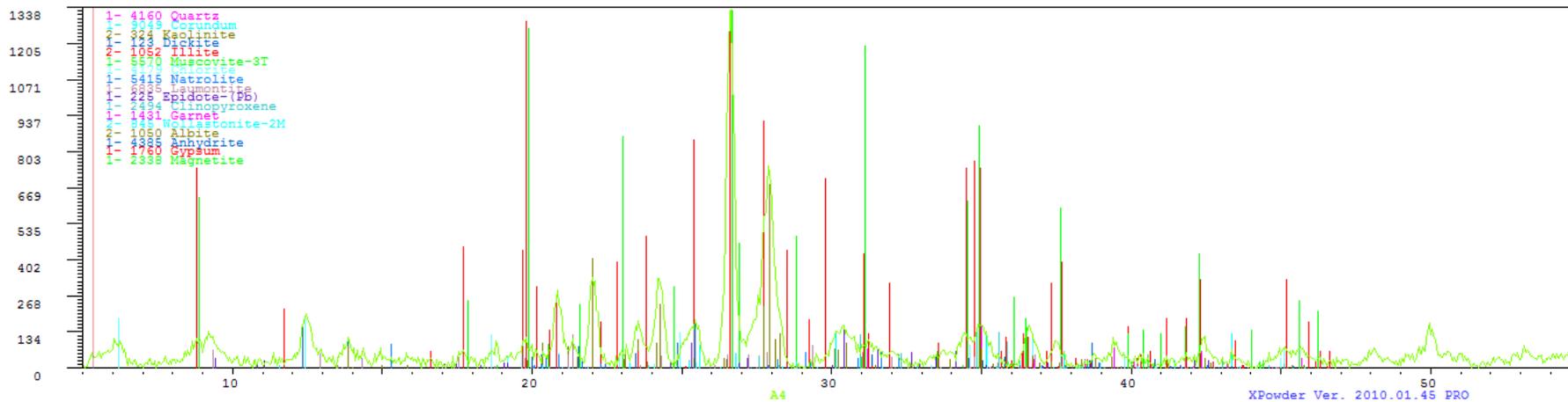
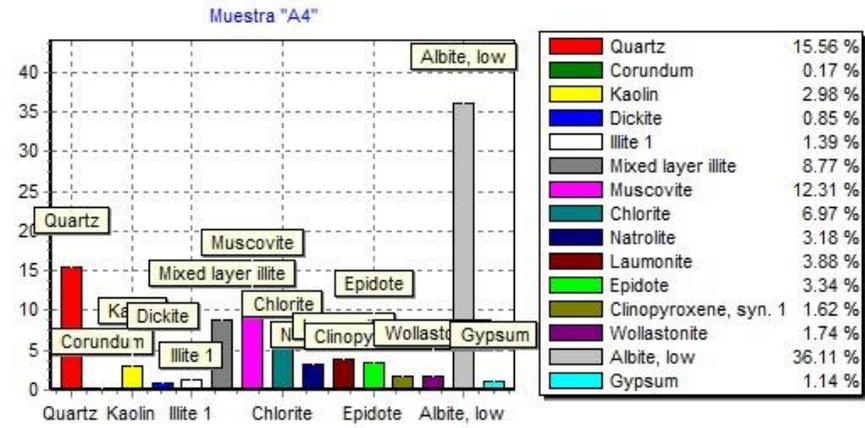
ROCA INTRUSIVA, DIORITA, COLOR GRIS VERDOSA, DE GRANO MEDIO, COMPUESTA POR CUARZO, PLAGIOCLASAS, HORBLENDAS, FUERTEMENTE SILICIFICADA, ALTERACIÓN CLORITA Y SERICITA MODERADA, EPIDOTA EN FRACTURAS Y ESPEJO DE FALLA, MAGNETISMO DEBIL, OXIDACIÓN DE HIERRO



A4



ROCA INTRUSIVA, CUARZODIORITA, COLOR AMARILLO ROJIZO, PERTENECIENTE A ESTRUCTURA DE CUARZO BLANCO LECHOSO HEXAGONAL, PIRITA CUBICA OXIDADA CON PATINAS DE MINERALES DE COBRE, OXIDACIONES DE HIERRO COMO GOHETITA Y HEMATITA



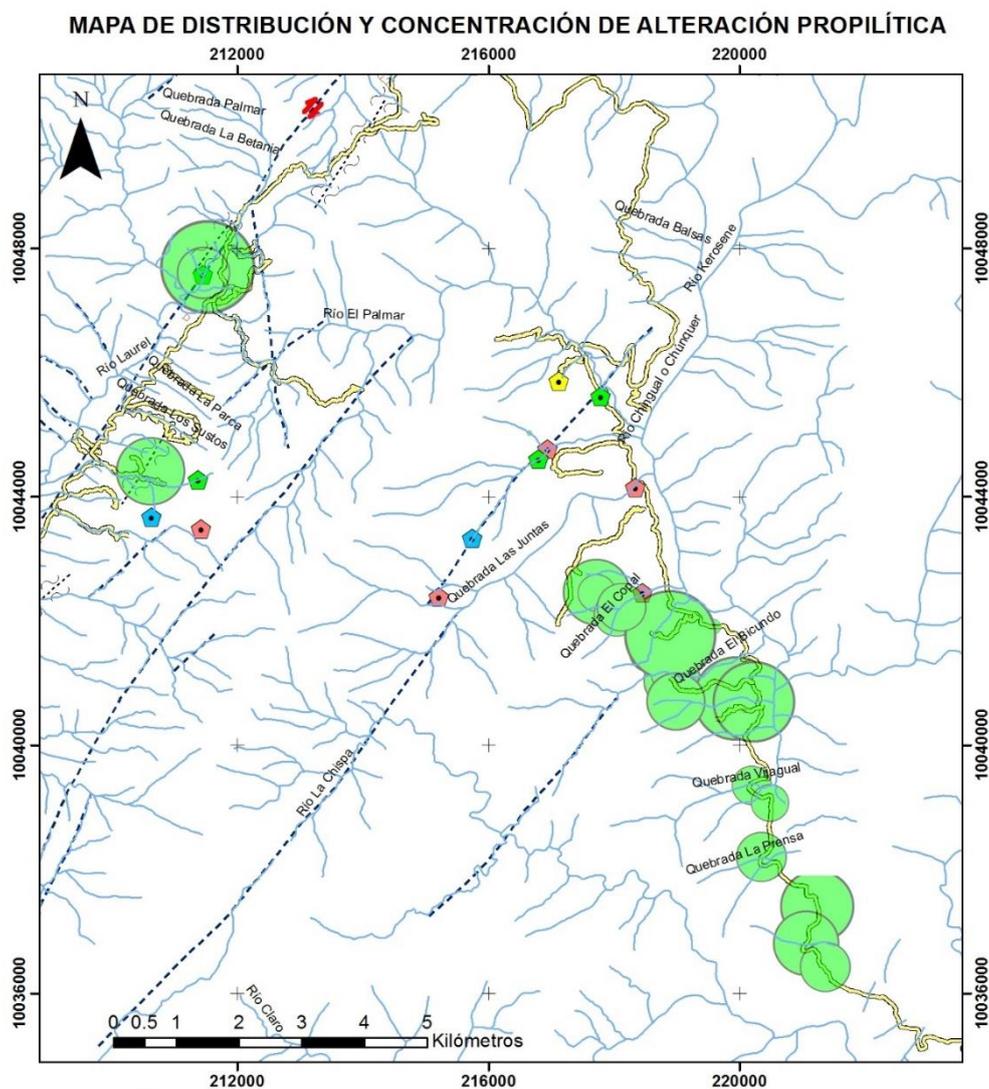
Anexo VII Resultados de concentración de alteraciones por muestra

Fuente: Autor

MUESTRA	Propilítica	Argílica	Fílica	Potásica
302820032	58.75	17.81	10.24	12.94
302820033	33.33	15.48	56.53	0.85
302820044	39.37	24.8	37.22	2.45
302820045	49.59	16.74	37.86	0
302820062	13.81	30.26	46.49	9.44
302820063	35.69	13.78	27.04	23.49
302820070	82.12	23.1	3.22	0
302820073	45.87	15.84	39.23	0.66
302820083	4.33	29.86	43.15	41.26
302820093	54.8	3.77	40.91	1.26
302820094	61.4	41.13	1.11	0
302820095	57.24	30.54	14.03	5.32
302820096	2.83	9.99	89.89	0.12
302820099	34.39	8.07	53.5	4.03
302820102	34.57	2.32	6.09	43.6
302820103	32.77	5.54	55.92	5.77
302820108	73.71	32.09	2.71	0
302820109	16.59	64.7	33.17	33.23
305020141	13.59	13.34	50.5	25.52
305020142	6.71	76.05	13.32	12.02
305020144	63.85	16.36	19.77	4.35
305020151	56.87	12.48	32.89	1.54
305120047	31.3	11.5	52.12	7.22
305120049	79.84	14.66	3.82	0
305120072	60.31	34.48	4.08	1.13
305620016	42.59	30.8	9.36	17.25
306020004	44.4	19.46	36.1	1.41
306020005	4.1	25.98	73.35	0.63
306020006	71.35	6.67	22	0.43
306020007	3.45	3.45	82.58	13.97
A1	44.14	16.61	15.78	14.55
A4	50.74	15.13	28.04	3.36

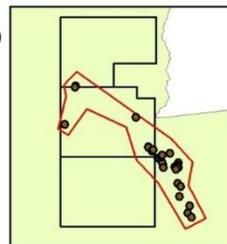
GRADO DE ALTERACIÓN	
(0-20%) DEBIL	
(21-60%) MODERADA	
(61-100%) FUERTE	

Anexo VIII Mapa de distribución y concentración de alteración propilítica.
Fuente: Autor

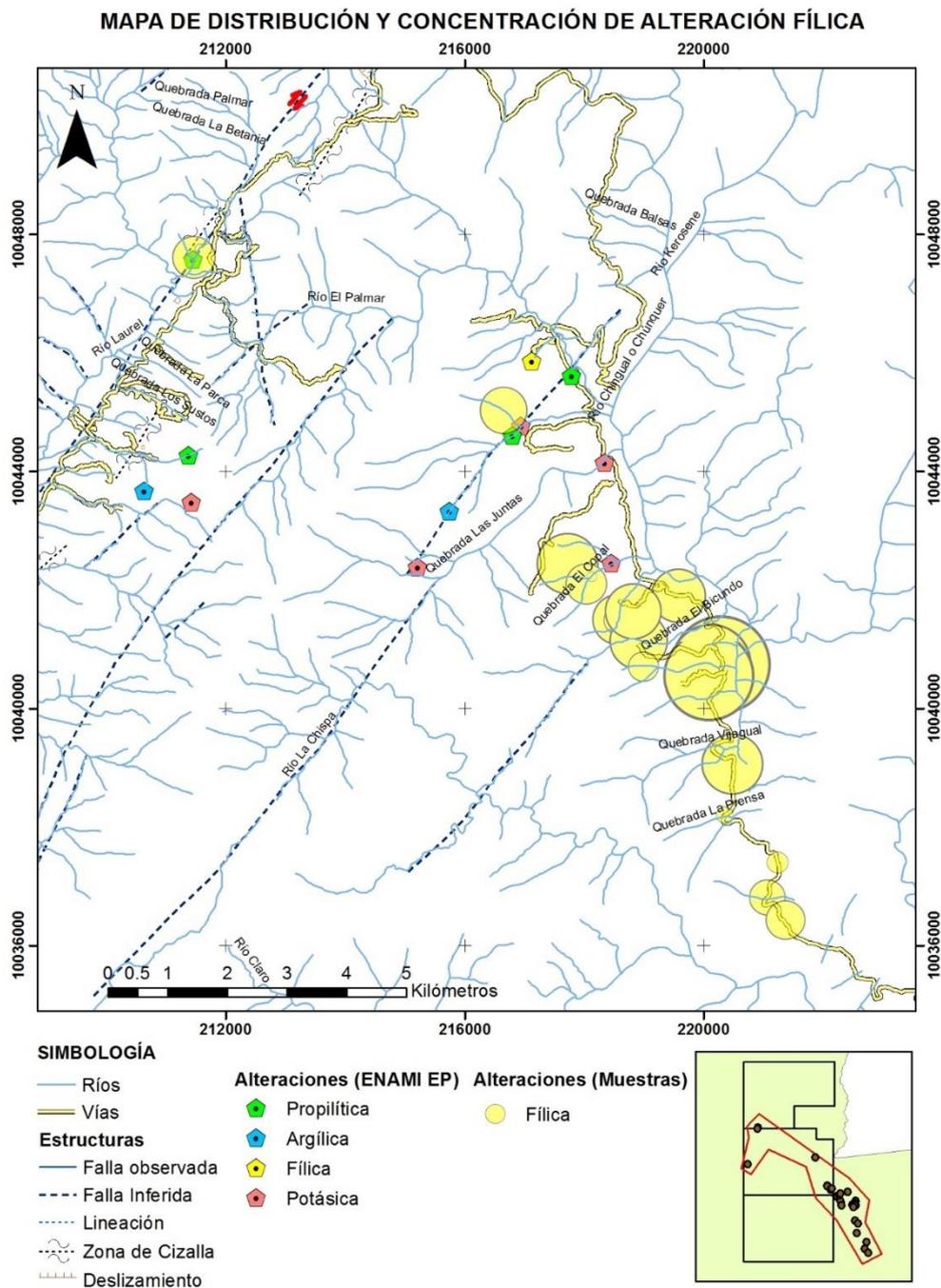


SIMBOLOGÍA

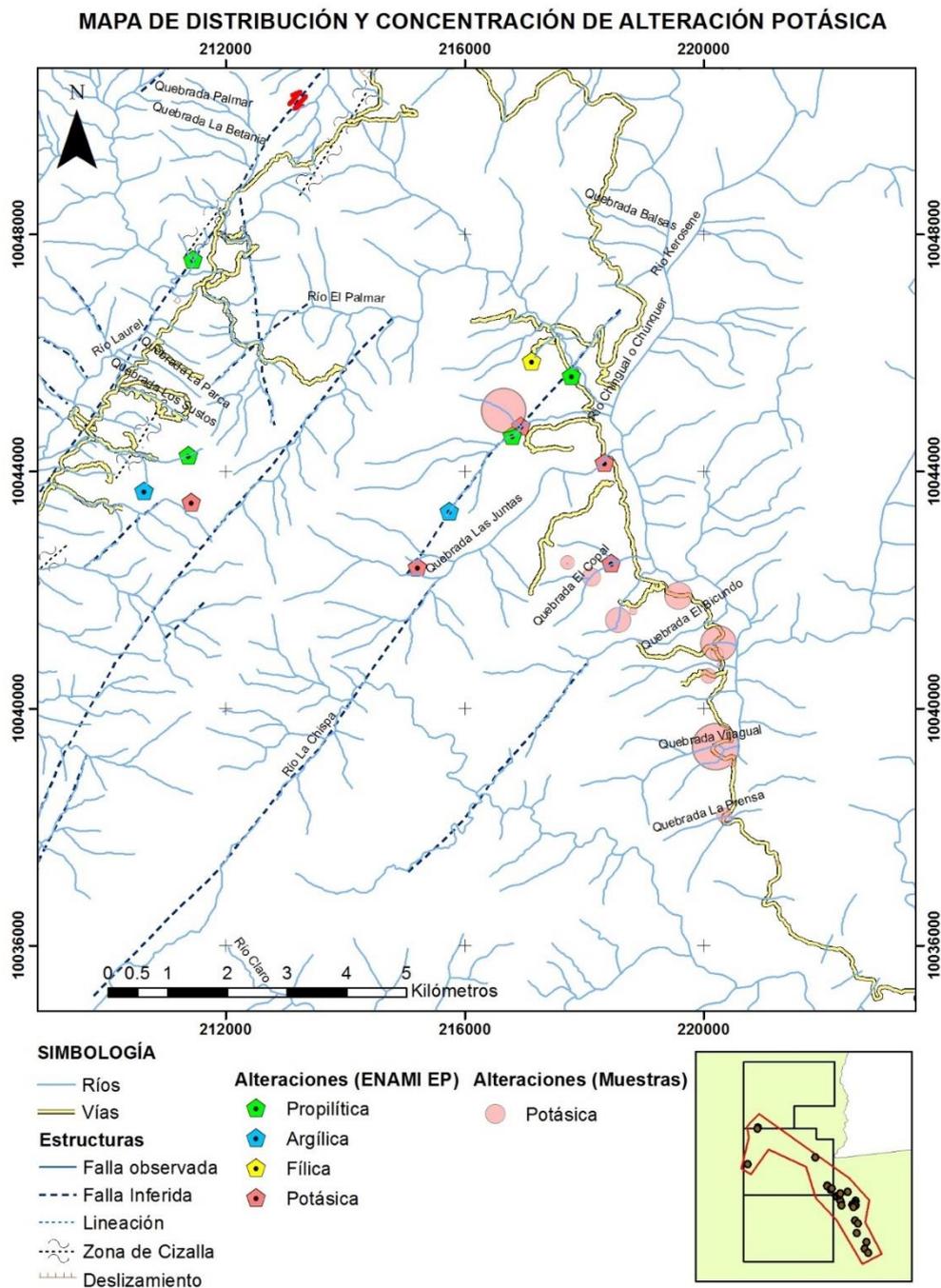
- | | | |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| — Ríos | Alteraciones (ENAMI EP) | Alteraciones (Muestras) |
| — Vías | ◆ Propilítica | ● Propilítica |
| Estructuras | ◆ Argílica | |
| — Falla observada | ◆ Fílica | |
| - - - Falla Inferida | ◆ Potásica | |
| ⋯ Lineación | | |
| ⊘ Zona de Cizalla | | |
| ⊘ Deslizamiento | | |



Anexo X Mapa de distribución y concentración de alteración fílica.
Fuente: Autor

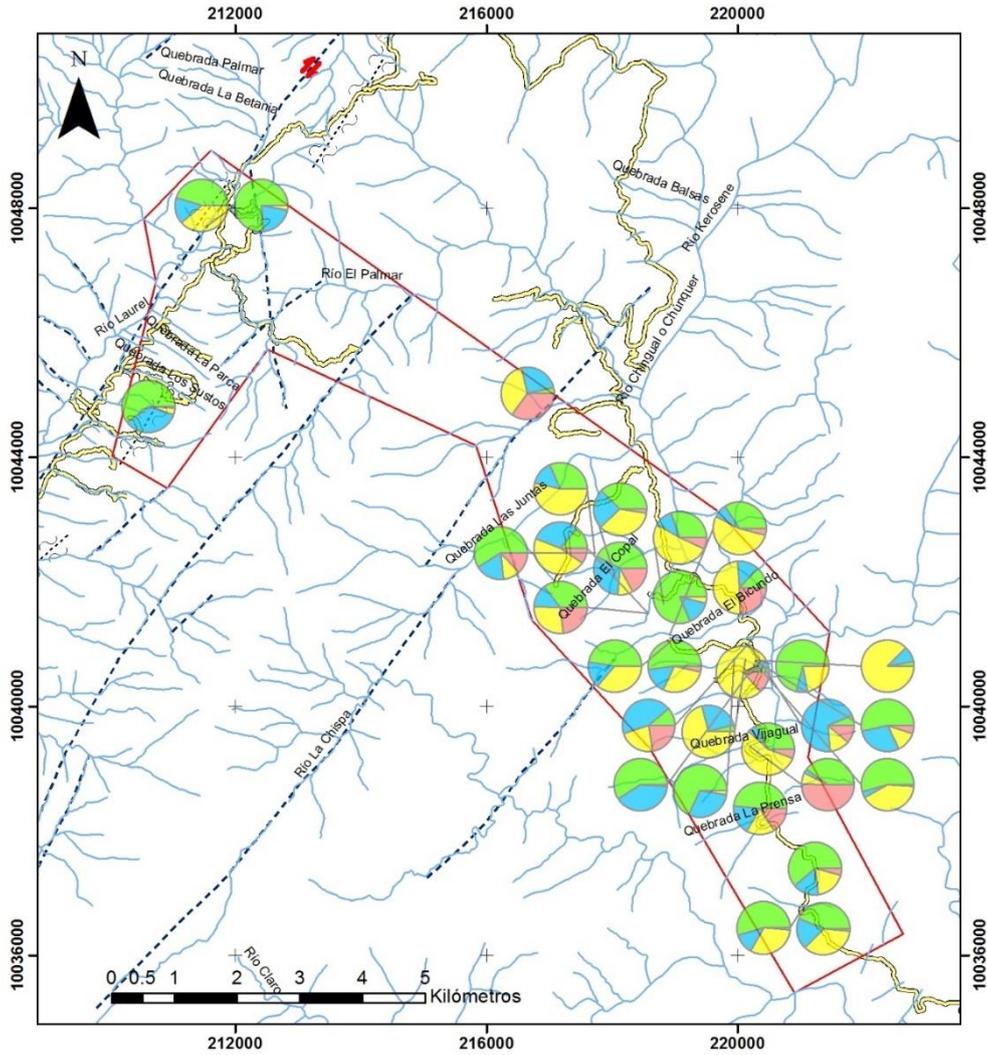


Anexo XI Mapa de distribución y concentración de alteración potásica.
Fuente: Autor



Anexo XII Mapa de distribución y concentración de alteraciones hidrotermal.
Fuente: Autor

MAPA DE DISTRIBUCIÓN Y CONCENTRACIÓN DE ALTERACIONES HIDROTERMALES



SIMBOLOGÍA

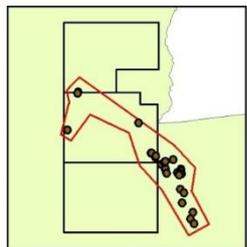
- Ríos
- Vías
- ▭ Área de Estudio

Estructuras

- Falla observada
- - - Falla Inferida
- ⋯ Lineación
- ⋯ Zona de Cizalla
- ⋯ Deslizamiento

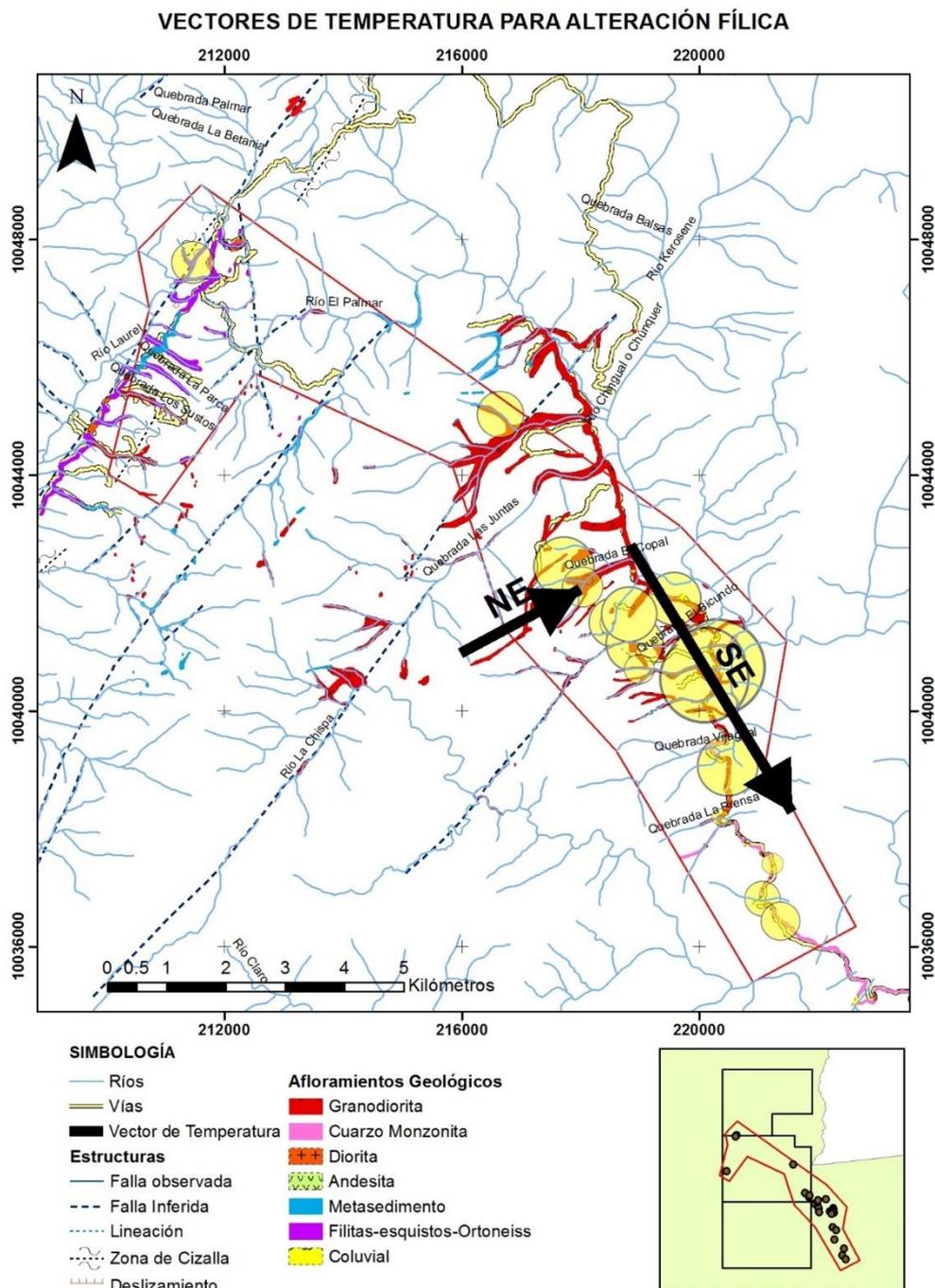
Alteración Hidrotermal

- Propilitic
- Argilica
- Filica
- Potasica



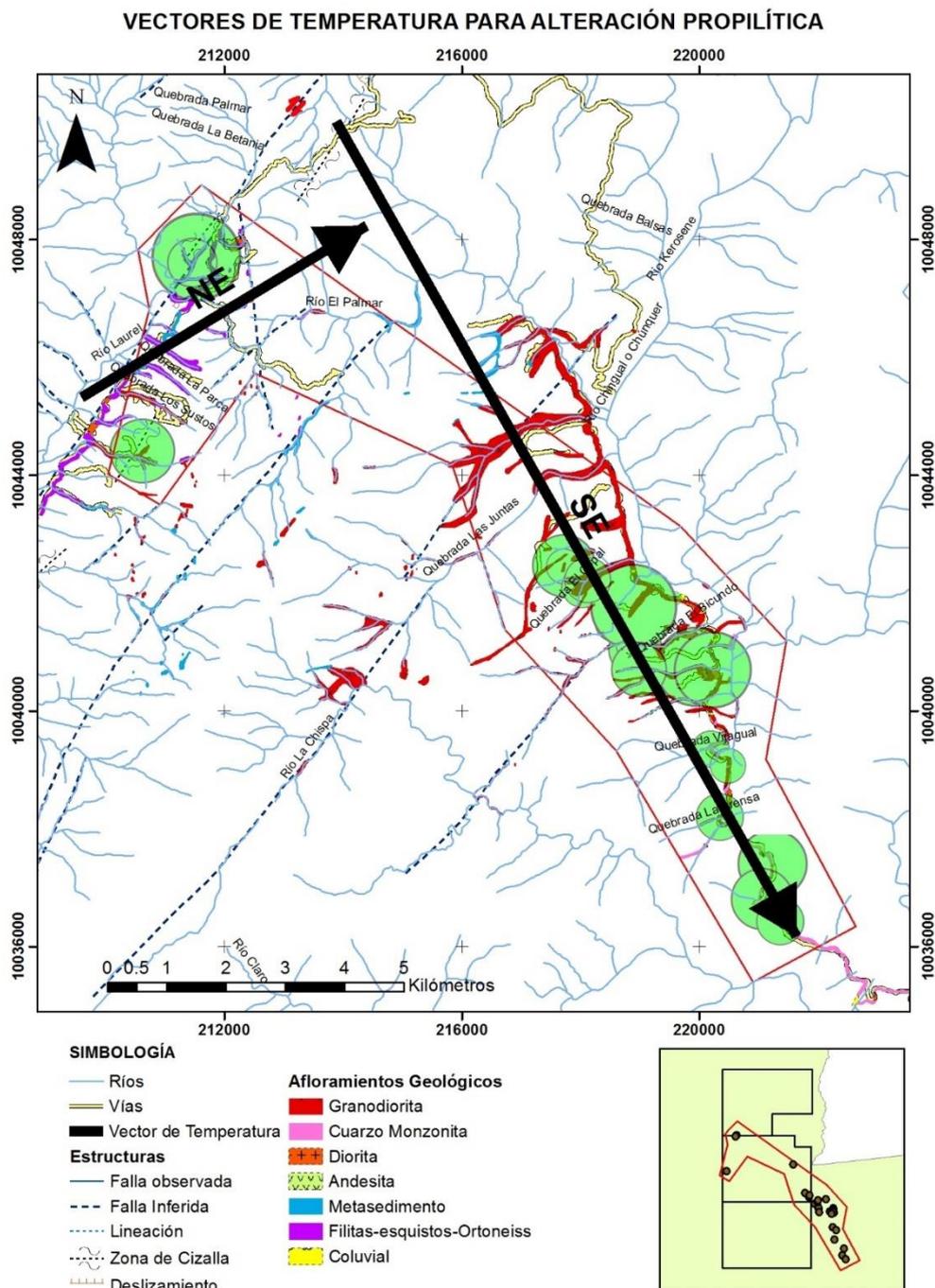
Anexo XIII Mapa de vector de alteración de menor a mayor temperatura para la alteración fílica.

Fuente: Autor

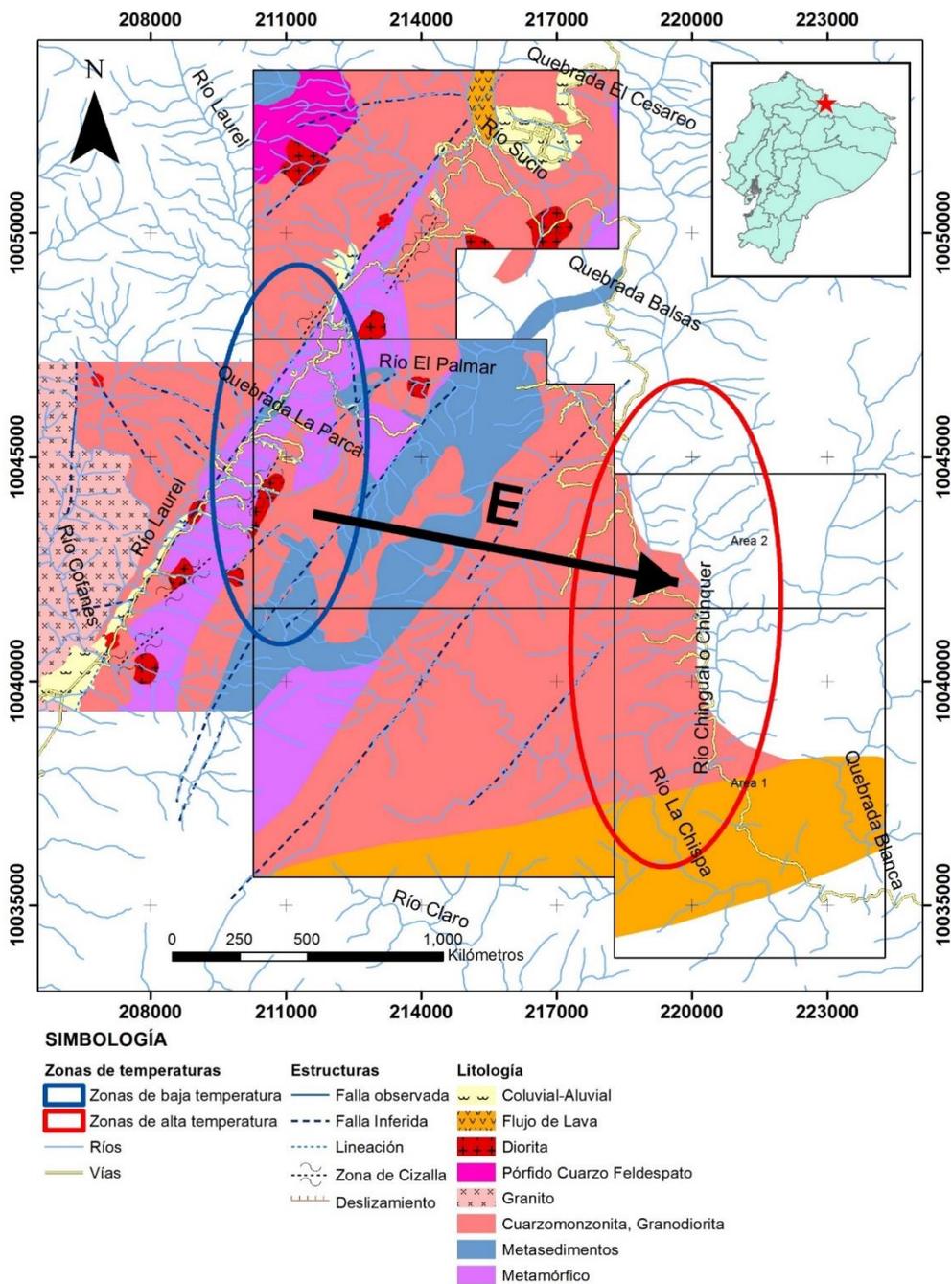


Anexo XIV Mapa de vector de alteración de menor a mayor temperatura para la alteración propilítica.

Fuente: Autor



Anexo XV Mapa de zonas de alta y baja temperatura
Fuente: Autor



BIBLIOGRAFÍA

- 1) Aspden, J. A., Fortey, N., Litherland, M., Viteri, F., & Harrison, S. M. (1992). REGIONAL S-TYPE GRANITES IN THE ECUADORIAN ANDES: POSSIBLE REMNANTS OF THE BREAKUP OF WESTERN GONDWANA. *Journal of South American Earth Sciences*, 6(3), 123–132.
- 2) Barona Díaz, D. (2014). PROCEDIMIENTO PARA LA OPERACIÓN DEL DIFRACTÓMETRO PORTATIL TERRA DE OLYMPUS.
- 3) Camuti, K. (2008). CLAY MINERALS IN ALTERATION SYSTEMS. *Terry Leach Symposium*, 48, 22.
- 4) Corbett, G. J., & Leach, T. M. (1998). SOUTHWEST PACIFIC RIM GOLD–COPPER SYSTEMS: STRUCTURE, ALTERATION AND MINERALIZATION. *Society of Economic Geologists, Special Pu*(May 1997), 236.
- 5) Jaramillo, D. (2015). *DESARROLLO DE UN PROTOCOLO PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE RIETVELD Y DEL ESTÁNDAR INTERNO EN LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS CON CONTENIDO DE AMORFOS*. Medellín.
- 6) Litherland, M., Aspden, J. A., & Jemielita, R. A. (1994). *THE METAMORPHIC BELTS OF ECUADOR* (British Ge). Keyworth, Nottingham.
- 7) Maksaev, V. (2001). *CURSO DE METALOGÉNESIS*. Santiago de Chile.

- 8) Salazar, P. (2008). *GEOLOGIA, ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN DEL PÓRFIDO DE COBRE - MOLIBDENO JUNÍN, PROVINCIA DE IMBABURA, ECUADOR*. Escuela Politécnica Nacional.
- 9) Wolf, D. (1980). *LA DIFRACTOMETRÍA DE RAYOS X Y SU APLICACIÓN EN LA GEOLOGIA Y EL ESTUDIO DE MATERIAS PRIMAS. El Ingeniero Geólogo, 17.*