

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



TESIS

**“ DISTRIBUCIÓN MINERALÓGICA Y COMPOSICIONAL EN
LAS VETAS CORDILLERANAS DE Zn-Pb-Ag-Cu EN EL
DISTRITO DE SAN CRISTÓBAL, DOMO DE YAULI, PERÚ
CENTRAL”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓLOGO**

**ELABORADO POR
VILA GODOY ÑIERITON ARQUIMEDES**

**ASESOR
Dr. ING. CARRASCAL MIRANDA EITEL ROLANDO**

LIMA-PERU

2021

DEDICATORIA

A mis queridos padres y a mis hermanos Angel, Yuly, Geraldine y Humberto.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias al apoyo del Dr. Ronner Bendezú quien sugirió el tema de tesis y me asesoró durante su realización y a mis profesores Rolando Carrascal Miranda y Carlos Rojas León. Un agradecimiento especial al Ingeniero Carlos Yacila, a la M.Sc. Patricia Piaia y Antony Cadillo por el apoyo en los trabajos de campo y laboratorio. Además, agradezco todo el soporte brindado por Volcan Compañía Minera S.A.A. mediante el Gerente de Exploraciones Regionales César Farfán, a la Universidad Nacional de Ingeniería y a todos los que, de alguna manera, contribuyeron en la realización de este estudio.

RESUMEN

El distrito de San Cristóbal está localizado en la parte oeste del Domo de Yauli. Alberga depósitos cordilleranos, bajo la forma de vetas y cuerpos de reemplazamiento, de los cuales las vetas San Cristóbal, Andaychagua, Prosperidad y los prospectos Brecha Recuay y San Cristóbal Este, son parte de este estudio.

El distrito muestra un marcado zonamiento metálico, el cual está definido por una parte central de W, seguido de una zona de Cu, una zona intermedia de Zn-Pb-(Ag) y una zona externa de Ag-Pb-(Zn). Tres etapas en la paragénesis han sido reconocidas en estas zonas: (1) etapa cuarzo-pirita-wolframita, es la más temprana y además está compuesta por specularita, calcopirita, scheelita, emplectita, muscovita, illita, calcedonia; (2) etapa de metales base, es la más económica y está constituida por esfalerita (marrón oscuro a claro), calcopirita, galena ± (cobres grises, pirita, arsenopirita, pirrotita, illita, acantita); (3) etapa de carbonatos, es la más tardía y está dividida en dos sub-etapas: Sub-etapa manganosiderita-rodocrosita, con baritina, cuarzo, arsenopirita ± (pirita, esfalerita rojiza, galena, platas rojas, calcopirita, marcasita, estibina, illita, dickita). Sub-etapa ankerita-dolomita, la más distal, con jasperoides, baritina, calcedonia, cuarzo, calcita ± (dickita, specularita y clorita). Isovalores en las secciones longitudinales de las vetas Andaychagua y Prosperidad ilustran que valores Cu >1 % se encuentra en profundidad, Zn >7 % y Pb >1 % en las partes intermedias y Ag >7 Oz/t en las partes intermedias y altas. Cocientes de Zn/Pb indican posibles direcciones de flujo del fluido hidrotermal desde el suroeste hacia el

noreste. Por otro lado, isovalores en la veta San Cristóbal, muestran la coexistencia de altas concentraciones de Ag, Zn, Pb, Cu y WO_3 . Cambios de ensambles de sulfuros vienen acompañados de variaciones del % Fe en esfaleritas, desde 9.84 % en la zona de Cu hasta 0.42 % en la zona de Zn-Pb-(Ag) y Ag-Pb-(Zn). Estas variaciones del % Fe en esfalerita son típicas de vetas cordilleranas de baja a intermedia sulfidización. Además, ensambles de alteración sericítica (muscovita, illita, cuarzo y dickita) y removilización de elementos (Al, K, Ca, Sr, Ba y Rb) muestran que el fluido hidrotermal fue medianamente ácido.

Microanálisis de fluorescencia de rayos X en ankeritas y dolomitas de la Brecha Recuay, muestran zonas con contenidos de $MnO > 2\%$, las cuales típicamente ocurren entre 200 y 300 m sobre la mineralización polimetálica en vetas.

Inclusiones fluidas en cuarzo de la etapa cuarzo-pirita-wolframita son bifásicas (LV) y homogenizan a la fase líquido, entre $180.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $327\text{ }^{\circ}\text{C}$, con salinidades entre 1.74 y 6.45 wt % NaCl equiv. Esporádicas inclusiones trifásicas con cristales de sal muestran salinidades de hasta 43.46 wt % NaCl equiv. Inclusiones fluidas en cuarzo, esfalerita, manganosiderita y calcita de la etapa de metales base y de carbonatos, muestran temperaturas de homogenización que oscilan entre $163.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $281.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y salinidades entre 1.40 y 5.86 wt % NaCl equiv. Esto revela un ambiente de formación epitermal con altas y bajas salinidades, donde el zonamiento metálico es marcado por gradientes de temperatura ($\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ a través de la paragénesis).

ABSTRACT

The San Cristóbal district is located in the western part of the Yauli Dome. It hosts cordilleran deposits, in the form of veins and replacement bodies, of which the San Cristóbal, Andaychagua and Prosperidad veins and the Brecha Recuay and San Cristóbal Este prospects, are part of this study.

The district shows a marked metal zonation, which is defined by a central part of W, followed by a zone of Cu, an intermediate zone of Zn-Pb-(Ag) and an external zone of Ag-Pb-(Zn). Three stages in the paragenesis have been recognized in these zones: (1) quartz-pyrite-wolframite stage, it is the earliest and also is composed of specularite, chalcopyrite, scheelite, emplectite, muscovite, illite, chalcedony; (2) base metal stage, it is the most economical and composed of sphalerite (dark to light brown), chalcopyrite, galena ± (fahlore, pyrite, arsenopyrite, pyrrhotite, illite, acanthite); (3) carbonate stage, it is the latest and is divided into two sub-stages: Sub-stage manganosiderite-rhodochrosite, with barite, quartz, arsenopyrite ± (pyrite, sphalerite reddish, galena, red silver, chalcopyrite, marcasite, stibnite, illite, dickite). Ankerite-dolomite sub-stage, the most distal, with jasperoids, barite, chalcedony, quartz, calcite ± (dickite, specularite and chlorite). Isovalues in the longitudinal sections of the Andaychagua and Prosperidad veins illustrate that Cu values >1 % are found in depth, Zn >7 % and Pb >1 % in the intermediate parts and Ag >7 Oz/t in the intermediate and upper parts. Zn/Pb ratios indicate possible directions of flow of

the hydrothermal fluid from southwest to northeast. Isovalues in the San Cristóbal vein, show the coexistence of high concentrations of Ag, Zn, Pb, Cu and WO_3 . Changes in sulfide assemblages are accompanied by variations in % Fe in sphalerites, from 9.84 % in the Cu zone to 0.42 % in the Zn-Pb-(Ag) and Ag-Pb-(Zn) zone. These variations of % Fe in sphalerite are typical of low to intermediate sulphidation cordilleran veins. Furthermore, assemblages of sericitic alteration (muscovite, illite, quartz and dickite) and remobilization of elements (Al, K, Ca, Sr, Ba and Rb) show the hydrothermal fluid was moderately acidic.

X-ray fluorescence microanalysis on ankerites and dolomites from Brecha Recuay, exhibiting zones with MnO contents >2 %, which typically occur between 200 and 300 m above the polymetallic mineralization in veins.

Fluid inclusions in quartz from the quartz-pyrite-wolframite stage are biphasic (LV) and homogenize to the liquid phase, between 180.3 °C and 327 °C, with salinities between 1.74 and 6.45 wt % NaCl equiv. Sporadic triphasic inclusions with salt crystals show salinities of up to 43.46 wt % NaCl equiv. Fluid inclusions in quartz, sphalerite, manganosiderite and calcite from the base metals and carbonate stage, show homogenization temperatures ranging between 163.2 °C and 281.8 °C and salinities between 1.40 and 5.86 wt % NaCl equiv. This reveals an epithermal formation environment with high and low salinities, where metal zoning is marked by temperature gradients (~ 100 °C through paragenesis).

ÍNDICE

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN	3
ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN	18
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	21
1.1 Ubicación y accesibilidad	21
1.2 Antecedentes referenciales	21
1.3 Planteamiento de la investigación	23
1.4 Objetivos de la investigación	23
1.5 Hipótesis	24
1.6 Marco teórico	25
1.7 Metodología	25
1.7.1 Trabajos de campo	25
1.7.2 Trabajos de laboratorio	26
CAPÍTULO II: GEOLOGÍA DEL DISTRITO DE SAN CRISTÓBAL	28
2.1 Clima y Vegetación	28
2.2 Fisiografía	29
2.3 Estratigrafía	29
2.3.1 Grupo Excelsior	29

2.3.2 Grupo Mitu	30
2.3.3 Grupo Pucará	31
2.3.4 Grupo Goyllarisquizga	33
2.3.5 Grupo Machay	33
2.4 Rocas Ígneas	34
2.4.1 Intrusivo Carahuacra	35
2.4.2 Intrusivo San Cristóbal	36
2.4.3 Intrusivo Chumpe	36
2.5 Geología Estructural	38
CAPÍTULO III: METALOGENIA	40
CAPÍTULO IV: VETA ANDAYCHAGUA	43
4.1 Mineralogía	44
4.1.1 Descripción de gangas	44
4.1.2 Descripción de menas	48
4.2 Geoquímica	51
4.3 Distribución elemental vertical de la veta	57
4.3.1 Resultados	57
4.4 Alteración	62
CAPÍTULO V: VETA PROSPERIDAD	68
5.1 Mineralogía	70
5.1.1 Descripción de gangas	70
5.1.2 Descripción de menas	75

5.2 Geoquímica	82
5.3 Distribución elemental vertical de la veta	84
5.3.1 Resultados	86
5.4 Alteración	88
CAPÍTULO VI: VETA SAN CRISTÓBAL	97
6.1 Mineralogía	98
6.1.1 Descripción de gangas	98
6.1.2 Descripción de menas	103
6.2 Geoquímica	106
6.3 Distribución elemental vertical de la veta	107
6.3.1 Resultados	108
6.4 Alteración	112
CAPÍTULO VII: BRECHA RECUAY Y SAN CRISTÓBAL ESTE	118
7.1 Mineralogía	120
7.2 Geoquímica	127
7.3 Alteración	131
CAPÍTULO VIII: GEOQUÍMICA DE CARBONATOS	136
8.1 Serie calcita	136
8.2 Serie ankerita-dolomita	139
8.3 Serie manganosiderita-rodocrosita	142
CAPÍTULO IX: SECUENCIA PARAGENÉTICA	150
CAPÍTULO X: INCLUSIONES FLUIDAS	152

10.1 Métodos Analíticos	152
10.2 Petrografía de Inclusiones Fluidas	153
10.2.1 Etapa cuarzo-pirita-wolframita	153
10.2.2 Etapa de metales base	158
10.2.3 Etapa de carbonatos	162
10.2.3.1 Sub-etapa manganosiderita-rodocrosita	162
10.2.3.1 Sub-etapa ankerita-dolomita	165
CAPÍTULO XI: DISCUSIÓN	170
11.1 Distribución composicional y mineral a escala de la veta	170
11.2 Distribución composicional y mineral a escala del distrito	173
11.3 Variación composicional de los carbonatos según la paragénesis	174
11.4 Inclusiones fluidas en la etapa cuarzo-pirita-wolframita	176
11.5 Inclusiones fluidas en la etapa de metales base y carbonatos	179
CONCLUSIONES	182
RECOMENDACIONES	185
BIBLIOGRAFÍA	187
ANEXOS	192

LISTA DE FIGURAS

Figura 3,1 Ubicación del Domo de Yauli	41
Figura 3,2 Mapa geológico del distrito de San Cristóbal	42
Figura 4,1 Foto panorámica de la veta Andaychagua	45
Figura 4,2 Sección longitudinal de la veta Andaychagua	46
Figura 4,3 Microfotografías de las principales gangas en la veta Andaychagua	49
Figura 4,4 Microfotografías de las principales menas en la veta Andaychagua	53
Figura 4,5 Microanálisis de fluorescencia de rayos X sobre esfalerita	54
Figura 4,6 Sección longitudinal de isovalores de Ag (Oz/t). Veta Andaychagua	60
Figura 4,7 Sección longitudinal de isovalores de Zn (%). Veta Andaychagua	60
Figura 4,8 Sección longitudinal de isovalores de Pb (%). Veta Andaychagua	61
Figura 4,9 Sección longitudinal de isovalores de Cu (%). Veta Andaychagua	61
Figura 4,10 Sección longitudinal del cociente metálico Zn/Pb. Veta Andaychagua	62
Figura 4,11 Halo de alteración de la veta Andaychagua	64
Figura 4,12 Microfotografías de muestras alteradas. Veta Andaychagua	65
Figura 4,13 Espectroscopía Raman de muestras de alteración. Veta Andaychagua	67
Figura 4,14 Variación composicional del halo de alteración. Veta Andaychagua	67
Figura 5,1 Sección longitudinal de la veta Prosperidad	70
Figura 5,2 Fotografías de la veta Prosperidad W y Prosperidad E y Sur	71
Figura 5,3 Microfotografía de las principales gangas de la veta Prosperidad	72
Figura 5,4 Espectroscopía Raman y microanálisis de fluorescencia de rayos X	76

Figura 5,5 Microfotografías de las principales menas. Veta Prosperidad W	78
Figura 5,6 Microfotografías de principales menas. Veta Prosperidad E y Sur	79
Figura 5,7 Microanálisis de fluorescencia de rayos X sobre esfalerita	80
Figura 5,8 Sección longitudinal de los isovalores de Ag (Oz/t). Veta Prosperidad	85
Figura 5,9 Sección longitudinal de los isovalores de Zn (%). Veta Prosperidad.	85
Figura 5,10 Sección longitudinal de los isovalores de Pb (%). Veta Prosperidad	85
Figura 5,11 Sección longitudinal de los isovalores de Cu (%). Veta Prosperidad	86
Figura 5,12 Sección longitudinal de cocientes metálicos Zn/ Pb. Veta Prosperidad	86
Figura 5,13 Principales zonas de alteración. Veta Prosperidad	90
Figura 5,14 Espectroscopía Raman de muestras de alteración. Veta Prosperidad	92
Figura 5,15 Microfotografía de muestras alteradas en los halos. Veta Prosperidad	93
Figura 5,16 Variación composicional del halo de alteración. Veta Prosperidad W	95
Figura 5,17 Variación composicional del halo de alteración. Veta Prosperidad E	96
Figura 6,1 Fotografías de la veta San Cristóbal	99
Figura 6,2 Sección longitudinal de la veta San Cristóbal	100
Figura 6,3 Microfotografías de las principales gangas de la veta San Cristóbal	101
Figura 6,4 Microfotografías de las principales menas de la veta San Cristóbal	102
Figura 6,5 Sección longitudinal de isovalores de Ag (Oz/t). Veta San Cristóbal	109
Figura 6,6 Sección longitudinal de isovalores de Zn (%). Veta San Cristóbal	110
Figura 6,7 Sección longitudinal de isovalores de Pb (%). Veta San Cristóbal	110
Figura 6,8 Sección longitudinal de isovalores de Cu (%) Veta San Cristóbal	110
Figura 6,9 Sección longitudinal de cocientes de Zn/Pb. Veta San Cristóbal	111

Figura 6,10 Principales zonas de alteración de la veta San Cristóbal	113
Figura 6,11 Microfotografía de tobas dacíticas alteradas. Veta San Cristóbal	115
Figura 6,12 Espectroscopía Raman de muestras de alteración. Veta San Cristóbal	116
Figura 6,13 Variación composicional del halo de alteración. Veta San Cristóbal	117
Figura 7,1 Mapa geológico de la Brecha Recuay	120
Figura 7,2 Imagen panorámica de la Brecha Recuay y San Cristóbal Este	121
Figura 7,3 Imágenes de la mineralogía de la Brecha Recuay y San Cristóbal Este	124
Figura 7,4 Microfotografía de muestras de Brecha Recuay y San Cristóbal Este	125
Figura 7,5 Mapa geoquímico de Mn (ppm) de la Brecha Recuay	129
Figura 7,6 Mapa geoquímico de Li (ppm) de la Brecha Recuay	129
Figura 7,7 Correlación. A) Ca vs Mg. B) Ca vs Mg. C) Mg vs Mn. D) Li vs Mg	130
Figura 7,8 Zonas de alteración en la Brecha Recuay y San Cristóbal Este	132
Figura 7,9 Espectroscopía Raman de muestras de la Brecha Recuay	134
Figura 7,10 Microfotografía de muestras de alteración de la Brecha Recuay	135
Figura 8,1 Veta-brecha de carbonatos pardos	138
Figura 8,2 Diagramas de correlación en calcitas	138
Figura 8,3 Plano geológico mostrando los valores de MnO (%) en calcitas	139
Figura 8,4 Brecha matriz soportada con carbonatos pardos	140
Figura 8,5 Diagramas de correlación en carbonatos pardos	141
Figura 8,6 Plano geológico de valores de MnO (%) en carbonatos pardos	142
Figura 8,7 Microanálisis de fluorescencia de rayos X en manganosiderita.	143
Figura 8,8 Muestra manganosiderita con inclusiones de esfalerita rojiza	145

Figura 8,9 Diagrama de correlación en manganosideritas y rodocrositas	146
Figura 8,10 Plano mostrando los valores de MnO (%) en carbonatos	147
Figura 8,11 Plano mostrando los valores de FeO (%) en carbonatos	147
Figura 8,12 Plano mostrando los valores de ZnO (%) en carbonatos	148
Figura 8,13 Imagen satelital, mostrando la mineralogía de carbonatos	148
Figura 8,14 Microanálisis de fluorescencia de rayos X (n=2452) en carbonatos	149
Figura 9,1 Paragénesis mineral	151
Figura 10,1 Microfotografías de cuarzo de la etapa cuarzo-pirita-wolframita	155
Figura 10,2 Tipos de inclusiones fluidas en cuarzo lechoso	156
Figura 10,3 Salinidad vs Temperatura de homogenización (Th)	157
Figura 10,4 Espectroscopía Raman en las inclusiones fluidas tipo L ₁	158
Figura 10,5 Histograma de las inclusiones fluidas en cuarzo lechoso	158
Figura 10,6 Inclusiones fluidas en esfalerita I y cuarzo. Etapa de metales base	160
Figura 10,7 Salinidad vs. Th. Etapa de metales base	161
Figura 10,8 Histograma de inclusiones fluidas. Etapa de metales base	161
Figura 10,9 Microfotografías de IF en esfalerita, baritina, carbonatos y cuarzo	164
Figura 10,10 Microfotografías de IF en calcita y cuarzo	166
Figura 10,11 Salinidad vs. Th de la etapa de carbonatos	167
Figura 10,12 Histograma de inclusiones fluidas de la etapa de carbonatos	168
Figura 11,1 Distribución metálica a escala de las vetas	172
Figura 11,2 Zonamiento metálico en superficie a escala del distrito	175
Figura 11,3 Th promedio de inclusiones fluidas L ₁	177

Figura 11,4 Gradiente geotérmico y dirección de flujo del fluido hidrotermal	178
Figura 11,5 Disminución conjunta de Th y salinidad	180

LISTA DE TABLAS

Tabla 4,1 Microanálisis de fluorescencia de rayos X en cristales de baritina I	47
Tabla 4,2 Microanálisis de fluorescencia de rayos X (n=16) en esfalerita I	52
Tabla 4,3 Concentraciones metálicas de la veta Andaychagua	56
Tabla 4,4 Matriz de correlación geoquímica de la veta Andaychagua	57
Tabla 4,5 Concentraciones metálicas de canales y sondajes. Veta Andaychagua	59
Tabla 4,6 Microanálisis de fluorescencia de rayos X en sericitas y clorita	66
Tabla 4,7 Análisis geoquímicos de la zona de alteración de la veta Andaychagua	66
Tabla 5,1 Microanálisis de fluorescencia de rayos X en esfalerita I	77
Tabla 5,2 Microanálisis de fluorescencia de rayos X (n=16) en esfalerita II	80
Tabla 5,3 Concentraciones metálicas de la veta Prosperidad W	83
Tabla 5,4 Concentraciones metálicas. Vetas Prosperidad E y Prosperidad Sur	84
Tabla 5,5 Concentraciones metálicas de canales y sondajes. Veta Prosperidad	88
Tabla 5,6 Microanálisis de fluorescencia de rayos X sobre sericita y clorita	94
Tabla 5,7 Análisis geoquímicos de la zona de alteración la veta Prosperidad	95
Tabla 6,1 Concentraciones metálicas de la veta San Cristóbal	106
Tabla 6,2 Matriz de correlación geoquímica de la veta San Cristóbal	107
Tabla 6,3 Concentraciones metálicas de canales y sondajes. Veta San Cristóbal	112
Tabla 6,4 Matriz de correlación de canales y sondajes. Veta San Cristóbal	112
Tabla 6,5 Microanálisis de fluorescencia de rayos X en sericita y clorita	117
Tabla 6,6 Análisis geoquímicos de las zonas de alteración. Veta San Cristóbal	117

Tabla 7,1 Microanálisis de fluorescencia de rayos X en baritina. Brecha Recuay	123
Tabla 7,2 Ensayos geoquímicos de la Brecha Recuay	128
Tabla 7,3 Ensayos geoquímicos de San Cristóbal Este	128
Tabla 7,4 Matriz de correlación en la Brecha Recuay y San Cristóbal Este	130
Tabla 7,5 Microanálisis de fluorescencia de rayos X sobre carbonatización	134
Tabla 8,1 Microanálisis de fluorescencia de rayos X sobre calcita	137
Tabla 8,2 Microanálisis de fluorescencia de rayos X en ankerita-dolomita	141
Tabla 8,3 Microanálisis de fluorescencia de rayos X en manganosiderita	146
Tabla 10,1 Ensamblajes de inclusiones fluidas	169

INTRODUCCIÓN

Una de las principales características de los depósitos polimetálicos cordilleranos es el marcado zonamiento mineralógico y metálico, mostrando un núcleo con minerales de Cu, pirita, cuarzo \pm (wolframita, minerales de Bi y Sn, hematita, muscovita, sericita) y partes externas con esfalerita y galena \pm (cuarzo, sericita, caolinita, dickita, hematita), además una zona más externa, incluye sulfosales de Ag \pm carbonatos de Mn-Fe. Existen varios ejemplos en el Perú Central como es el caso de Morococha (Catchpole, et al., 2015), Cerro de Pasco (Baumgartner, Fontboté, & Vennemann, 2008) y Smelter-Colquijirca (Bendezú & Fontboté, 2009).

El distrito de San Cristóbal pertenece a la franja metalogenética del Mioceno del norte y centro del Perú (Noble & McKee, 1994), y está localizado a 4,600 m.s.n.m. en el Domo de Yauli. Contiene prospectos tipo pórfido Cu-(Mo) (Chumpe y San Cristóbal), ocurrencias tipo skarn Zn-Pb (en rocas volcánicas del Grupo Mitu y en calizas del Grupo Pucará), y decenas de depósitos cordilleranos de Zn-Cu-Pb-Ag

bajo la forma de vetas y cuerpos de reemplazamiento, propagados sobre un área de más 31 km², con cercana relación espacial y temporal al pórfido cuarzo-monzonítico Chumpe (Beuchat, 2003). En el distrito operan 3 minas: mina San Cristóbal, mina Andaychagua y mina Carahuacra. La producción histórica desde 1956 hasta 2016 en la mina San Cristóbal alcanzó un total de 38'098,843 MT con 6.45 % Zn, 0.93 % Pb, 0.26 % Cu y 3.55 Oz/t Ag. Adicionalmente, desde el año 1967 hasta 1984 se reporta, una producción de 1.6 MT con 4.0 % Zn, 1.1 % Pb, 0.5 % Cu, 4.2 Oz/t Ag y 0.6 % WO₃. En la mina Andaychagua, desde 1996 hasta 2016, se produjo 16'647,179 MT con 6.21 % Zn, 1.13 % Pb, 0.21 % Cu y 4.8 Oz/t Ag. En la mina Carahuacra, desde 1948 hasta 2016, se explotó 20'856,988 MT con 6.75 % Zn, 0.64 % Pb, 0.02 % Cu y 2.46 Oz/t Ag. Sumando a la producción histórica acumulada, las reservas probadas y probables durante el 2016 en las 3 minas, se tendría un total de 96'965,724 MT con 6.32 % Zn, 0.89 % Pb, 0.17 % Cu y 3.58 Oz/t Ag.

El propósito de esta tesis es presentar una detallada descripción de la distribución mineralógica y composicional de las vetas San Cristóbal y Andaychagua y del ramal Prosperidad, actualizando las descripciones de estudios previos realizados por Pastor (1970), Kobe (1990) y Beuchat (2003). Adicionalmente, presentamos por primera vez un estudio de los prospectos Brecha Recuay y San Cristóbal Este, consideradas como las partes distales de las vetas polimetálicas en el distrito. Proporcionamos nueva información de la mineralogía, geoquímica,

cocientes metálicos y variación composicional de minerales (e.j., esfalerita y carbonatos). Mostramos también un estudio de inclusiones fluidas, para definir gradientes geotérmicos. Nuestros resultados interpretados en conjunto nos permiten observar un claro zonamiento mineral y metálico, a escala de las vetas y del distrito y las posibles direcciones de flujo del fluido Hidrotermal.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Ubicación y accesibilidad

El distrito minero de San Cristóbal está ubicado 110 km al este de Lima, en el departamento de Junín, provincia de Yauli y distritos de Yauli y Huay-Huay, al suroeste de la ciudad La Oroya. Se emplaza en el flanco este de la Cordillera Occidental de los Andes Centrales del Perú, a 4600 m.s.n.m.

Se accede vía Lima - Calera Cut Off, a través de la carretera central hasta el kilómetro 156 (3 horas). Se continúa por la ruta Calera Cut Off - Marh Túnel - Yauli - Mina San Cristóbal, por una vía afirmada cerca de 24 Km (1 hora).

1.2 Antecedentes referenciales

Existe abundante información geológica del distrito de San Cristóbal y del domo de Yauli. El distrito de San Cristóbal fue reconocido desde tiempos prehispánicos, como

se muestra con los restos de labores convencionales. Los primeros trabajos fueron realizados por McLaughlin (1924), quien describe las principales unidades litológicas y estratigráficas del sector, Harrison (1948), compiló el primer mapa geológico regional del domo de Yauli. Otros estudios estratigráficos pertenecientes al Mesozoico en el sector, fueron realizados por Terrones (1949), Szekely & Grose (1972), y otros. Estudios geológicos adicionales incluyen los trabajos de Lyons (1968), Kobe (1990), Daiheimer (1990) y Lepry (1981).

Estudios metalogenéticos en el distrito minero de San Cristóbal fueron realizados por varios autores, quienes hablan de la mineralización, paragénesis y la distribución metálica en la veta San Cristóbal, proponiendo modelos geológicos para explicar la formación de las vetas. Pastor (1970), realizó una descripción detallada de la mineralización, paragénesis y alteración en la veta San Cristóbal; Daiheimer (1990), elaboró un cartografiado de detalle de cuerpos y mantos en el distrito, interpretando una mineralización relacionada a procesos singenéticos en calizas del Pucará; Bartlett (1984) y Kobe (1990), realizaron estudios sobre la evolución metalogenética en el domo de Yauli.

Estudios de inclusiones fluidas e isótopos estables han sido trabajados por Campbell (1982), Campbell & Rye (1982, 1983), Campbell & Robinson-Cook (1987), y más recientemente por Stucky (2001), Lisboa (2001), Moritz, et al. (2001), Sallier (2002) y Beuchat (2003).

La evolución estructural, ha sido descrita, tanto a escala regional como a escala local, por Harrison (1948), Pastor (1970), Kobe (1990), Lepry (1981) y Beuchat (2003).

1.3 Planteamiento de la investigación

Zonamiento metálico y mineralógico son características comunes observada en depósitos polimetálicos cordilleranos. Dichas características han sido parte de varios estudios en el Perú Central, como es el caso del Domo de Yauli, Cerro de Pasco, Colquijirca, entre otros.

El conocimiento del zonamiento en los depósitos cordilleranos es crítico al momento de definir los “targets” de exploración. Los resultados del estudio de la distribución mineral y metálica y las posibles direcciones de flujo del fluido hidrotermal son muy importantes en la vectorización de las menas y en el éxito de las campañas de exploración.

1.4 Objetivos de la investigación

- Generales: Identificar la distribución mineralógica y composicional que existen entre 2 sistemas de vetas principales en el distrito de San Cristóbal, a partir de la descripción detallada y comparativa de los minerales de mena y ganga (realizadas en observaciones de campo, sondajes diamantinos, secciones delgadas y secciones delgadas doblemente pulidas), el análisis de los resultados de geoquímica (obtenidos

en este estudio y durante más de 50 años de operación minera), cocientes metálicos, microanálisis de fluorescencia de rayos X (variación composicional de esfalerita y carbonatos) y espectroscopía Raman. Estos resultados son interpretados en conjunto para así definir el zonamiento mineralógico y metálico.

- Específicos: Realizar un análisis de los gradientes geotérmicos obtenidos del estudio de inclusiones fluidas, en conjunción con la mineralogía y cocientes metálicos, con el propósito de trazar las posibles direcciones de flujo del fluido hidrotermal en las vetas del distrito, y así generar un modelo geológico interpretativo para la vectorización de nuevos “targets” de exploración.

1.5 Hipótesis

Existe un claro contraste en la distribución mineralógica y composicional entre las diferentes vetas en el distrito de San Cristóbal. Esto permite definir un zonamiento mineralógico y metálico.

La variación de los cocientes metálicos y gradientes geotérmicos, así como la variación composicional de minerales como la esfalerita y carbonatos de Mn-Fe, guardan una fuerte relación con la posible dirección de flujo del fluido hidrotermal a escala de las vetas.

1.6 Marco teórico

Una de las principales características de los depósitos polimetálicos cordilleranos es el marcado zonamiento mineralógico y metálico, desde un núcleo temprano con minerales de Cu, cuarzo, pirita ± wolframita, minerales de Sn, hematita y sericita (Cu, W) y partes externas con esfalerita y galena (Zn, Pb), además una zona más externa incluye sulfosales de plata ± carbonatos de Mn-Fe (Ag). Existen varios ejemplos en el Perú Central como es el caso de Morococha (Catchpole et al., 2015), Cerro de Pasco (Baumgartner, Fontboté, & Vennemann, 2008), Smelter-Colquijirca (Bendezú & Fontboté, 2009), Hualgayoc (Tumialán, P. 2003) y Julcani (Goodell & Petersen, 1974), etc. Las causas de este zonamiento han sido descritas por varios autores debido a la precipitación mineral controlada por la temperatura, mezcla del fluido hidrotermal, aguas meteóricas (“mixing”), neutralización de la roca encajonante (“buffer rock”) y ebullición.

1.7 Metodología

El estudio tuvo 2 etapas.

1.7.1 Trabajos de campo

Al inicio se realizó la recopilación de la información geológica previa en el área de estudio. Posterior a esto, se realizó 13 salidas de campo durante los años 2017 y 2018, recorriendo las trazas de las vetas Andaychagua y Prosperidad W (incluidos sus ramales Prosperidad E y Sur), casi en su totalidad (7.5 km); y alrededor de 2 km

en la veta San Cristóbal. De los prospectos Brecha Recuay y San Cristóbal Este, se recorrió un total de 110 hectáreas. Durante las 13 salidas de campo se recolectaron un total de 147 muestras de superficie (>1.5 Kg de peso cada muestra), para análisis geoquímicos multielemental ultra traza por 51 elementos (G0176 ICPOES & ICP MS Multiácida + Au).

1.7.2 Trabajos de laboratorio

59 muestras de mano a partir de las 147 muestras de superficie (incluyendo 2 muestras del sondaje PR-12-SUP-17), fueron seleccionadas para su preparación en el laboratorio petrográfico de WAGNER PETROGRAPHIC LLC en Utah, Estados Unidos. De las 59 muestras, 25 fueron destinadas para la preparación de secciones delgadas doblemente pulidas, usadas para el estudio mineralógico de menas y gangas e inclusiones fluidas y 34 para secciones delgadas, usadas en la petrografía de los halos de alteración de las vetas sobre la roca caja. Los estudios petrográficos y mineralógicos fueron realizados usando el microscopio Leica DM2700 P. Estos estudios fueron complementados con micro-análisis de fluorescencia de rayos X con el equipo XGT-1200 de HORIBA, sobre esfalerita, carbonatos, cloritas y arcillas. Estudios por espectroscopía Raman fueron llevados a cabo en arcillas y cloritas. La espectroscopía Raman fue hecha usando el equipo XploRA PLUS de HORIBA. Los experimentos de microtermometría y criometría fueron realizados usando una plataforma de calentamiento y enfriamiento Linkam THMSG600. Todos los

instrumentos utilizados para este estudio, pertenecen al laboratorio de mineralogía de Volcan Compañía Minera S.A.A.

CAPÍTULO II

GEOLOGÍA DEL DISTRITO DE SAN CRISTÓBAL

El distrito de San Cristóbal se encuentra ubicado dentro de un anticlinorium que integra la parte sureste del Domo de Yauli. La geología histórica y las características litológicas y estructurales a escala distrital y regional, han sido documentadas en varios estudios, los cuales incluyen: Mc. Laughling (1924), Harrison (1948), Petersen (1965), Szekely & Grose (1972), Lepry (1981), Rivera & Kobe (1983), INGEMMET (1983), Megard (1979), Rosas et al. (2007), Beuchat (2003), etc.

2.1 Clima y Vegetación

Las condiciones climáticas corresponden a un clima lluvioso, frío, con menores lluvias en otoño e invierno y con humedad relativa. Este clima se caracteriza porque su régimen tiene dos estaciones bien marcadas: Mayo a Octubre (estación seca), y Noviembre a Abril (estación húmeda).

2.2 Fisiografía

Fisiográficamente, el Distrito se encuentra ubicado entre el valle glaciar Andaychagua y San Cristóbal, en la Cordillera Occidental de los Andes Centrales Peruanos. El paisaje dominante en el sector es típicamente glaciar, con relieves topográficos que exhiben superficies agrestes relacionadas a rocas metamórficas y volcánicas. Lagunas y bofedales están alrededor del distrito minero, siendo la laguna Polvorín la de mayor dimensión. Estas lagunas son tributarios de ríos menores que son afluentes del río Yauli y Mantaro.

2.3 Estratigrafía

2.3.1 Grupo Excelsior

Es la unidad más antigua en el distrito, conforma el núcleo y basamento del Domo de Yauli. Está compuesta de filitas, esquistos, cuarcitas y pizarras carbonosas, que tienen coloraciones desde grises a verdes. Por tramos, las rocas se encuentran finamente estratificadas con masas de cuarzo lechosos (INGEMMET, 1983). En la parte sureste del distrito, se encuentran horizontes de mármol y acumulaciones irregulares de derrames lávicos básicos y rocas volcanoclásticas (Kobe, 1990). Rosas S. & Muñoz C. (2009), muestran que el mármol descrito por Kobe es en realidad una dolomía “grainston” bioclástica o biodoloesparítica, con bioclastos de crinoideos. Lavas en almohadilla e intrusivos subvolcánicos dioríticos también han sido reconocidos (Harrison, 1948). La potencia en el distrito es desconocida, pero

Harrison (1948), en Tarma, 50 km al este de Yauli, estimó espesores de las filitas del Grupo Excélsior en más de 2000 m.

La más antigua deformación de esta unidad está asociada a la orogenia Varisca, donde además de la intensa deformación se formaron estructuras de crenulación y de enrollamiento en las filitas (Lepry, 1981). Las edades son datadas mediante fósiles de braquiópodos y pertenecerían al Devónico (Harrison, 1948).

2.3.2 Grupo Mitu

Este grupo es localmente conocido como volcánicos Catalina y está compuesto en gran parte, por rocas volcánicas andesíticas y piroclásticas de coloraciones violetas. Sobreyacen en discordancia angular a las filitas del Grupo Excélsior.

En el área de la mina San Cristóbal, se describe una secuencia estratigráfica con una base compuesta por brechas con clastos de filitas, gradando hacia derrames lávicos de composición andesíticas, tobas dacíticas, aglomerados y flujos de lava afaníticos en la parte superior (Beuchat, 2003). Por otro lado, Rivera & Kobe (1983), reportan dos fases, la base, compuesta por derrames lávicos de composición andesítica y dacíticas; y un miembro superior comprendido de tobas y brechas de composición dacítica y andesítica. Además, en el presenta trabajo en el sector conocido como San Cristóbal Este, se pudo observar una secuencia compuesta de rocas volcanoclásticas intercaladas con limolitas, tobas y volcánicos dacíticos.

Lepry (1981), reporta espesores que varían desde 300 m en el flanco suroeste del Domo Yauli, cerca de la mina San Cristóbal, hasta más de 700 m en el flanco noreste. Por su parte McLaughlin (1924), estima una potencia para este grupo en más de 760 m.

Estudios regionales reportan que el Grupo Mitu se depositó en un conjunto de depocentros en una cuenca extensional tipo “*rift*” (Rosas, Fontboté, & Tankard, 2007) y que sufrieron efectos de deformación desde la orogenia tardi-hercínica (Rivera & Kobe, 1983). Spikings et al. (2016), le asigna una edad entre el Triásico Medio y Triásico Superior.

2.3.3 Grupo Pucará

A nivel regional el Grupo Pucará es subdividido en las Formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga (Megard, 1979).

En el distrito de San Cristóbal el Grupo Pucará sobreyace al Grupo Mitu en discordancia angular y en aparente sobreescurrecimiento (Szekely & Grose, 1972). Está constituida en la base por areniscas y conglomerados calcáreas con un espesor de 5 m a 10 m (Bartlett, 1984), seguido de calizas gris oscura con abundantes nódulos de chert gris y negro, que gradan hacia arriba en areniscas limosas, calizas y dolomías (Lepry, 1981). Este paquete calcáreo en la parte superior contiene delgados horizontes (entre 30 y 50 cm) de tobas dacíticas a riodacíticas (Dalheimer, 1977) y

evaporitas (Kobe, 1990). Flujos lávicos y/o sills de basalto con potencias entre 10 m y 15 m están intercalados con las calizas al tope del Grupo Pucará (Lepry, 1981). Estos horizontes basálticos son considerados como marcadores estratigráficos en San Cristóbal y están desarrollados en todo el Domo de Yauli (Bartlett, 1984). Estudios realizados por Rosas et al., 1996, les atribuye una composición de andesitas basálticas.

En este sector el Grupo Pucará se caracteriza por ser muy variable y poco potente con respecto a otras zonas del Perú central (Rosas, Fontboté, & Tankard, 2007). Su espesor varía desde cerca de 450 m en el flanco este y norte del Domo de Yauli, hasta menos de 250 m en el distrito de San Cristóbal (Lepry, 1981). Esta secuencia de rocas carbonatadas del Grupo Pucará alberga a los mantos y cuerpos polimetálicos del corredor Carahuacra-Toldorrumi.

Existe una controversia si las 3 formaciones (Chambará, Aramachay y Condorsinga) están presentes en San Cristóbal. Lepry (1981) reporta a la Formación Condorsinga como la única presente y a las formaciones Chambará y Aramachay como erosionadas y/o no depositadas. Por otra parte, Szekely y Grose (1972) y Dalheimer (1990) consideran adicionalmente la presencia de la Formaciones Aramachay. Cabe señalar que Rosas et al. (2007) documenta facies del Chambará, Aramachay y Condorsinga y sus características litogeoquímicas en Tingocancha, 7 km al noreste del distrito de San Cristóbal, por lo que existe la posibilidad de que

unidades equivalentes a las 3 formaciones del Grupo Pucará estén presentes en San Cristóbal.

El Grupo Pucará es atribuido al Triásico Superior y al Jurásico Inferior (Rosas, Fontboté, & Tankard, 2007).

2.3.4 Grupo Goyllarisquizga

El Grupo Goyllarisquizga marca la primera deposición Cretácica en los andes centrales del Perú. Su deposición fue ligeramente discordante sobre el Grupo Pucará (Rivera & Kobe 1983). Compuesta en la base con guijarros de caliza y cuarzo en una matriz de coloración rojiza (Pastor, 1970), siguiendo una secuencia de arenisca rojizas, lutitas y cuarcitas con estratificación cruzado y “ripple marks” (Lepry, 1981). En los horizontes superiores, entre calizas, lutitas grises fosilíferas y margas, se encuentran emplazados basaltos y diabasas porfíricas (Rivera & Kobe, 1983). Su espesor estimado en San Cristóbal es de aproximadamente 250 m (Pastor, 1970).

No se ha encontrado fósiles que sean diagnósticos de la edad del Grupo Goyllarisquizga en este sector, pero se estima sean del Cretácico Inferior, con una edad entre Neocamiano-Aptiano (INGEMMET, 1983).

2.3.5 Grupo Machay

Yace en discordancia sobre el Grupo Goyllarisquizga e incluye a las Formaciones Chulec, Pariatambo y Jumasha (Barbas, 1996).

Según Barbas (1996), la Formación Chulec alberga cerca de 200 m de calizas gris a marrón claro con intercalación de margas y lutitas grises. Sobreyace la Formación Pariatambo, que está compuesta de 80 m de calizas y margas oscuras y bituminosas de estratos delgados y nódulos de chert (Lepry, 1981). Estratigráficamente más arriba la Formación Jumasha consta de 200 a 300 m de calizas margosas, lutitas y dolomías fosilíferas de capas medianas a gruesas (Barbas, 1996). Adicionalmente, Pastor (1970) documenta flujos basálticos intercalados con las rocas calcáreas. Lepry (1981) reporta un espesor total de aproximadamente 730 m para este Grupo en el distrito de San Cristóbal.

Se le asigna una edad del Cretácico Medio (Albiano-Cenomaniano) (INGEMMET, 1983).

2.4 Rocas Ígneas

Múltiples intrusiones ígneas de composición calcoalcalina afloran en el área del distrito de San Cristóbal y son producto principalmente de magmatismo Terciario, siendo los más representativos los intrusivos Carahuacra, San Cristóbal y Chumpe, emplazados lo largo o cerca del eje del anticlinal Chumpe. Estos intrusivos Terciarias han sido diferenciados y divididos por sus características petrológicas y sus edades datadas (Beuchat, 2003).

2.4.1 Intrusivo Carahuacra

Es un stock porfirítico cuarzo-monzonítico ubicado en la mina Carahuacra al noreste de San Cristóbal. Tiene dimensiones de 1.5 km de largo x 1 km de ancho con una orientación N 40° W, paralelo al eje del anticlinal Chumpe en el flanco oeste del Domo de Yauli (Pastor, 1970) y corta a las filitas del Grupo Excelsior y a los volcánicos del Grupo Mitu.

El intrusivo presenta una textura porfirítica, con fenocristales de plagioclasas, feldespatos y piroxenos. La matriz está compuesta por plagioclasas, feldespato, cuarzo y piroxeno y esfena, apatito, magnetita y titanita como accesorios primarios (Bartlett, 1984).

El intrusivo ha sido afectado por una débil propilitización, compuesta de clorita, calcita, micas blancas, epidota y leucoxeno, afectando principalmente a los piroxenos.

Lyons (1968) postuló una edad Pérmica para el intrusivo Carahuacra. Lo interpreta como un cuello volcánico erosionado que originó los flujos volcánicos del Grupo Mitu y que adicionalmente se encuentra afectado por el plegamiento Incaico. Por otra parte, Lepry (1981) infiere una edad Terciaria, basado en relaciones de corte entre el intrusivo y los volcánicos del Grupo Mitu. Bartlett (1984) realizó una

datación por K-Ar en rocas poco alteradas del intrusivo Carahuacra, obteniendo una edad de 43.5 ± 1.6 Ma.

2.4.2 Intrusivo San Cristóbal

Consiste de un intrusivo de color gris claro a pardo, que en superficie se encuentra en gran parte cubierto por sedimentos aluviales y su forma solo ha sido reconocida mediante programas de exploración diamantina. Es de composición cuarzo-monzonítica y tiene una textura porfírica, compuesta de fenocristales de plagioclasas (20–30 %), feldespato potásico (15-20 %) y cuarzo (5%), con biotita, hornblenda y apatito como accesorios. El intrusivo se encuentra pervasivamente alterado a sericita, illita, clorita y tremolita (Beuchat, 2003) y puede llegar a extenderse hasta las calizas del Grupo Pucará como diques angostos.

2.4.3 Intrusivo Chumpe

Es un pórfido cuarcífero, ocurre como un stock elongado de dimensiones de 600 m x 250 m y orientación N40°W, y como múltiples diques sub-paralelos de rumbo andino y buzamientos de 85° al suroeste. Estos intruyen a las filitas del Grupo Excélsior a lo largo del eje del anticlinal Chumpe (Figura 3,2).

El pórfido está constituido de fenocristales de plagioclasas y feldespatos con tamaños desde 0.3 mm hasta 3 mm y abundancias de hasta del 30 %, acompañados de ojos de cuarzo que presentan bordes y golfos de corrosión y tamaños de hasta 3

mm y hasta 10 % en volumen. También se observa esporádicamente cristales de biotita y anfíbol, pero generalmente alterados (Vallance, 2015). La matriz es afanítica y abarca el 60 % en volumen de la roca y consiste principalmente de cuarzo (recristalizado por la alteración). Minerales accesorios incluyen zircón, rutilo y apatito (Vallance, 2015).

Por la abundancia de fenocristales de cuarzo, Vallance (2015) infiere una composición modal de cuarzo-monzonita a cuarzo-monzodiorita.

En superficie, el pórfido Chumpe exhibe un sector de intensa alteración argílica avanzada (“lithocap”) que también afecta al Grupo Excelsior, de unos 2 km de largo x 1 km de ancho, elongado en dirección andina (Figura 3,2). La alteración es zonada y consiste de un núcleo con alunita-pirofilita-illita-cuarzo que grada a sericita-cuarzo-muscovita. En este sector se encuentran abundantes vetas y vetillas de pirita masiva, unas pocas con halos de sericita y en menor cantidad vetillas de cuarzo-pirita±molibdenita±muscovita. Externamente una envolvente de illita-caolinita, seguido de clorita-sericita verde-caolinita-especularita y lazulita y más allá clorita, specularita y calcita, la cual se extiende por más de 3 km x 2 km. Según estos rasgos, el pórfido Chumpe podría pertenecer a un pulso intermineral (Sillitoe, 2017; comunicación personal).

El pórfido está datado en 5.4 ± 0.3 Ma por K-Ar por Noble y McKee (1999) y en $6.6 (+1;-3.6)$ Ma por U/Pb en zircón por Beuchat (2003). Pastor (1970) sugiere que el intrusivo Chumpe fue responsable del dominio estructural y subsecuente mineralización en el distrito de San Cristóbal.

Existen también intrusivos gabroicos en la parte suroeste de la mina Andaychagua, con dimensiones de hasta 250 m x 70 m. Estos intrusivos se encuentran intruyendo a los volcánicos del Grupo Mitu y/o a las filitas del Grupo Excelsior.

2.5 Geología Estructural

La principal estructura en el distrito es el Domo de Yauli. Está situado en la franja corrida y plegada del Marañón y en una importante ENE “striking cross-strike structural discontinuity” (Bissig et al., 2008) (Figura 3,1). Conforman un anticlinorium de aproximadamente 30 Km de longitud y 20 Km de ancho (Pastor, 1970), con una orientación N 40° W. En su parte occidental el domo está conformado por el anticlinal Chumpe (la principal estructura en el área de San Cristóbal), el sinclinal Andaychagua y el anticlinal Ultimátum. El Anticlinal Chumpe es asimétrico y presenta una doble inclinación, con un eje de orientación N 40° W y un plano axial buzando abruptamente al noreste. Las unidades litológicas, parte del anticlinal Chumpe son desde el más antiguo al más joven, las filitas del Grupo Excelsior, las rocas volcánicas del Grupo Mitu, las calizas del Grupo Pucará, las areniscas del Grupo Goyllarisquizga y las rocas carbonatadas del Grupo Machay. El núcleo del

anticlinal está compuesto por las filitas con una dimensión de 1.5 x 19 km (Pastor, 1970). Se considera que el domo se produjo inicialmente durante la orogenia Varisca y probablemente influenció la geometría de las cuencas sedimentarias del Triásico y Jurásico (Rosas, Fontboté, & Tankard, 2007).

La compresión asociada a la fase Inca, durante el Eoceno, produjo pliegues, fallas y rampas de sobreescorrimento el cual afectó por completo al Domo de Yauli. De estos, un sistema de fallas transversales al eje del Domo de Yauli (de dirección este-oeste y noreste-suroeste) afecta al flanco occidental del anticlinal Chumpe y alojan gran parte de la mineralización de Zn-Pb-(Ag). De este sistema de fallas, las que se encuentran localizadas al noroeste del intrusivo Chumpe buzan entre 45° y 60° al sureste y las fallas localizadas al sureste del intrusivo Chumpe buzan entre 60° y 80° al noroeste. Por lo que se puede observar que este sistema de fallas converge en profundidad hacia el intrusivo Chumpe. El sistema de fallas tiene un desplazamiento de hasta 300 m en San Cristóbal y hasta 250 m en la veta Prosperidad y Andaychagua. Lineamientos mayores de orientación N120° están presentes en el basamento y afectan toda el área. La posición de estos lineamientos coincide con los más grandes yacimientos en el Domo de Yauli (Beuchat, 2003).

CAPÍTULO III

METALOGENIA

El distrito de San Cristóbal está localizado a 18 km al sureste de la mina Morococha y Toromocho. Contiene una de las más grandes concentraciones de vetas y mantos polimetálicos en la franja metalogenética del Mioceno del norte y centro del Perú (específicamente en la sub-franja del Mioceno Tardío), el cual alberga números depósitos cordilleranos Zn-Pb-Ag-(Cu), pórfidos de Cu-Au-(Mo), skarns de Zn-Pb-Cu y depósitos de alta sulfuración de Au-(Ag) (Petersen, 1965; Einaudi, 1977; Noble & McKee, 1999; Bissig et al., 2008; Baumgartner & Fontboté, 2008; Bendezú & Fontboté, 2009). A lo largo de esta franja metalogenética, enlaces temporales y espaciales que ocurren entre los depósitos cordilleranos y pórfidos de Cu±Mo, han sido demostrados en varios lugares (Rottier et al., 2018). En el distrito de San Cristóbal, la mineralización polimetálica cordillerana está íntimamente relacionada al pórfido cuarzo-monzonítico Chumpe, datado en 6.6 (+1;-3.6) Ma por U/Pb en zircón (Beuchat, 2003). En superficie, este pórfido está sobreimpuesto por una zona de

alteración argílica avanzada (“litocap” Chumpe) y contiene numerosas vetillas de espesores milimétricos de pirita, cuarzo, molibdenita y muscovita en distintos ensambles, típicos de pórfidos de $\pm\text{Cu}\pm\text{Mo}$. Cabe resaltar que la mineralización conocida en esta franja se encuentra principalmente entre 3,500 y 5,000 metros sobre el nivel del mar (Petersen, 1965) (Figura 3,1).

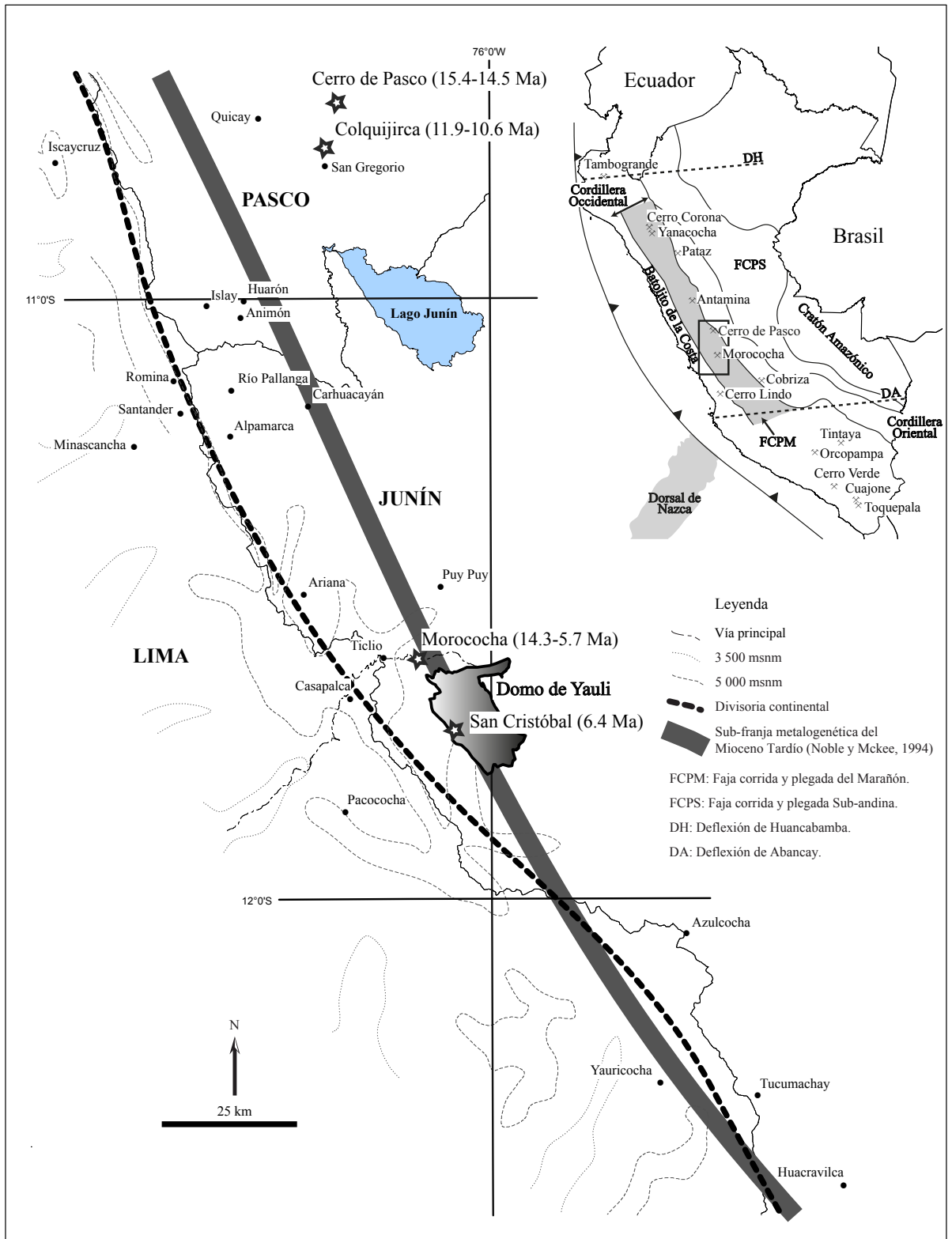


Figura 3,1 Ubicación del Domo de Yauli, mostrando los principales yacimientos en la sub-franja metalogénica del Mioceno Tardío del Perú Central. Modificado de Noble y McKee (1994).

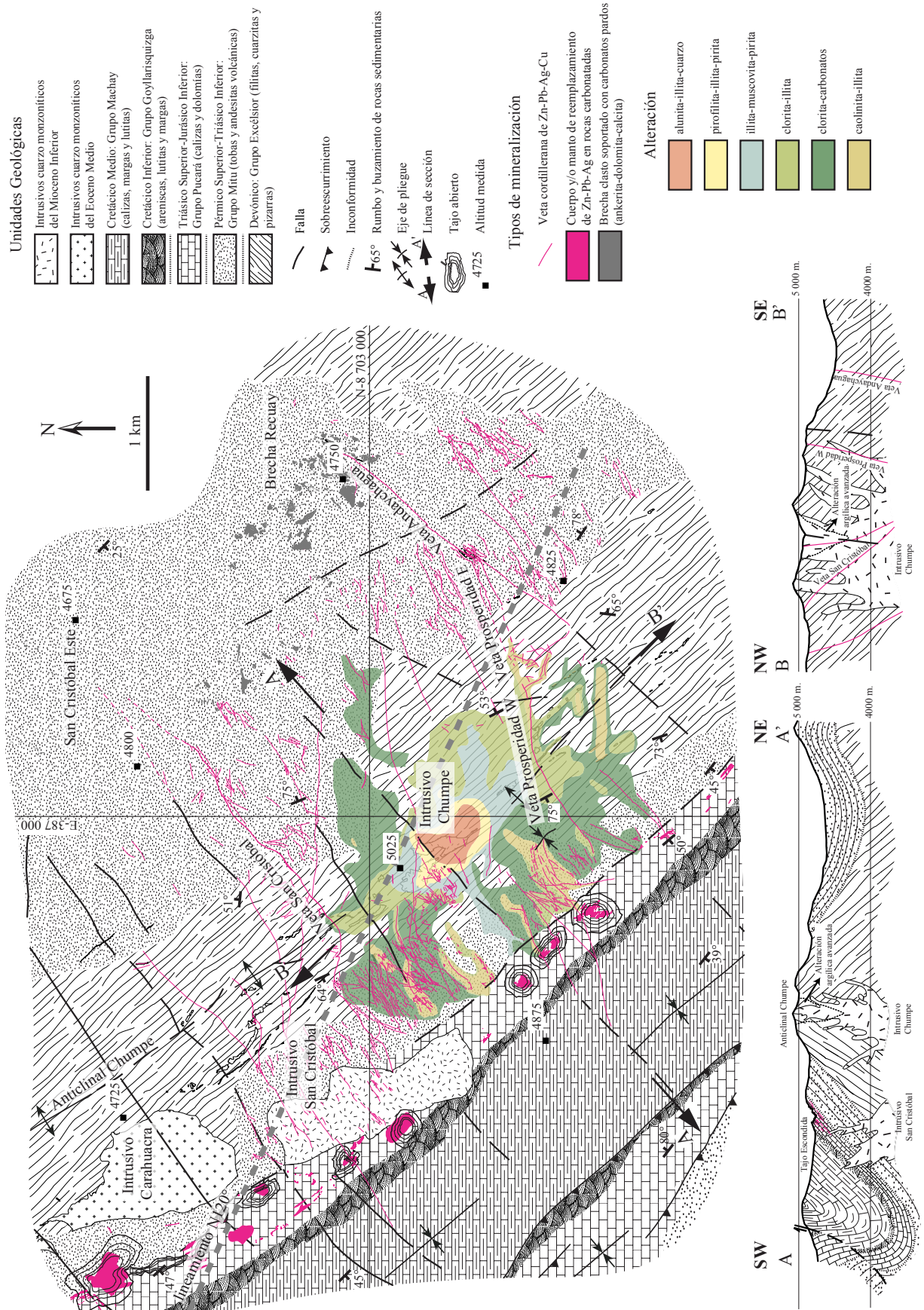


Figura 3,2 Mapa geológico del distrito de San Cristóbal (modificado de Volcan Compañía Minera, 2019).

CAPÍTULO IV

VETA ANDAYCHAGUA

Está localizada 3 km al sureste de la veta San Cristóbal, en el flanco este del anticlinal Chumpe y tiene una longitud de aproximadamente 5 km. Pertenece a un sistema conformado por las vetas Prosperidad, Esther, Milagros, Rubí, Puca Orco, Marty, Rosie, Blanca, etc. La veta atraviesa rocas volcánicas y piroclásticas del Grupo Mitu y filitas del Grupo Excélsior. En rocas volcánicas, la orientación varía desde N 35° E entre las líneas N-10 000 y N-11 000, a N 41° E, a partir de la línea N-11 500 (Figura 4,2). Los buzamientos van desde 75° a 90° al noroeste (Figura 4,1 B). En las filitas la veta se divide en numerosas vetillas centimétricas, mostrando estructuras tipo “horse-tail”. La mineralización es reconocida en 3 km de largo y 1.5 km de profundidad (Figura 4,2), con potencias que varían de 1.8 a 7.5 m, alcanzando hasta 18 m (clavo mineralizado) en la intersección con la veta Prosperidad E y Sur (Barbas, 1996). La traza de la veta se puede proyectar al suroeste hasta las calizas del

Grupo Pucará, donde se han formado diversos mantos y cuerpos de reemplazamiento (cuerpos Moisés y Huaytayán).

En superficie, la veta Andaychagua está constituida principalmente por óxidos de Mn y Fe semi-masivos (20 a 80 % en volumen), predominando “wad”, goethita y hematita. Los óxidos están acompañados por asociaciones de carbonatos de Mn-Fe, cuarzo hialino y baritina (Figura 4,1 C). Porciones de la veta que han sido débilmente afectadas por la oxidación exhiben comúnmente mineralización polimetálica representada por esfalerita, galena, cobres grises, además de pirita, arsenopirita y estibina (Figura 4,1 D). La veta sufrió un movimiento dextral de 200 m, mostrando bordes con “gouge” y brechas de falla que contienen clastos de cuarzo y carbonatos, evidenciando fallamiento post-mineral.

4.1 Mineralogía

Se realizó un estudio detallado de muestras en superficie en diferentes partes de la veta.

4.1.1 Descripción de gangas

Los minerales de ganga más abundantes son carbonatos Mn-Fe y cuarzo. Los carbonatos de Mn-Fe, forman bandas y rellenan oquedades (Figura 4,3 A). Los cristales varían en tamaño de fino a grueso (hasta 3 mm), comúnmente con hábitos

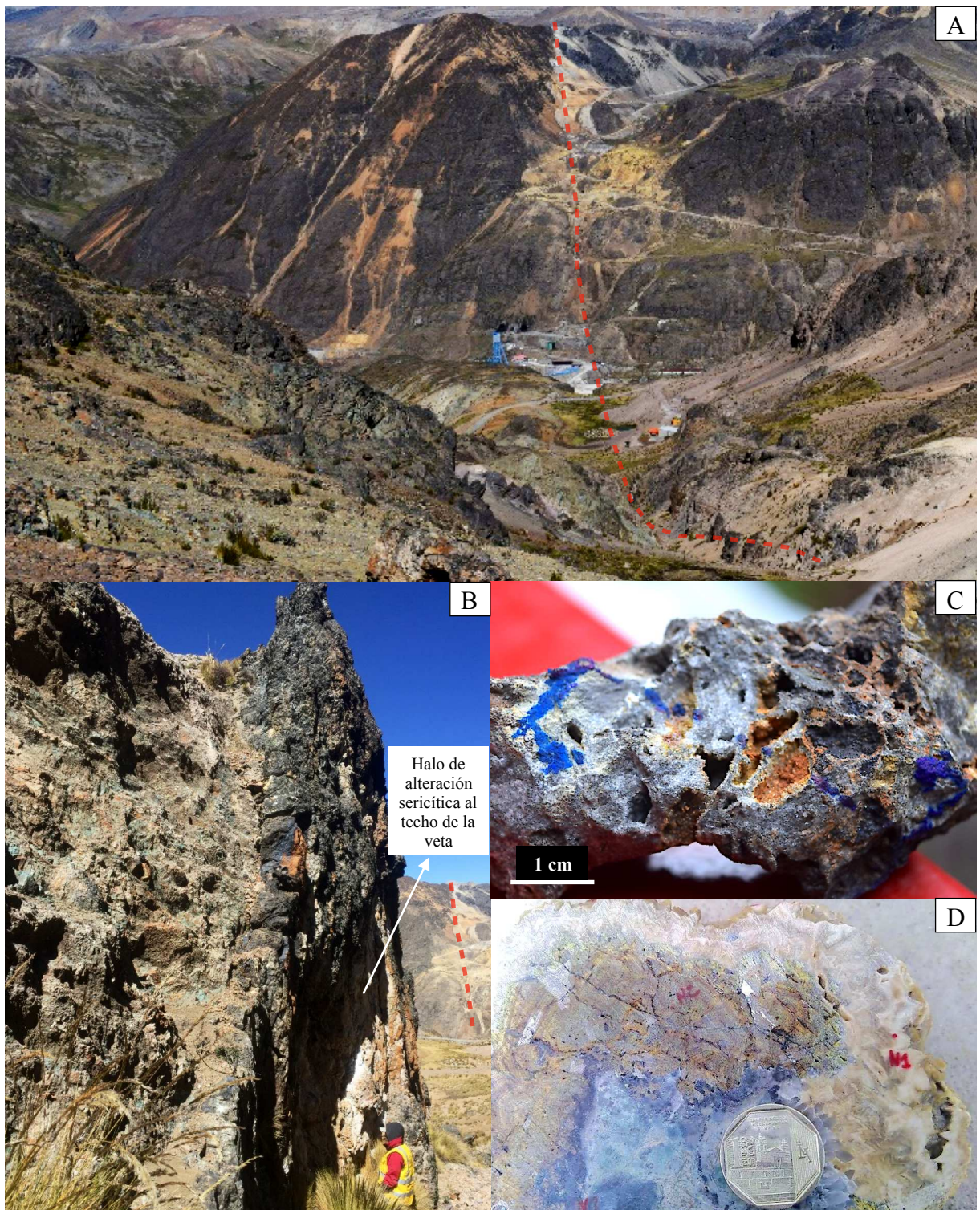


Figura 4,1 A) Foto panorámica de la veta Andaychagua (se muestra la traza en líneas punteadas de color rojo). B) Imagen de la veta Andaychagua, mostrando su superficie con óxidos de manganeso y halo de alteración sericítica. C) Muestras de mano con cuarzo y carbonatos (muestra 36964). D) Muestra de mano con esfalerita, cuarzo y carbonatos. Líneas azules representan las líneas de corte para secciones delgadas doblemente pulidas.

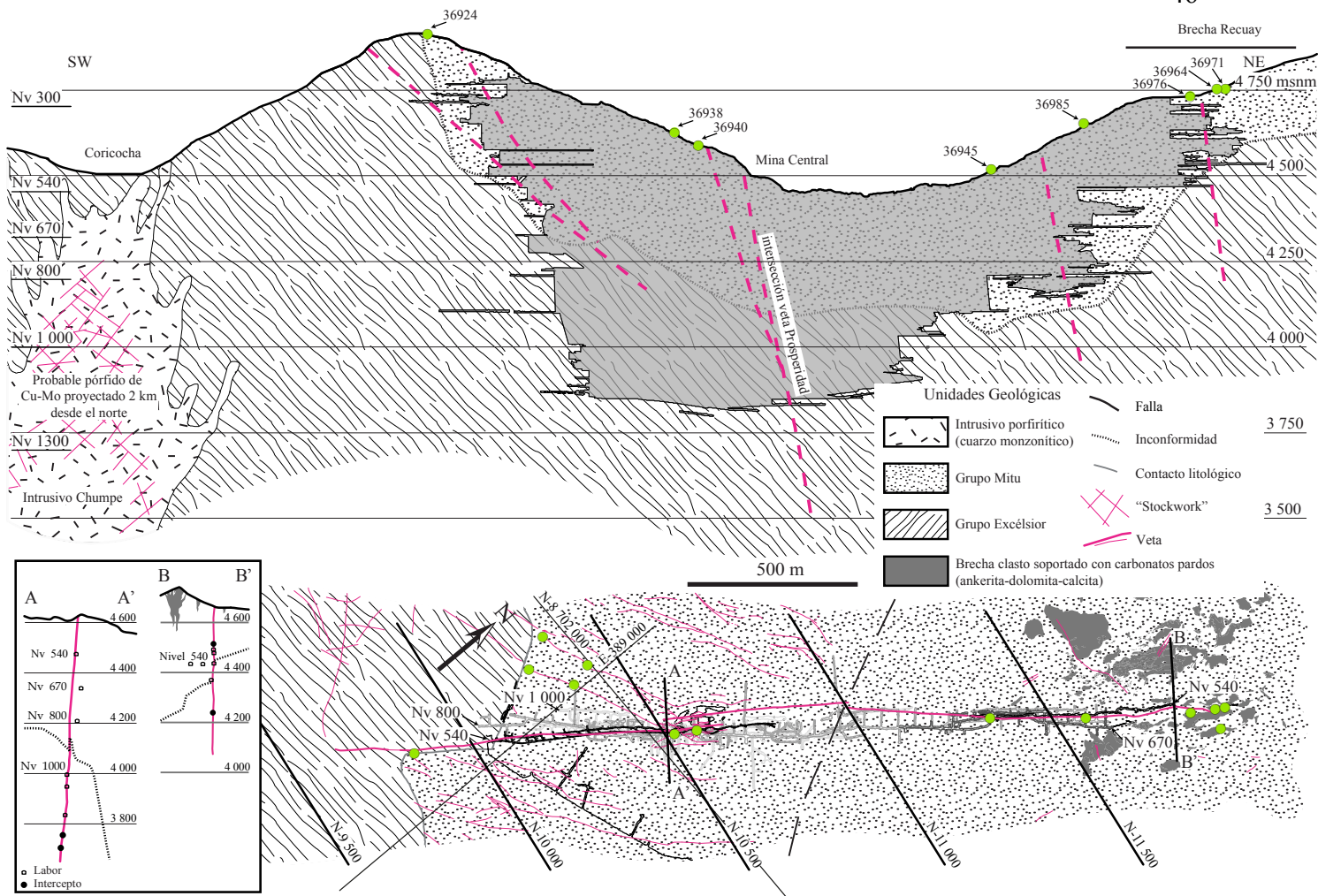


Figura 4.2 Sección longitudinal, plano en planta y 2 secciones transversales de la veta Andaychagua. Además, se muestra los puntos de muestreo geoquímico y secciones delgadas doblemente pulidas. La grilla mostrada es usada por el personal de Volcan Compañía Minera en las labores de minado.

“saddle” y romboédricos y coloraciones cremas a rosáceas. Al microscopio se observa que los cristales presentan diferentes bandas entre grises y blancas. Los carbonatos generalmente contienen granos de cuarzo en los intersticios (Figura 4,3 A). En superficie estos están comúnmente alterados a óxidos de manganeso y hierro. El carbonato es más abundante alrededor de la línea N-10 000 y desde la línea N-11 500 hacia el noreste, donde tiene una abundancia >50 %.

El cuarzo es hialino, es el siguiente más abundante después de los carbonatos.

Los cristales son euhedrales a subhedrales y varían en tamaños desde 100 μm a 1

mm. Forman bandas y relleno de cavidades, muchas veces presentando texturas granulares y en cresta (“comb”) (Figura 4,3 C y E). Su contenido en volumen a lo largo de la veta es >5 %, aumentando considerablemente al noreste a partir de la línea N-11 500 hasta 50 %. El cuarzo sobrecrece y corta cristales de carbonatos Mn-Fe y de baritina (Figura 4,3 C y F).

La baritina se presenta como cristales tabulares con tamaños que van desde unas micras hasta 3 cm de largo. Estas están presentes en toda la veta, con abundancias que oscilan entre 1 y 10 %. Se ha reconocido 2 eventos de baritina, uno intercrecido con carbonatos Mn-Fe (baritina I) y otro intercrecido con cuarzo (baritina II). Microanálisis de fluorescencia de rayos X sobre baritina 1 se muestran en la Tabla 4,1.

Tabla 4,1 Resultado del análisis de fluorescencia de rayos X en cristales de baritina I.

Muestra	SO ₃	MnO ₂	Fe ₂ O ₃	SrO	BaO
36928	21.02	0.20	0.75	2.13	75.9
36924	32.37	-	-	1.85	65.79
36976	38.02	-	-	3.08	58.89

La arsenopirita ocurre a lo largo de toda la veta. Se presenta como bandas de cristales pseudo-octaédricos y prismáticos de tamaños <100 µm y como inclusiones en cuarzo, carbonatos Mn-Fe (Figura 4,3 C y 4,4 C) y esfalerita (Figura 4,3 B y 4,4 A). Su volumen acumulado en la veta varía desde 1 a 5 %.

La pirita es poco extendida en la veta. Exhibe dimensiones $<100 \mu\text{m}$ y se presenta mayormente como finas diseminaciones de cristales dodecaédricos que se encuentran cortados y reemplazados por esfalerita y galena (Figura 4,4 B).

Cristales de marcasita y estibina solo son observados en la parte noreste de la veta (a partir de la línea N-11 500). Los cristales de marcasita tienen tamaños de hasta 2 mm de largo (e.j, muestra 36971), estas presentan típicamente hábitos en cresta de gallo y están siendo reemplazadas en los bordes por arsenopirita (Figura 4,3 D). Por su parte, la estibina exhibe escamas radiales de tamaños centimétricos ($<4 \text{ cm}$) espacialmente acompañada de cuarzo, carbonatos de Mn-Fe y arsenopirita (Figura 4,4 C y D). Otros minerales de ganga son hematita, dickita y filosilicatos blancos (sericita).

4.1.2 Descripción de menas

La mena dominante es la esfalerita. Esta es acompañada de galena, cobres grises, calcopirita y en menor medida platas rojas, acantita y sulfosales de Ag-Pb.

La esfalerita esta comúnmente asociada a la galena. Ocurre como bandas masivas y parches (cristales de hasta 5 mm en tamaño) sobre cuarzo y carbonatos Mn-Fe (Figura 4,3 A, B y F y Figura 4,4 A y B). Los cristales tienen hábitos octaédricos y tetraédricos que generalmente se encuentran maclados, presentando formas complejas. Su abundancia es de hasta el 50 % alrededor de la línea N-10 500

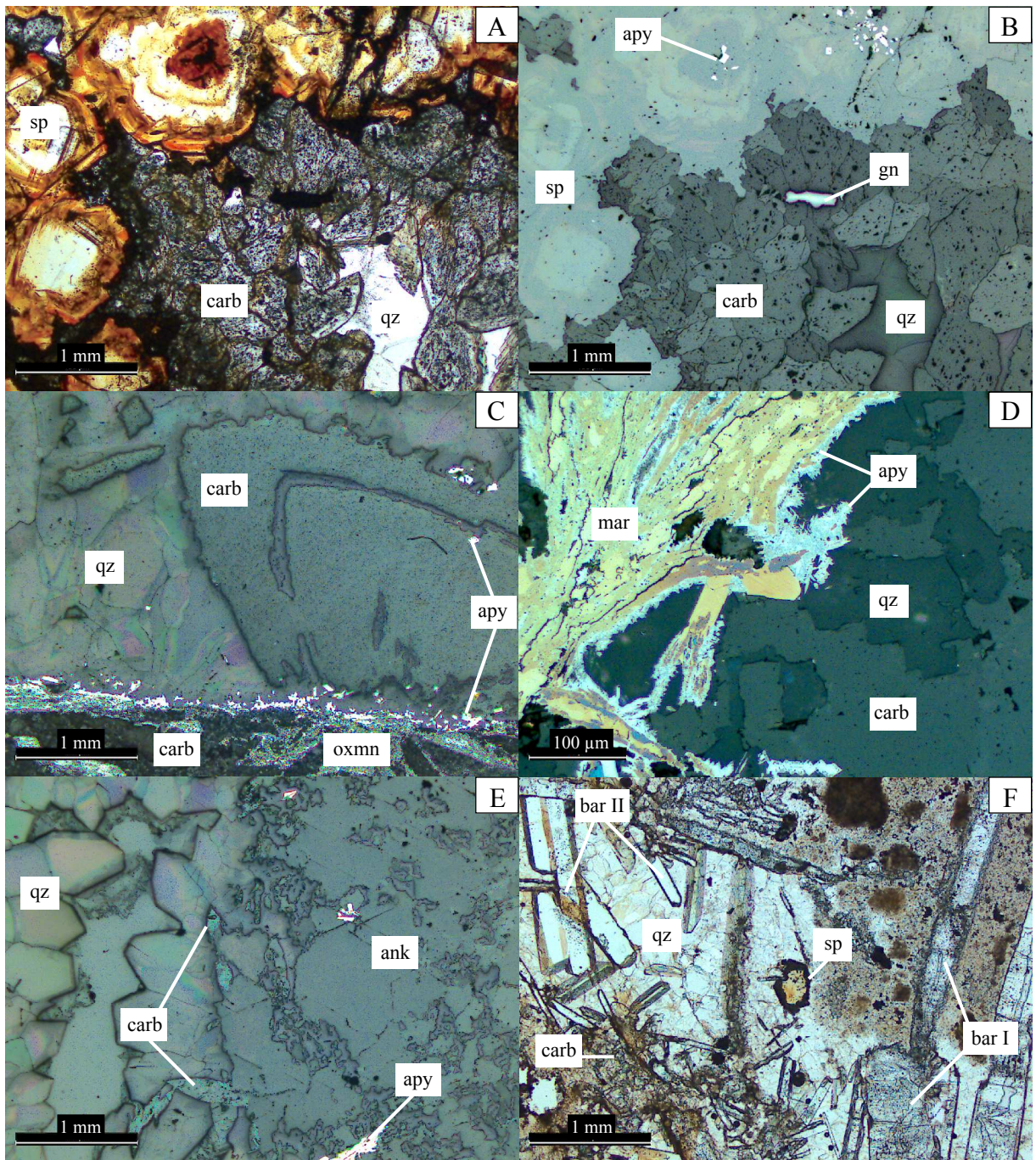


Figura 4,3 Microfotografía de secciones delgadas doblemente pulidas de las principales gangas. A) Carbonato Mn-Fe, cuarzo, esfalerita I (zonada), galena e inclusiones de arsenopirita y cobres grises L.T. (muestra 36938). B) Muestra en A, pero en L.R. C) Bandas de cuarzo granular, arsenopirita y carbonato Mn-Fe (reemplazado por óxido de Mn y Fe) L.R. (muestra 36945). D) Marcasita con bordes reemplazados por arsenopirita, ambos sobre cuarzo y carbonato Mn-Fe L.R. (muestra 36971). E) Cuarzo con textura “comb” sobre carbonato Mn-Fe (parcialmente reemplazado por óxidos de Mn y Fe) y ankerita masiva con parches de arsenopirita L.R. (muestra 36971). F) Cuarzo intercrecido con bar II y carbonato Mn-Fe intercrecido con bar I, además fragmentos de esfalerita L.T. (muestra 36985). Abreviaciones: L.T.=luz transmitida; L.R.=luz reflejada; n.c.=nícoles cruzados; ank=ankerita; apy=arsenopirita; bar=baritina; cab=carbonato Mn-Fe; gn=galena; mar=marcasita; oxmn=óxidos de Mn y Fe; qz=cuarzo; sp=esfalerita.

(e.j., muestra 36940) y disminuye drásticamente hacia el NE y SW. La esfalerita comúnmente esta zonada, exhibiendo hasta 3 distintas zonas con coloraciones que van desde marrón a marrón claro (denominada en este estudio como esfalerita I) (Figura 4,5 A y B). En cada zona se puede observar cambios en la forma del cristal, así como posibles bordes de disolución. Microanálisis de fluorescencia de rayos X sobre las 3 zonas (muestra 36938) revelan concentraciones variables de Fe, desde un núcleo que tiene 1.51 %, una parte intermedia con valores que oscilan entre 0.28 % a 0.59 % y una parte externa con valores entre 1.01 % a 1.36 % (Tabla 4,2). Adicionalmente, se observan valores de hasta 0.29 % Cd y 0.33 % In. Este análisis también muestra que la galena, así como sulfuros y sulfosales de Ag-Pb, están como nano-inclusiones (no se observan en el microscopio) sobre esfalerita. Cabe señalar la presencia de esfaleritas rojizas y blanquecinas asociadas a carbonatos (Figura 4,4 E).

La galena esta como parches irregulares con bordes corroídos dentro de la esfalerita. Estos van desde 50 μm hasta 2 mm en tamaño (Figura 4,3 B, 4,3 A y F). También ocurre reemplazando a la pirita. Cuando la galena forma bandas de sulfuros masivos con esfalerita, contiene cristales más desarrollados (hasta 1 cm). Otras menas asociadas espacialmente y como inclusiones en esfalerita y galena incluyen calcopirita, platas rojas (proustita?), cobres grises (tenantita?) y sulfuros de Ag-Pb (Figura 4,4 A, E y F). Estas inclusiones tienen tamaños desde 5 a 100 μm . La calcopirita es reportada por Kobe, H. W. (1964), él describe mayor contenido de ésta en profundidad acompañado de esfalerita, arsenopirita, pirita, cuarzo y pirrotita.

Barbas (1986) y Stucky (2001) documentan adicionalmente argentita, pirrotita, freibergita, boulangierita, alabandita, luzonita, polibasita, bismutinita, pirargirita y stannita.

Las relaciones de cortes descritas y estudios previos nos permiten definir 2 ensambles principales (de más temprano a más tardío): (1) esfalerita I (marrón oscuro a marrón claro)-calcopirita-galena-cuarzo±(pirita-arsenopirita-pirrotita-cobres grises±sulfuros y sulfosales Ag); (2) carbonato Mn-Fe-cuarzo-baritina-arsenopirita-esfalerita II (rojiza)±(platas rojas-marcasita-estibina).

4.2 Geoquímica

Geoquímica de reconocimiento en superficie en diferentes partes de la veta, evidencian concentraciones de hasta 22.18 % Zn, 6.79 % Pb, 0.22 % Cu, 615 ppm Ag, 18.11 % Mn, 4.58 % As, 15 600 ppm Sb, 0.84 % Ba y 10.17 ppm Au (Tabla 4,3). Los mayores valores de Zn (>1 %) se encuentran en la parte central de la veta (alrededor de la línea N-10 500), disminuyendo gradualmente su contenido (<0.04 %) hacia los extremos suroeste y noreste. Estos valores altos están acompañados con concentraciones de Cd de hasta 403 ppm y 128 ppm In. Al igual que el Zn, los mayores valores de Cu, Pb y Ag se encuentran en la parte central de la veta (hasta 0.22 %, 5.45 % y 615 ppm respectivamente). Al noreste, a partir de la línea N-11 000, las concentraciones de Cu son <0.01 % y de Pb <0.22 %. Por el contrario, al suroeste alrededor de la línea N-10 000 el Cu muestra valores de hasta 0.1% y el Pb

de hasta 6.79 %. La Ag muestra una distribución más irregular, con valores altos a lo largo de toda la veta, disminuyendo hasta <21.6 ppm en su extremo noreste (línea N-12 000, e.j., muestra 36964).

Tabla 4,2 Microanálisis de fluorescencia de rayos X (n=16) en un cristal de esfalerita I en la muestra 36938 (Figura 4,5). Abreviaciones: apy=arsenopirita; cab=carbonato Mn-Fe; qz=cuarzo; sp=esfalerita.

N r	Si (%)	S (%)	Mn (%)	Fe (%)	Zn (%)	As (%)	Ag (%)	Cd (%)	In (%)	Pb (%)	FeS (wt)	Mineral
1	-	25.41	-	9.48	45.76	19.27	-	0.08	-	-	-	sp, apy
2	-	29.71	-	0.22	70.00	-	-	-	0.04	-	0.35	sp
3	-	28.79	-	0.28	70.91	-	-	0.01	0.01	-	0.44	sp
4	13.78	21.40	3.12	5.09	56.21	-	-	0.29	0.10	-	-	sp, qz, carb
5	-	27.29	-	1.01	71.37	-	-	-	0.33	-	1.59	sp
6	-	24.78	-	1.51	73.61	-	-	0.01	0.08	-	2.38	sp
7	-	28.36	-	0.59	70.90	-	-	0.13	-	-	0.93	sp
8	-	27.97	-	1.36	70.61	-	0.01	0.05	-	-	2.14	sp
9	-	27.03	-	6.28	53.76	12.93	-	-	-	-	-	sp, apy
10	-	26.80	-	5.26	61.13	6.45	-	0.37	-	-	-	sp, apy
11	-	27.51	-	3.79	64.86	3.80	-	-	0.03	-	-	sp, apy
12	-	8.28	-	11.10	10.89	5.88	31.05	-	0.03	32.77	-	sp, sulfuro Ag?
13	-	21.09	-	24.64	14.32	39.94	-	-	-	-	-	sp, apy
14	-	10.13	-	24.74	4.65	20.75	-	0.63	0.01	39.09	-	sp, gn
15	-	32.70	-	33.20	9.13	24.96	-	-	-	-	-	sp, apy
16	-	19.86	-	21.39	12.60	46.15	-	-	-	-	-	sp, apy

Los valores de Au oscilan entre 0.03 y 0.8 ppm a lo largo de toda la veta. Un Sector con altas concentraciones (entre 3.17 y 10.17 ppm) es observado en el sector noreste (alrededor de la línea N-12 000). Estos valores coinciden con los mayores valores de As y Sb (10.17 ppm Au con 4.58 % As y 4.03 ppm Au con 15 600 ppm Sb) (Tabla 4,3); por lo que es probable que el Au se encuentre asociado a la arsenopirita y estibina. Este aumento también coincide con la aparición de marcasita.

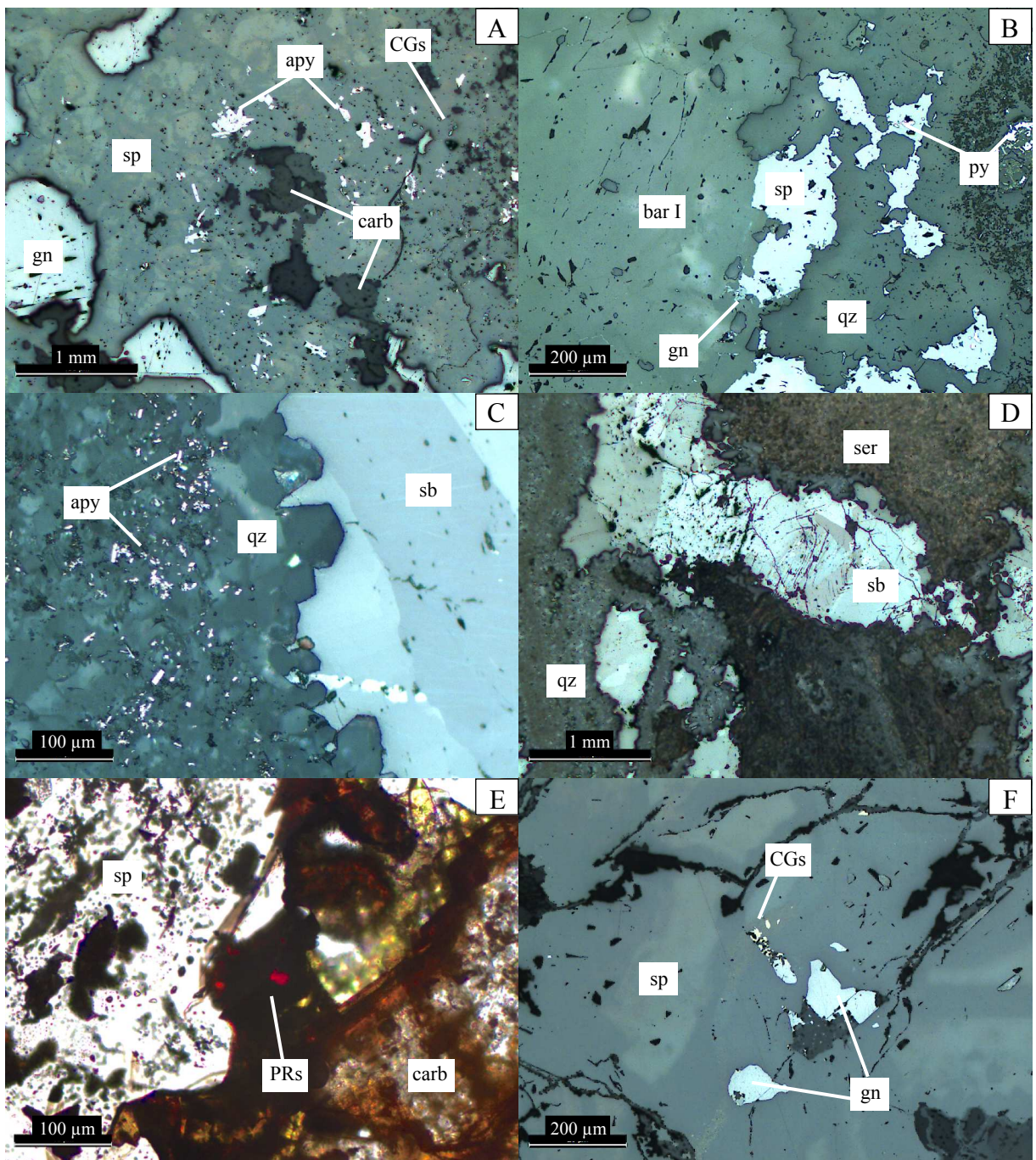


Figura 4.4 Microfotografía de secciones delgadas doblemente pulidas mostrando las principales menas. A) Esfalerita I con micro-inclusiones de cobres grises y parches de arsenopirita y galena (¿conteniendo parches de acantita?) y carbonato Mn-Fe en oquedades L.R. (muestra 36938). B) Baritina I y cuarzo, con parches de esfalerita I, galena y pirita. L.R. (muestra 36985). C) Escamas de estibina sobre cuarzo y arsenopirita. L.R. (muestra 36964). D) Escamas de estibina sobre cuarzo, asociado a fuerte silicificación y argilización (illita) de la roca caja L.R. (muestra 36964) E) Esfalerita blanquecina (observar las inclusiones fluidas), con carbonato Mn-Fe y platas rojas en intersticios L.T. (muestra 36940). F) Esfalerita I con parches de galena y cobres grises L.R. (muestra 36940). Abreviaciones: L.T.=luz transmitida; L.R.=luz reflejada; n.c.=nícoles cruzados; apy=arsenopirita; bar=baritina; cab=carbonato Mn-Fe; CGs= cobres grises; gn=galena; PRs= platas rojas; qz=cuarzo; sb=estibina; ser=sericita; sp=esfalerita.

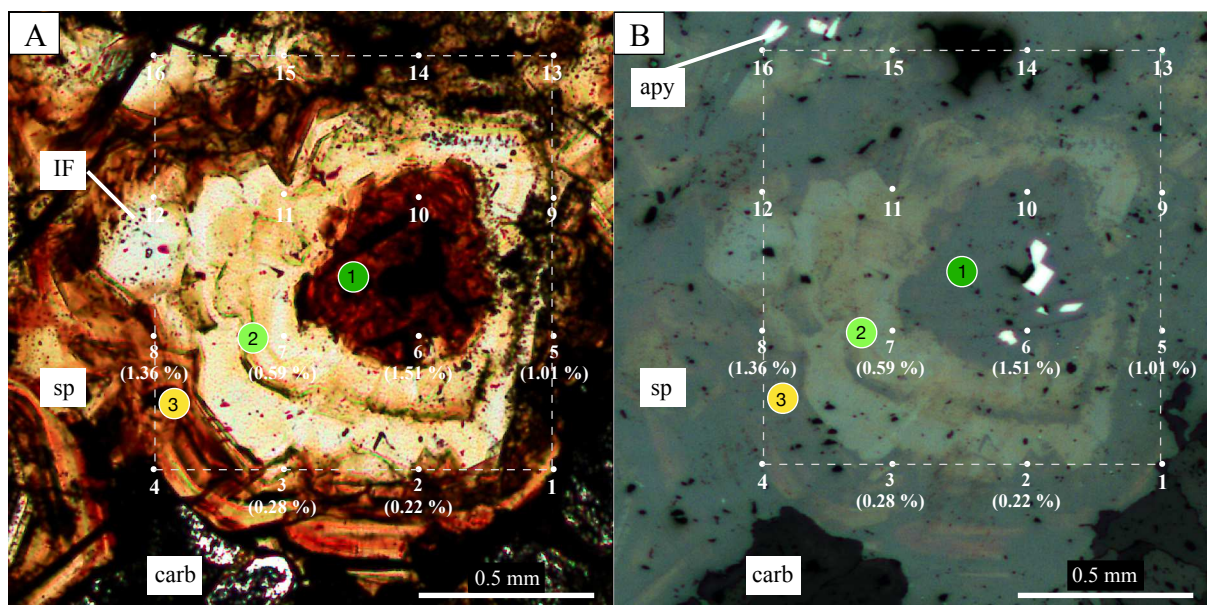


Figura 4,5 Microanálisis de fluorescencia de rayos X sobre un cristal de esfalerita I (muestra 36938). A) La esfalerita en zonado, exhibiendo un núcleo (1), una zona intermedia (2) y una zona externa (3). Observar el mayor contenido de inclusiones fluidas primarias en la zona intermedia L.T. B) Imagen en L.R. donde además se muestra cristales de arsenopirita. En ambas imágenes se presenta el % Fe. Abreviaciones: L.T.=luz transmitida; L.R.=luz reflejada; IF=inclusiones fluidas; apy=arsenopirita; carb=carbonato Mn-Fe; sp=esfalerita.

Valores $>1\%$ de As son extendidos irregularmente a lo largo de la veta y está asociado a la presencia de arsenopirita. No se observa un patrón en la distribución del As.

El Sb muestra valores mayormente <350 ppm, aunque tiene las concentraciones más altas a partir de la línea N-11 500 (hasta 15 600 ppm) y está relacionado a la deposición de estibina.

Al suroeste de la línea N-11 500 las concentraciones de Ba y Mn son menores a 2400 ppm y 15 % respectivamente, estos valores coinciden con valores altos de Ag

(hasta 615 ppm). Por el contrario, al noreste de la línea N-11 500 las concentraciones de Ba son >7000 ppm y los valores de Mn >15 %.

Valores de Bi y Sn aumentan ligeramente desde el noreste al suroeste, con valores que van desde 1.32 ppm hasta 26.76 para el Bi y desde 8.5 ppm hasta 76.6 ppm para el Sn.

En trabajos previos realizados por Volcan Compañía Minera S.A.A, se obtuvo valores de Zn, Pb, Cu, Ag, As y Au de hasta 3.22 %, 2.12 %, 0.16 %, 3303 ppm, 1.00 % y 0.91 ppm respectivamente, donde los valores más altos de Au coinciden con los valores más altos de As. Valores de Bi y Sn son reportados en la parte suroeste de la veta (hasta 123 ppm y 114 ppm respectivamente). Estos resultados confirman nuestras observaciones.

La matriz de correlación (Tabla 4,4) muestra que la correlación entre Zn, Cd y Cu es perfecta, esto debido a las inclusiones de cobres grises (tenantita) que hay en la esfalerita.

Al igual que con el Zn, el Cu tiene una correlación de 0.9 con Pb y 0.8 con Ag. Lo que refuerza la observación de cobres grises (tenantita argentífera?) en esfalerita y galena. Cabe resaltar que la correlación entre el Pb y la Ag es de 0.8, y

podría expresar también inclusiones de sulfuros de plata como la argentita o acantita en galena.

Tabla 4,3 Resumen de las concentraciones metálicas de los ensayos geoquímicos en la veta Andaychagua. Una tabla completa se muestra en el Anexo A.

Muestra	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (%)	Ba (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Mn (%)	Pb (%)	Sb (ppm)	Zn (%)
36924	0.28	194	2.99	2354	8	498	1.52	1.86	273	0.52
36927	0.21	475	2.85	1963	3	1072	0.01	6.79	417	0.25
36928	0.11	109	0.77	731	99	422	1.75	0.65	76	3.23
36938	0.06	615	0.54	448	403	2172	5.12	5.45	351	22.18
36939	0.13	100	0.76	830	14	250	4.01	1.10	87	0.47
36940	0.75	393	1.82	579	198	584	8.60	1.19	224	7.86
36945	0.34	50	0.30	139	16	46	7.15	0.14	64	1.20
36964	4.23	22	2.09	69	6	73	7.01	0.07	15600	0.34
36971	3.17	16	1.31	105	2	57	2.52	0.01	373	0.04
36972	10.17	32	4.58	69	8	112	15.09	0.11	502	0.57
36975	0.43	2	0.40	118	1	14	8.46	0.01	115	0.06
36976	0.08	10	0.03	7436	14	33	18.11	0.21	114	0.88
36985	0.80	472	0.19	1820	9	97	7.02	0.63	174	0.61
36986	0.03	17	0.02	8382	36	31	14.41	0.22	52	1.63

Correlación de Au con Sb y As es significativa (0.3 y 0.7 respectivamente).

Esta correlación refuerza lo antes mencionado, sobre la asociación del oro con arsenopirita y estibina. Por último, la correlación de Ba y Mn es de 0.6, reflejando una distribución regular entre la baritina y los carbonatos de Mn-Fe.

Tabla 4,4 Matriz de correlación de los valores de geoquímica en la veta Andaychagua.

	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (%)	Ba (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Mn (%)	Pb (%)	Sb (ppm)	Zn (%)
Au (ppm)	1.0									
Ag (ppm)	-0.3	1.0								
As (ppm)	0.7	0.0	1.0							
Ba (ppm)	-0.3	-0.2	-0.3	1.0						
Cd (ppm)	-0.2	0.6	-0.2	-0.2	1.0					
Cu (ppm)	-0.2	0.8	0.1	-0.2	0.8	1.0				
Mn (%)	0.3	-0.4	-0.1	0.6	-0.1	-0.4	1.0			
Pb (%)	-0.3	0.8	0.2	-0.1	0.5	0.9	-0.5	1.0		
Sb (ppm)	0.3	-0.2	0.2	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	-0.2	1.0	
Zn (%)	-0.2	0.6	-0.2	-0.1	1.0	0.9	-0.1	0.5	-0.1	1.0

4.3 Distribución elemental vertical de la veta

28,664 ensayos de geoquímica de muestras de canal y 257 impactos de sondajes diamantinos en la veta fueron usados para este estudio. Los ensayos cubren 2.5 km de largo x 1.4 km de alto de la porción central de la veta Andaychagua. Las leyes más altas de Zn, Pb, Ag y Cu son 55.66 %, 42.80 %, 343.79 Oz/t y 8.31 % respectivamente. No se obtuvo ensayos químicos de Au. Las secciones longitudinales fueron preparadas para ilustrar la distribución de isovalores de Ag, Zn y Cu y cocientes de Zn/Pb.

4.3.1 Resultados

La información de los ensayos es resumida en la Tabla 4,5.

Concentraciones de Ag son mayores en la parte central y alta de la veta. Valores de Ag >7 Oz/t se muestran en diferentes áreas, los cuales en conjunto conforman un sector de 1.5 km de ancho x 1 km de alto (sobre la cota 3 600) (Figura

4,6). Estos valores van disminuyendo gradualmente hacia el noreste y suroeste y en profundidad a <1 Oz/t.

Valores de Zn >7 % llegan hasta la superficie. Estos conforman un sector mineralizado al centro de la veta (alrededor de la intersección con la veta Prosperidad E y Sur) de 800 m de ancho y 1.5 km de alto (por encima de la cota 3 500), con un “pitch” de 65° hacia el noreste, disminuyendo su concentración a <3 % al suroeste, al noreste y en profundidad (Figura 4,7). Este sector está acompañado de concentraciones de Ag de hasta 40 Oz/t y de Pb entre 1 y 3 %. Este último, muestra una buena correlación con el Zn y forma un sector de 500 m de ancho x 150 m de alto (alrededor de la cota 4 000) con valores de Pb hasta >3 % (Figura 4,8).

En profundidad, los valores de Cu son >1 % (hasta 8.31 %). Estos valores forman 2 áreas principales de 450 x 150 m (entre las cotas 3 550 y 4 200), con un “pitch” de 50° y 30° al suroeste (Figura 4,9). Las concentraciones van disminuyendo hacia arriba en dirección al noreste. Esta distribución de Cu es reflejo del aumento en el contenido de calcopirita en profundidad (Kobe, 1964). Sectores con valores de hasta 0.5 % de Cu en las partes altas (encima de la cota 4 400 y alrededor de la Mina Central), representan el contenido de cobres grises. Esto muestra que valores de Cu en profundidad (asociado a calcopirita), son hasta 10 veces mayor que en superficie (asociado a cobres grises).

Los ratios de Zn/Pb son altos y muestran posibles direcciones del fluido hidrotermal, que van desde profundidad en la parte central de la veta (Zn/Pb >10) hacia las partes altas (Zn/Pb <5) al noreste (Figura 4,10). Estas posibles direcciones coinciden con los clavos mineralizados en la sección longitudinal de isovalores de Cu. Los ratios de Ag/Zn son bajos, en promedio 2.02, aunque valores máximos llegan hasta 240.00 (Tabla 4,5).

Los coeficientes de correlación de Zn con el Pb y Ag son regulares (de 0.4 a 0.5), en contraposición con los del Cu (<0.3).

Tabla 4,5 Resumen estadístico de las concentraciones metálicas de los ensayos geoquímicos de canales e impactos de sondajes en la veta Andaychagua.

n=28921	Mínimo	Máximo	Media	σ
Zn (%)	0.02	56.66	6.85	5.87
Pb (%)	0.01	42.80	1.20	1.49
Cu (%)	0.01	8.31	0.11	0.23
Ag (Oz/t)	0.01	343.79	7.88	9.85
Ag (Oz/t)/Zn (%)	0.01	240.00	2.02	5.00
Zn (%) / Pb (%)	0.04	700.00	9.75	16.11

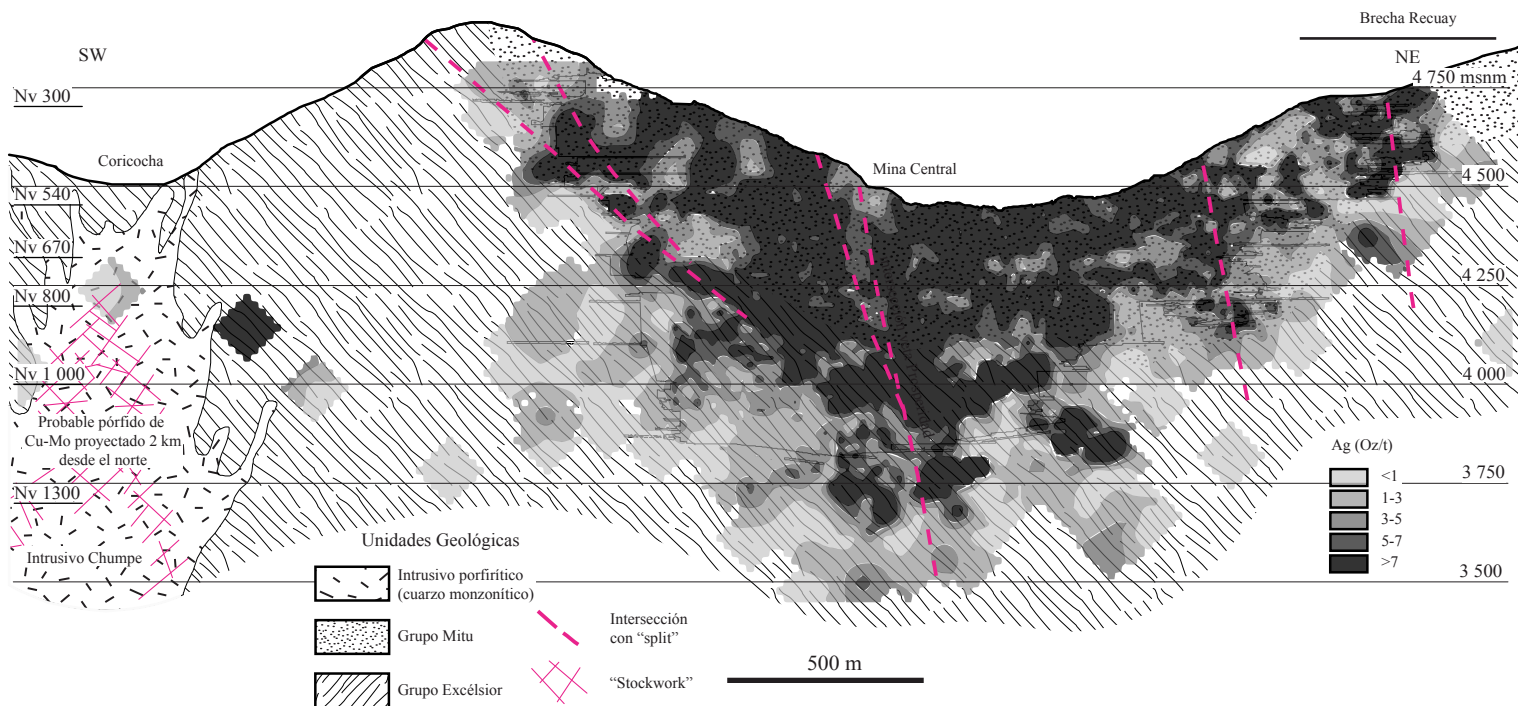


Figura 4,6 Sección longitudinal de los isovalores de Ag (Oz/t).

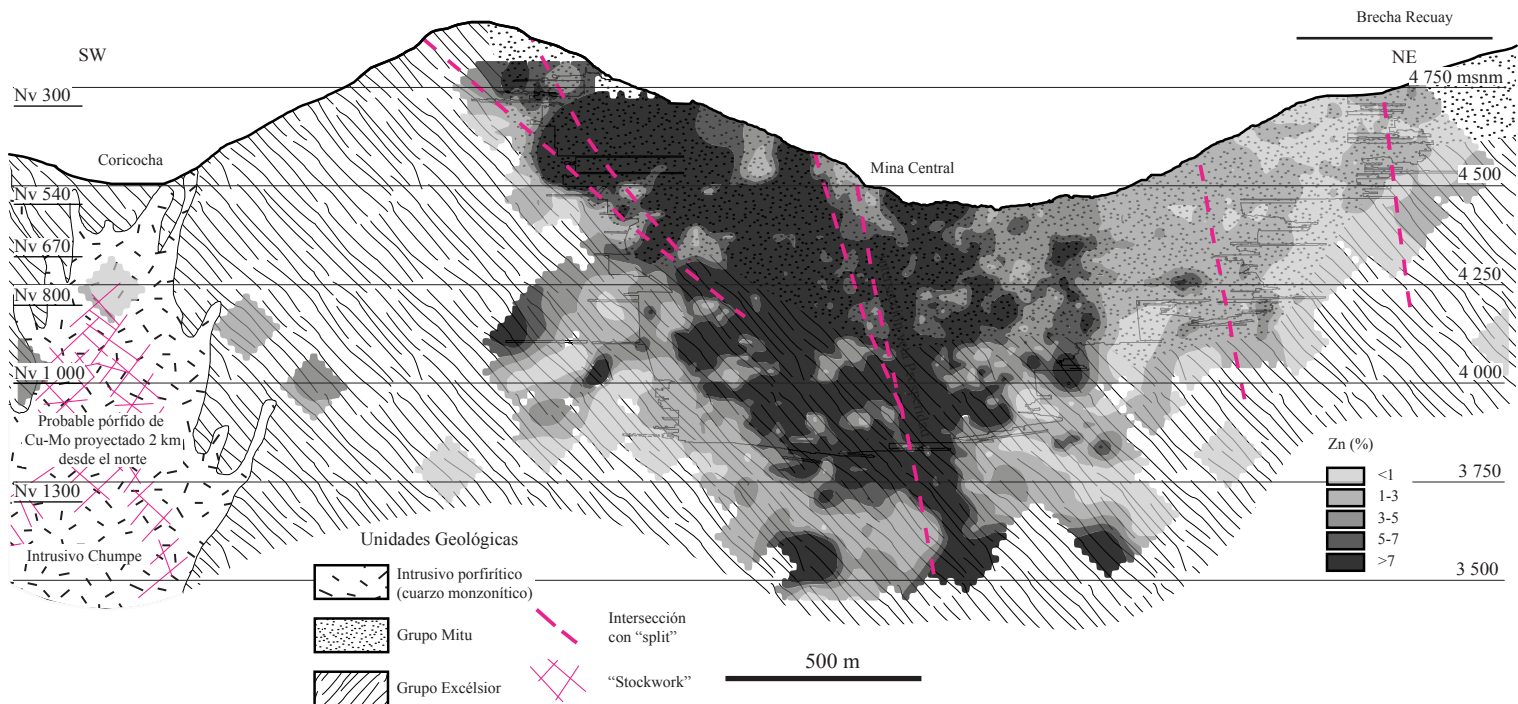


Figura 4,7 Sección longitudinal de los isovalores de Zn (%).

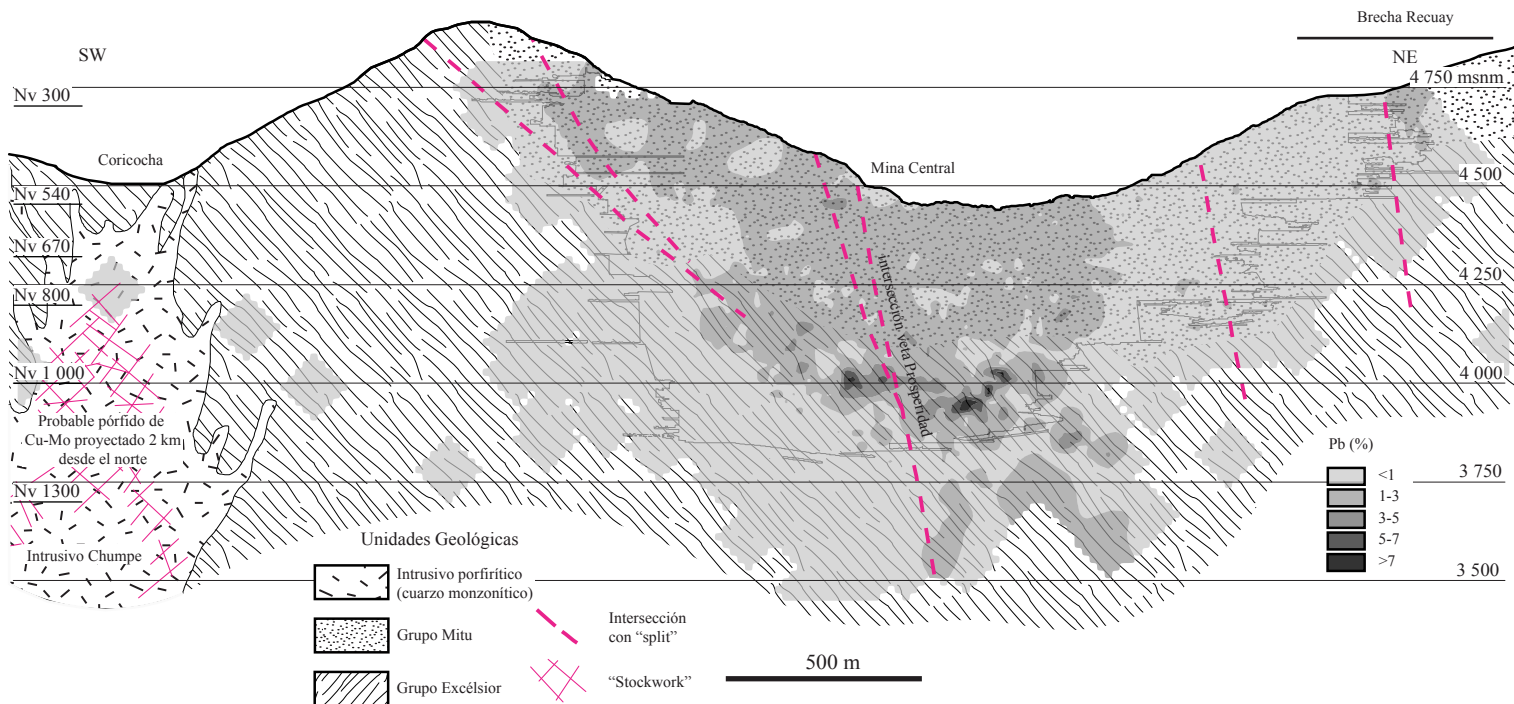


Figura 4,8 Sección longitudinal de los isovalores de Pb (%).

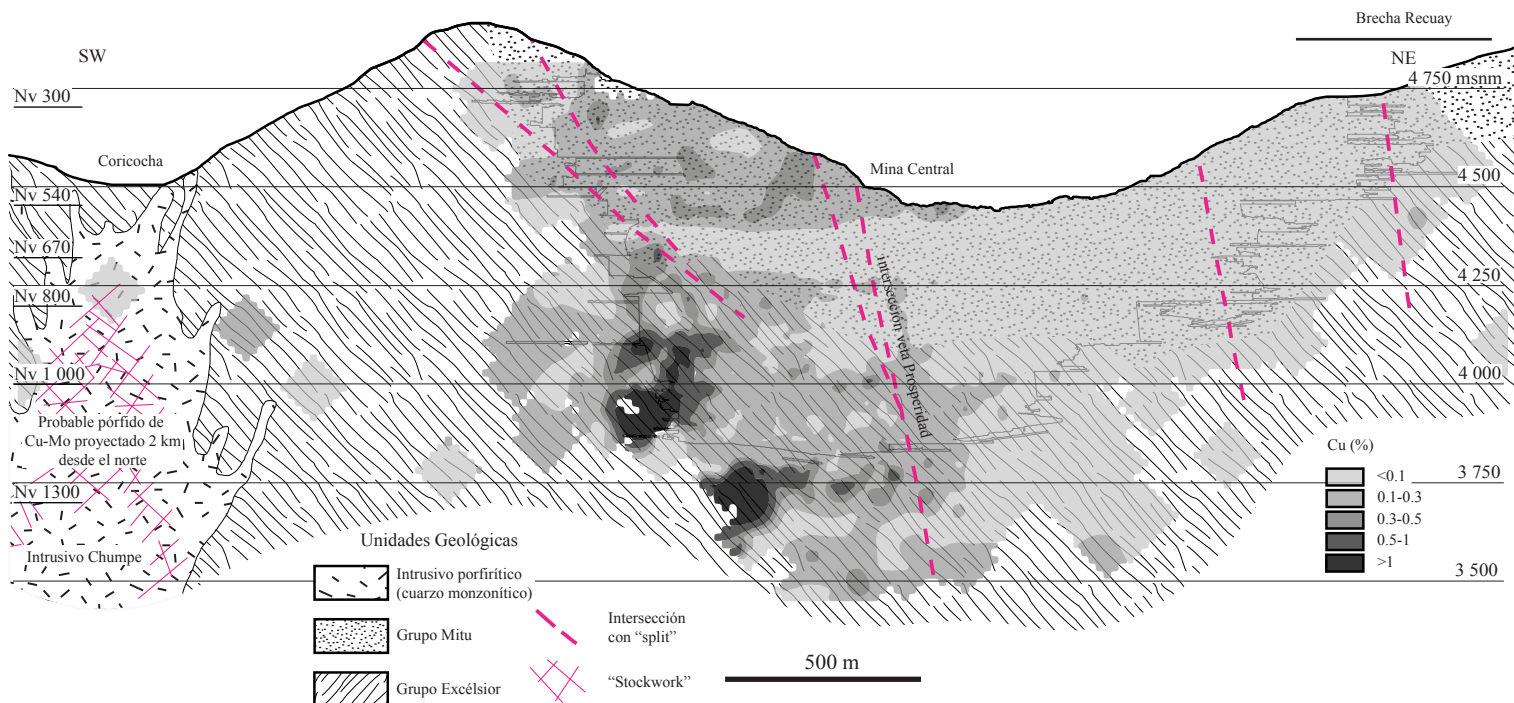


Figura 4,9 Sección longitudinal de los isovalores de Cu (%).

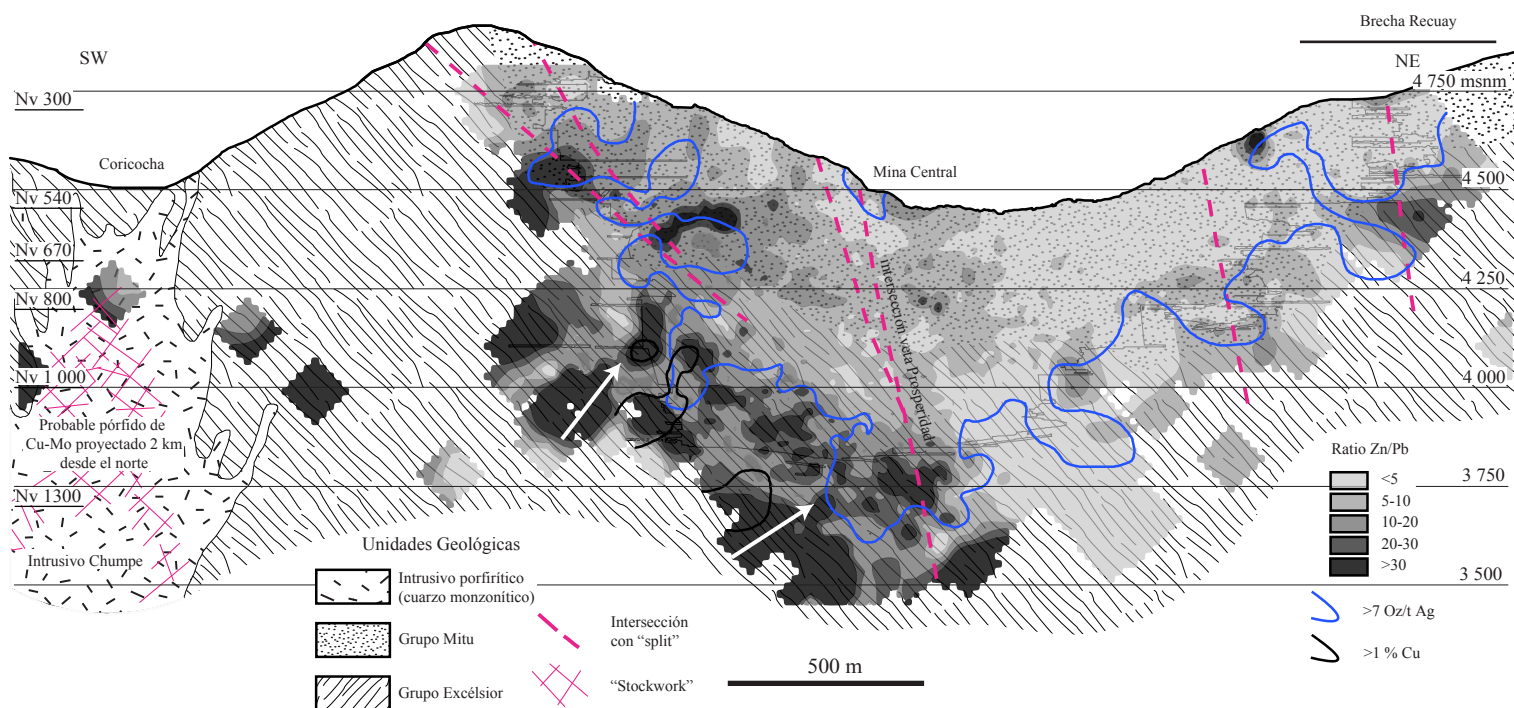


Figura 4,10 Sección longitudinal de los cocientes metálicos de Zn (%) / Pb (%). Las flechas blancas indican las probables direcciones del flujo mineralizante. Adicionalmente, se muestran isovalores de Ag >7 Oz/t y Cu >1%.

4.4 Alteración

En afloramiento, la veta Andaychagua corta rocas piroclásticas y volcánicas de coloración violácea pertenecientes al Grupo Mitu (Figura 4,11 A). Las rocas volcánicas son de composición andesítica, con fenocristales de plagioclasa, feldespato, anfíboles y esporádicos ojos de cuarzo. La veta exhibe un halo de alteración donde resaltan dos zonas, una zona externa de cloritización que tiene una extensión de 4 m hasta 20 m, con una ligera coloración verdosa y una zona interna de alteración sericitica, al piso y al techo de la veta, con anchos de hasta 1.5 y 3 m respectivamente (Figura 4,1 B).

La cloritización es débil a moderada y se desarrolla sobre las plagioclasas, anfíboles y en la matriz, con una disminución de la intensidad a mayor distancia de la

veta. La alteración sericítica se caracteriza por su mineralogía invasiva sobre los fenocristales de plagioclasa, feldespato, anfíbol y matriz, mostrando por tramos una moderada alteración de la textura original de la roca volcánica encajonante (Figura 4,11 B y D). Cabe resaltar la presencia de una delgada franja de silicificación en la parte interna de la zona sericítica, con diseminación de pirita y arsenopirita (Figura 4,11 C).

Microscopía óptica y análisis vía espectroscopía Raman de muestras representativas revelan que la zona de cloritización está constituida por chamosita, esmectita, dickita, dolomita y calcita (Figura 4,11 A y Figura 4,13 A y B) y la zona sericítica por illita (sericita), cuarzo y pirita (Figura 4,12 B, C y D y Figura 4,13 C y D).

Microanálisis de fluorescencia de rayos X (Tabla 4,6), muestran que las sericitas tienen valores de hasta 14.1 % Al_2O_3 , 4.5 % K_2O y 1.7 % MgO . Valores de Na_2O de hasta 10.9 % sugieren que las plagioclasas que están siendo reemplazadas son andesinas, oligoclasas o incluso albitas. Contenidos de hasta 79.3 % SiO_2 evidencian la relación de la sericita con la silicificación. Los contenidos bajos de CaO son debido a la removilización de este elemento durante la alteración (<0.8 %). Según estos valores y nuestras observaciones petrográficas se piensa que estas sericitas (muscovita en los espectros de Raman, Figura 4,13 D) son illitas. Cabe señalar que los resultados de hasta 5.8 % de TiO_2 son debido a las inclusiones minerales de rutilo y anatasa, accesorias de las rocas volcánicas andesíticas (Figura

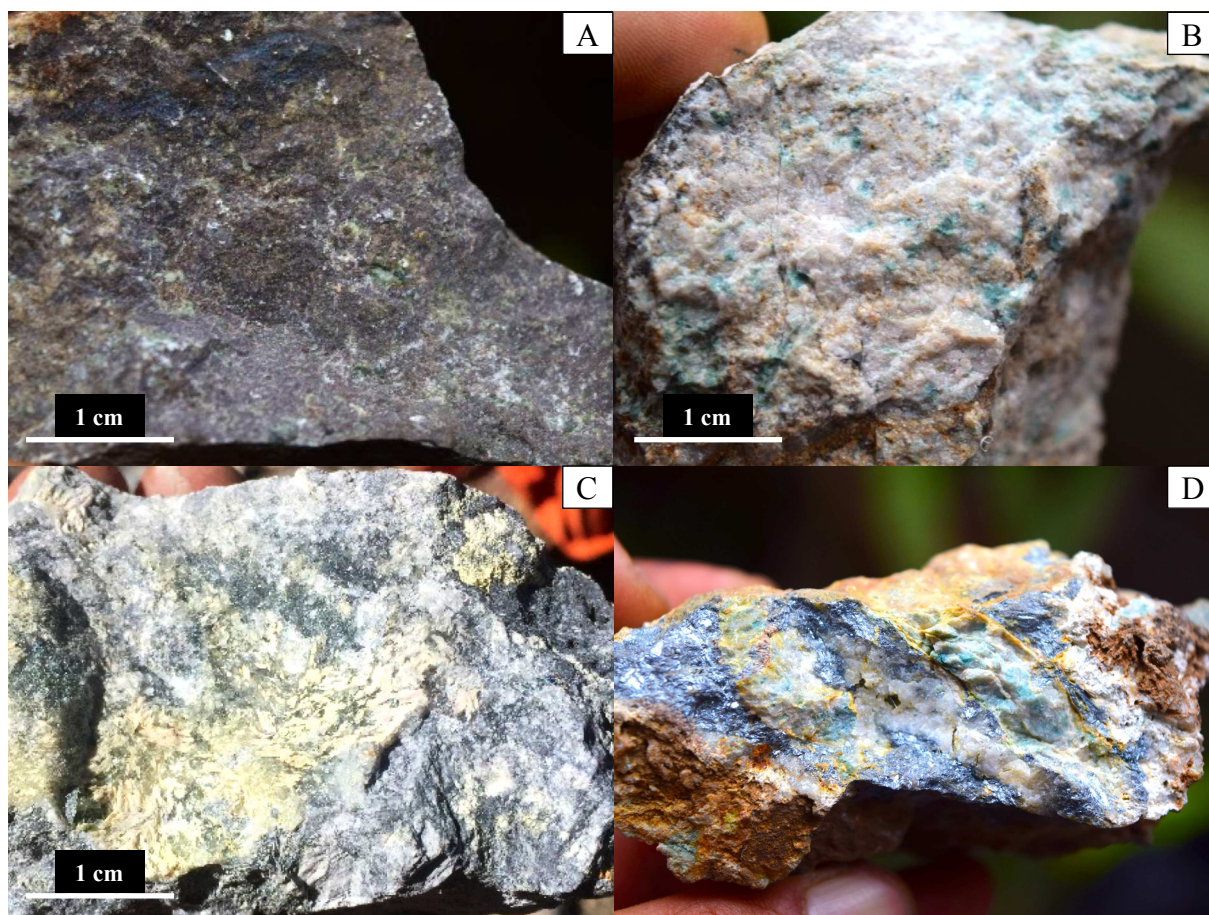


Figura 4,11 A) Roca macroscópicamente inalterada de coloración violácea (muestra 36941). B) Moderada alteración sericítica al piso de la veta Andaychagua (muestra 36990). C) Muestra de la franja de fuerte silicificación al borde de la veta. D) Moderada a fuerte alteración sericítica con sericita, cuarzo, estibina y clorita (muestra 36964).

4,13 C). Por otra parte, dickitas presentan valores de hasta 20.0 % Al_2O_3 y 47.6 % SiO_2 .

Resultados de los análisis químicos y gráficos de las variaciones composicionales de elementos mayores y trazas de las zonas de alteración en la veta Andaychagua, se muestran en la Tabla 4,7 y Figura 4,14 A y B. En la zona sericítica se puede observar un descenso del contenido de Al_2O_3 y Ba hacia la veta, esto corresponde a la destrucción de plagioclasas y la posterior formación de sericita. Valores de K_2O ,

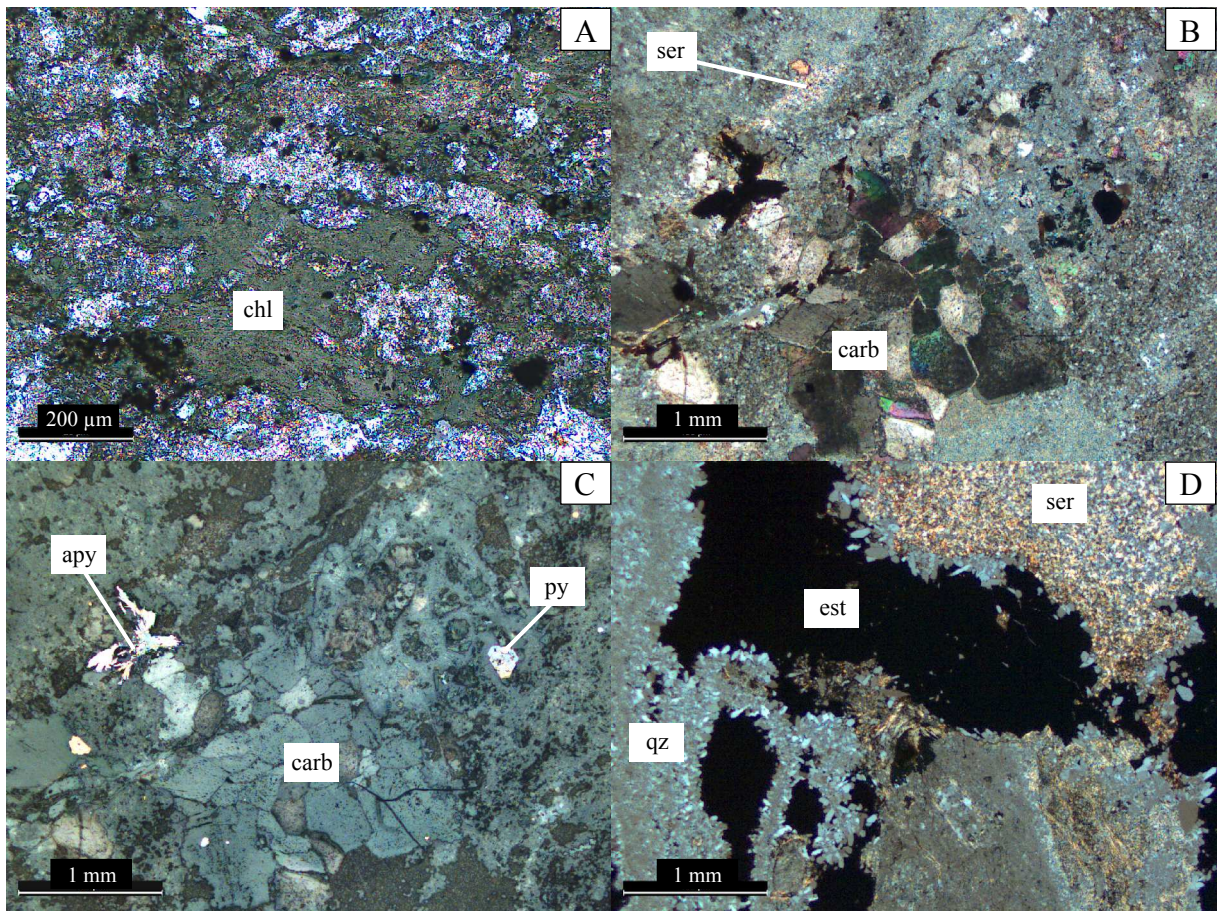


Figura 4,12 Microfotografía de secciones delgadas de muestras alteradas. A) Clorita diseminada bajo la forma de escamas L.T.n.c. (muestra 36920). B) Alteración sericítica, con sericita, arsenopirita y pirita dodecaédrica con parches de carbonatos L.T.n.c. (muestra 36990). C) misma muestra en B, L.R. D) Alteración sericítica con sericita, asociada a silicificación y estibina relleno de oquedades L.T.n.c. (muestra 36964). Abreviaciones: L.T.=luz transmitida; L.R.=luz reflejada; n.c.=nícoles cruzados; apy=arsenopirita; cab=carbonato; chl=clorita; est=estibina; plg=plagioclasa; py=pirita; qz=cuarzo; ser=sericita.

Na_2O , Sr y Rb exhiben una distribución más irregular. Los picos de CaO y MgO son debido a la presencia de carbonatos en esta zona (Figura 4,12 B). La cloritización muestra un aumento de Al_2O_3 , y Ba y una disminución gradual de MgO a mayor distancia de la veta, esto puede obedecer a la formación de cloritas.

Tabla 4,6 Microanálisis de fluorescencia de rayos X realizados en sericitas y clorita. Abreviaturas. carb=carbonato; chm =chamosita; dck= dickita; ill=illita; pl=plagioclasa; qz=cuarzo.

Muestra	Na ₂ O (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Asociación
36920	0.0	5.6	18.9	50.2	0.0	8.9	1.3	15.0	chm, carb.
36920	3.7	7.5	9.4	50.5	0.2	10.4	1.9	16.3	chm, carb.
36920	6.7	6.3	9.7	49.7	0.0	11.4	5.8	10.5	chm, carb.
36941	10.2	0.0	20.0	47.6	1.6	15.6	-	5.1	dck reemp. pl.
36941	6.2	0.8	12.6	70.5	1.7	4.9	0.8	2.5	dck, qz.
36964	0.1	0.0	1.4	94.0	2.7	0.8	0.8	-	qz, ill.
36990	3.9	1.2	14.1	75.8	4.5	0.1	0.3	-	ill reemp. pl.
36990	10.9	1.7	5.8	79.3	1.3	0.8	0.2	-	ill reemp. pl.

Tabla 4,7 Resultados de análisis geoquímicos de algunas muestras selectas de la zona de alteración sericítica y de la zona de cloritización. Una tabla completa se muestra en el Anexo B.

Muestra	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	Sr (ppm)	Ba (ppm)	Rb (ppm)	Distancia de la veta (m)
36990	6.1	12.0	1.5	6.2	0.4	27.7	74.0	71.7	0.2
36991	8.4	6.4	2.0	3.2	0.3	31.0	108.0	115.0	1.5
36992	10.7	3.8	1.1	1.8	1.1	96.9	552.0	54.0	12.0
36929	14.0	0.0	4.1	0.7	0.4	5.3	263.0	241.0	16.5
36987	14.2	2.5	2.2	0.4	4.0	42.7	314.0	83.5	33.6
36917	10.6	0.1	2.9	0.6	0.3	23.4	362.0	138.0	35.8
36978	11.7	0.1	2.9	0.3	0.3	18.0	436.0	159.0	44.7
36941	13.0	3.1	1.5	1.8	1.1	193.0	803.0	44.8	48.7

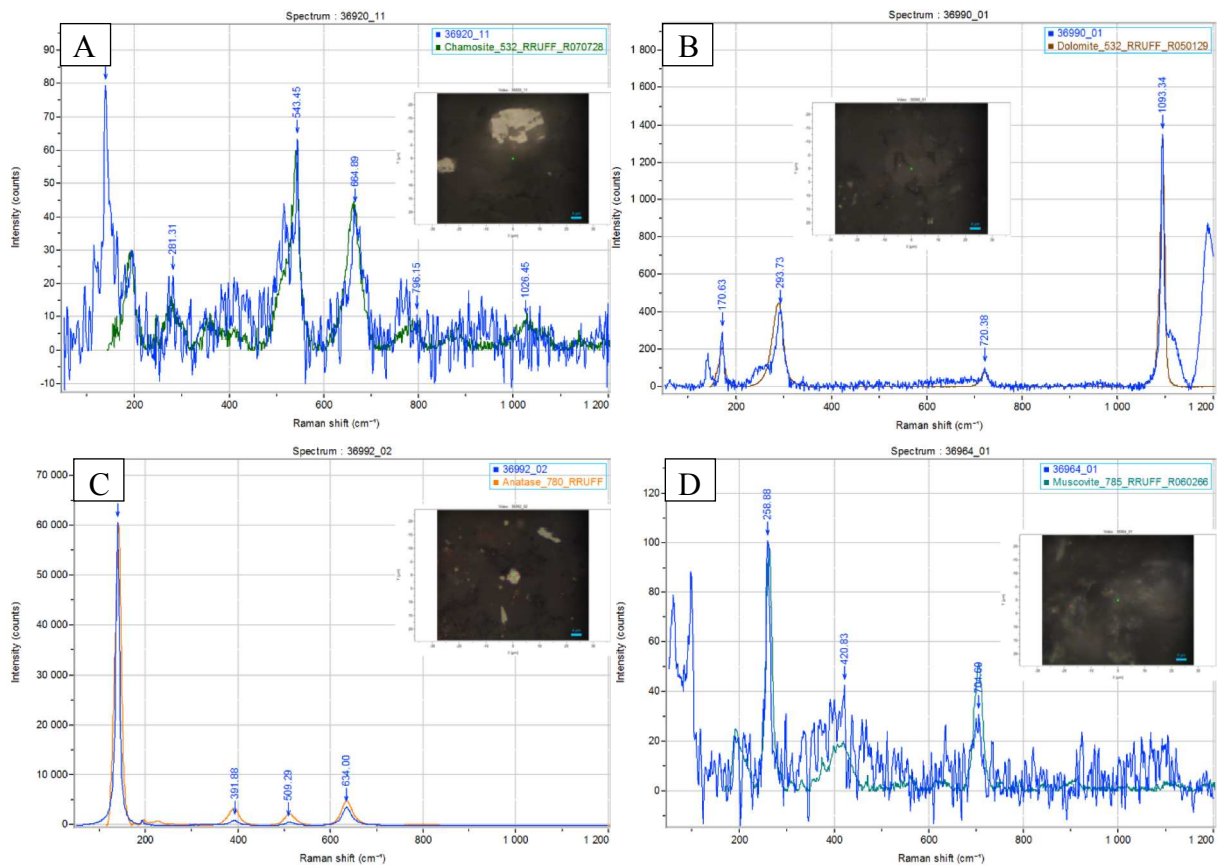


Figura 4.13 Espectros Raman de muestras en diferentes partes de la zona de cloritización y alteración sericítica. A) chamosita (muestra 36920). B) Dolomita (muestra 36990). A y B pertenecen a la zona de cloritización. C) Inclusión de anatasa (muestra 36992). D) Illita y/o muscovita (muestra 36964). C y D corresponden a la zona alteración sericítica.

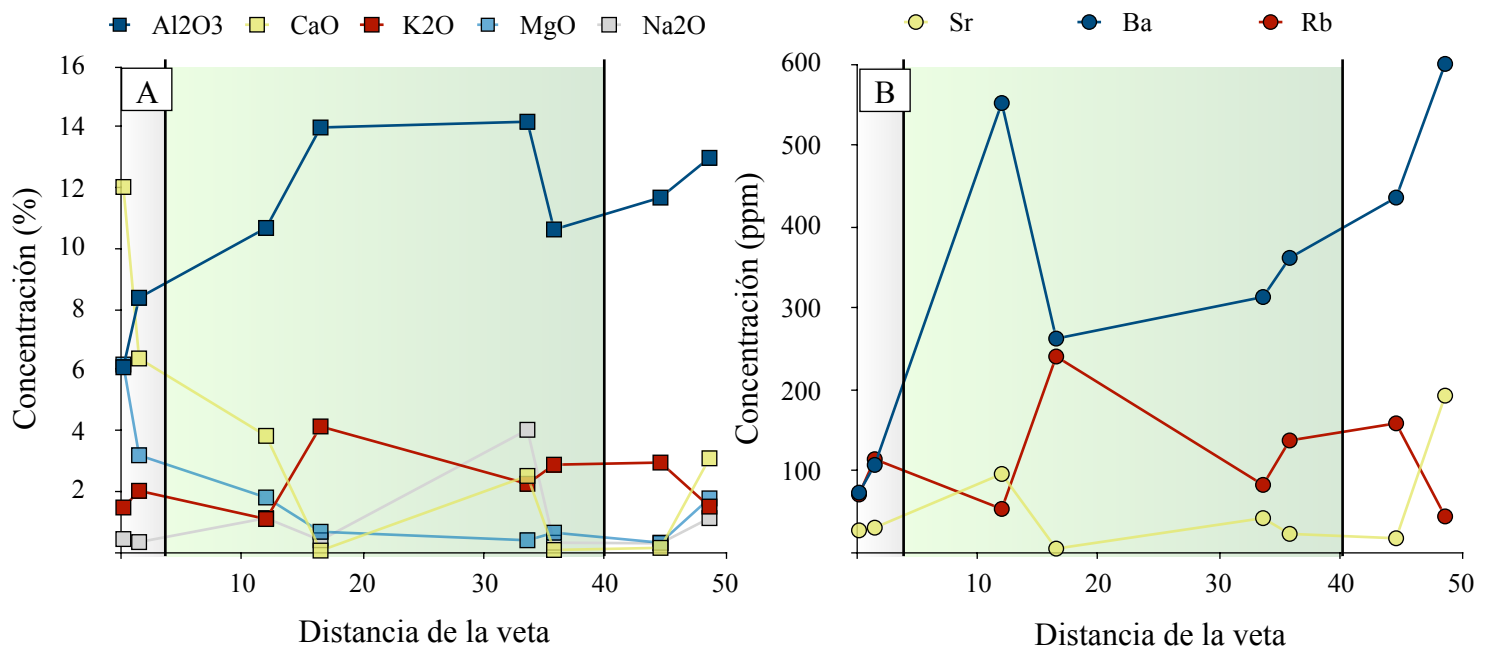


Figura 4.14 Variación composicional en los halos de alteración. A) Elementos mayores. B) Elementos traza. En gris zona de alteración sericítica, en verde zona de cloritización, blanco roca caja inalterada.

CAPÍTULO V

VETA PROSPERIDAD

Es un ramal principal de la Veta Andaychagua. La veta es dividida según su ubicación en veta Prosperidad W y Prosperidad E (Figura 5,1). La veta Prosperidad W aflora desde la línea N-13 000 hacia el suroeste, corta a las filitas del grupo Excélsior y tiene una longitud trazada de aproximadamente 1.5 km. Muestra un comportamiento ondulante, con una orientación de N 57° E, cambiando a N 70° E luego de cruzar el anticlinal Chumpe. Su buzamiento oscila entre 80° y 85° al noroeste. Entre las líneas N-13 000 y N-13 500 la proyección de la veta se encuentra bajo cobertura cuaternaria. Desde la línea N-13 500 hacia el noreste la veta se divide en varios ramales sub-paralelos, de los cuales los principales son Prosperidad E y Prosperidad Sur (Figura 5,1). En este sector las vetas cortan rocas volcánica y piroclásticas del Grupo Mitu y tienen una longitud de 700 y 400 m respectivamente. La orientación promedio es N 70° E, cambiando en la veta Prosperidad E a N 20° E a

partir de la línea N-14 000 (Figura 5,1). La veta Prosperidad E buza en promedio 75° al sureste y la veta Prosperidad Sur 80° al noroeste (sección PR-12-SUP-17).

La mineralización es reconocida en profundidad a partir de impactos de sondajes exploratorios en 400 m en la veta Prosperidad W, con potencias <1 m. En la veta Prosperidad E la mineralización es reconocida en 1 km de largo y 700 m de profundidad, con potencias de hasta 3.1 m. Al suroeste la veta Prosperidad W se extiende hasta las calizas del Grupo Pucará, donde forma cuerpos y mantos de reemplazamiento (cuerpos Toldorrumi).

En superficie, la veta Prosperidad W está constituida principalmente por cuarzo, acompañado de wolframita, pirita, calcopirita y especularita (Figura 5,2 B). Por otro lado, en las vetas Prosperidad E y Prosperidad Sur la mineralogía es totalmente diferente. En superficie, estas vetas están constituidas principalmente por óxidos de Mn y Fe semi-masivos, goethita y jarosita. Los óxidos están acompañados de carbonatos de Mn-Fe, cuarzo hialino y baritina (Figura 5,2 D). En porciones débilmente oxidadas, se muestra mineralización polimetálica, representada por esfalerita, galena, cobres grises, platas rojas, pirita y arsenopirita. Por tramos, la veta se muestra desplazada, evidenciando fallamiento post-mineral.

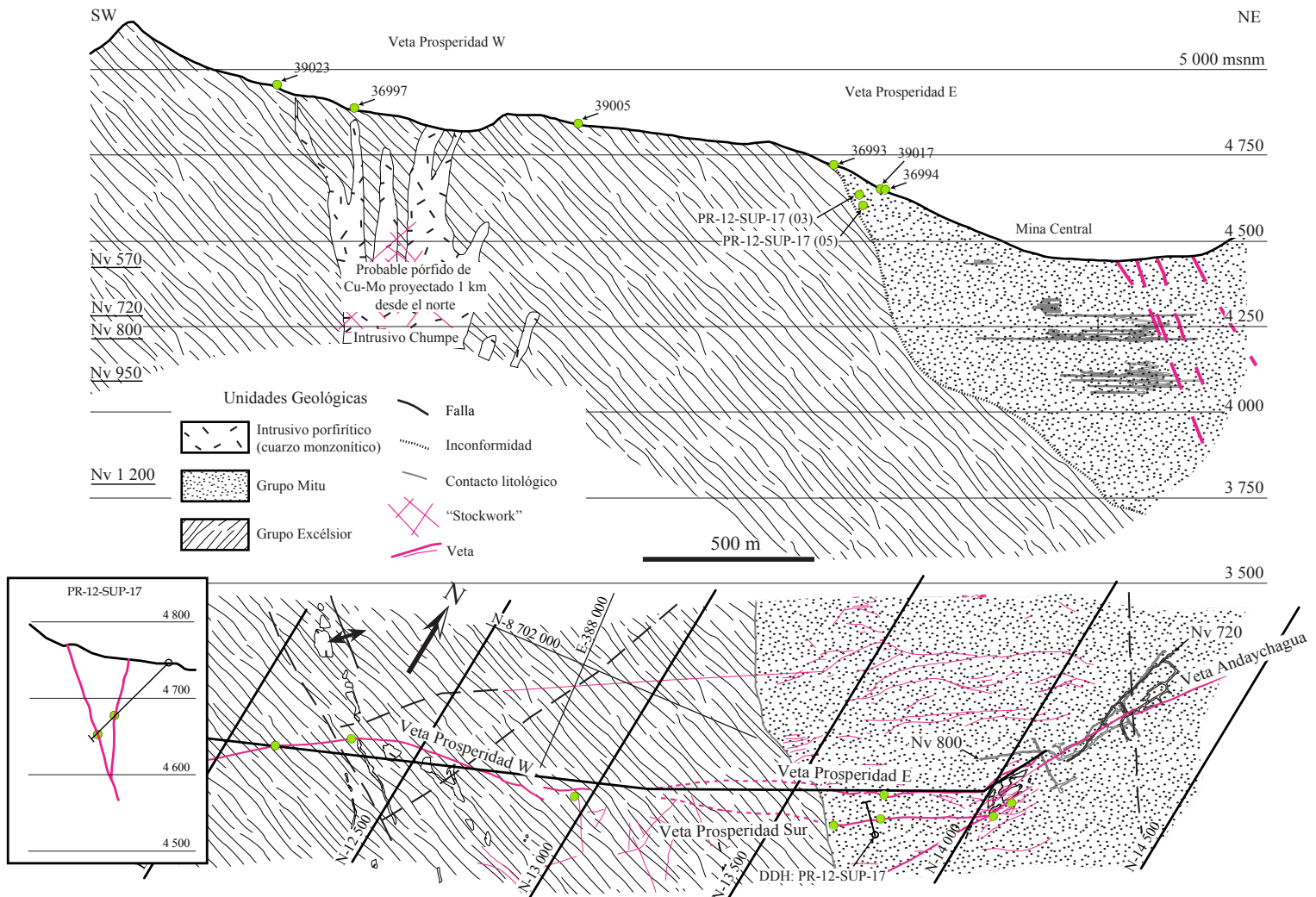


Figura 5,1 Sección longitudinal, plano en planta y sección transversal de la veta Prosperidad. Además, se muestra los puntos de muestreo geoquímico y secciones delgadas doblemente pulidas. La grilla mostrada es usada por el personal de Volcan Compañía Minera en las labores de minado.

5.1 Mineralogía

Se realizó un estudio detallado de muestras en superficie para definir la mineralogía y paragénesis a lo largo de la veta Prosperidad.

5.1.1 Descripción de gangas

En la veta Prosperidad W, el cuarzo lechoso (“milky quartz”) y la pirita son las gangas dominantes. Los cristales de cuarzo son subhedrales a euhedrales. Varían en tamaño desde microcristalinos hasta cristales 1.5 cm de largo. El cuarzo generalmente exhibe texturas en cresta (“comb”), formando grupos de cristales sub-

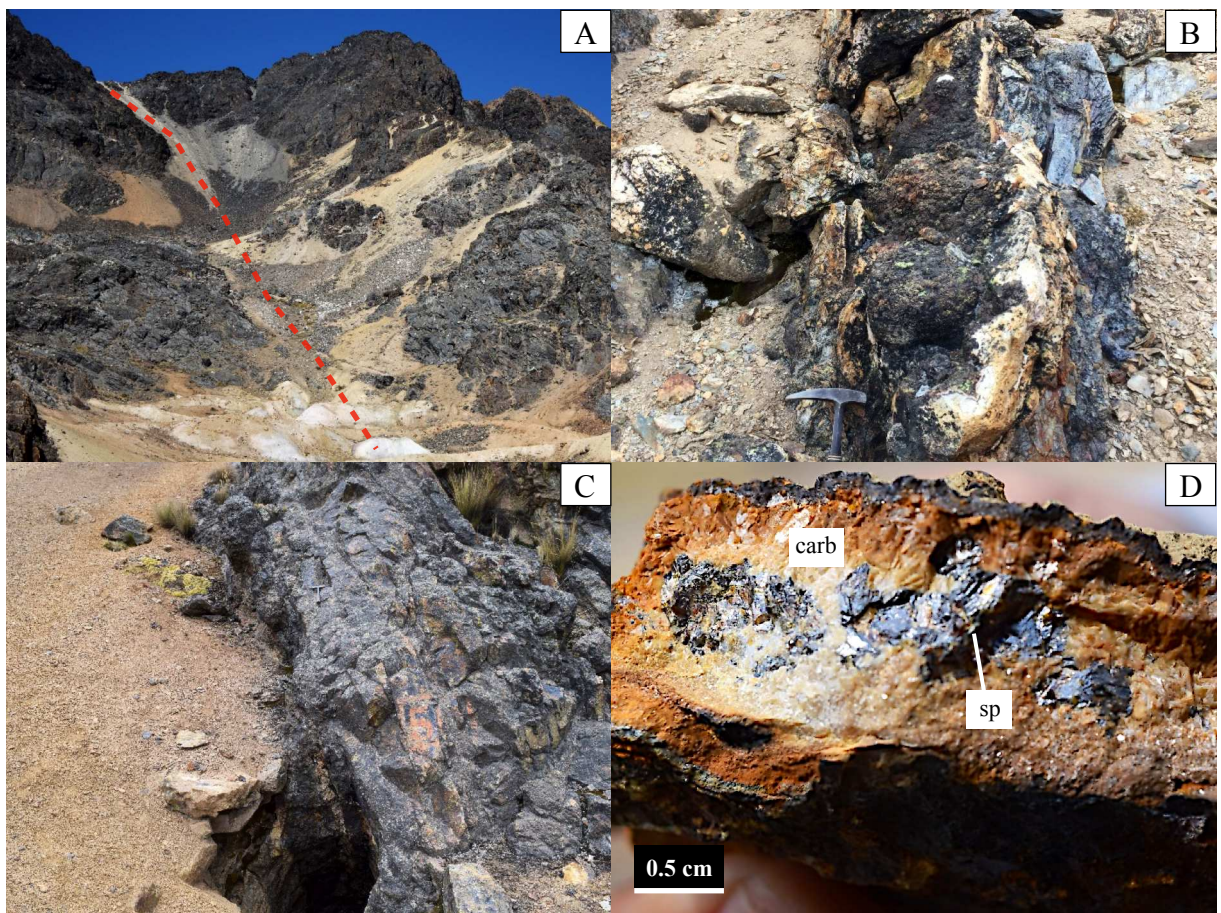


Figura 5,2 Fotografías de la veta Prosperidad W y Prosperidad E y Sur. A) Foto panorámica mirando al suroeste de la traza de la veta Prosperidad W. B) veta Prosperidad W compuesta de bandas de cuarzo. C) veta Prosperidad Sur con buzamiento de 80° al noroeste (nótese la impregnación de óxidos de Mn y Fe sobre la superficie de la veta). D) Muestra de la veta Prosperidad E con esfalerita (sp) y carbonatos Mn-Fe (carb) parcialmente reemplazado por óxidos de Mn-Fe en su superficie.

paralelos perpendiculares a los hastiales. Los cristales presentan terminaciones piramidales en sus extremos libres (Figura 5,3 A). También ocurren texturas crustiformes, en escarapelada (“cockade”), granular y cristales individuales de cuarzo zonados (Figura 5,3 C y D). Su presencia en la veta llega hasta el 80 %. Regularmente estos grupos de cristales presentan sucesivas bandas de calcedonia (fibroso-radial), que muestran variables posiciones de extinción bajo nícoles cruzados (Figura 5,3 B). Estas texturas de calcedonia han sido referidas en otros es-

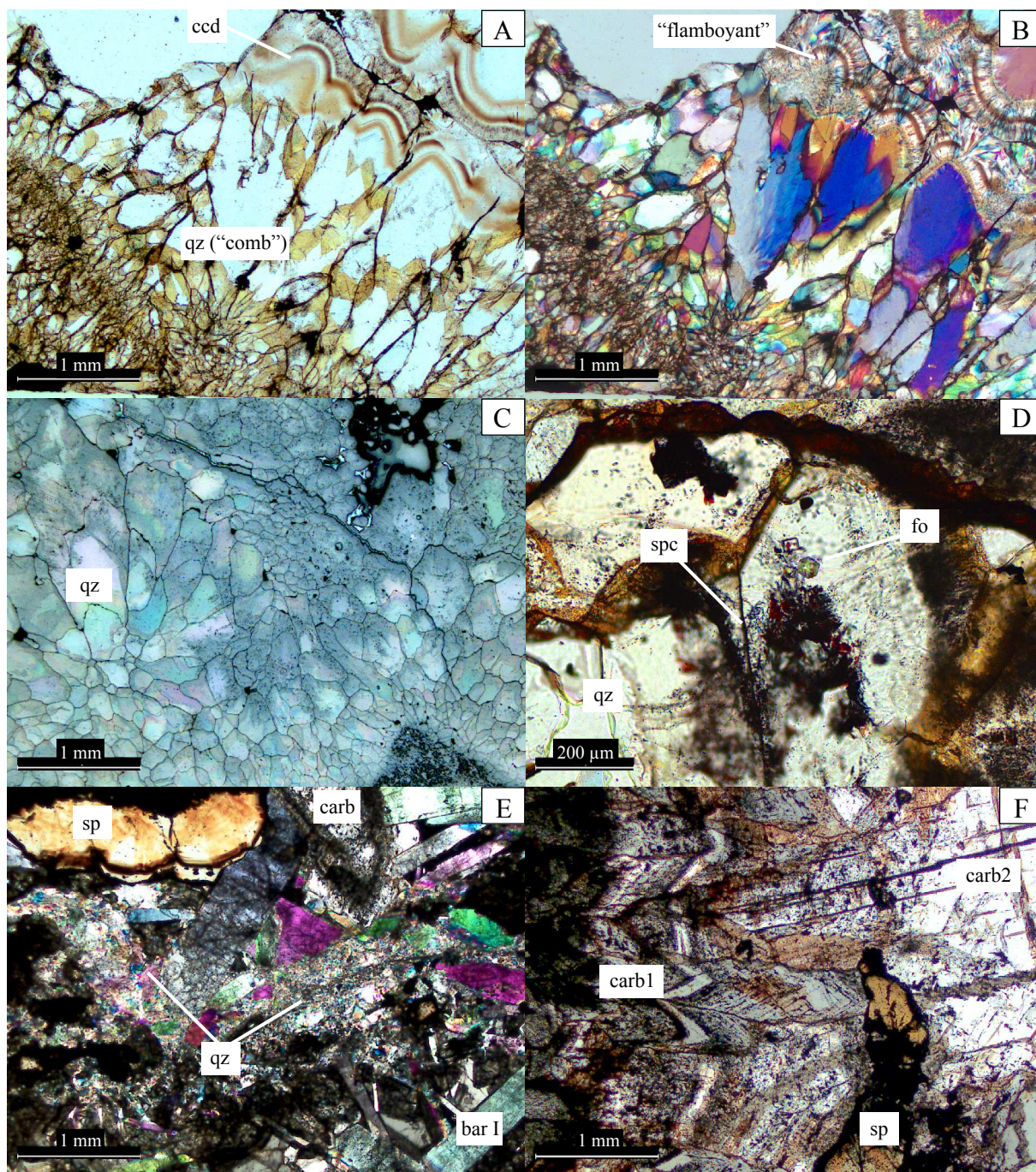


Figura 5,3 Principales gangas. A) Cuarzo en cresta con terminación piramidal (zonado) y bandas de calcedonia “flamboyant” (muestra 39005) L.T. B) Mismo campo en A en n.c. donde se observan bordes “feathery” en las terminaciones piramidales. C) Cuarzo granular (muestra 36997). L.R. D) parches de especularita y fosfatos en cristales subhedrales de cuarzo (muestra 39023) L.T. E) Cristales tabulares de baritina I, carbonatos Mn-Fe, esfalerita y cuarzo microcristalino (muestra PR-12-SUP-17(5)) L.T.n.c. F) Carbonatos Mn-Fe, uno con habito “saddle” (carb 1) y otro romboédrico (carb 2), con fragmentos de esfalerita (muestra 36993). Abreviaciones: L.T.=luz trasmitida; L.R.=luz reflejada; n.c.=nícoles cruzados; bar=baritina; carb=carbonato Mn-Fe; ccd= calcedonia; fo=fosfatos; qz=cuarzo; spc=especularita; sp=esfalerita.

tudios como “flamboyant” por Dong et al. (1995), Sander & Black (1988) y Moncada et al. (2012) y pueden indicar procesos de cristalización.

La pirita está como fragmentos con bordes irregulares (posibles piritoedros) dentro del cuarzo. Es más extendida 100 m al oeste de la línea N-13 000, donde forma bandas masivas de hasta 0.8 m de potencia y hasta 80% en abundancia. Otras gangas incluyen especularita, filosilicatos indiferenciados, clorita y trazas de fosfatos (Figura 5,3 D).

En las vetas Prosperidad E y Prosperidad Sur, los minerales de ganga más abundantes son carbonatos Mn-Fe, cuarzo y baritina.

Los carbonatos Mn-Fe son de coloraciones cremas a pardas y tienen un volumen acumulado de hasta el 60 % de la veta. Forman bandas coloformes, con presencia de cristales “saddle” y romboédricos en oquedades de tamaños <3 mm. A veces, estos dos hábitos aparecen en una misma muestra, evidenciando dos generaciones de carbonatos (Figura 5,3 F). Es común la intercalación de bandas blancas y grises dentro de los cristales.

El cuarzo es hialino y subhedral, varía en tamaños desde microcristalino hasta 100 μm . Comúnmente se observa texturas tipo “comb” y granular. Estos crecen sobre carbonatos y baritina y están asociados espacialmente a arsenopirita. Otro tipo

de cuarzo muestra cristales más desarrollados (hasta 1 cm) y contiene cristales suspendidos de esfalerita, galena y pirita. La abundancia del cuarzo en general oscila entre 5 y 10 %.

La baritina representa entre el 15 y 20 % en volumen de la veta. Típicamente de hábitos tabulares y tamaños generalmente >0.5 mm (Figura 5,3 E). La baritina mayormente está suspendida en una masa de carbonatos de Mn-Fe (baritina I). Menos común, ocurre como sobrecrecimientos en cuarzo (baritina II). Análisis de fluorescencia de rayos X sobre baritina I en la muestra 36994, revelan valores de hasta 65.2 % BaO, 27.9 % SO_3 , 4.2 % MnO_2 y 2.8 % Fe_2O_3 . Tanto los carbonatos Mn-Fe, el cuarzo y la baritina mantienen sus abundancias hasta por más de 120 m debajo de la superficie (e.j., Sondaje PR-12-SUP-07).

Otras gangas incluyen sulfuros como la arsenopirita, pirita y estibina. La arsenopirita ocurre comúnmente como cristales pseudo-octaédricos y prismáticos sobre cuarzo y carbonatos de Mn-Fe y como pequeñas inclusiones (<100 μm) en cristales de esfalerita (Figura 5,6 D). Su abundancia acumulada por lo general es <5 %. La pirita es poco extendida en la veta, se presenta mayormente como finas disseminaciones de cristales cúbicos (<500 μm en tamaño) corroídos y reemplazados por esfalerita y galena (Figura 5,6 B y F). La estibina es observada únicamente en la muestra 39017. Exhibe cristales acicular-radial de tamaños <150 μm , acompañados de cuarzo y pirita (Figura 5,6 F).

5.1.2 Descripción de menas

Las menas en la veta Prosperidad W incluyen wolframita, calcopirita, scheelita, minerales de bismuto (emplectita) y esfalerita.

La wolframita ocurre entre las líneas N-12 000 y N-13 000, principalmente como fragmentos con bordes irregulares sobre las bandas de cuarzo. Tiene una coloración negra a gris oscura y cuando los fragmentos están poco disturbados exhiben cristales con hábitos prismáticos y tabulares de tamaños de hasta 2 cm. Estos generalmente se encuentran maclados y mostrando clivajes perfectos (Figura 5,5 C y D). Su abundancia varía entre 1 y 5 %, con mayor presencia entre las líneas N-12 000 y N-12 500. Microanálisis de fluorescencia de rayos X sobre un cristal de wolframita en la muestra 39023, revela valores de 71.53 % WO_3 , 17.15 % FeO , 3.50 % MnO y 6.98 % MgO , además de 0.32 % Ag_2O , 0.16 % CaO , 0.15 % SnO_2 y 0.20 % Bi_2O_3 . Esta composición confirma que la wolframita es del tipo ferberita.

La calcopirita está presente como trazas. Exhibe granos con bordes irregulares dentro de masas de cuarzo (Figura 5,5 A). También diminutas inclusiones (<30 μm) dentro de los cristales de wolframita, sugiriendo que ambos minerales co-precipitaron (Figura 5,5 D). El sondaje SC-00-275 ha reconocido a la calcopirita (acompañado de piritita masiva, cuarzo, esfalerita y especularita), 400 m debajo de la muestra 39023 en superficie.

La scheelita ha sido identificada tentativamente basados en sus propiedades ópticas bajo el microscopio. Ocurre como inclusiones de cristales euhedrales sobre cuarzo. Presentan hábitos pseudo-octaédricos y tetraédricos, con coloraciones parduscas y tamaños de hasta 20 μm (Figura 5,5 B y C). Los cristales de scheelita comúnmente cortan y reemplazan a los cristales de wolframita, al igual que ésta, la scheelita es más abundante entre las líneas N-12 000 y N-13 000, con un contenido de hasta 5 % (Figura 6.1).

La emplectita fue reconocida mediante espectroscopía Raman y secciones delgadas (Figura 5,4 A). Muestra cristales aciculares de hasta 40 μm que cortan a la wolframita (Figura 5,5 D). Se observa que la emplectita es reemplazada por covelita (Figura 5,4 B).

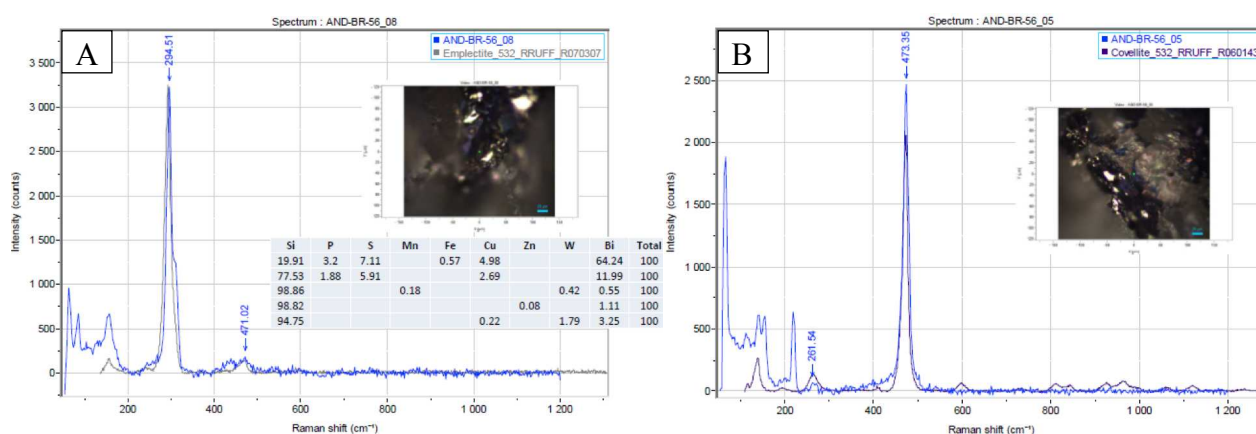


Figura 5,4 Espectroscopía Raman y microanálisis de fluorescencia de rayos X sobre: A) Emplectita y B) Covelita.

En el sector estudiado, la esfalerita ocurre únicamente como trazas y parches de cristales subhedrales de coloraciones marrones sobre pirita y cuarzo.

Las menas en la veta Prosperidad E y Prosperidad Sur, al igual que en la veta Andaychagua, incluyen esfalerita, galena, calcopirita, cobres grises y platas rojas.

La esfalerita se presenta como 2 tipos: esfalerita I y II. La esfalerita I es la más abundante (>5 % en abundancia) y está comúnmente asociada a galena. Ocurre como pequeños fragmentos (<800 μm) con bordes irregulares sobre playas de carbonatos Mn-Fe (Figura 5,6 A). Cuando los fragmentos no están muy disturbados, se puede apreciar cristales dodecaédricos y octaédricos maclados. Éstos están zonados, exhibiendo hasta 3 distintas zonas, con coloraciones que van desde marrón a marrón claro. Microanálisis de fluorescencia de rayos X sobre la esfalerita I son presentados en la Tabla 5,1.

Tabla 5,1 Resultados de microanálisis de fluorescencia de rayos X en dos muestras de esfalerita I.

Mg (%)	S (%)	Mn (%)	Fe (%)	Zn (%)	Cd (%)	FeS (%)	Muestra
3.20	26.79	0.04	0.34	69.29	0.34	0.54	PR-18-SUP-07 (05)
-	21.52	1.77	3.51	73.20	-	5.53	36994

La esfalerita II representa <1 % en volumen de la veta. Es de coloración amarillenta a rojiza y generalmente se encuentra bajo la forma de dodecaedros (<3 mm en tamaño), en oquedades dentro de los carbonatos Mn-Fe y baritina (no mues-

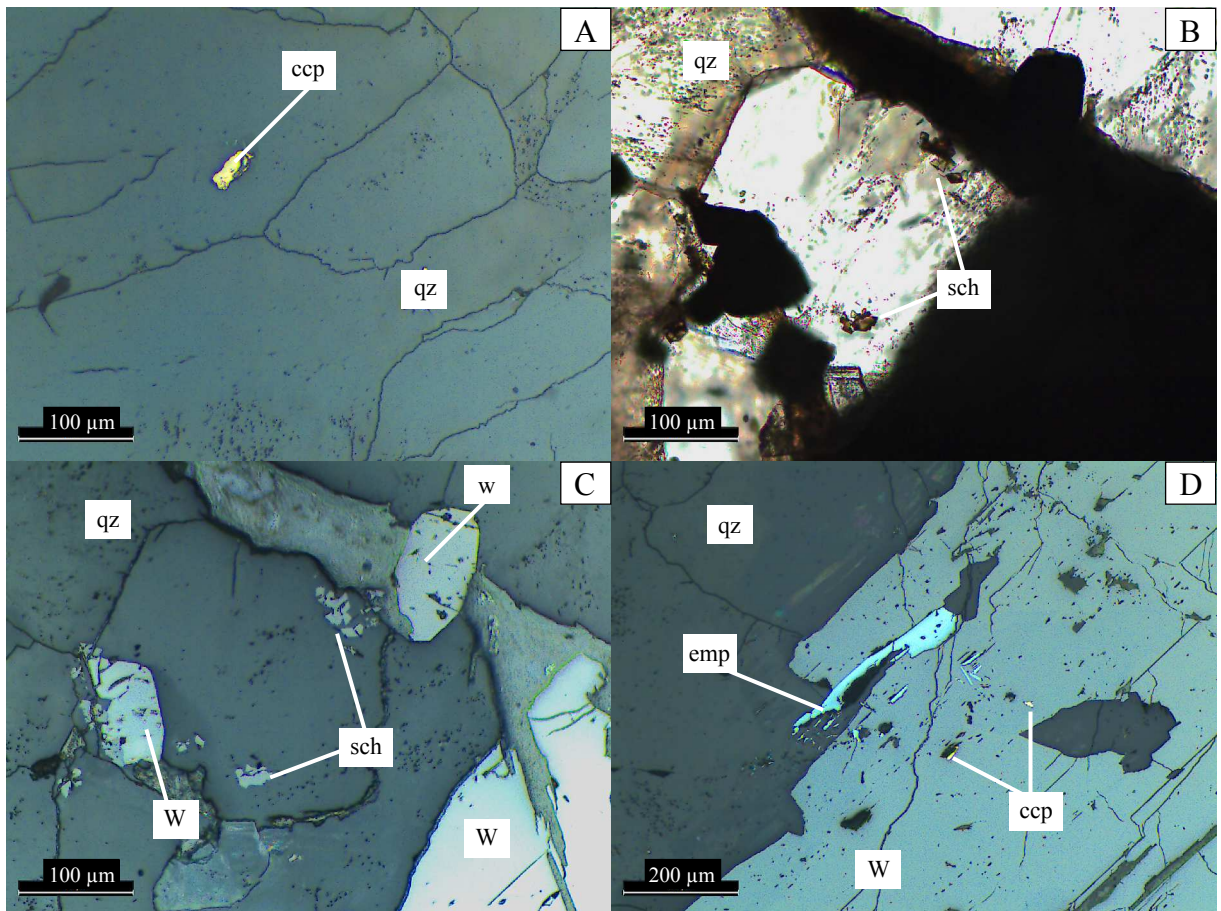


Figura 5,5 Microfotografía de secciones delgadas doblemente pulidas mostrando las principales menas en la veta Prosperidad W. A) Granos de calcopirita sobre masas de cuarzo (muestra 39023) L.R. B) Cristales tetraédricos de scheelita en cuarzo y wolframita (muestra 39023) L.T. C) Misma muestra en B con L.R. D) Cristales de emplectita e inclusiones de calcopirita sobre cuarzo y wolframita (muestra 39023) L.R. Abreviaciones: L.T.=luz transmitida; L.R.=luz reflejada; ccp=calcopirita; emp=emplectita; qz=cuarzo; sch=scheelita; W=wolframita.

tran bordes de reacción). Esta esfalerita aparentemente esta débilmente zonada (Figura 5,7 A y B). Análisis de fluorescencia de rayos X muestran concentraciones de Zn entre 63.97 y 68.88 % y de Fe entre 0.18 y 0.42 %, con valores de Fe ligeramente mayores en los bordes del cristal (Tabla 5,2). Adicionalmente, se observa valores de hasta 0.06 % Cd y 0.14 % In. Un mapeo cuantitativo mediante microanálisis de fluorescencia de rayos X, evidencian que no hay una distribución regular del Fe a lo largo del cristal (Figura 5,7 C).

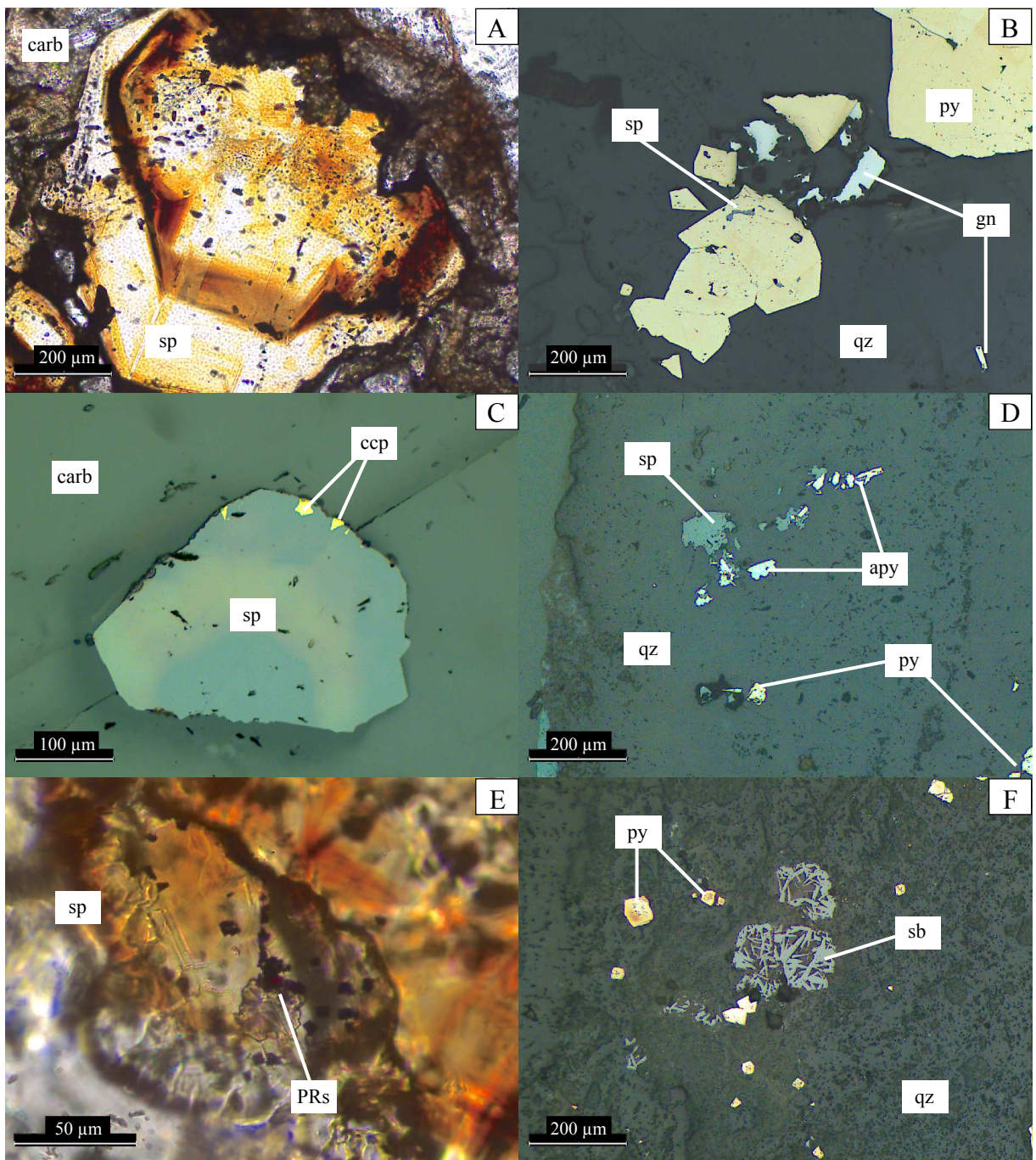


Figura 5.6 Microfotografías de secciones delgadas doblemente pulidas mostrando las principales menas en la veta Prosperidad E y Sur. A) Cristal de esfalerita I cortada por carbonatos Mn-Fe (muestra PR-12-sup-17(5)) L.T. B) Pirita, esfalerita I y galena sobre cuarzo (ver las inclusiones de esfalerita sobre pirita) (muestra 39017) L.R. C) Esfalerita I con inclusiones de calcopirita sobre carbonatos Mn-Fe (muestra 36993) L.R. D) Parches irregulares de esfalerita I, pirita y arsenopirita sobre cuarzo (muestra 36993) L.R. E) Esfalerita I con inclusiones de platas rojas (muestra PR-12-SUP-17(3)) L.T. F) Estibina acicular y pirita cúbica sobre cuarzo (muestra 39017) L.R. Abreviaciones: L.T.=luz transmitida; L.R.=luz reflejada; apy=arsenopirita; carb=carbonato Mn-Fe; ccp=calcopirita; gn=galena; PRs= platas rojas; py=pirita; qz=cuarzo; sb=estibina; sp=esfalerita.

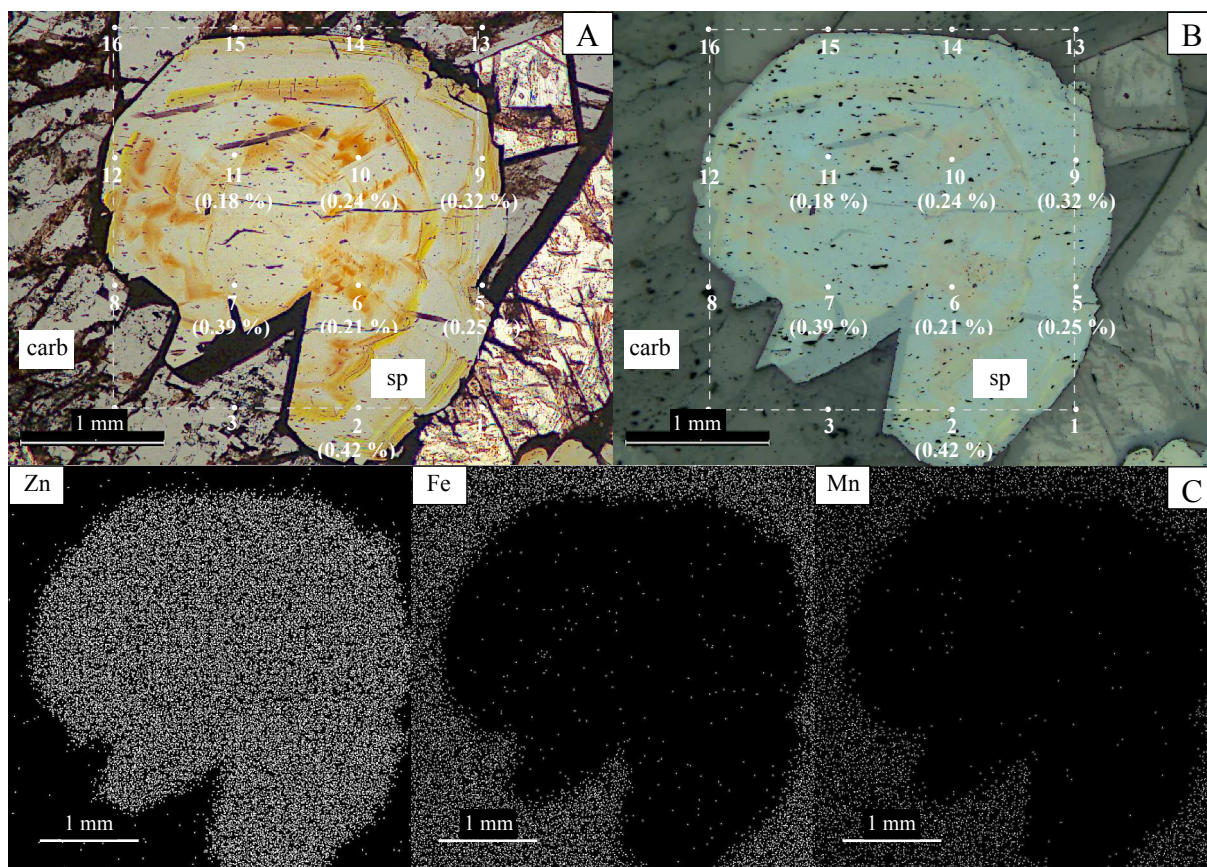


Figura 5,7 Malla de microanálisis de fluorescencia de rayos X sobre un cristal de esfalerita II (muestra 36993). A) Valores de Fe (%). B) Imagen en A en L.R. C) Mapeo de Zn, Fe y Mn.

Tabla 5,2 Resultado del microanálisis de fluorescencia de rayos X (n=16) en un cristal de esfalerita II y carbonatos Mn-Fe asociado (muestra 36993). Abreviaciones: cab=carbonato Mn-Fe; sp=esfalerita.

Nr	Mg (%)	S (%)	Ca (%)	Mn (%)	Fe (%)	Zn (%)	Cd (%)	In (%)	FeS (wt %)	Mineral
1	1.28	-	0.05	15.91	30.28	0.19	-	-	-	carb
2	0.37	30.94	0.02	0.16	0.42	68.08	-	-	0.67	sp
3	1.51	0.01	0.02	17.32	28.53	0.27	-	0.01	-	carb
4	0.09	0.03	0.06	18.20	29.38	0.33	0.03	-	-	carb
5	0.26	31.46	0.01	0.01	0.25	67.80	0.06	0.14	0.40	sp
6	-	31.85	0.06	-	0.21	67.80	-	0.09	0.33	sp
7	-	32.03	-	0.08	0.39	67.50	-	-	0.62	sp
8	0.05	-	0.01	16.51	31.36	0.15	-	-	-	carb
9	3.06	31.58	0.01	0.04	0.32	64.98	-	-	0.51	sp
10	6.49	29.13	0.01	0.09	0.24	63.97	-	0.07	0.38	sp
11	1.39	31.30	0.01	-	0.18	67.09	0.01	0.01	0.29	sp
12	0.51	-	0.06	17.83	29.27	0.27	0.04	-	-	carb
13	0.46	-	0.13	16.21	30.96	0.18	-	-	-	carb
14	1.23	-	0.23	14.77	31.16	0.33	-	-	-	carb
15	0.75	0.09	0.08	15.97	30.77	0.30	-	-	-	carb
16	1.57	-	0.02	18.63	27.31	0.09	-	-	-	carb

La galena está asociada espacialmente a la esfalerita y pirita. Se exhibe como granos con bordes irregulares dentro de masas de cuarzo y carbonatos Mn-Fe. Los granos son pequeños $<200 \mu\text{m}$ (Figura 5,6 B). Su abundancia acumulada en la veta es $<1 \%$.

Los cristales de calcopirita solo ocurren como inclusiones en esfalerita I. Estos tienen formas irregulares y son muy pequeños, con tamaños $<20 \mu\text{m}$ (Figura 5,6 C).

Las platas rojas típicamente presentan refracciones internas y se observan como diminutas inclusiones irregulares ($<10 \mu\text{m}$) sobre esfalerita I y carbonatos (Figura 5,6 E).

Las relaciones de cortes nos permiten definir 3 ensambles principales (desde más temprano hasta más tardío): (1) cuarzo-pirita-wolframita \pm (especularita-calcopirita-scheelita-emplectita-calcedonia); (2) esfalerita I (marrón claro)-galena-cobres grises-arsenopirita \pm (cuarzo-pirita-calcopirita); (3) carbonato Mn-Fe-baritina-cuarzo-arsenopirita-esfalerita II (rojiza) \pm (pirita-platas rojas-estibina).

5.2 Geoquímica

Se realizó un muestreo geoquímico en diferentes partes de las vetas. Se recolectó 9 muestras en total. Los resultados son mostrados en la Tabla 5,3 y 5,4.

En la veta Prosperidad W se evidencia concentraciones altas de W (3407 ppm) y Bi (3681 ppm), que coinciden con valores significativos de Au (0.83 ppm), Ag (95.70 ppm) y Zn (744 ppm). Estos valores van disminuyendo en conjunto hacia el este hasta <388 ppm W y <19.93 ppm Bi (línea N-13 000) y van acompañados con el aumento de los valores de Pb, Cu y As hasta 480 ppm, 1203 ppm y 1227 ppm respectivamente. Por otra parte, valores de Sb, Ba y Mn son bajos (<38.72 ppm, <371 ppm y <264 ppm respectivamente). Cabe resaltar valores anómalos de hasta 10.61 ppm Te y 38.1 ppm Sn.

El año 2 000 se realizó 6 sondajes diamantinos en la veta Prosperidad W. Muestran valores de hasta 3.42 % Cu, 0.18 % Pb, 2.74 % Zn y 4.6 Oz/t Ag. Por otro lado, en trabajos recientes se obtuvo valores altos de W, Bi, Cu, Zn y Pb (hasta 3738 ppm, 5224 ppm, 1986 ppm, 3.4 % y 1561 ppm respectivamente) y concentraciones significativas de Au (hasta 2.14 ppm) y Ag (hasta 168 ppm). Resultados anómalos incluyen 110 ppm As, 45.78 ppm Sb, 52.7 ppm Sn y 19.81 ppm Te. Estos valores coinciden con nuestros resultados.

Tabla 5,3 Resumen de las concentraciones metálicas de los ensayos geoquímicos en la veta Prosperidad W. Una tabla completa se muestra en el Anexo A.

Muestra	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Ba (ppm)	Bi (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Pb (ppm)	Sb (ppm)	Sn (ppm)	W (ppm)	Zn (ppm)
36997	0.01	3.30	22.50	321.00	11.53	514.00	264.00	78.80	34.17	7.70	16.20	177.00
39023	0.83	95.70	56.70	144.00	3681.00	283.00	254.00	149.00	32.92	17.70	3407.00	744.00
36999	0.30	7.60	1227.00	116.00	19.93	1203.00	98.00	24.10	3.34	38.10	388.00	38.70
39005	0.05	64.70	138.00	371.00	7.17	626.00	58.00	480.00	38.73	6.50	41.80	58.50

Las vetas Prosperidad E y Prosperidad Sur exhiben altas concentraciones metálicas, con hasta 4.14 % Zn, 2.21 % Pb, 528 ppm Cu, 681 ppm Ag y 2.015 ppm Au. Estas son acompañadas con valores de hasta 19.5 % Mn, 1.07% As, 563 ppm Sb, 92.16 ppm Cd y 1 561 ppm Ba. A diferencia de la veta Prosperidad W, los valores de W y Bi están por debajo de 6 ppm (Tabla 5,4).

Al igual que en la veta Andaychagua los mayores valores de Au coinciden con los mayores valores de As y Sb (2.015 ppm Au con 1.07% As y 563 ppm Sb), por lo que probablemente minerales de Au se encuentren asociados a arsenopirita y estibina.

Los valores más altos de Cu coinciden con los valores más altos de Pb, Ag, As, Sb y Zn (Figura 5,8 y 5,9). Esto refleja la relación entre esfalerita, galena, cobres grises, sulfuros y sulfosales de Ag y Pb y en menor grado calcopirita.

Cabe señalar que trabajos previos de exploración en las vetas Prosperidad E y Prosperidad Sur reportan valores de Zn, Pb, Cu, Ag, As, Au y Sb de hasta 3.02 %, 0.34 %, 263 ppm, 61.9 ppm, 1746 ppm, 0.53 ppm y 40.31 ppm respectivamente.

Tabla 5,4 Resumen de las concentraciones metálicas de los ensayos geoquímicos en las vetas Prosperidad E y Prosperidad Sur. Una tabla completa se muestra en el Anexo A.

Muestra	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (%)	Ba (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Mn (%)	Pb (%)	Sb (ppm)	Sn (ppm)	W (ppm)	Zn (%)
36937	0.05	300.00	0.27	83.00	1.09	8.14	39.70	19.51	0.08	68.95	2.30	5.90	1.04
36995	0.13	70.20	0.07	976.00	0.56	53.62	136.00	10.59	0.20	31.09	2.50	1.50	2.82
39017	2.02	681.00	1.07	51.00	0.59	92.16	528.00	0.21	2.21	563.00	16.20	1.00	4.14
36993	0.02	39.70	0.01	684.00	0.33	85.43	52.50	12.00	0.25	17.04	3.40	1.70	4.17
36994	0.02	61.30	0.02	1561.00	1.30	32.67	81.00	14.80	0.07	19.49	1.90	3.00	1.66

5.3 Distribución elemental vertical de la veta

286 ensayos de geoquímica entre muestras de canales e impactos de sondajes diamantinos en las vetas (incluye 6 sondajes realizados en el año 2 000 en la veta Prosperidad W), fueron utilizados para la elaboración de secciones longitudinales compuestas (Figura 5,1) de isovalores de Ag, Zn, Pb, Cu y cocientes de Zn/Pb. Los ensayos cubren un área de 500 x 400 m en la veta Prosperidad W y 1.2 x 1.0 km en la veta Prosperidad E.

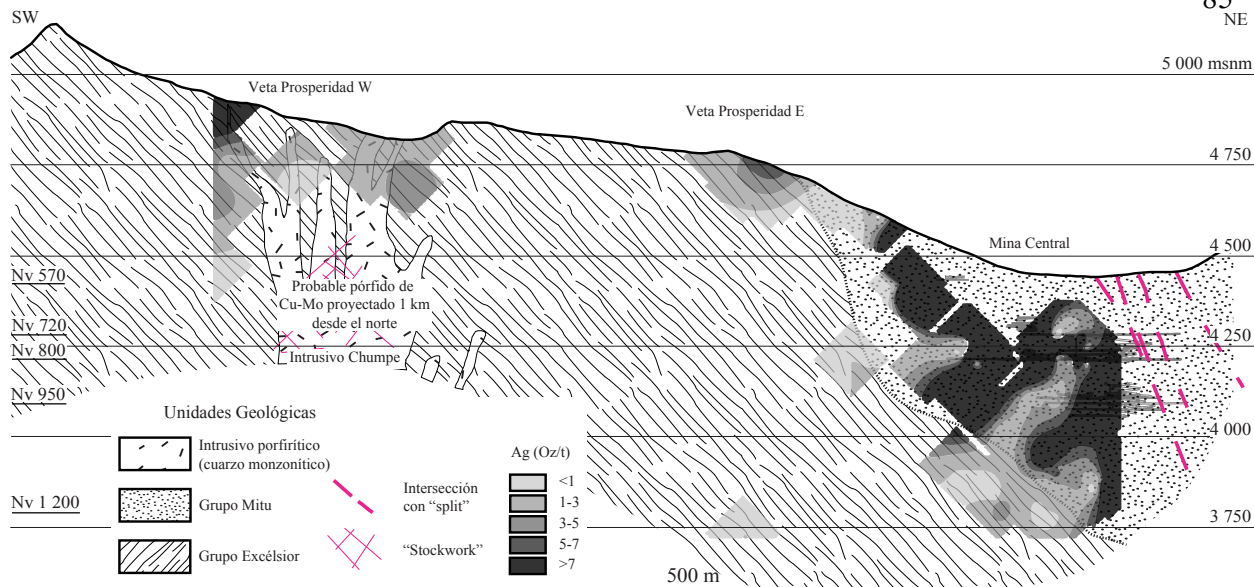


Figura 5,8 Sección longitudinal de los isovalores de Ag (Oz/t).

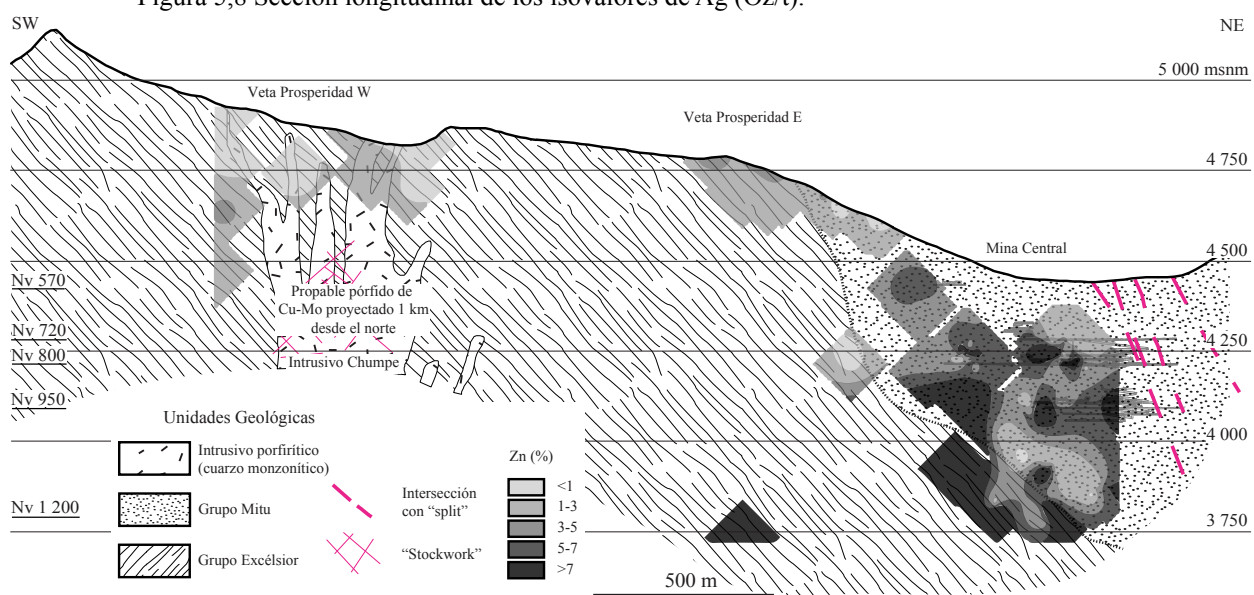


Figura 5,9 Sección longitudinal de los isovalores de Zn (%).

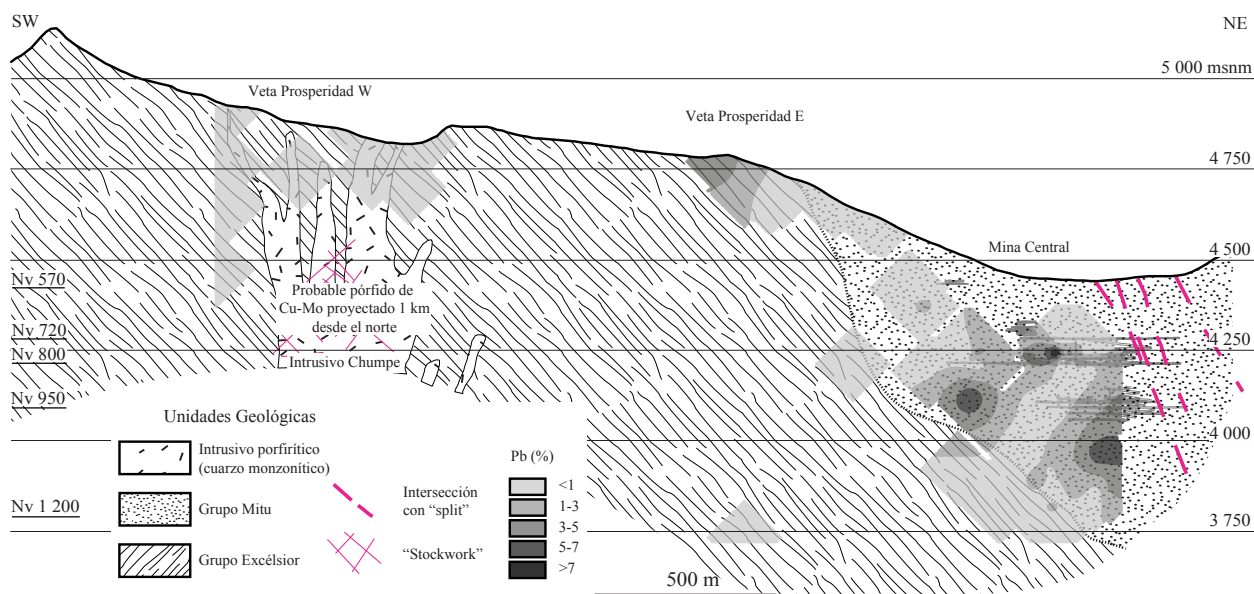


Figura 5,10 Sección longitudinal de los isovalores de Pb (%).

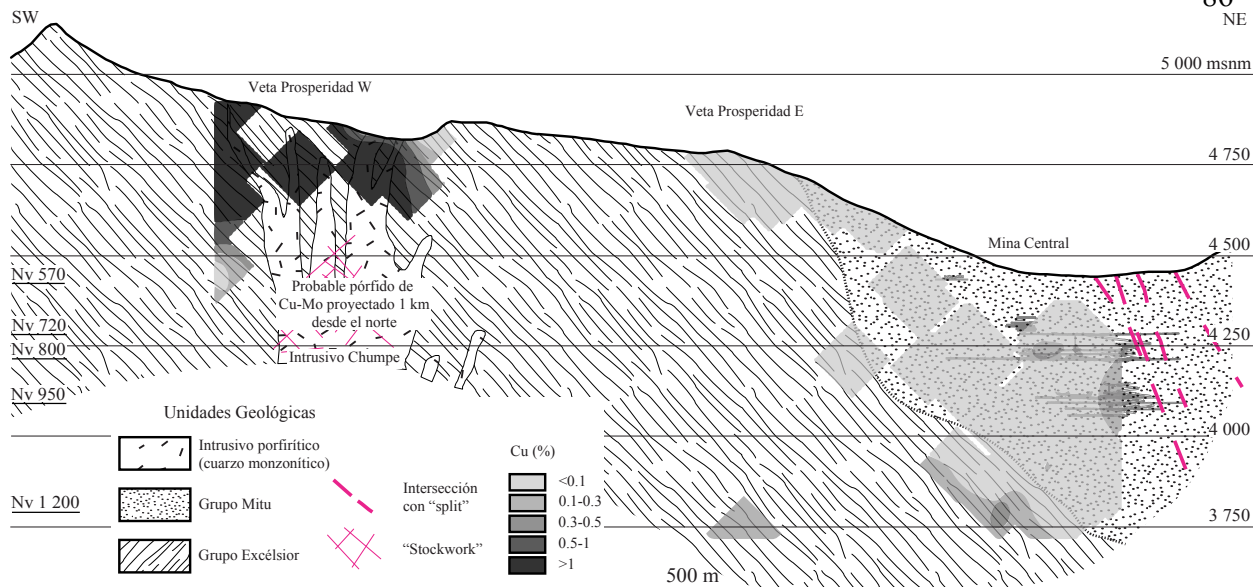


Figura 5,11 Sección longitudinal de los isovalores de Cu (%).

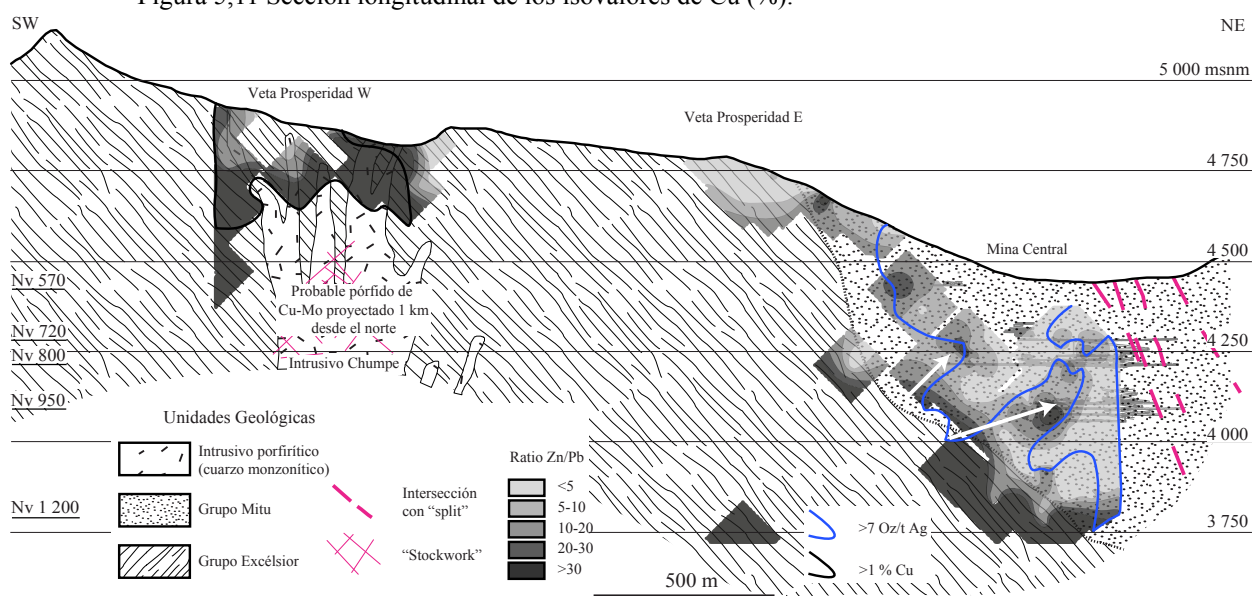


Figura 5,12 Sección longitudinal de los cocientes metálicos de Zn (%) / Pb (%). Las flechas blancas indican las probables direcciones del flujo mineralizante. Adicionalmente, se muestran isovalores de Ag y Cu.

5.3.1 Resultados

Concentraciones de Ag >7 Oz/t están presentes en la parte central de la veta Prosperidad E, éstas conforman un área de 700 m de largo x 400 m de ancho (sobre la cota 3 750), con un "pitch" de 55° al noreste (Figura 5,8). Ésta es acompañada de valores de Pb hasta >7 % (Figura 5,10). Cabe señalar la presencia de una zona de menor ley (<3 Oz/t) al centro de esta área. Estos valores van disminuyendo

gradualmente hacia el suroeste y en profundidad a <1 Oz/t. En la veta Prosperidad W las concentraciones son menores, por lo general <3 Oz/t.

En la veta Prosperidad E, valores de Zn >7 % ocurren en varios sectores, de estos resalta uno en profundidad de 300 m de ancho x 400 m de alto (limitado en la parte superior en la cota 4 250 y quedando abierta su continuidad en profundidad) (Figura 5,9). El contenido de Zn disminuye <3 % en superficie. Por otro lado, los valores de Zn en la veta Prosperidad W por lo general son <3 %.

Los valores de Cu son por lo general <0.1 % a lo largo de la veta Prosperidad E, solo se observa un pequeño sector de 30 m de diámetro en profundidad, alrededor de la cota 3 750, con leyes entre 0.3 y 0.5 %. Por el contrario, en la veta Prosperidad W los contenidos de Cu son mayormente $>1\%$ y están sobre la cota 4 500 (Figura 5,11).

Los ratios de Zn/Pb muestran 2 posibles direcciones del fluido hidrotermal en la veta Prosperidad E, que van en profundidad desde la parte central de la veta (Zn/Pb >10) hacia las partes altas al noreste donde el ratio es <5 (Figura 5,12). Estos posibles canales coinciden con los anticlavos observados en la sección longitudinal de isovalores de Ag. Los ratios de Ag/Zn son bajos, en promedio 3.44, aunque valores máximos llegan hasta 111.12 (Tabla 5,5).

Los coeficientes de correlación de Cu con el Zn, Pb y Ag son prácticamente nulos. Por lo contrario, el Zn, Pb y Ag tienen una correlación entre 0.3 y 0.5.

Tabla 5,5 Resumen estadístico de las concentraciones metálicas de los ensayos geoquímicos de canales e impactos de sondajes en la veta Prosperidad E y W.

n=28921	Mínimo	Máximo	Media	σ
Zn (%)	0.02	23.92	5.01	4.34
Pb (%)	0.01	22.92	1.07	2.15
Cu (%)	0.01	8.62	0.13	0.6
Ag (Oz/t)	0.07	162.35	10.66	22.27
Ag (Oz/t)/Zn (%)	0.05	111.12	3.44	9.54
Zn (%) / Pb (%)	0.35	305.33	15.14	32.68

5.4 Alteración

En afloramiento la veta Prosperidad W corta filitas y cuarcitas del Grupo Excelsior. La veta exhibe un halo de alteración donde resaltan dos zonas, una zona externa de cloritización que tiene una extensión de más de 7 m, con una ligera coloración verdosa y una zona interna de alteración sericítica, al piso y al techo de la veta, con anchos <0.5 m.

En la zona clorítica la alteración es moderada y se desarrolla paralela y cortando a la foliación (Figura 5,13 A). La zona sericítica, se caracteriza por su mineralogía invasiva y pervasiva de sericita y micas blancas sobre la matriz (Figura 5,13 B).

Microscopía óptica y análisis vía espectroscopía Raman de muestras representativas, revelan que la zona de cloritización está constituida principalmente por chamosita, acompañada de especularita y carbonatos (Figura 5,15 A y Figura 5,14 A); y la zona sericítica constituida por muscovita, cuarzo, especularita, sericita y pirita (Figura 5,15 B y C y Figura 5,14 B).

Análisis de fluorescencia de rayos X (Tabla 5,6) revelan que las cloritas tienen contenidos de Al_2O_3 de hasta 15.2 %, MgO hasta 6.6 %, Fe_2O_3 hasta 3.7 % y SiO_2 hasta 70.1 %, este último también debido a la presencia de cuarzo en las filitas. Los carbonatos muestran valores de Fe_2O_3 (hasta 19.2 %), MgO (hasta 9 %) y CaO (hasta 49.7 %). Por otra parte, la muscovita (según los espectros Raman) contiene valores de aluminio hasta de 21.2 % de Al_2O_3 , 8.0 % de K_2O y 63.6 % de SiO_2 . Valores de SiO_2 llegan hasta 93 % y refleja la silicificación que está asociada a la alteración sericítica (Figura 5,15 B). Cabe señalar que resultados de hasta 1.4 % de TiO_2 en las muscovitas, podrían sugerir la presencia de micro o nano inclusiones de rutilo y/o anatasa.

Resultados de los análisis químicos en el halo de alteración y gráficos de las variaciones composicionales, son mostrados en la Tabla 5,7 y Figura 5,16 A y B. En la zona sericítica se observa hacia la veta un descenso del contenido de Al_2O_3 , MgO y Ba y un débil aumento de Sr. Esto corresponde a la removilización de estos elementos y la posterior precipitación de muscovita y sericita. Por otro lado, en la

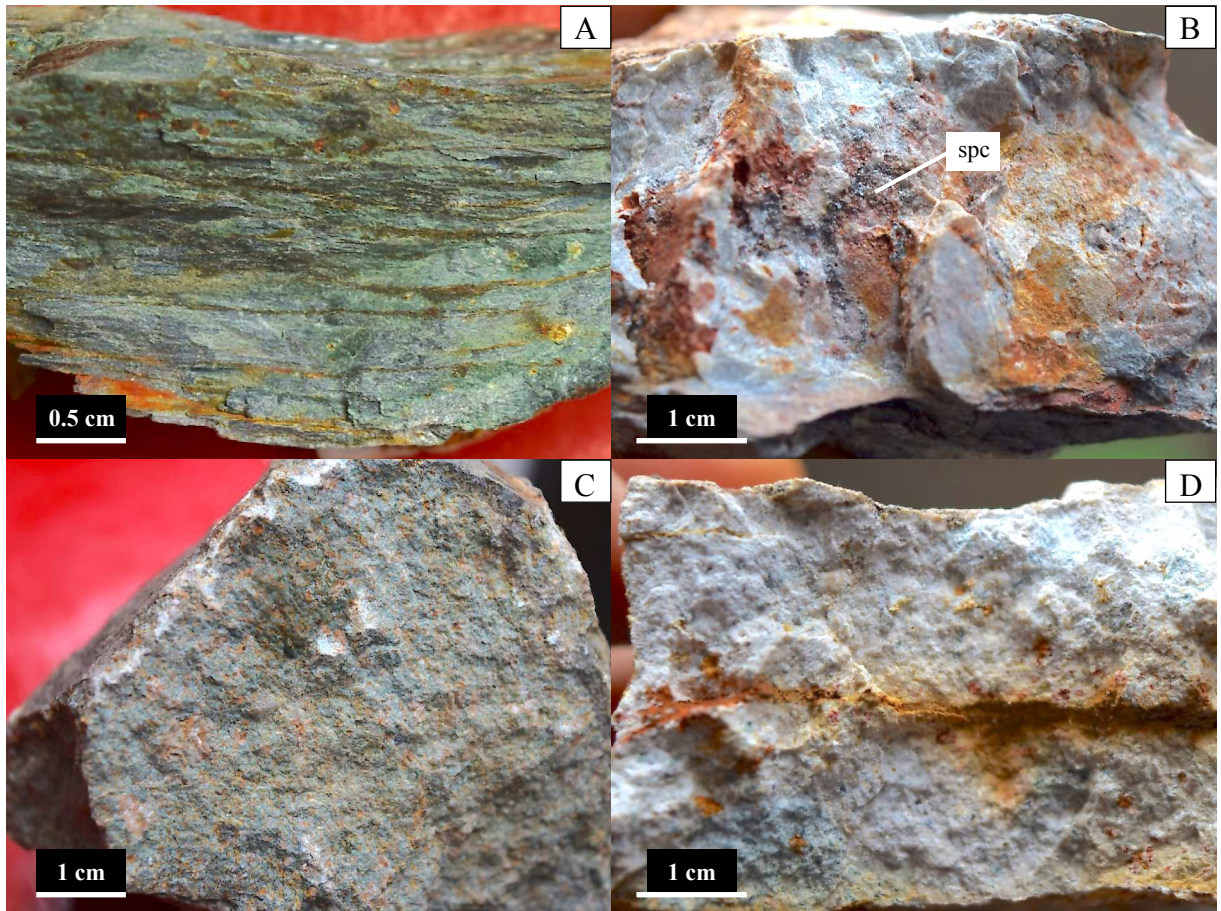


Figura 5,13 Principales zonas de alteración en la veta Prosperidad W (A y B) y vetas Prosperidad E y Prosperidad Sur (C y D). A) Filitas del Grupo Excelsior de coloración verdosa debido a la moderada cloritización (muestra 39019). B) Alteración sericítica sobre las filitas, con parches y vetillas de especularita (muestra 39022). C) Zona de cloritización en rocas volcánicas andesíticas (muestra 39002). D) Halo de alteración sericítica con intensidad moderada (muestra 39012).

zona clorítica el MgO incrementa ligeramente, probablemente por la asimilación de Mg en las cloritas (chamositas). El Al_2O_3 se mantiene casi constante y refleja la composición de las micas en las filitas. Cabe señalar, que el K_2O , CaO , Na_2O y Rb mantienen valores bajos y constantes en ambas zonas.

Las vetas Prosperidad E y Prosperidad Sur cortan rocas volcánicas del Grupo Mitu. Al igual que en la veta Andaychagua las vetas exhiben un halo de alteración donde

resaltan dos zonas, una zona externa de cloritización que tiene una extensión de más de 3 m hasta 25 m y con una ligera coloración verdosa (Figura 5,13 C), y otra zona interna de alteración sericítica al piso y al techo de las vetas, con anchos de hasta 1 y 1.5 m respectivamente (Figura 5,13 D). En la zona clorítica la alteración es débil a moderada y se desarrolla en plagioclasas y anfíboles. La zona sericítica se caracteriza por el reemplazamiento moderado de fenocristales de plagioclasa, feldespato y matriz por sericita.

Microscopía óptica y análisis vía espectroscopia Raman de muestras representativas, revelan que la zona de cloritización está constituida por chamosita, dickita y carbonatos (Figura 5,15 D y E y Figura 5,14 C), y la zona sericítica por illita (sericita), cuarzo y pirita (Figura 5,15 E y F).

Microanálisis de fluorescencia de rayos X (Tabla 5,6) muestra que la sericita tiene valores de hasta 15.2 % Al_2O_3 , 10.9 % K_2O y 7.2 % Na_2O . Los valores altos de Na_2O son debido a que las plagioclasas reemplazadas probablemente son andesinas u oligoclasas. Por otro lado, los contenidos bajos de CaO son a causa de su removilización durante la alteración hidrotermal (<1.6 %). Estos valores nos muestran que las sericitas son principalmente illitas. Los valores altos de SiO_2 (hasta 83.7 %) son debidos a la silicificación que acompaña a la alteración sericítica. Cabe señalar que los resultados de TiO_2 en su mayoría son <0.4 % (solo un valor dio 3.7

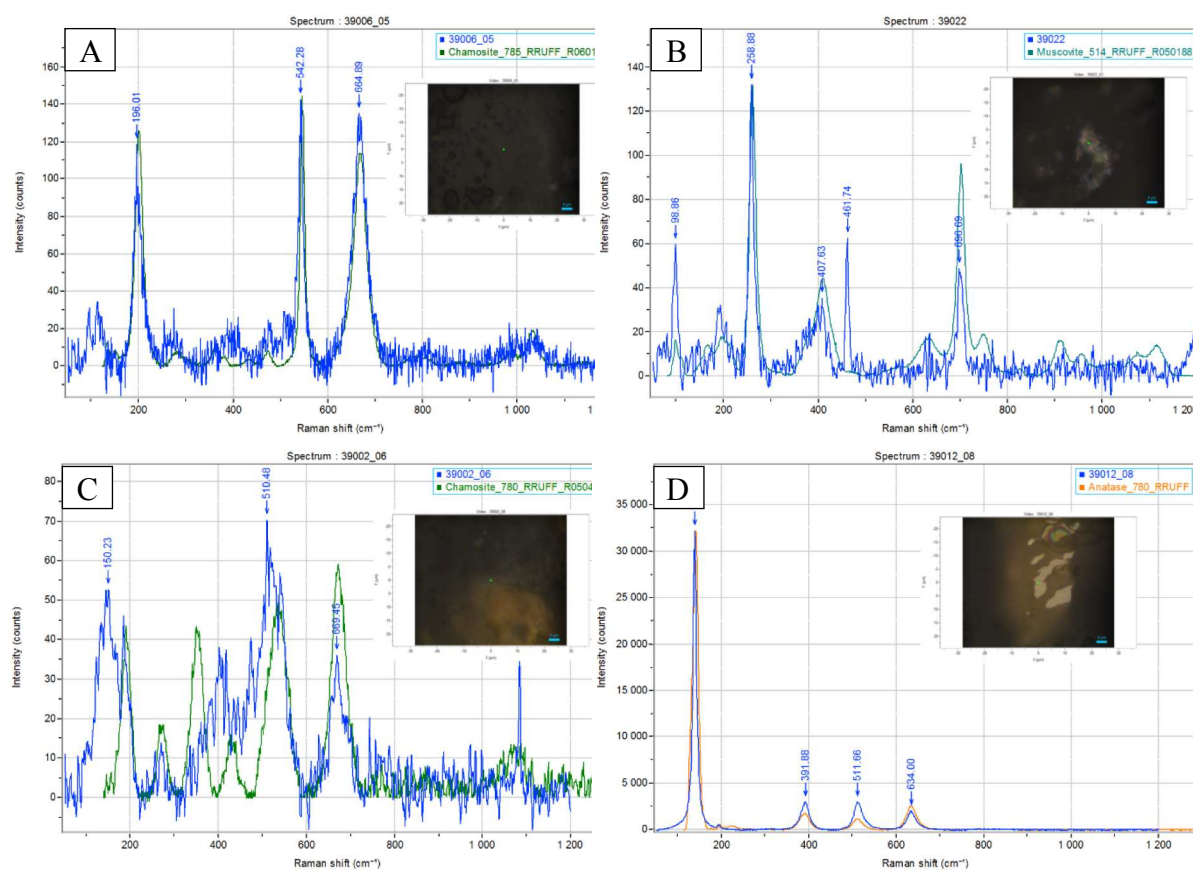


Figura 5,14 Espectros Raman de muestras de alteración en la veta Prosperidad W y Prosperidad E y Sur. A) chamosita (muestra 39006). B) Muscovita (muestra 39022). C) Chamosita (muestra 39002). D) Anatasa (muestra 39012).

%) y pueden ser debido a las inclusiones minerales de rutilo y anatasa (Figura 5,14 D), accesorias en las rocas volcánicas andesíticas.

Resultados de los análisis químicos de las zonas de alteración en la veta Prosperidad E y Prosperidad Sur son mostrados en la Tabla 5,7. Adicionalmente, gráficos de la variación composicional de elementos mayores y traza, son exhibidos en la Figura 5,17 A y B. Se puede observar en la zona de alteración sericitica un descenso brusco hacia la veta, del contenido de K_2O y Rb y una ligera disminución

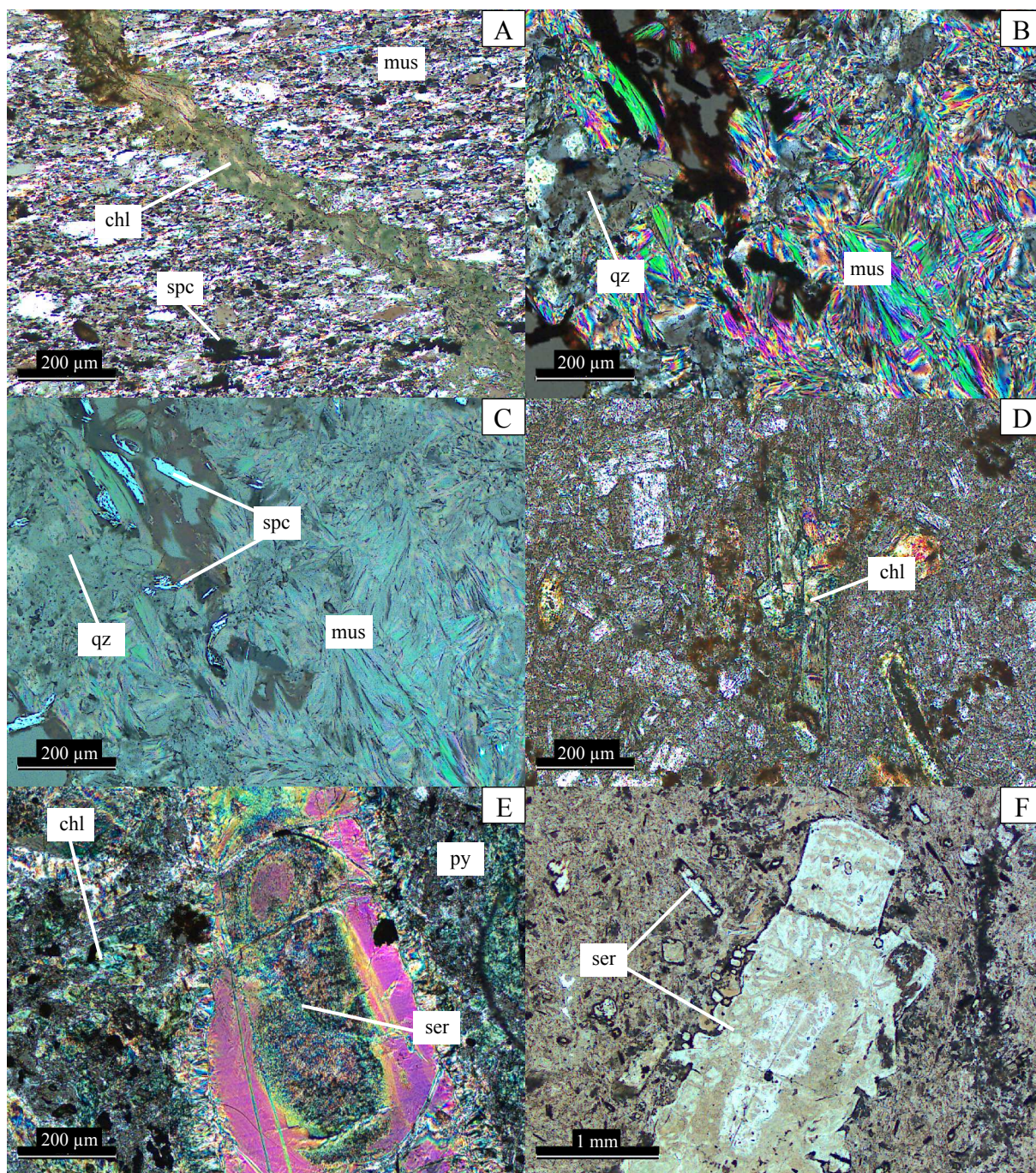


Figura 5.15 Microfotografía de secciones delgadas de muestras alteradas en los halos de la veta Prosperidad W (A, B y C) y de las vetas Prosperidad E y Sur (D, E, F). A) Filita con micas de muscovita (metamórfica) cortado por una vetilla de clorita y parches de especlarita L.T.n.c. (muestra 39019). B) alteración sericítica con muscovita (corta la foliación) y cuarzo debido a la silicificación L.T.n.c. (muestra 39022). C) Idem al campo B donde se observa que la muscovita está asociada a cristales de especlarita L.R. D) Clorita reemplazando plagioclasas L.T.n.c. (muestra 39002). E) Clorita reemplazando la matriz y sericita reemplazando fenocristales de plagioclasas, con parches de pirita L.T.n.c. (muestra 39012). F) Alteración sericítica, con sericita sobre plagioclasas y parches de pirita L.T. (muestra 39013). Abreviaciones: L.T.=luz trasmitada; L.R.=luz reflejada; n.c.=nícoles cruzados; cl=clorita; mus=muscovita; py=pirita; qz=cuarzo; ser=sericita; spc=especlarita.

de los valores de Al_2O_3 , Na_2O , CaO y MgO , debido a la disolución de plagioclasas, feldespatos y posterior formación de sericita (e.j., illita). Un fuerte aumento del contenido de Ba y Sr en el borde de la veta se debe a la presencia de baritina. En la zona de cloritización, al alejarse de la veta, se observa un descenso débil de los valores de K_2O y Rb y un incremento del contenido de Na_2O , Sr y MgO , este último debido a la presencia de cloritas. El CaO es casi constante, aunque muestra algunos picos que corresponden a sectores con carbonatos.

Tabla 5,6 Microanálisis de fluorescencia de rayos X sobre muestras de sericita y clorita. Abreviaturas. carb=carbonato; chm=chamosita; ill=illita; mus=muscovita; pl=plagioclasas; qz=cuarzo.

Muestra	Na_2O (%)	MgO (%)	Al_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	K_2O (%)	CaO (%)	TiO_2 (%)	Fe_2O_3 (%)	Mineral
V. Prosperidad W									
39006	15.5	9.0	0.8	0.8	0.3	45.3	5.6	20.7	carbonatización.
39006	7.4	6.6	15.2	51.0	6.2	7.3	2.9	3.5	chm, qz.
39019	3.9	4.42	14.0	65.4	6.2	1.6	0.6	3.7	chm, qz.
39020	0.4	1.4	21.2	63.6	8.0	0.7	0.6	3.3	mus.
39020	4.3	2.2	13.8	70.1	4.7	0.4	0.7	3.6	qz, chm.
39022	11.1	0.3	16.1	57.5	7.2	0.3	1.4	6.1	mus.
V. Prosperidad E y Sur									
39002	0.0	2.3	11.3	75.4	5.1	-	0.6	5.3	qz, chm.
39002	0.0	1.3	10.2	74.2	3.2	7.4	0.0	3.7	chm y carb en pl.
39012	7.2	2.5	7.9	73.1	8.0	0.2	0.1	1.0	ill reemp. pl.
39012	0.0	5.0	15.2	66.3	10.9	0.9	0.2	0.7	ill.
39013	0.0	3.0	6.4	83.1	4.5	0.9	0.4	1.6	qz, ill.
39013	4.2	2.7	8.2	76.2	4.7	1.5	0.2	2.1	ill reemp. pl, qz.

Tabla 5,7 Resumen de los análisis geoquímicos de muestras en la zona de alteración sericítica y zona de cloritización en la veta Prosperidad. Una tabla completa se muestra en el Anexo B.

Veta	Muestra	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	Sr (ppm)	Ba (ppm)	Rb (ppm)	Distancia de la Veta
V. Prosperidad W	39022	13.6	0.0	3.7	0.3	0.3	229.0	463.0	171.0	0.3
V. Prosperidad W	36996	15.5	0.1	3.7	1.6	0.5	27.9	602.0	173.0	1.2
V. Prosperidad W	39020	14.6	0.1	3.7	1.6	0.5	29.8	548.0	172.0	5.0
V. Prosperidad E	39011	14.3	0.1	5.7	1.0	1.2	19.7	416.0	260.0	0.1
V. Prosperidad E	39012	14.9	0.6	5.8	1.4	1.6	23.6	358.0	285.0	1.5
V. Prosperidad E	39014	15.1	0.3	3.5	1.3	3.6	54.8	368.0	159.0	10.0
V. Prosperidad E	39002	14.9	0.7	2.0	1.8	4.4	76.3	308.0	89.0	37.0
V. Prosperidad Sur	39008	15.1	0.3	2.2	2.1	4.0	117.0	411.0	99.2	0.1
V. Prosperidad Sur	39003	15.7	0.3	2.4	2.1	3.9	108.0	333.0	112.0	3.5
V. Prosperidad Sur	39004	14.7	3.1	3.7	1.3	2.2	122.0	356.0	196.0	11.4
V. Prosperidad Sur	39016	14.5	0.4	2.3	1.9	4.2	115.0	329.0	96.8	42.0

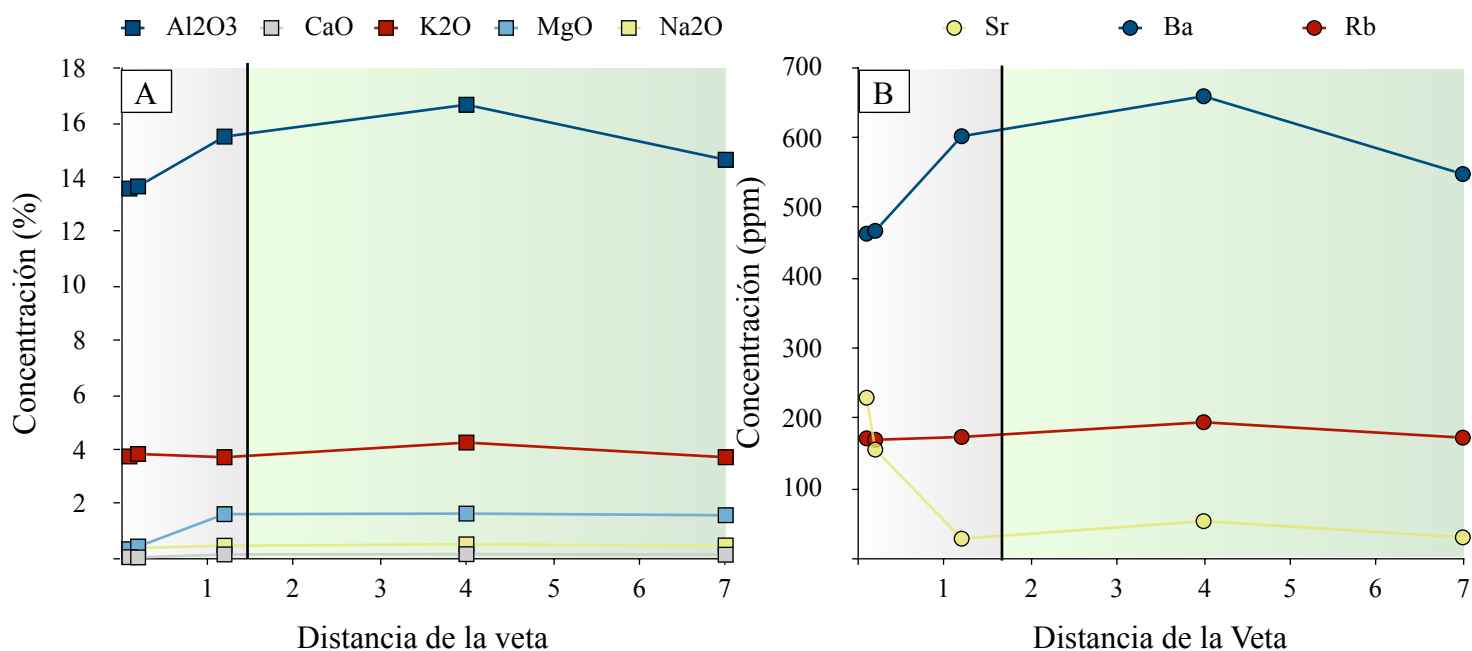


Figura 5,16 Variación composicional en el halo de alteración sobre filitas en la veta Prosperidad W. A) Elementos mayores. B) Elementos traza. Gris la zona de alteración sericítica; verde la zona de cloritización.

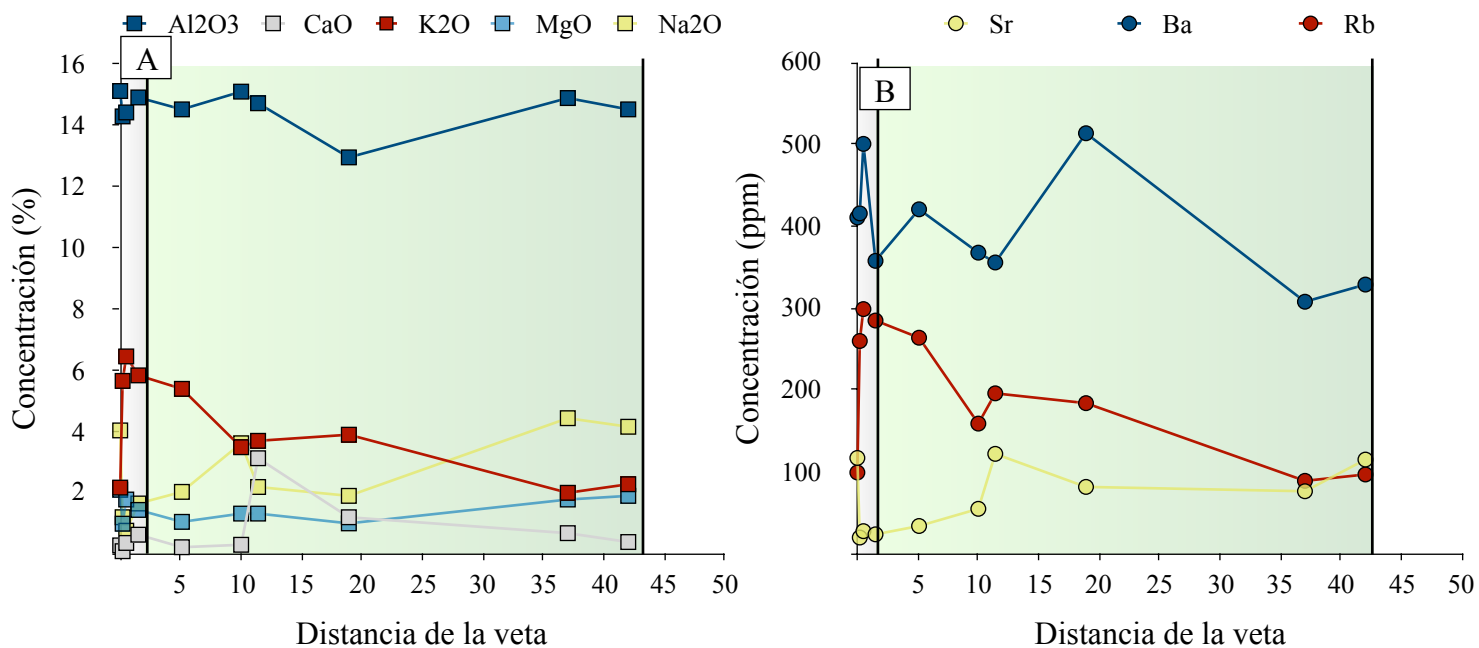


Figura 5,17 Variación composicional en los halos de alteración sobre rocas volcánicas en la veta Prosperidad E y Sur. A) Elementos mayores. B) Elementos traza. En gris la zona de alteración sericitica, en verde la zona de cloritización, en blanco roca macroscópicamente inalterada.

CAPÍTULO VI

VETA SAN CRISTÓBAL

Es la principal estructura del distrito. Está ubicada a <1 km al este del intrusivo Chumpe y tiene una longitud de aproximadamente 5 km (Figura 6,2). Pertenece a un sistema compuesto por varios ramales y lazos sigmoides (e.j., Veta 722, Aracely, 658, etc.). La veta atraviesa rocas piroclásticas del Grupo Mitu y filitas del Grupo Excélsior. De acuerdo con Pastor (1970), entre las líneas E-9 500 y E-9 900 (sección volcánica) la veta muestra un rumbo que oscila entre N 50° E a N 60° E, con buzamientos entre 50° y 60° SE. Entre las líneas E-9 900 y E-10 200 (sección contacto), la veta tiene un rumbo promedio de N 75° E y buzamientos entre 50° y 60° SE. Entre E-10 200 y E-10 600 (sección filita), la veta sufre una flexión pronunciada y exhibe un rumbo entre N 80° E y N 90° E y buzamientos entre 50° y 60° SE. A partir de la línea E-10 600 (sección dique) hacia el este, pasando el cerro Cuncus hasta Oyama Triunfo, la veta muestra un rumbo entre N 50° E y N 35° E y buzamiento entre 45° y 70° SE. La mineralización es reconocida en 3 km de largo y 900 m de profundidad desde la cota 4 000 hasta 4 930. La potencia de la veta varía

desde 1 a 6 m cuando corta a las filitas del Gp. Excélsior, donde la veta es débilmente definida y mostrando por tramos solo “gouge”; hasta 10 m cuando corta al intrusivo San Cristóbal o a las rocas volcánicas del Gp. Mitu. Su proyección al suroeste corta a las calizas del Grupo Pucará, formando cuerpos y mantos de reemplazamiento (cuerpos de la Escondida).

En el área estudiada la veta está constituida principalmente por cuarzo lechoso, wolframita, pirita, scheelita, calcopirita, especularita, esfalerita y sílice calcedónica (Figura 6,1 B). La veta es reabierta por una banda de carbonatos de Mn-Fe, esfalerita, galena y calcopirita (Figura 6,1 C). Por tramos la veta muestra bordes de falla.

6.1 Mineralogía

Se realizó un estudio mineralógico en secciones delgadas doblemente pulidas, a partir de 5 muestras recolectadas en superficie (Figura 6,2).

6.1.1 Descripción de gangas

El cuarzo junto con la pirita son las gangas dominantes.

El cuarzo está presente en toda la veta, aunque con mayor abundancia desde la línea E-10 600 hasta Oyama Triunfo (hasta el 80 % del volumen). Es lechoso (“milky quartz”), esta coloración es debido al abundante contenido de inclusiones fluidas.

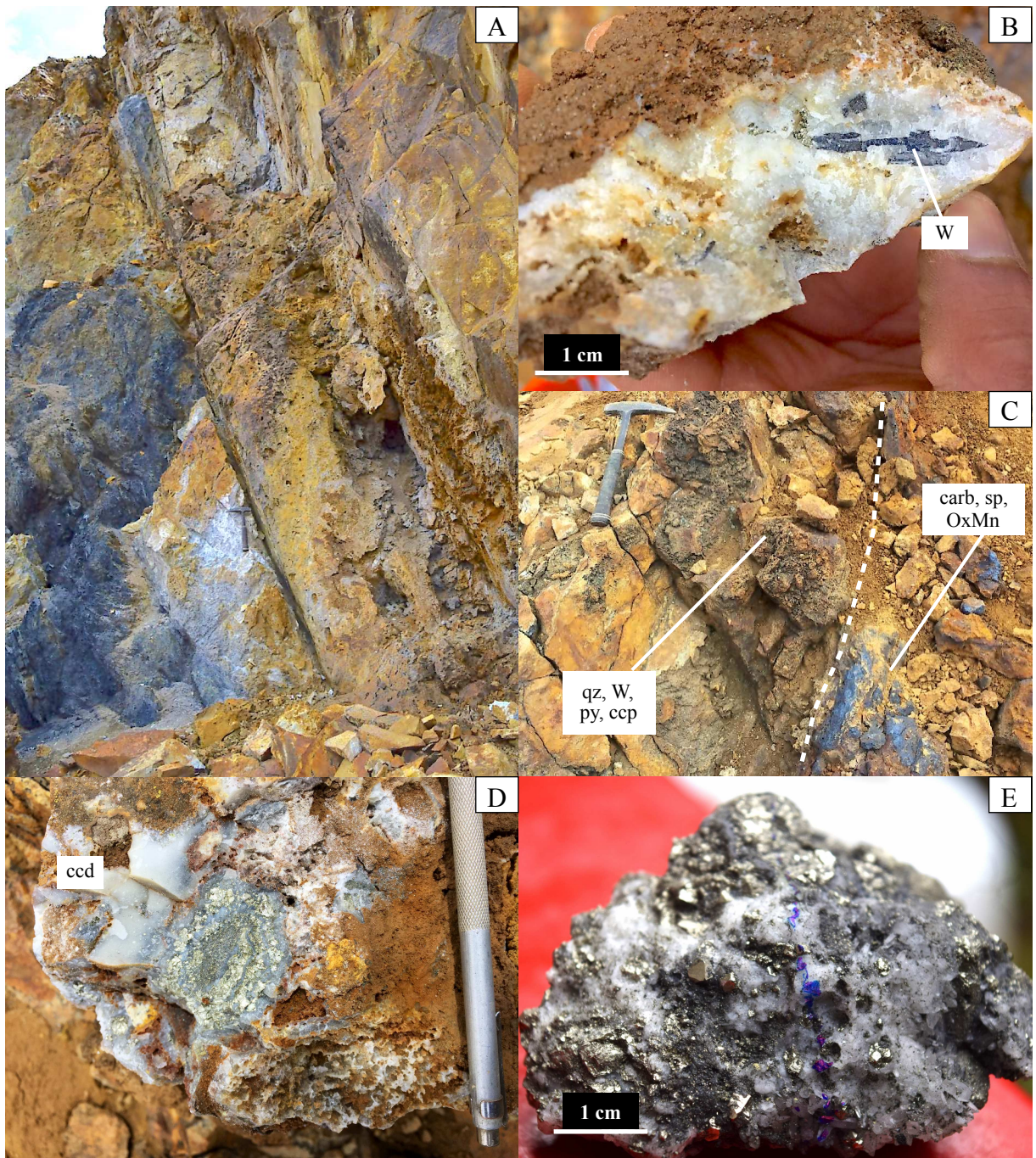


Figura 6,1 Fotografías de la veta San Cristóbal. A) Imagen de la veta mirando al noreste, mostrando una zona de falla al piso de la veta. B) Muestra de mano de la veta con cuarzo, pirita y wolframita (muestra 39041). C) Imagen de la veta con cuarzo y wolframita siendo reabierto por carbonatos de Mn-Fe, esfalerita, galena y calcopirita. D) Bandas de pirita, cuarzo y calcedonia. E) Cristales de pirita octaédrica a dodecaédrica (como fragmentos) suspendidos en masas de cuarzo (muestra 39058). Abreviaciones: carb=carbonato Mn-Fe; ccd=calcedonia; ccp=calcopirita; OxMn=óxido de manganeso; py=pirita, sp=esfalerita; W= wolframita.

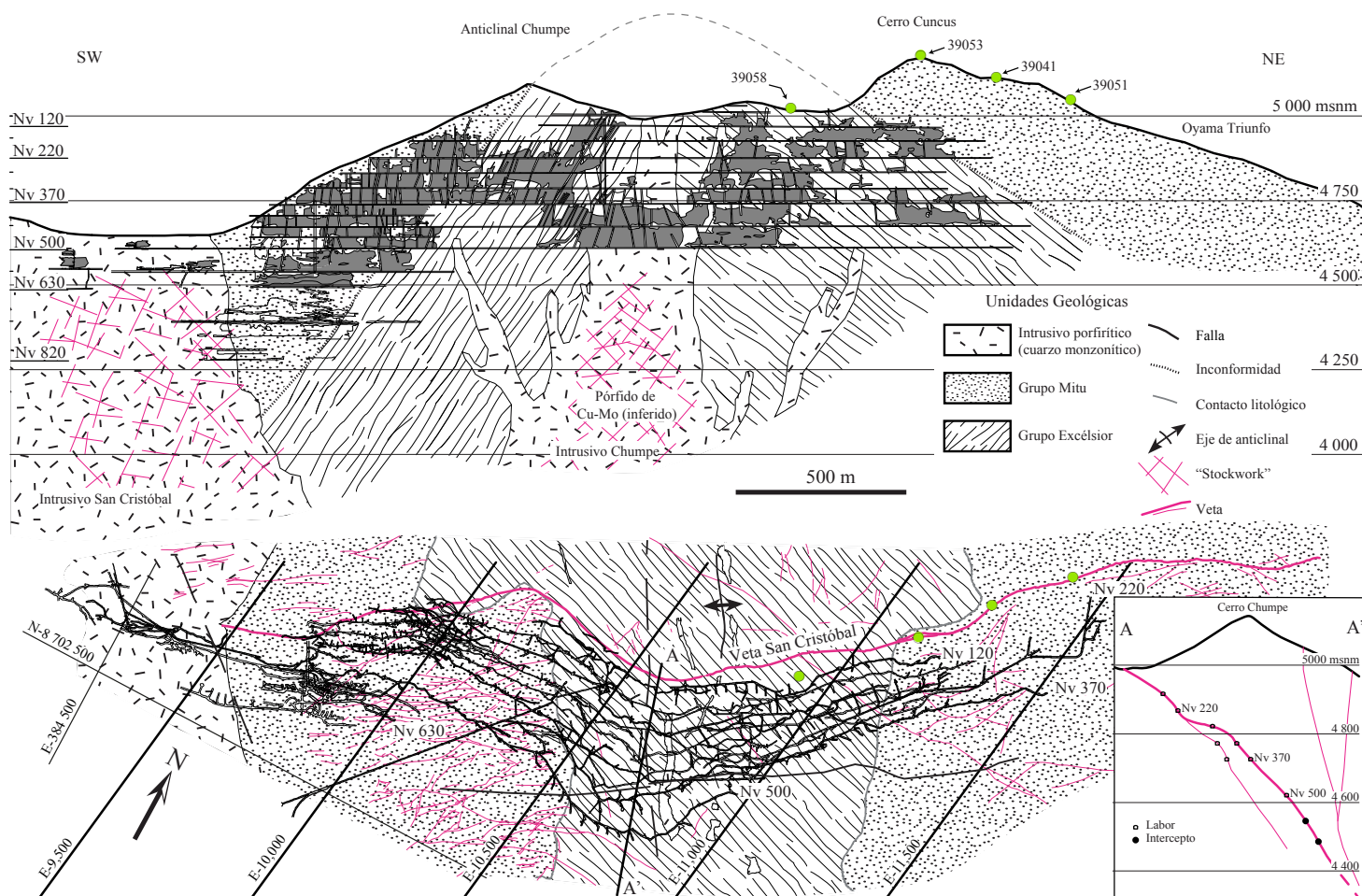


Figura 6.2 Sección longitudinal, plano en planta y sección transversal de la veta San Cristóbal. Además, se muestra los puntos de muestreo geoquímico y secciones delgadas doblemente pulidas. La grilla mostrada es usada por el personal de Volcan Compañía Minera en las labores de minado.

Los cristales generalmente son subhedrales, con tamaños de hasta de 0.5 cm de largo. Las texturas que exhibe mayormente son en cresta (“comb”) (Figura 6,3 A). Otras texturas, observadas bajo el microscopio, son textura plumosa (“feathery”), granular y en roseta (Figura 6,3 B, C y Figura 6,4 A). El cuarzo presenta sucesivas bandas coliformes de calcedonia (Figura 6,1 D), los cuales muestran texturas flameantes (“flamboyant”) (Figura 6,3 A y B).

La pirita es la ganga más abundante en la mina y está más extendida en la parte central de la veta (entre las líneas E-10 600 y E-11 000), donde tiene una abun-

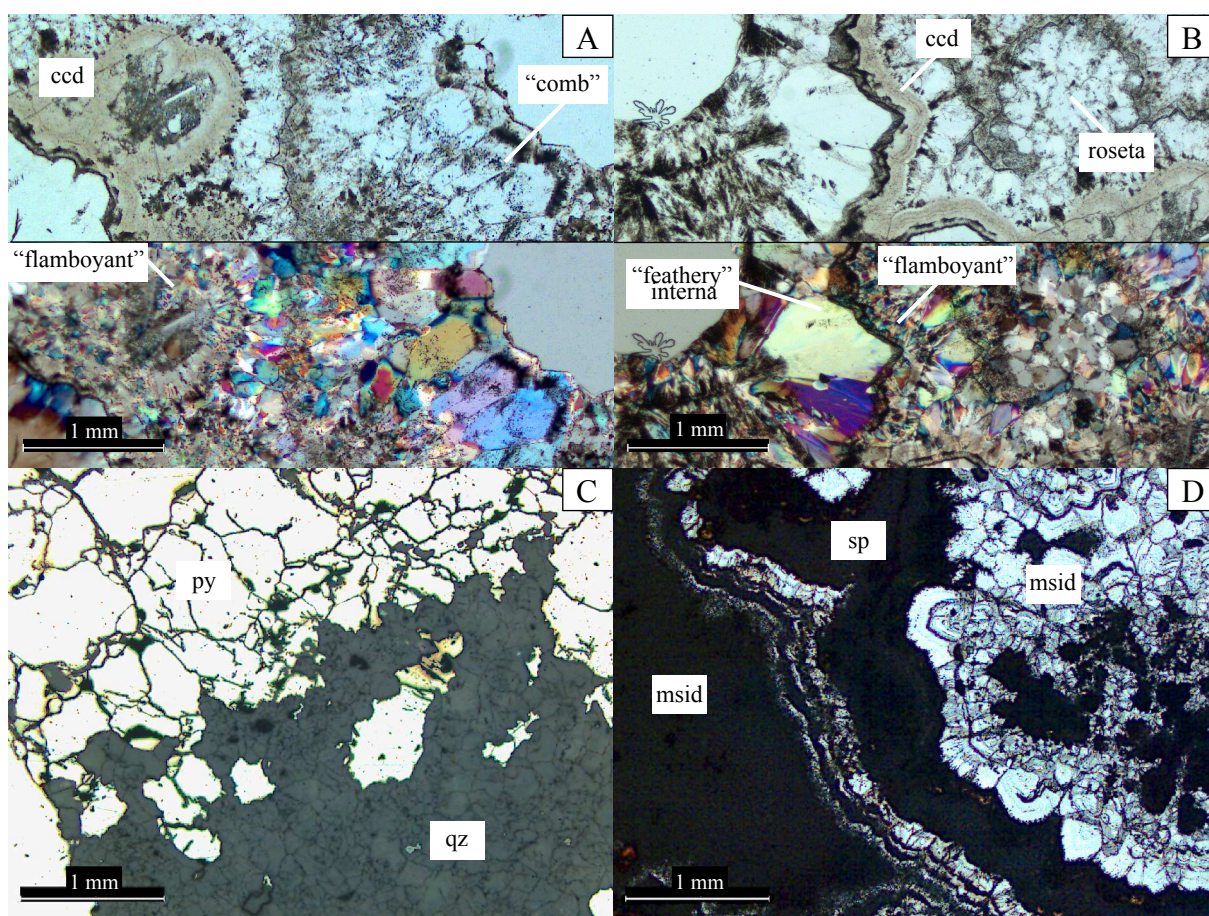


Figura 6,3 Microfotografía de secciones delgadas doblemente pulidas de las principales gangas. A) Diferentes bandas de cuarzo mostrando texturas en cresta (“comb”), con bandas de calcedonia de textura flameante (“flamboyant”) (muestra 39041) arriba L.T., abajo L.T.n.c. B) Bandas de cuarzo y calcedonia. El cuarzo presenta texturas plumosas (“feathery” interna y de borde) y en rosetas de cristales subhedrales (muestra 39041) arriba L.T., abajo L.T.n.c. C) Playas de pirita cortados por cuarzo granular (muestra 39058) L.R. D) Bandas de manganosiderita de cristales tipo “saddle” y una banda interna de esfalerita (muestra 39040) L.T. Abreviaciones: L.T.=luz transmitida; L.R.=luz reflejada; n.c.=nícoles cruzados; ccd=calcedonia; msid=manganosiderita; qz=cuarzo; py=pirita; sp=esfalerita.

dancia acumulada de hasta 80 % y forma bandas masivas de hasta 3 m de potencia.

Cuando esta cristalizada muestra hábitos cúbicos a octaédricos, con bordes irregulares y cortados por cuarzo (Figura 6,1 E). La pirita también está presente como inclusiones en wolframita (Figura 6,4 A). Otras gangas asociadas al cuarzo y pirita son la specularita, filosilicatos blancos, cloritas y fosfatos?. Campbell et al. (1984) reporta adicionalmente augelita.

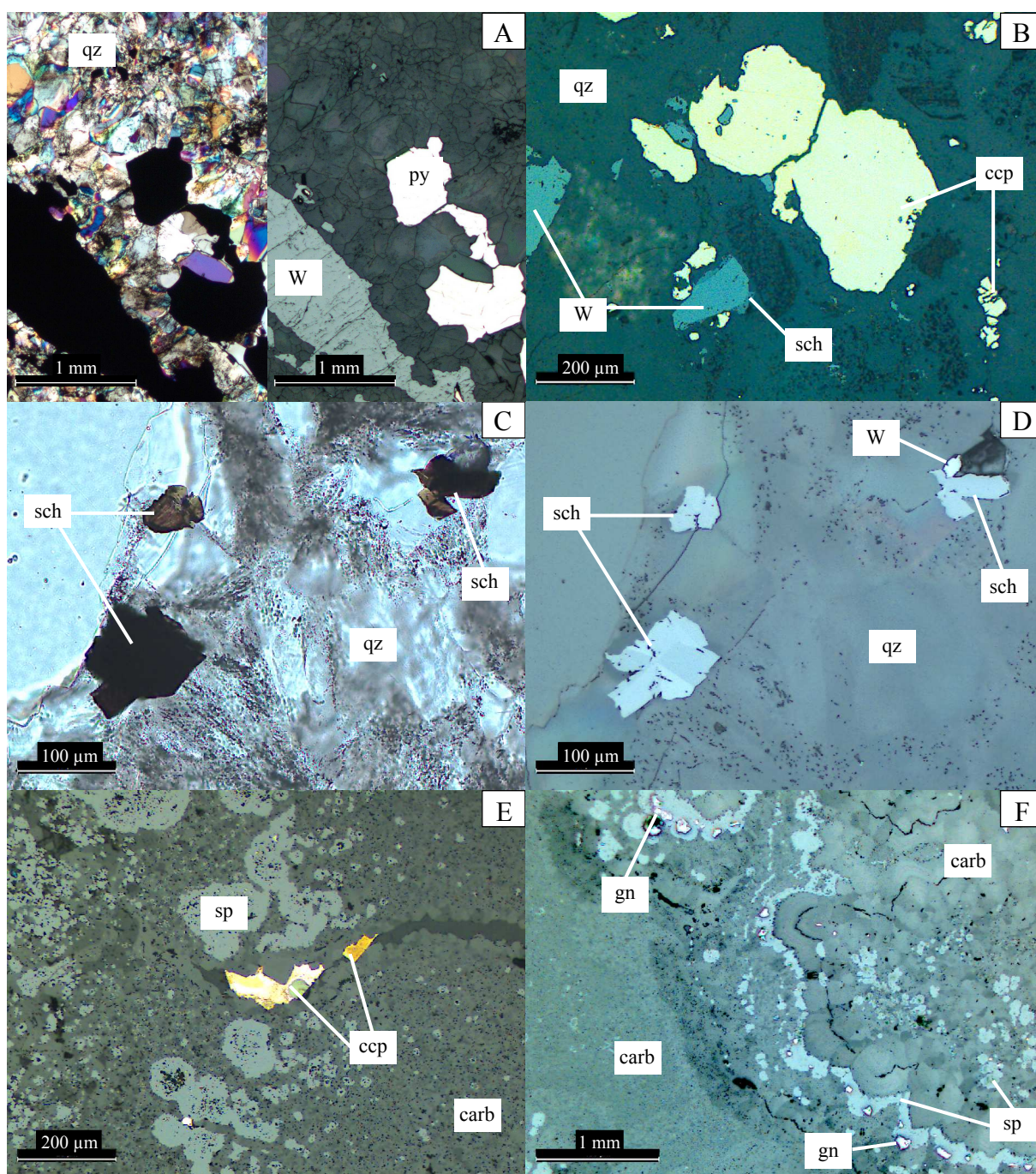


Figura 6,4 Microfotografía de secciones delgadas doblemente pulidas de las principales menas. A) Fragmentos de wolframita y pirita con bordes irregulares suspendidos sobre cuarzo de textura granular. Se observa inclusiones de pirita dentro de la wolframita (muestra 39058) izquierda L.T.n.c., derecha L.R. B) Granos irregulares de calcopirita, wolframita y scheelita en cuarzo (muestra 39051) L.R. C) cristales maclados de scheelita sobre cuarzo (muestra 39041) L.T. D) Muestra en C en L.R., donde se observa además diminutos cristales de wolframita. E) Carbonatos Mn-Fe con bandas y disseminaciones de esfalerita, calcopirita y trazas de galena L.R. F) Bandas de carbonatos Mn-Fe, esfalerita y parches de galena (muestra 39040) L.R. Abreviaciones: L.T.=luz transmitida; L.R.=luz reflejada; carb=carbonato de Mn-Fe; ccp=calcopirita; gn=galena; py=pirita; qz=cuarzo; sch=scheelita; sp=esfalerita; W=wolframita.

Carbonatos Mn-Fe se extienden a lo largo de toda la veta y son observados con mayor abundancia desde la línea E-9 900 hacia el oeste y desde la línea E-10 600 hacia el este. Tienen coloraciones pardas y forman bandas coloformes con cristales individuales tipo “saddle” de tamaños $<500 \mu\text{m}$. Estos cristales se caracterizan por la alternancia de bandas blanquecinas y grises (Figura 6,3 D). Éstos cortan a la pirita y cuarzo y están acompañados de bandas ($<200 \mu\text{m}$), de esfalerita rojiza e inclusiones irregulares ($<400 \mu\text{m}$) de galena, calcopirita y marcasita (Figura 6,4 E y F). Microanálisis de fluorescencia de rayos X muestran composiciones de manganosideritas, con 37.44 % FeO, 16.56 % MnO, 5.21% ZnO, 2.45 % MgO y 0.24 % CaO.

6.1.2 Descripción de menas

La wolframita solamente se encuentra presente entre las líneas E-10 600 y E-11 500. Forma cristales prismáticos y tabulares de hasta 3 cm largo, que comúnmente están como fragmentos rotos suspendidos en las masas de cuarzo. Es común encontrar cristales de wolframita con micro-inclusiones de pirita (Figura 6,4 A). Análisis de fluorescencia de rayos X en la muestra 39051 revela valores de 42.20 % WO_3 , 9.66 % FeO, 0.68 % MnO, 47.11 % MgO y 0.35 % CaO. Pastor (1970) reporta cristales de wolframita de hasta 8 cm de largo y de composición de ferberita.

la calcopirita se presente como parches irregulares suspendidos en cuarzo entre las líneas E-11 000 y E-11 500, con granos $<2 \text{ mm}$ en tamaño y una abundancia

<5 %. Al microscopio se observa bordes corroídos por el cuarzo y micro-inclusiones de wolframita y pirita (Figura 6,4 B). Al este de la línea E-11 500 en el sector de Oyama Triunfo la calcopirita también está suspendida sobre masas de cuarzo y está asociada a cristales de especularita, bornita, pirita, arsenopirita, pirrotita, tetraedrita y en menor medida esfalerita y galena. Kobe (1990), reportó adicionalmente Au nativo en este sector. Pastor (1970) documenta mayor contenido de calcopirita entre las líneas N-9 900 y N-10 200 (sección contacto), donde forma bandas masivas con esfalerita y pirita, disminuyendo su abundancia bruscamente hacia el oeste. La calcopirita también está asociado a carbonatos Mn-Fe, donde se encuentra rellenando oquedades (Figura 6,4 E).

La scheelita, identificada mediante sus propiedades ópticas, está asociada espacialmente a la wolframita. Exhibe cristales con formas columnares y tetraédricos comúnmente maclados de coloraciones pardas y tamaños <200 μm . Ellos se presentan suspendidas sobre cuarzo y como reemplazamiento sobre wolframita (Figura 6,4 C).

La esfalerita está presente a lo largo de la veta. Corta a las anteriores menas y tiene una mayor presencia desde la línea E-9 900 hacia el oeste (sección contacto y sección volcánica) donde es descrita por tramos como masiva. En este sector es de coloración marrón oscuro y contiene parches de calcopirita y tetraedrita y tiene contenidos de Fe de hasta 9.84 % (Bartlett, 1984). Desde aproximadamente la línea

E-9 900 hacia el este, su abundancia es menor y su coloración principalmente es marrón claro. Esta esfalerita marrón claro está asociada a galena e inclusiones de sulfosales de Ag y pirargirita (Bartlett 1984). Otro tipo de esfalerita es de coloración rojiza y está presente en gran parte de la veta como intercrecimientos y bandas en carbonatos Mn-Fe (Figura 6,4 F).

La galena tiene mayor presencia entre las líneas E-10 200 y E-11 000 (sección filita y sección dique), exhibe cristales cúbicos y octaédricos acompañados de esfalerita marrón claro. Esta contiene pequeñas inclusiones de tetraedrita y pirargirita (Pastor 1970). La galena también está asociada a carbonatos Mn-Fe, donde se presenta como parches en las bandas de esfalerita rojiza (Figura 6,4 F).

Minerales de estaño no han sido encontrados en este estudio, pero trabajos recientes de exploración documentan kesterita (C. Yacila; comunicación personal). Otras menas reportadas por Kobe (1990) y Bartlett (1984) incluyen freibergita, boulangerita, alabandita, bornita, pirrotita, arsenopirita, bismutinita (en calcopirita), stannita, stromeyerita y acantita.

Las observaciones en este estudio y en trabajos previos nos permiten definir 3 ensambles principales (de más temprano a más tardío): (1) cuarzo-pirita-wolframita± (especularita-calcopirita-scheelita-calcedonia); (2) calcopirita-esfalerita (marrón oscuro a marrón claro)-galena-cuarzo±(pirita-pirrotita-arsenopirita-tetraedrita-

sulfuros y sulfosales Ag); (3) carbonato Mn-Fe-baritina-marcasita±(pirita-esfalerita (rojiza)-galena-calcopirita).

6.2 Geoquímica

Se realizó un muestreo geoquímico de reconocimiento (n=5), resumidos en la Tabla 6,1.

La geoquímica revela que el valor más alto de Au (25.1 ppm) coincide con el valor más alto de W (4 185 ppm), Zn (9 383 ppm), Mn (1 644 ppm), Sn (298 ppm), Sb (552 ppm) Ag (353 ppm) y Te (67 ppm). Estos últimos podrían sugerir la presencia de electrum y telurios. Por otro lado, el valor más alto de Cu (3 087 ppm) coincide con el valor más alto de Bi (568 ppm). Valores de Pb, Ba y As llegan hasta 1 504 ppm, 463 ppm y 474 ppm respectivamente. Trabajos realizados anteriormente reportan valores de hasta 242.0 ppm Ag, 32.2 % Zn, 0.5 % Cu, y 0.4 % Pb, no se reportó valores de Au.

Tabla 6,1 Resumen de las concentraciones metálicas de los ensayos geoquímicos en la veta San Cristóbal. Una tabla completa se muestra en el Anexo A.

Muestra	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Ba (ppm)	Bi (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Pb (ppm)	Sb (ppm)	Sn (ppm)	Te (ppm)	W (ppm)	Zn (ppm)
39041	1.1	81.1	293.0	463.0	73.9	874.0	234.0	1504.0	46.0	42.6	3.3	1462.0	634.0
39051	1.7	18.6	91.4	78.0	568.0	3087.0	72.0	212.0	30.4	49.8	16.5	1031.0	32.8
39053	0.3	18.6	474.0	93.0	21.0	101.0	79.0	533.0	44.8	27.5	3.1	164.0	62.3
39058	25.1	353.0	247.0	13.0	41.9	1252.0	1644.0	160.0	552.0	298.0	67.0	4195.0	9383.0

Tabla 6,2 Matriz de correlación de los valores de geoquímica en la veta San Cristóbal.

	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Bi (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Sb (ppm)	Sn (ppm)	W (ppm)	Zn (ppm)
Au (ppm)	1.0									
Ag (ppm)	1.0	1.0								
As (ppm)	-0.2	-0.1	1.0							
Bi (ppm)	-0.3	-0.4	-0.8	1.0						
Cu (ppm)	0.0	-0.1	-1.0	0.9	1.0					
Pb (ppm)	-0.5	-0.3	0.3	-0.4	-0.4	1.0				
Sb (ppm)	1.0	1.0	-0.1	-0.4	-0.1	-0.5	1.0			
Sn (ppm)	1.0	1.0	-0.2	-0.3	0.0	-0.5	1.0	1.0		
W (ppm)	1.0	1.0	-0.3	-0.2	0.1	-0.3	0.9	1.0	1.0	
Zn (ppm)	1.0	1.0	-0.1	-0.4	-0.1	-0.4	1.0	1.0	1.0	1.0

La matriz de correlación (Tabla 6,2) muestra una correlación perfecta entre los elementos Au, Ag, Sb, Sn, W y Zn. Por otro lado, el Au y Cu tienen una correlación nula, por lo que se interpreta que el Au no está relacionado a la calcopirita. Existe una correlación casi perfecta entre Bi y Cu, probablemente por la presencia de fases minerales de bismuto y cobre como la emplectita que es descrita en la veta Prosperidad W.

6.3 Distribución elemental vertical de la veta

3,095 ensayos de geoquímica de muestras de canal y 600 impactos de sondajes diamantinos en la veta, fueron usados para este estudio. Los ensayos cubren 2.9 km de largo x 0.6 km de alto de la porción central de la veta San Cristóbal. Las leyes más altas de Zn, Pb, Cu y Ag son 68.00 %, 39.00 %, 18.88 % y 358.80 Oz/t respectivamente. No se obtuvieron ensayos químicos del Au.

Las secciones longitudinales fueron preparadas para ilustrar la distribución de isovalores de Ag, Zn y Cu y cocientes de Pb/Zn.

6.3.1 Resultados

La información usada para este estudio es resumida en la Tabla 6,3. Los valores promedios son 7.12 % Zn, 0.79 % Pb, 0.64 % Cu y 4.60 Oz/t Ag. Los valores de cocientes de Pb/Zn tienen un amplio rango y van desde 0.0 hasta 155.

Diferentes sectores con concentraciones de Ag >7 Oz/t son extendidos a lo largo de la veta y en profundidad (hasta la cota 4 250). De éstas resalta un sector sobre el contacto del Grupo Excélsior y Mitu de 550 m de alto x 100 m de ancho y un “pitch” de 60° al suroeste (Figura 6,5). Estos valores van disminuyendo en profundidad a <1 Oz/t.

Valores de Zn >7 % llegan hasta la superficie y conforman diferentes zonas de varias decenas de metros de ancho y alto. Una zona principal, entre las cotas 4 250 y 5 000, se emplaza sobre el contacto del Grupo Excélsior y Mitu, abarcando un área de 850 m de alto x 400 m de ancho con un “pitch” de 45° al suroeste (Figura 6,6). Esta zona coincide con el sector principal de Ag, acompañado con concentraciones de Pb, en general <1%.

Concentraciones de Pb entre 1 y 3 % se encuentran principalmente al centro y en profundidad de la veta (hasta la cota 4 300). Un sector, alrededor de la cota 4 500, de 150 m de diámetro muestra concentraciones >5 % (Figura 6,7). El contenido de Pb disminuye a <1 % en profundidad, al suroeste y noreste.

Al igual que Ag y Zn, los valores de Cu >1% (hasta 18.88 %) ocurren sobre el contacto del Grupo Excélsior y Mitu entre las cotas 4 000 y 5 000. Conforman un sector de 1 km de alto x 288 m de ancho y un “pitch” de 60° al suroeste (Figura 6,8). El contenido de Cu disminuye bruscamente a menos de 0.5 % hacia el suroeste. Hacia el noreste los valores de Cu se mantienen por lo general entre 0.5 y 3% por cerca de 1.3 km, aunque en el sector de Oyama Triunfo reporta valores de Cu >0.5 % en un tramo de hasta 800 m.

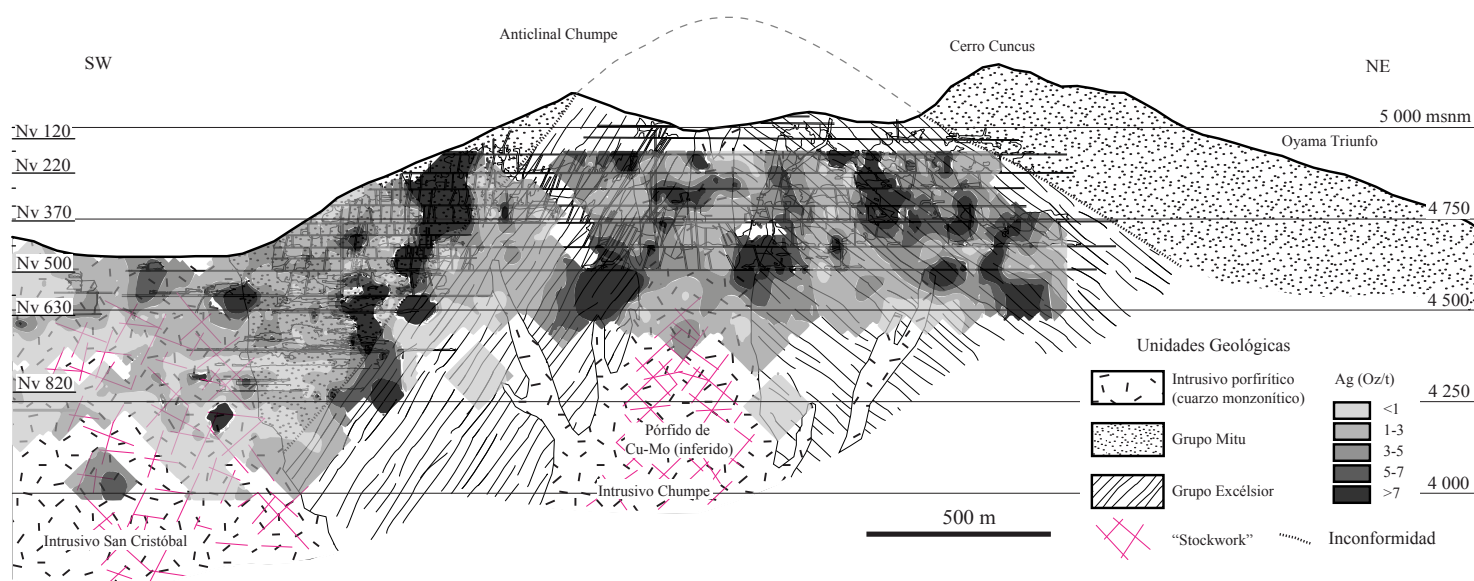


Figura 6,5 Sección longitudinal de los isovalores de Ag (Oz/t).

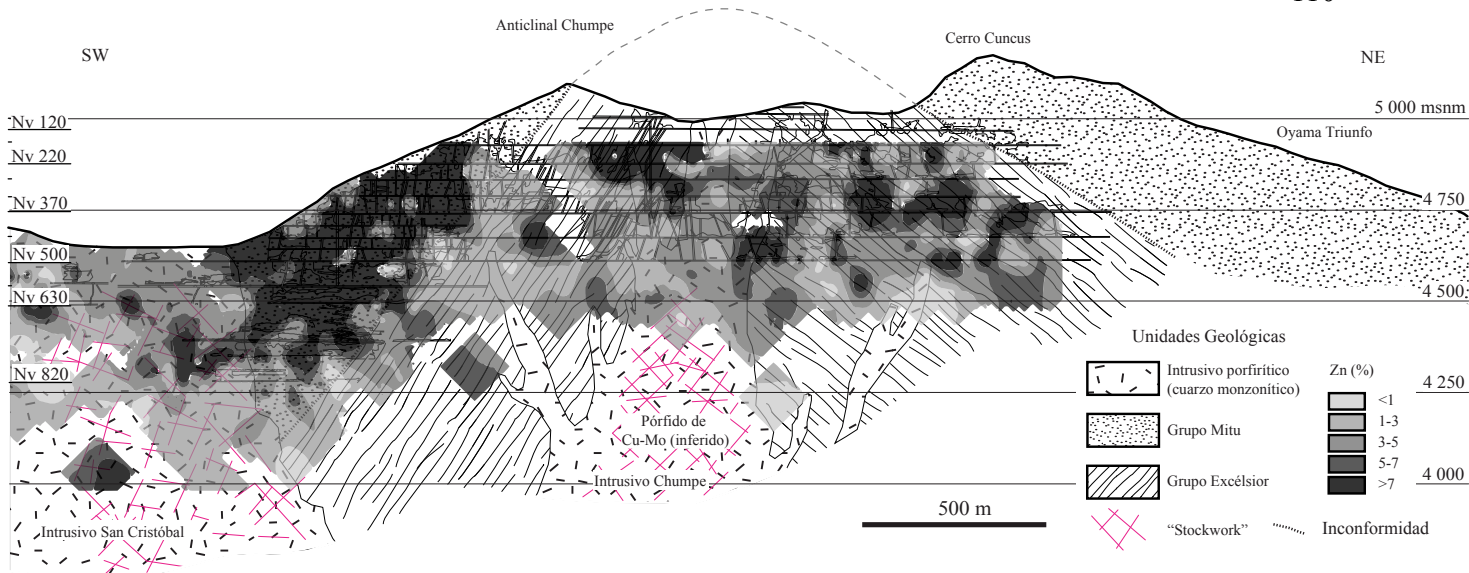


Figura 6,6 Sección longitudinal de los isovalores de Zn (%).

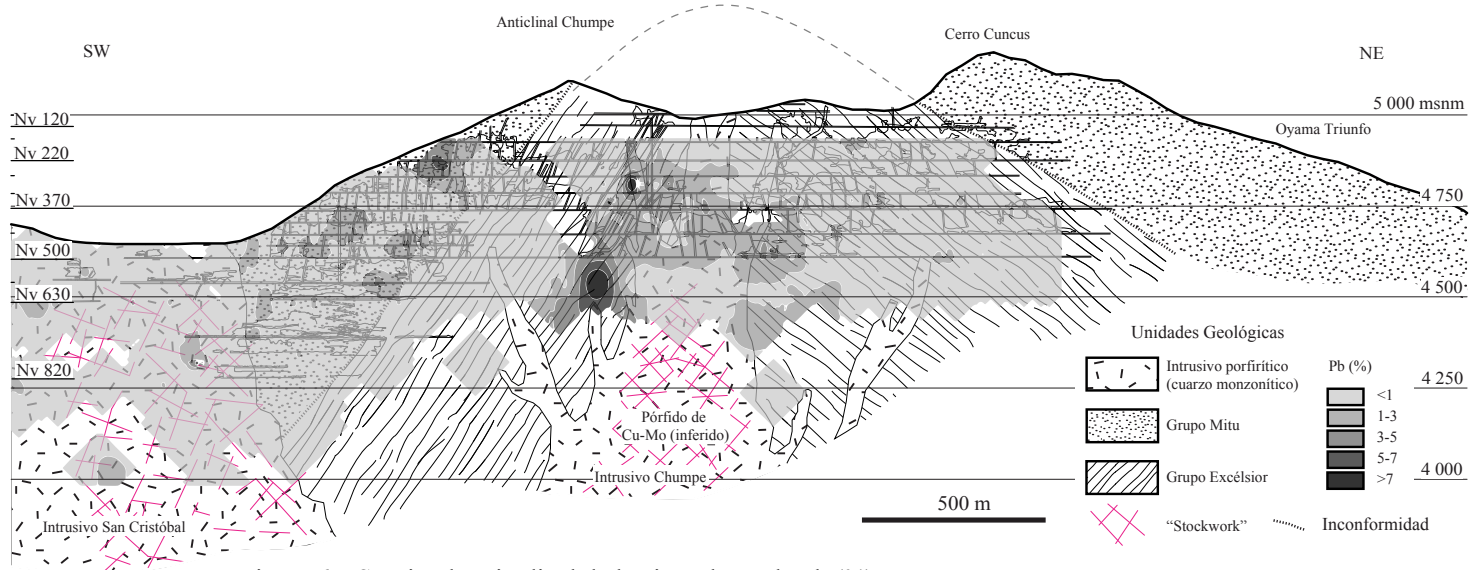


Figura 6,7 Sección longitudinal de los isovalores de Pb (%).

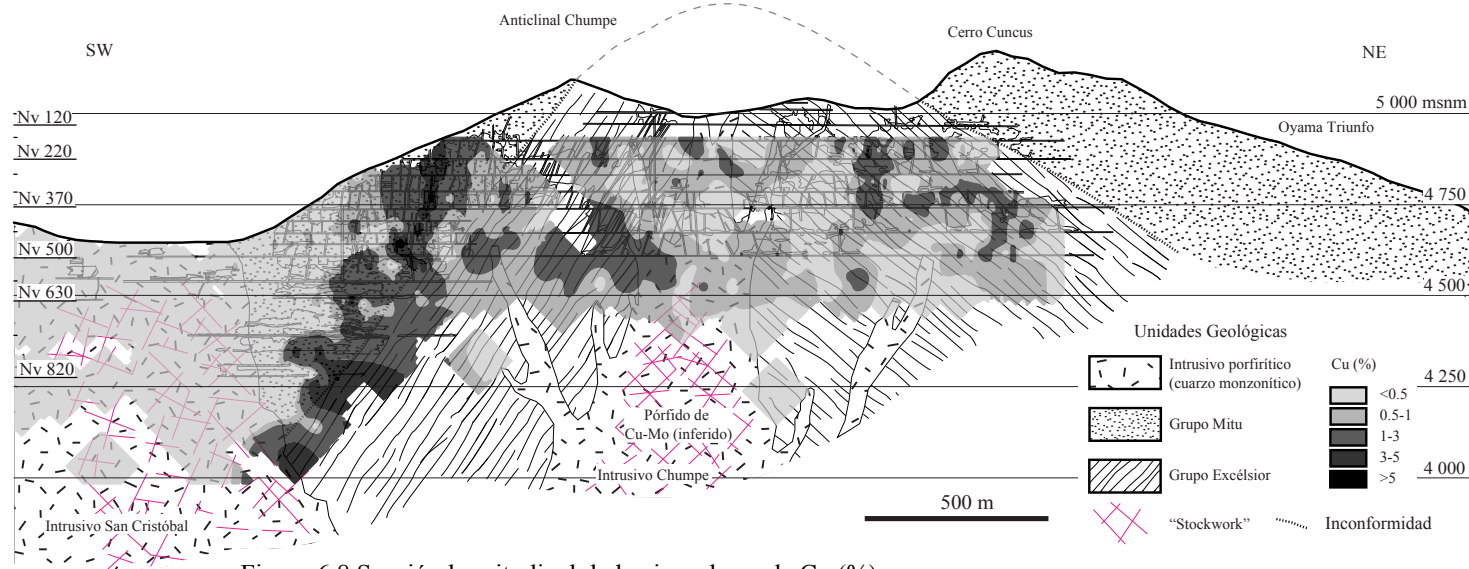


Figura 6,8 Sección longitudinal de los isovalores de Cu (%).

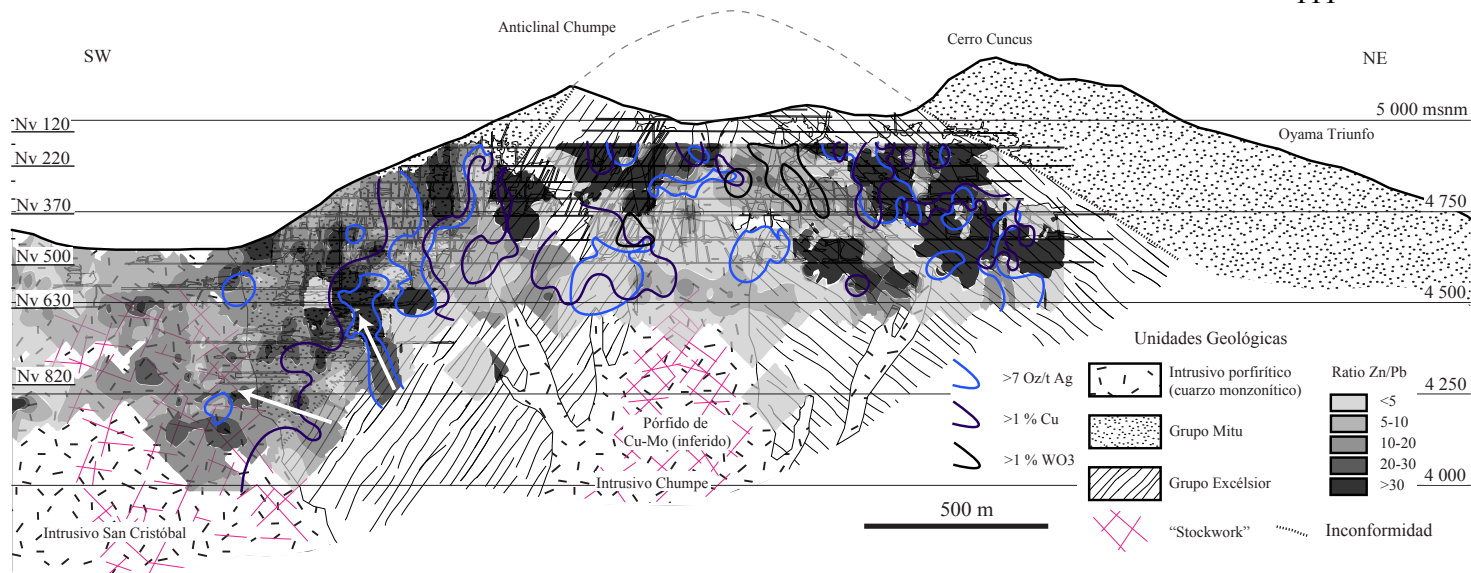


Figura 6,9 Sección longitudinal de los cocientes metálicos de Zn (%) / Pb (%). Adicionalmente, se muestran isovalores de Ag y Cu. También se muestran valores de WO₃ >1 % (Pastor, 1970). Flechas blancas indican probable dirección de flujo del fluido hidrotermal.

Los ratios de Zn/Pb y Ag/Zn son en promedio 19.49 y 1.54 respectivamente. La distribución de los ratios de Zn/Pb a lo largo de la veta es irregular. Al oeste, estos disminuyen gradualmente desde mayores a 30 hasta menores a 5. Esta gradación muestra que la dirección de flujo del fluido hidrotermal probablemente fue hacia el suroeste (Figura 6,9). Al centro de la veta, en el núcleo del anticlinal Chumpe, la distribución es más compleja y no definen posibles direcciones de flujo del fluido hidrotermal. Además, en este sector coexisten valores de Ag >7 Oz/t con concentraciones de Zn >7 %, Cu >1 % y de WO₃ >1 %, con asociaciones mineralógicas de carbonatos Mn-Fe, esfalerita, galena, sulfosales de Ag, calcopirita y wolframita. Estas observaciones pueden ser sugerentes de una contracción (“telescoping”) del sistema hidrotermal en este sector.

Tabla 6,3 Resumen estadístico de las concentraciones metálicas de los ensayos geoquímicos de canales e impactos de sondajes en la veta San Cristóbal.

n=3695	Mini	Máximo	Medi	σ
Zn (%)	0.00	68.00	7.12	8.39
Pb (%)	0.00	39.00	0.79	1.74
Cu (%)	0.00	18.88	0.64	1.24
Ag (Oz/t)	0.00	358.80	4.60	12.47
Ag (Oz/t)/ Zn (%)	1.47	340.00	1.54	11.46
Zn (%) / Pb (%)	0.15	722.25	19.49	33.05

Tabla 6,4 Matriz de correlación de las concentraciones metálicas de los ensayos geoquímicos de canales e impactos de sondajes en la veta San Cristóbal.

	Zn (%)	Pb (%)	Cu (%)	Ag (Oz/t)
Zn (%)	1.00			
Pb (%)	0.31	1.00		
Cu (%)	0.20	0.10	1.00	
Ag (Oz/t)	0.21	0.20	0.25	1.00

6.4 Alteración

En superficie, la veta San Cristóbal corta filitas del Grupo Excelsior y tobas del Grupo Mitu. Las tobas son de composición dacítica, con clastos líticos, fenocristales rotos de plagioclasa, feldespato y anfíboles y cuarzo. Estas muestran una coloración violácea cuando están macroscópicamente inalteradas (Figura 6,10 A).

La veta exhibe un halo de alteración donde resaltan una zona externa de cloritización y una zona interna de alteración sericitica. La zona de cloritización tiene una extensión >10 m y típicamente muestra una coloración verdosa (Figura 6,10 B). Esta se desarrolla sobre fenocristales rotos de plagioclasas, feldespatos, anfíboles y

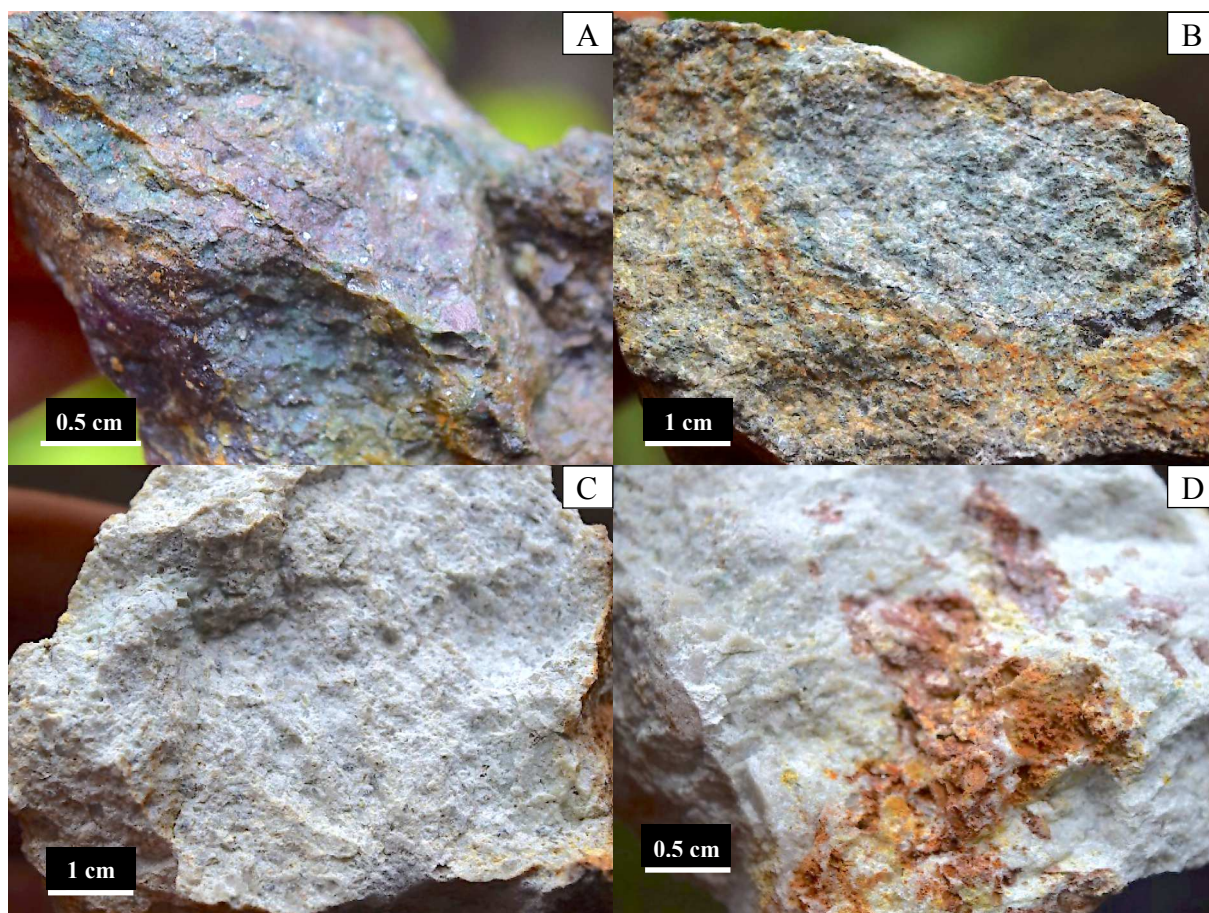


Figura 6,10 Principales zonas de alteración en la veta San Cristóbal. A) Toba dacítica macroscópicamente inalterada de coloración violácea (muestra 39046). B) Zona de cloritización, asociada a decoloración de las tobas (muestra 39045). C) Moderada a fuerte alteración sericítica en el borde de la veta San Cristóbal (muestra 39049). D) Fuerte alteración sericítica y silicificación con impregnaciones de óxidos de Fe jarosíticos al piso de la veta San Cristóbal (muestra 39048).

en la matriz, con una disminución de la intensidad de alteración a mayor distancia de la veta. La zona sericítica, de coloración blanquecina, muestra anchos de hasta 5 m al piso y hasta 15 m al techo de la veta (Figura 6,10 C y D). Esta se caracteriza por una intensidad de alteración de moderada a fuerte y su mineralogía invasiva de sericita sobre fenocristales de plagioclasa, feldespato y anfíbol. Cabe resaltar la presencia de una delgada franja de silicificación en la parte interna de la zona sericítica, con diseminación de pirita y especularita.

Microscopía óptica y análisis vía espectroscopía Raman de muestras representativas, revelan que la zona de cloritización está constituida por chamosita, dickita y especularita (Figura 6,11 A, C y D y Figura 6,12 A y B), la zona sericítica por muscovita/illita, cuarzo, sericita, pirita y especularita (Figura 6,11 B, E y F y Figura 6,12 D).

Microanálisis de fluorescencia de rayos X, muestran que las cloritas tienen contenidos altos de MgO (hasta 13.0 %), Fe₂O₃ (hasta 7.3 %) y Al₂O₃ (hasta 14.2 %). Estos valores no son exactos debido a la interferencia de cuarzo (hasta 65.3 % SiO₂); por lo que las cloritas deben tener valores más altos de Mg y Fe. Las sericitas que reemplazan las plagioclasas y feldespatos exhiben valores de hasta 13.8 % Al₂O₃, 5.4 % K₂O, 3.5 % MgO y 67.8 % SiO₂. Los valores altos de Na₂O (hasta 7.9 %), son debido a que los fragmentos de plagioclasas que están reemplazados, probablemente sean andesinas u oligoclasas. Por otro lado, los contenidos bajos de CaO (hasta 0.3 %) se debe a la removilización de este elemento durante la alteración. Estos valores sugieren que las sericitas podrían ser illitas. Una muestra de muscovita reveló valores de 24.1 % Al₂O₃, 12.6 % K₂O, 2.9% MgO y 52.5 % SiO₂. Cabe señalar que los resultados de hasta 0.1 % de TiO₂ son debido a las inclusiones de rutilo y anatasa (Figura 6,11 C y D y Figura 6,12 C).

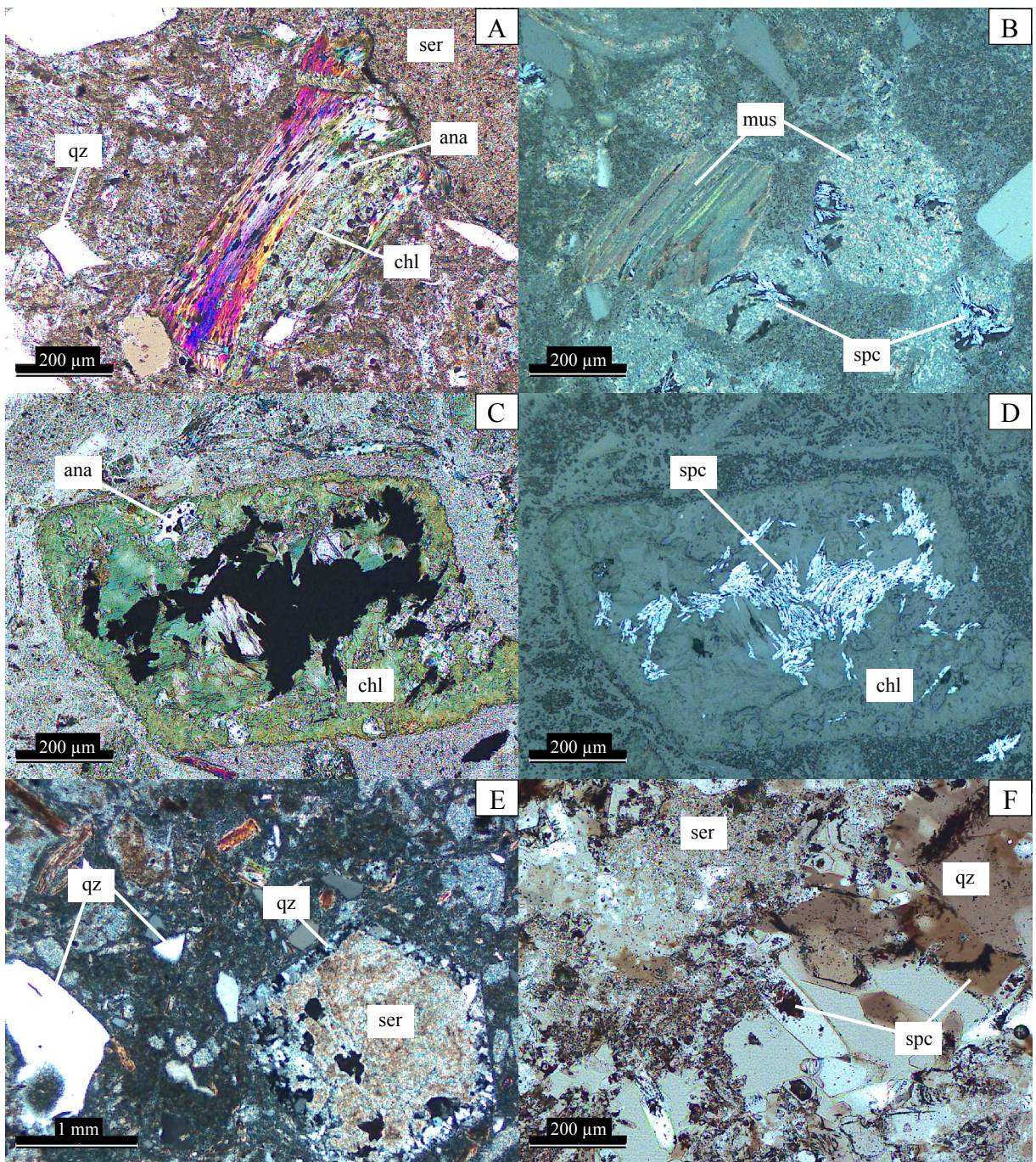


Figura 6,11 Microfotografía de secciones delgadas en tobas dacíticas alteradas. A) Clorita reemplazando anfíboles?, con inclusiones de anatasa y sericita L.T.n.c. (muestra 39046). B) muscovita reemplazando anfíboles y clastos líticos con parches de especularita L.R. (muestra 39044). C) Fenocristal roto de anfíbol? reemplazado por clorita y especularita, con parches de anatasa L.T.n.c. (muestra 39047). D) Muestra en C, en L.R. E) Fuerte alteración sericítica y silicificación al piso de la veta San Cristóbal, con sericita reemplazando probablemente una biotita hexagonal y presentando un borde de cuarzo. L.T.n.c. (muestra 39049). F) Alteración sericítica con sericita y especularita, asociada a silicificación y cuarzo prismático en oquedades L.T.n.c. (muestra 39048). Abreviaciones: L.T.=luz transmitida; L.R.=luz reflejada; n.c.=nícoles cruzados; ana=anatasa; cab=carbonato; cl=clorita; mus=muscovita; qz=cuarzo; ser=sericita; spc=especularita.

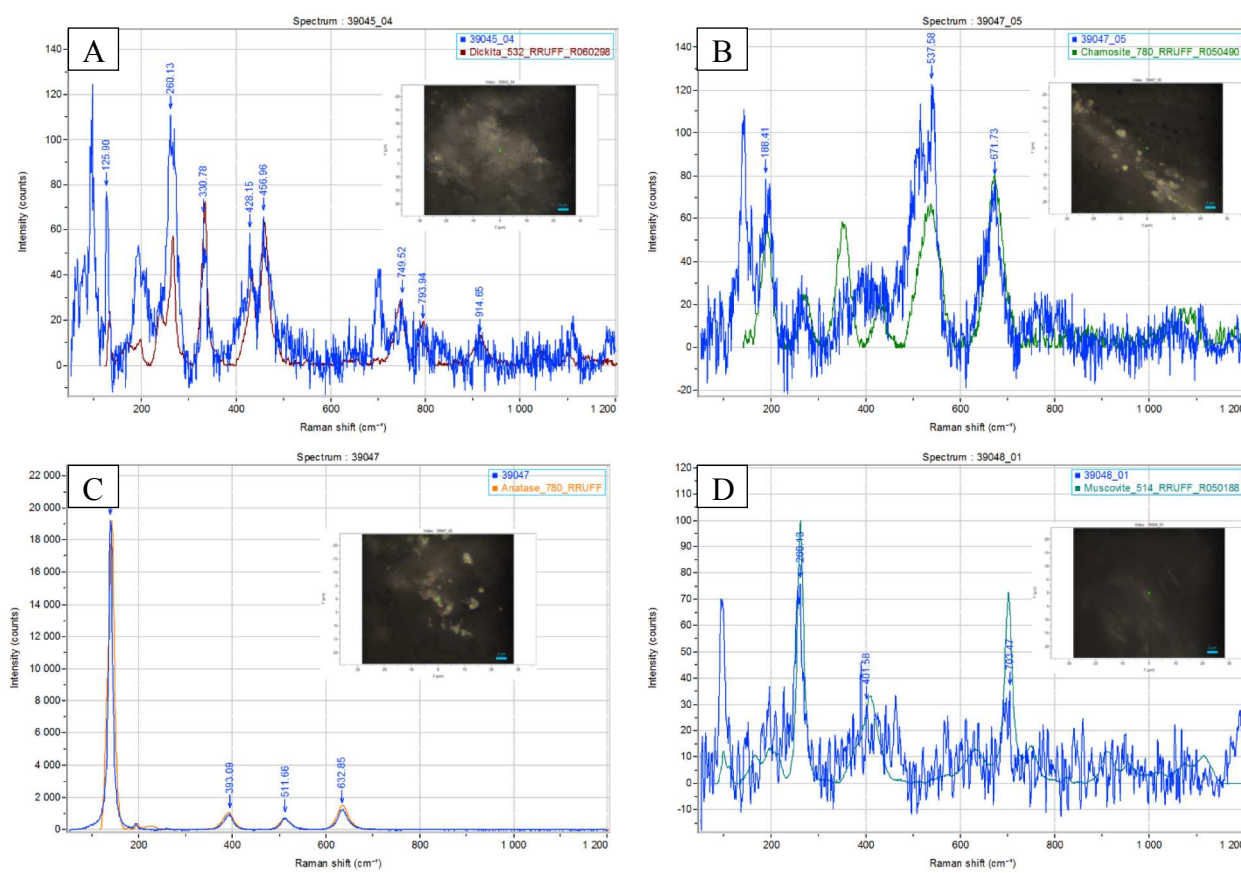


Figura 6,12 Espectros Raman de muestras en diferentes partes de la zona de cloritización y alteración sericitica en la veta San Cristóbal. A) Dickita (muestra 39045). B) Chamosita (muestra 39047). C) Inclusion de anatasa sobre sericita (muestra 39047). D) muscovita (muestra 39048).

Los análisis químicos (Tabla 6,6 y Figura 6,13 A y B) muestran en la zona sericitica una disminución fuerte del contenido de Al_2O_3 , K_2O , Ba y Sr hacia la veta. Esto corresponde a la disolución de feldspatos y plagioclasas y a la precipitación de sericita. También se observa una disminución progresiva de Na_2O , CaO, MgO y Rb. En la zona de cloritización los valores Al_2O_3 , Sr y Ba disminuyen a mayor distancia de la veta y los valores de Na_2O , K_2O y Rb permanecen casi constantes, a diferencia del MgO y CaO que aumentan ligeramente sus concentraciones por la presencia de cloritas y carbonatos.

Tabla 6,5 Resumen del microanálisis de fluorescencia de rayos X en muestras de sericita y clorita. Abreviaturas: chm=chamosita, ill=illita; mus=muscovita; qz=cuarzo.

Muestra	Na ₂ O (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Mineral
39042	7.9	3.5	13.8	67.8	5.4	0.3	0.1	1.2	ill.
39042	5.1	2.9	24.1	52.5	12.6	0.6	0.1	2.1	mus.
39043	2.9	0.4	11.3	77.2	6.6	0.6	0.0	0.9	qz, ill.
39045	0.0	13.0	10.2	65.3	2.3	1.8	0.1	7.3	qz, chm.
39045	3.1	0.0	8.4	83.7	3.2	1.0	0.1	0.5	qz, ill.
39046	0.0	5.0	14.2	65.0	10.3	0.3	0.1	4.6	qz, chm.
39047	0.0	4.0	8.2	80.4	5.1	1.1	0.1	1.1	qz, ill.
39048	0.1	1.5	4.2	85.4	2.5	6.0	0.0	-	qz, ill.

Tabla 6,6 Resumen de análisis geoquímicos de muestras selectas de las zonas de alteración sericítica y de cloritización. Una tabla completa se muestra en el Anexo B.

Muestra	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	Sr (ppm)	Ba (ppm)	Rb (ppm)	Distancia de la Veta (m)
39056	12.2	0.0	3.0	0.3	0.2	47.4	339.0	143.0	0.5
39043	10.2	0.0	2.8	0.3	0.2	271.0	112.0	104.0	1.0
39055	11.6	0.1	2.8	0.1	0.2	86.8	56.0	122.0	2.0
39050	13.8	0.1	3.8	0.6	0.4	83.3	96.0	181.0	3.5
39047	12.6	0.1	3.0	1.3	0.3	24.7	122.0	129.0	4.0
39044	14.1	0.1	4.1	0.5	0.4	212.0	140.0	152.0	10.0
39045	12.4	0.2	3.8	1.2	0.3	11.2	331.0	143.0	30.0
39052	11.9	1.9	3.4	1.5	0.4	102.0	330.0	133.0	35.0

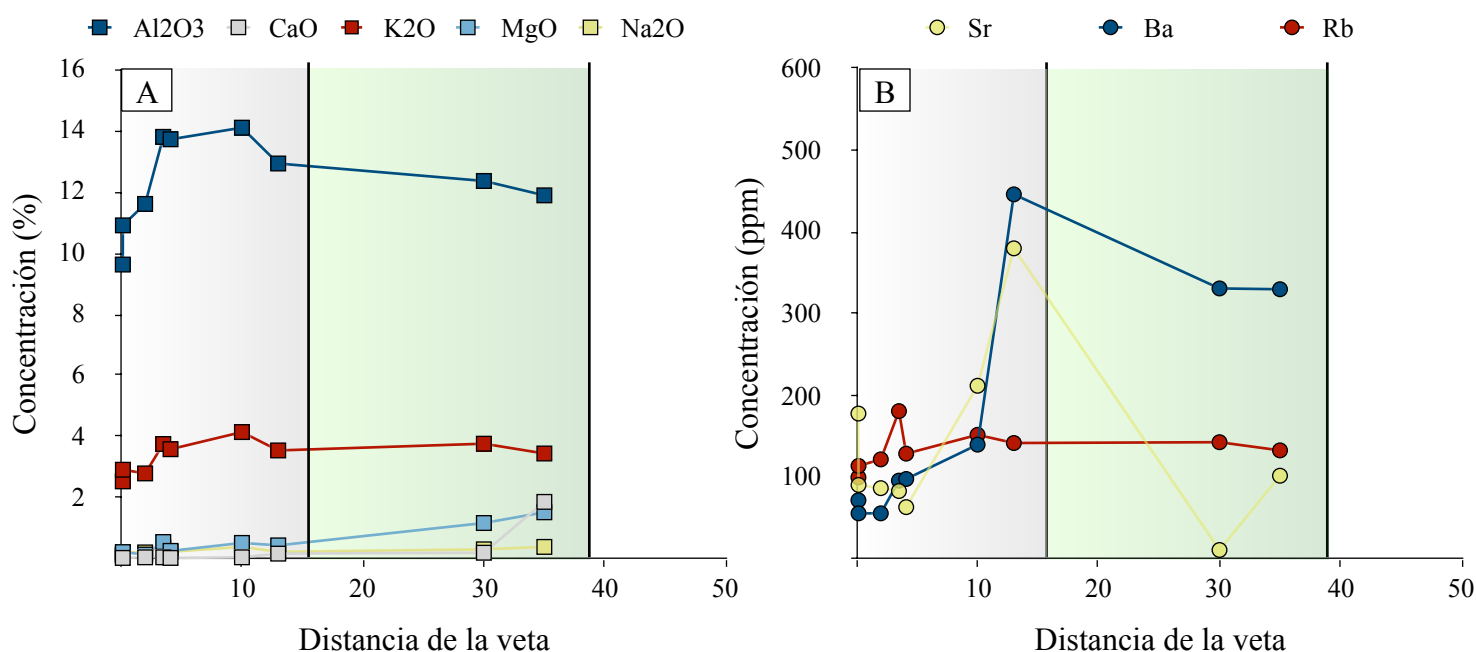


Figura 6,13 Variación composicional en el halo de alteración de la veta San Cristóbal. A) Elementos mayores. B) Elementos traza. En gris, la zona de alteración sericítica; en verde, la zona de cloritización; en blanco, roca macroscópicamente inalterada.

CAPÍTULO VII

BRECHA RECUAY Y SAN CRISTÓBAL ESTE

La Brecha Recuay se ubica sobre el extremo noreste de la veta Andaychagua y las estructuras de San Cristóbal Este se localizan 1 km al este de la veta San Cristóbal. Ambas emplazadas sobre rocas volcánicas y tobas del Grupo Mitu.

La Brecha Recuay comprende un sector alargado de 650 m x 350 m y dirección N 30° E (Figura 7,1) con ocurrencia de numerosas brechas y corredores de vetas y vetillas sub-paralelas y entrelazadas. Estas tienen un mayor desarrollo cuando atraviesan rocas volcánicas, pasando a únicamente vetillas centimétricas cuando cruzan tobas. Las estructuras presentan múltiples direcciones N 45° E, N 71° E, siendo la principal N 30° E, con buzamientos entre 70° y 85° al sureste. Consisten mineralógicamente y en orden de abundancia de carbonatos pardos, jasperoides, baritina, calcedonia, calcita, cuarzo hialino y dickita. Las brechas llegan a tener dimensiones de hasta 97 m x 75 m y las vetillas y vetas tienen espesores desde dimensiones milimétricas hasta >50 cm y de hasta varias decenas de metros de

longitud (Figura 7,2 C y 7,3 A). Éstas ocurren en mayor abundancia en una zona ligeramente alargada de 500 m x 100 m de dirección N 30° E, que es considerada como el corredor principal (Figura 7,1). Esta zona por lo general presenta abundancias de carbonatos >10 %, conteniendo algunos tramos con hasta más de 25 % en volumen acumulado. Comúnmente se muestran halos de alteración clorítica y de manera más notoria halos de decoloración o “bleaching” (carbonatización). Las brechas exhiben texturas en mosaico (“jigsaw”) de matriz soportada con carbonatos pardos como principal componente y con clastos líticos sub-angulosos y rotados (Figura 7,3 A). Por otro lado, las vetas y vetillas comúnmente presentan texturas masivas y bandeadas.

San Cristóbal Este, comprende una zona de 1 km x 900 m (Figura 3,2) consiste de numerosas brechas y corredores de vetillas y vetas, con una mineralogía muy similar al de la Brecha Recuay, pero con una menor abundancia de carbonatos (<5 %), aunque algunos tramos muestran hasta 10 % en volumen acumulado (Figura 7,2 B y D). Las direcciones principales que exhiben las estructuras son N 69° E, N 308° E y N 24° E, siendo la tendencia principal N 17° E.

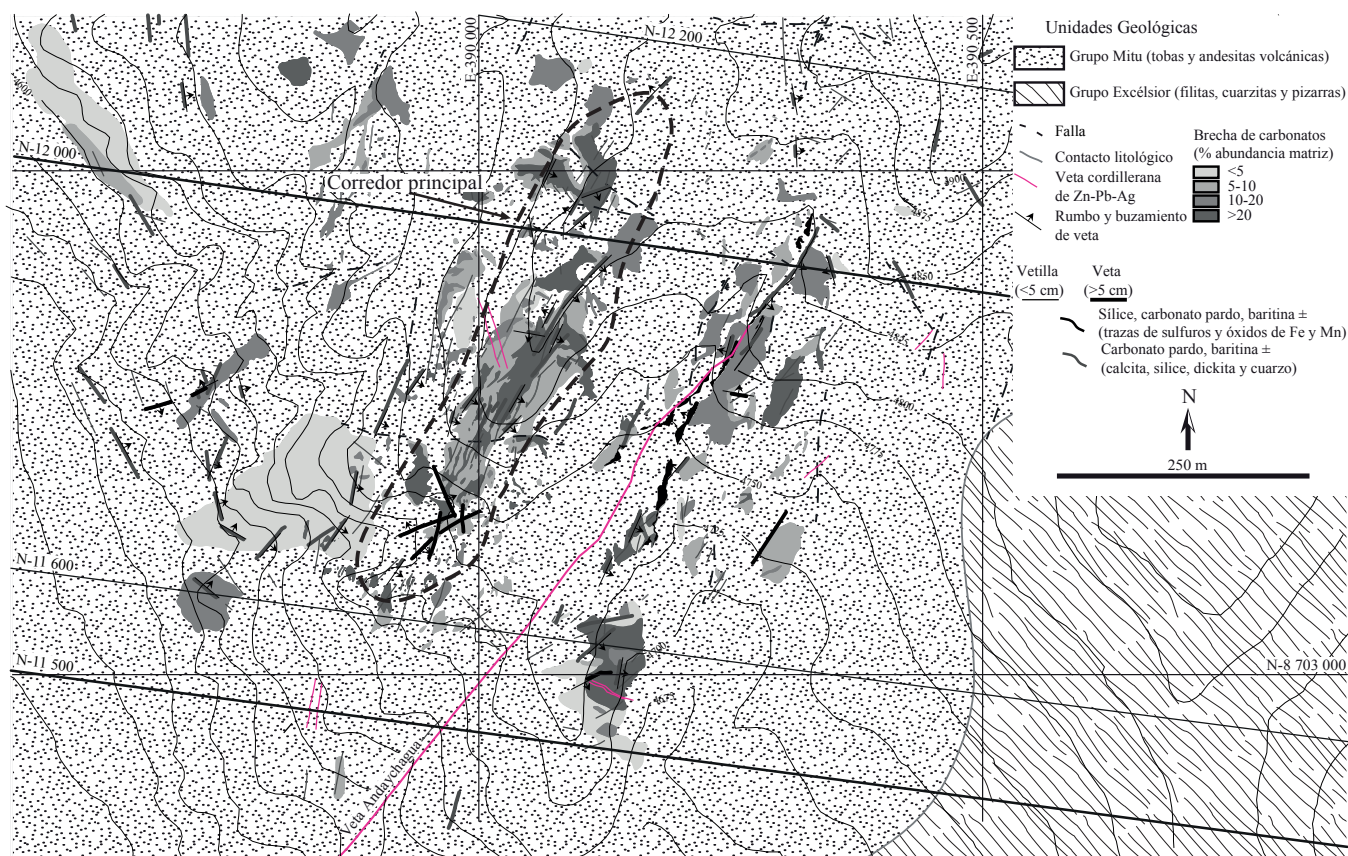


Figura 7,1 Mapa geológico de la Brecha Recuay. El área en líneas punteadas indica el corredor principal. La grilla mostrada es usada por el personal de Volcan Compañía Minera en las labores de minado.

7.1 Mineralogía

Se realizó un estudio detallado de muestras en superficie a partir de secciones delgadas y secciones delgadas doblemente pulidas para definir la mineralogía en diferentes partes de la Brecha Recuay y San Cristóbal Este.

Los carbonatos pardos (término informal para describir carbonatos de coloración parda) son los minerales más abundantes y pertenecen a la serie ankerita-dolomita. Representan alrededor del 60 % en volumen acumulado de los minerales.

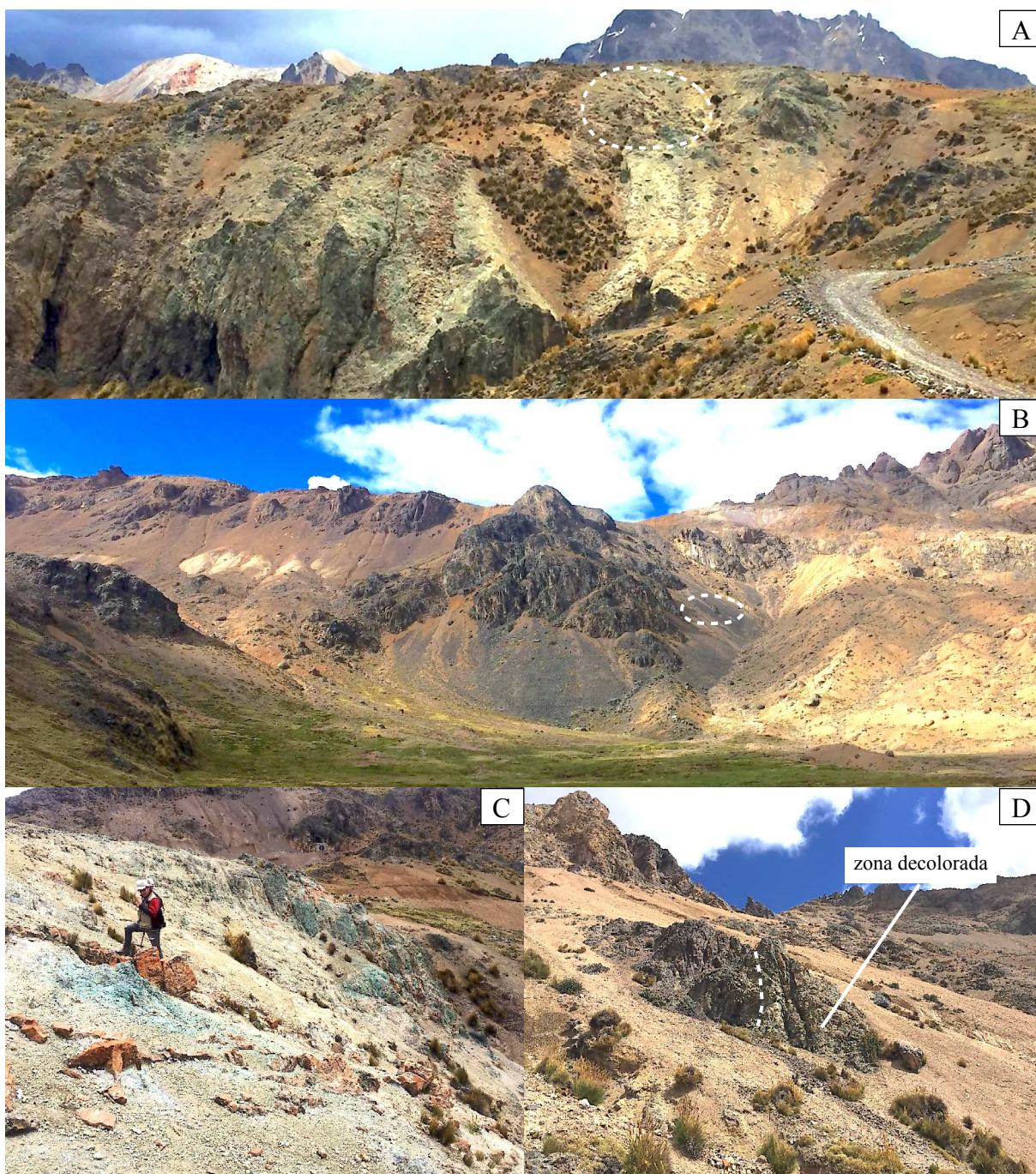


Figura 7,2 A) Imagen panorámica mirando al noroeste del sector de corredor de vetillas y vetas en la Brecha Recuay, donde se observa además la decoloración de la roca caja. B) Imagen panorámica mirando al norte de San Cristóbal Este, donde se puede apreciar zonas con anomalías de color. C) imagen de detalle del círculo blanco en A, donde se observa los corredores de carbonatos pardos. D) Imagen de detalle del círculo blanco en B, donde se observa el contraste de coloración entre la zona de brecha y decoloración y la roca débilmente alterada.

Muestran texturas masivas, bandeadas y concrecionales y posibles texturas lamelares (“lattice-bladed”); que ya han sido reemplazadas por cuarzo (Figura 7,3 A y 7,3 B).

Se presentan como cristales subhedrales, con hábitos romboédricos y “saddle” (Figura 7,4 A, B y D). Sus tamaños van desde decenas de micras a 1 mm.

Al microscopio también se puede apreciar textura tipo mosaico (Figura 7,4 A). En su superficie los carbonatos están alterados supergénicamente a óxidos de Fe, por lo que presentan coloraciones anaranjadas (Figura 7,2 C). Estudios de fluorescencia de rayos X sobre los carbonatos pardos son presentados más adelante en el CAPÍTULO VIII.

Los jasperoides (en sentido de Lovering, 1972) son típicamente cremas, de texturas masivas y coloformes. Pueden representar hasta el 20 % en volumen acumulado de las brechas y vetas. Éstos, se encuentran reemplazando a las diferentes bandas de los carbonatos pardos (Figura 7,3 B), así como cortándolas formando brechas de matriz soportada con clastos sub-angulosos (Figura 7,3 C). También se observa la precipitación de carbonatos, conjuntamente con los jasperoides (Figura 7,4 D). Al microscopio se observa que consisten de granos finos de cuarzo criptocristalino, en general $<30 \mu\text{m}$ de diámetro (Figura 7,4 B y C) y presentando mayormente texturas granulares a “jigsaw”. Cuando el jasperoide reemplaza a los carbonatos exhibe apariencias pulverulentas, con relictos de cristales “saddle” a romboédricos (Figura 7,4 B y D). Por tramos, se observa la presencia de posibles

texturas “lattice-bladed” (Figura 7,4 B). Esferulitos de calcedonia son típicos sobre los jasperioides. Estos se encuentran nucleados a partir de granos de carbonatos y muestran internamente hábitos radiales y fibrosos (Figura 7,4 C).

Baritina es posterior a los carbonatos pardos y se presenta de dos maneras: baritina III (rosácea), que exhibe escamas que conforman rosetas dentro de los carbonatos pardos y baritina IV (blanquecina), que forma vetillas y cristales tabulares aislados. En general los cristales varían de tamaño entre 0.1 cm a 3 cm. Comúnmente ambos tipos se presentan juntos, donde además se puede observar que la baritina III es anterior a la baritina IV (Figura 7,3 C). Microanálisis de fluorescencia de rayos X muestran que existe una diferencia en el contenido de NiO entre ambos tipos de baritinas (Tabla 7,1). La abundancia relativa de la baritina puede llegar hasta el 20 % en algunos tramos.

Tabla 7,1 Microanálisis de fluorescencia de rayos X sobre baritina.

Muestra	SO ₃ (%)	CaO (%)	CoO (%)	NiO (%)	SrO (%)	BaO (%)	Mineral	Estructura
36973	34.10	-	-	-	1.34	64.56	baritina IV	Brecha Recuay
36973	28.69	-	-	-	2.82	68.49	baritina IV	Brecha Recuay
36973	30.58	-	-	-	1.11	68.31	baritina IV	Brecha Recuay
AND-13-17	18.71	-	0.03	0.10	0.76	80.40	baritina IV	Brecha Recuay
AND-87	23.14	-	-	1.13	2.64	73.09	baritina III	Brecha Recuay
AND-99	28.05	2.10	-	0.04	1.98	66.05	baritina IV	Brecha Recuay
AND-127	28.38	-	0.02	0.06	3.36	68.18	baritina IV	Brecha Recuay
39039	22.91	-	-	0.09	-	77.00	baritina IV	San Cristóbal Este
39039	18.03	-	-	1.77	-	80.20	baritina III	San Cristóbal Este

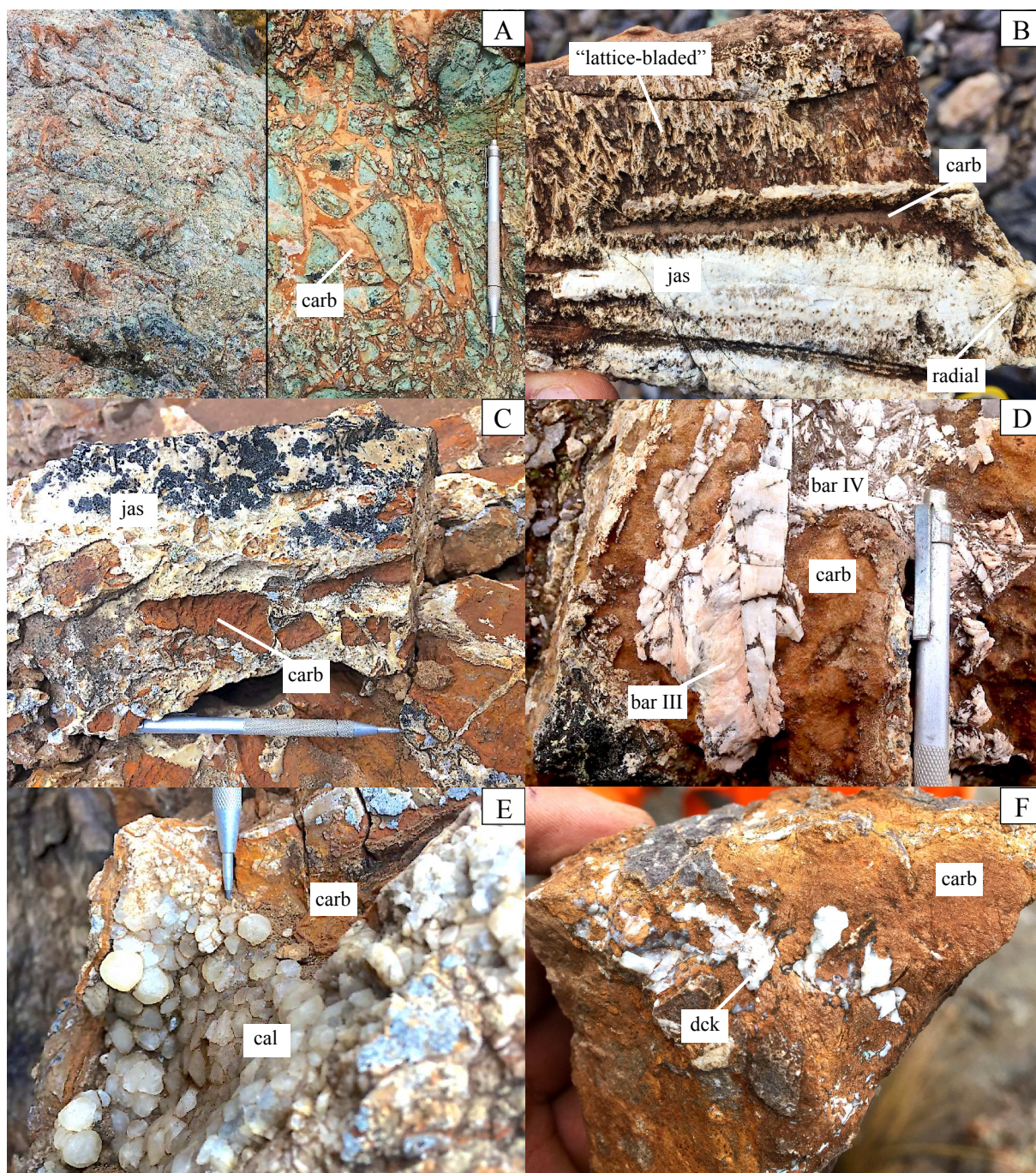


Figura 7,3 Imágenes de los principales componentes mineralógicos de la Brecha Recuay y San Cristóbal Este. A) Corredor de vetas y brechas tipo mosaico de carbonatos pardos en la Brecha Recuay. B) Bandas de jaseroide reemplazando carbonatos pardos, presentando por partes posibles texturas “lattice-bladed” y radiales (muestra AND-13-17). C) Brecha con matriz soportada de jaseroide y clastos sub-angulosos de carbonato pardo. D) Cristales de baritina III (rosáceo) y IV (blanquecino) sobre carbonatos pardos. E) Cristales de calcita en oquedades. F) Parches de dickita sobre carbonatos pardos. Abreviaciones: bar=baritina; cal=calcita; carb= carbonato pardo; dck=dickita; jas=jaseroide.

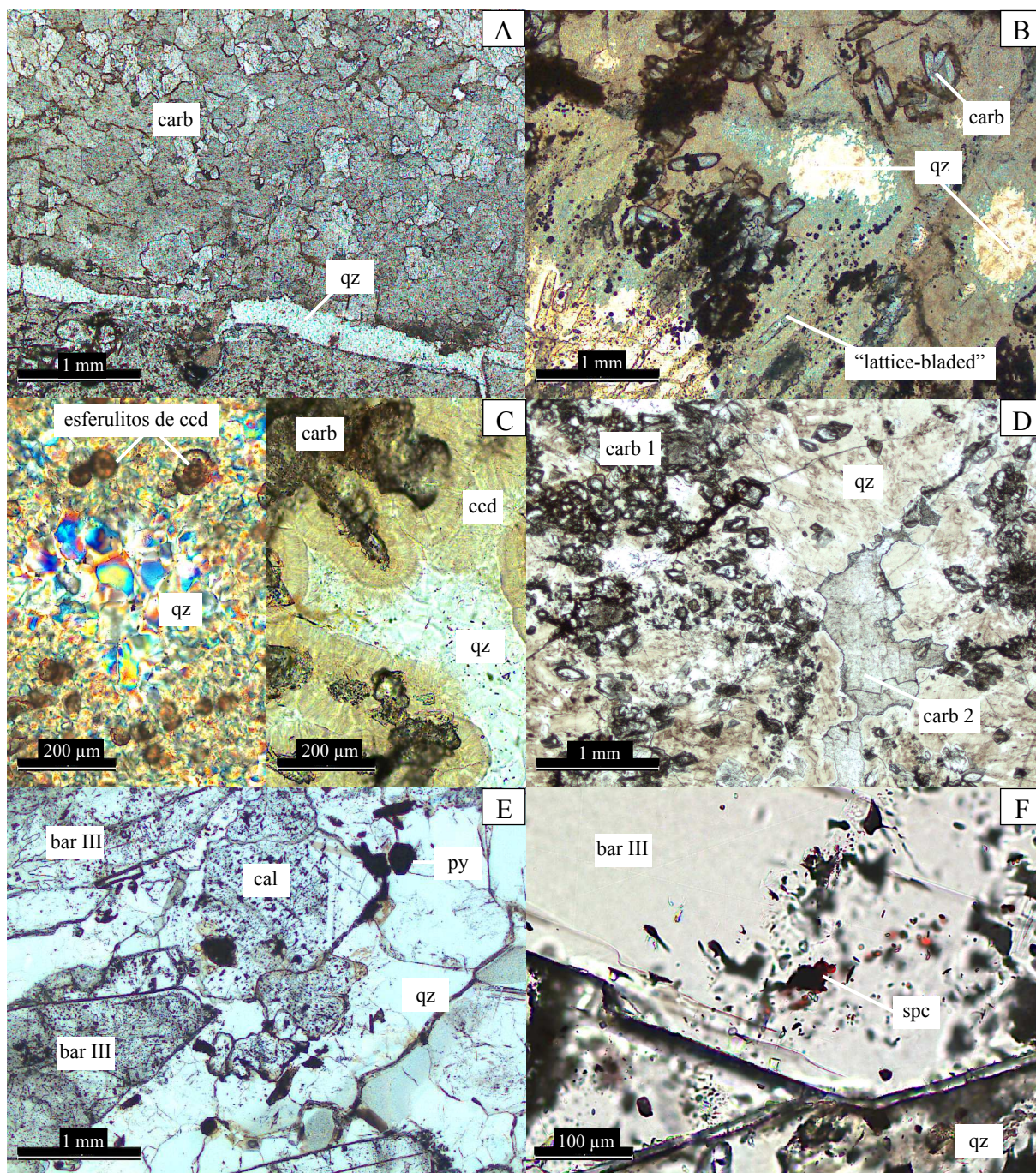


Figura 7.4 Microfotografía de secciones delgadas doblemente pulidas. A) Cristales xenomorficos de carbonatos pardos, con textura en mosaico (“jigsaw”), cortado por cuarzo criptocristalino (muestra 36960) L.T. B) Cuarzo criptocristalino (jasperoide) con apariencia pulverulenta, reemplazando carbonatos (observar relictos de carbonatos con hábito “saddle” y una posible textura “lattice-bladed”) (muestra 39039) L.T. C) Cuarzo criptocristalino (jasperoide) de textura granular a “jigsaw”, acompañado de esferulitos de calcedonia (fibrosa-radial) nucleados a partir de granos de carbonatos (muestra AND-13-17). Izquierda L.T.n.c. y derecha L.T. D) Relictos de carbonatos de hábito romboédrico (carb 1) sobre jasperoides con apariencia pulverulenta. Observar que el jasperoide está asociado a otro evento de carbonato (carb 2) (muestra 39037) L.T. E) Cristales tabulares de baritina III, granos de calcita, cuarzo hialino y parches de pirita dodecaédrica (muestra 36973) L.T. F) cristales de especlarita sobre baritina III y cuarzo hialino (muestra 36973) L.T. Abreviaciones: L.T.=luz transmitida; n.c.=nícoles cruzados; bar=baritina; carb=carbonato pardo; cal=calcita; ccd=calcedonia; py=pirita; qz=cuarzo; spc=especlarita.

El cuarzo es hialino y se encuentra en oquedades y geodas, con cristales generalmente subhedrales a euhedrales con terminaciones piramidales, con tamaños desde 0.5 mm hasta 5 mm (Figura 7,4 E). Mayormente el cuarzo exhibe texturas granulares.

La calcita se encuentra rellenando oquedades (Figura 7,3 E). Los cristales comúnmente son subhedrales, con hábitos que van desde romboédricos, bipiramidales y escalenoédricos. La calcita mayormente es más abundante en los bordes de las estructuras. Estudios de fluorescencia de rayos X en calcitas son mostrados en el CAPÍTULO VIII.

La dickita está presente como pequeños parches sobre los carbonatos pardos (Figura 7,3 F). Tiene una coloración que va desde blanquecina a marrón. Análisis de espectroscopía Raman confirman su presencia.

Otros minerales observados en menor grado son clorita, pirita y especularita que se encuentran comúnmente como trazas en baritina y cuarzo (Figura 7,4 E y F). Se definió 3 ensambles mineralógicos a partir de las relaciones de corte descritas (de más temprano a más tardío): (1) carbonatos pardos (ankerita-dolomita); (2) jaseroide-calcedonia-carbonato y (3) baritina-cuarzo-calcita-dickita±(especularita-pirita-clorita).

7.2 Geoquímica

Geoquímica de reconocimiento (n=41) a partir de muestras de superficie en diferentes partes de la Brecha Recuay y San Cristóbal Este, evidencian concentraciones similares, con valores de hasta 30 % Ca, 8.49 % Mg, 7.46% Fe, 3.44 % Mn, 1.47 % Ba y 355 ppm Li (Tabla 7,2 y 7,3).

Cabe resaltar que la geoquímica también reveló valores de hasta 199 ppm As, 118 ppm Cu, 84.80 ppm Pb, 53.47 ppm Sb y 167ppm Zn.

En la Brecha Recuay los mayores valores de Ca (>5 %) se encuentran dispersos irregularmente, pero parece que su contenido disminuye a la periferia de la veta Andaychagua. Al igual que el calcio el Fe y Mg muestran una dispersión irregular, aunque se puede notar que los valores más altos de Fe (>4 %), se encuentran en el corredor principal de la brecha Recuay y cerca de la veta Andaychagua. Por otro lado, los valores del Mn aumentan en el corredor principal y alrededor de la veta Andaychagua (>3 000 ppm), disminuyendo gradualmente a valores por debajo de los 1 000 ppm (Figura 7,5). Los valores de litio alcanzan los 355 ppm y están relacionados espacialmente con la veta Andaychagua. Concentraciones <100 ppm por lo general son distantes de esta (Figura 7,6).

En trabajos previos de exploración geoquímica realizados en la brecha Recuay, revela valores de Ca, Fe, Mg, Mn y Li de hasta 20.40 %, 6.65 %, 10.05 %, 3.44 % y 355 ppm respectivamente.

0.54 % y 630 ppm respectivamente, donde se muestra que los valores más altos de Mn se encuentran en el corredor principal de la brecha Recuay y en cercanía a la veta Andaychagua, como se describe en este estudio. Además, se reportan valores de Ba de hasta 1.62 % y de As y Sb por debajo de los 100 ppm y 50 ppm respectivamente.

Tabla 7,2 Resumen de las concentraciones obtenidas en los ensayos geoquímicos en la Brecha Recuay. Una tabla completa se muestra en el Anexo A.

Muestra	As (ppm)	Ba (ppm)	Ca (%)	Fe (%)	Li (ppm)	Mg (%)	Mn (%)	Sb (ppm)	Zn (ppm)
36943	117.00	2656.00	12.61	4.95	62.60	4.43	0.26	6.25	167.00
36952	20.20	137.00	10.77	5.06	279.00	3.73	0.11	5.54	101.00
36959	11.70	14700.00	11.78	3.44	147.00	5.13	0.21	3.16	56.30
36960	15.90	575.00	30.00	3.98	92.60	6.86	0.20	4.21	70.50
36961	19.40	125.00	9.56	4.80	355.00	3.54	0.19	13.85	76.10
36966	43.60	9367.00	8.79	3.52	217.00	3.70	0.18	31.13	82.00
36973	102.00	14400.00	13.94	3.86	65.70	6.17	0.25	6.16	84.10
36989	24.70	1075.00	5.67	2.44	200.00	2.56	0.13	6.97	94.30

Tabla 7,3 Resumen de las concentraciones obtenidas en los ensayos geoquímicos en San Cristóbal Este. Una tabla completa se muestra en el Anexo A.

Muestra	As (ppm)	Ba (ppm)	Ca (%)	Fe (%)	Li (ppm)	Mg (%)	Mn (%)	Sb (ppm)	Zn (ppm)
39031	18.30	6330.00	8.85	3.56	226.00	2.58	0.15	15.34	81.60
39032	33.40	5907.00	30.00	7.46	150.00	4.25	0.33	18.49	77.90
39033	24.00	1660.00	7.69	3.52	348.00	1.55	0.23	36.68	68.20
39036	33.00	313.00	10.64	4.20	102.00	4.21	0.35	11.69	71.00
39037	17.90	276.00	10.67	2.27	72.30	4.92	0.14	8.91	71.10
39038	32.80	4648.00	30.00	4.69	20.50	6.17	0.22	7.35	87.60
39039	40.20	12800.00	30.00	3.10	29.20	6.68	0.26	8.43	142.00

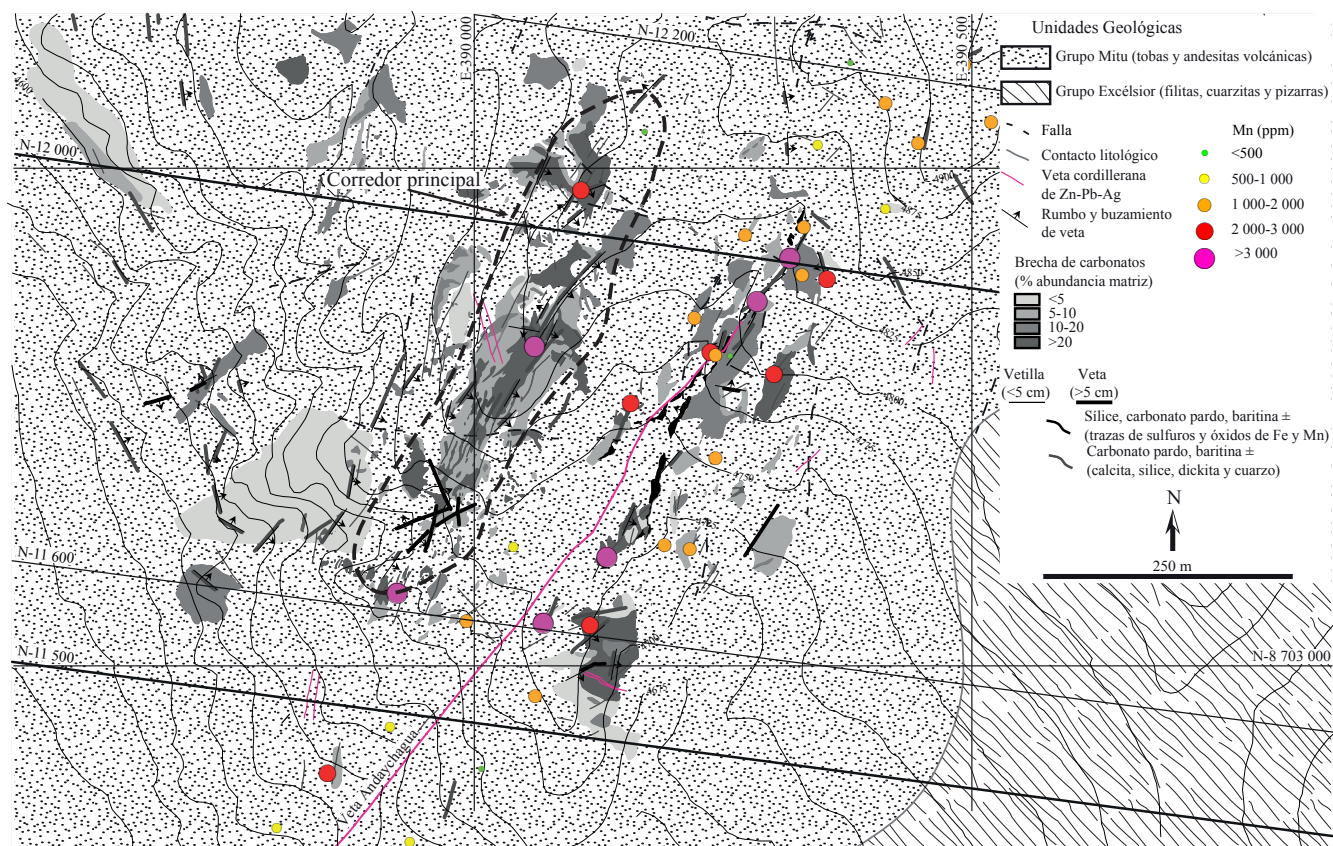


Figura 7,5 Mapa geoquímico de Mn (ppm).

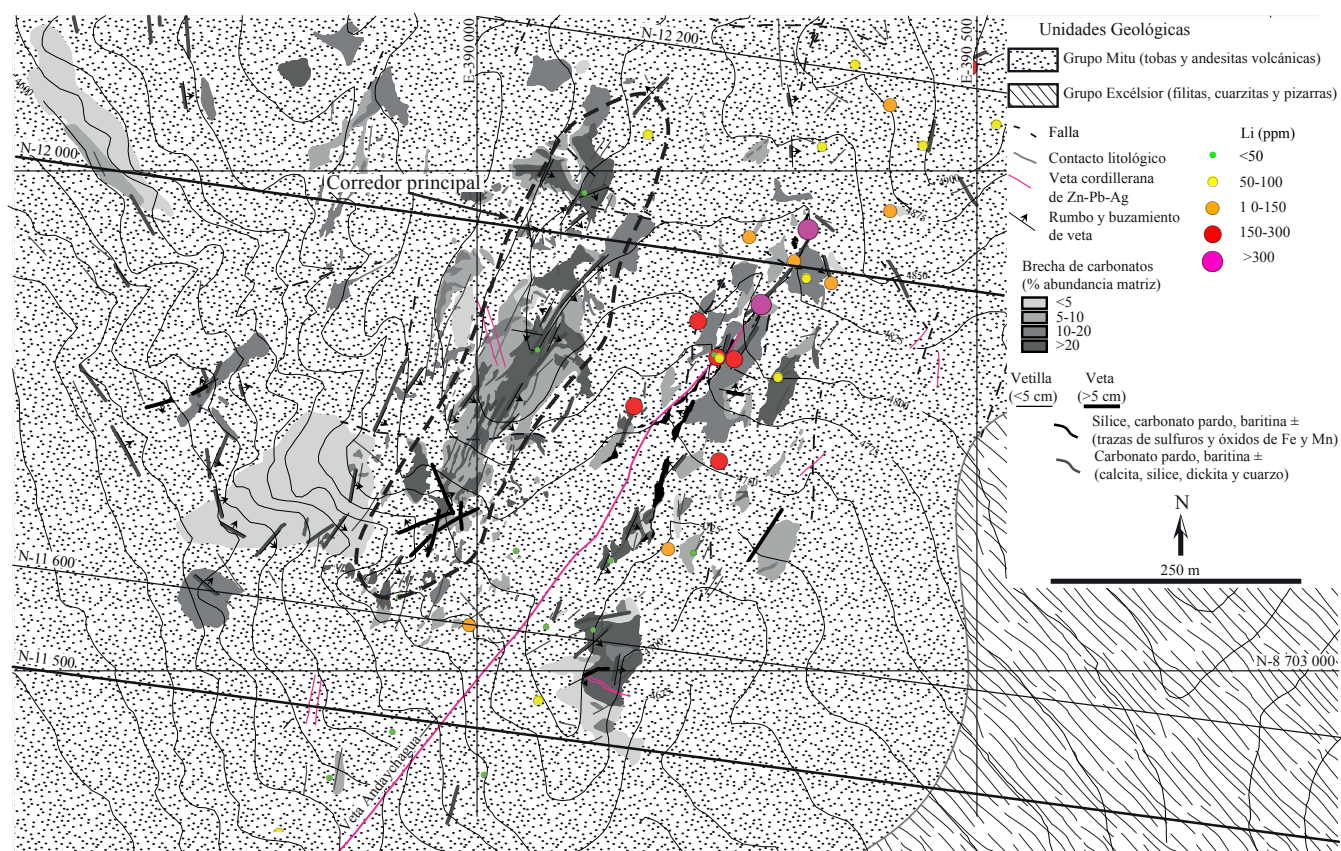


Figura 7,6 Mapa geoquímico de Li (ppm).

Tabla 7,4 Matriz de correlación de la geoquímica en la Brecha Recuay y San Cristóbal Este.

	As (ppm)	Ba (ppm)	Ca (%)	Fe (%)	Li (ppm)	Mg (%)	Mn (%)	Sb (ppm)	Zn (ppm)
As (ppm)	1.00								
Ba (ppm)	-0.13	1.00							
Ca (%)	0.02	0.20	1.00						
Fe (%)	0.28	0.09	0.48	1.00					
Li (ppm)	0.12	-0.15	-0.36	0.23	1.00				
Mg (%)	-0.01	0.30	0.82	0.36	-0.46	1.00			
Mn (%)	0.63	-0.11	-0.04	0.39	0.32	-0.03	1.00		
Sb (ppm)	0.43	-0.15	-0.11	0.23	0.58	-0.24	0.59	1.00	
Zn (ppm)	0.41	-0.08	-0.12	0.11	0.03	-0.19	0.41	0.03	1.00

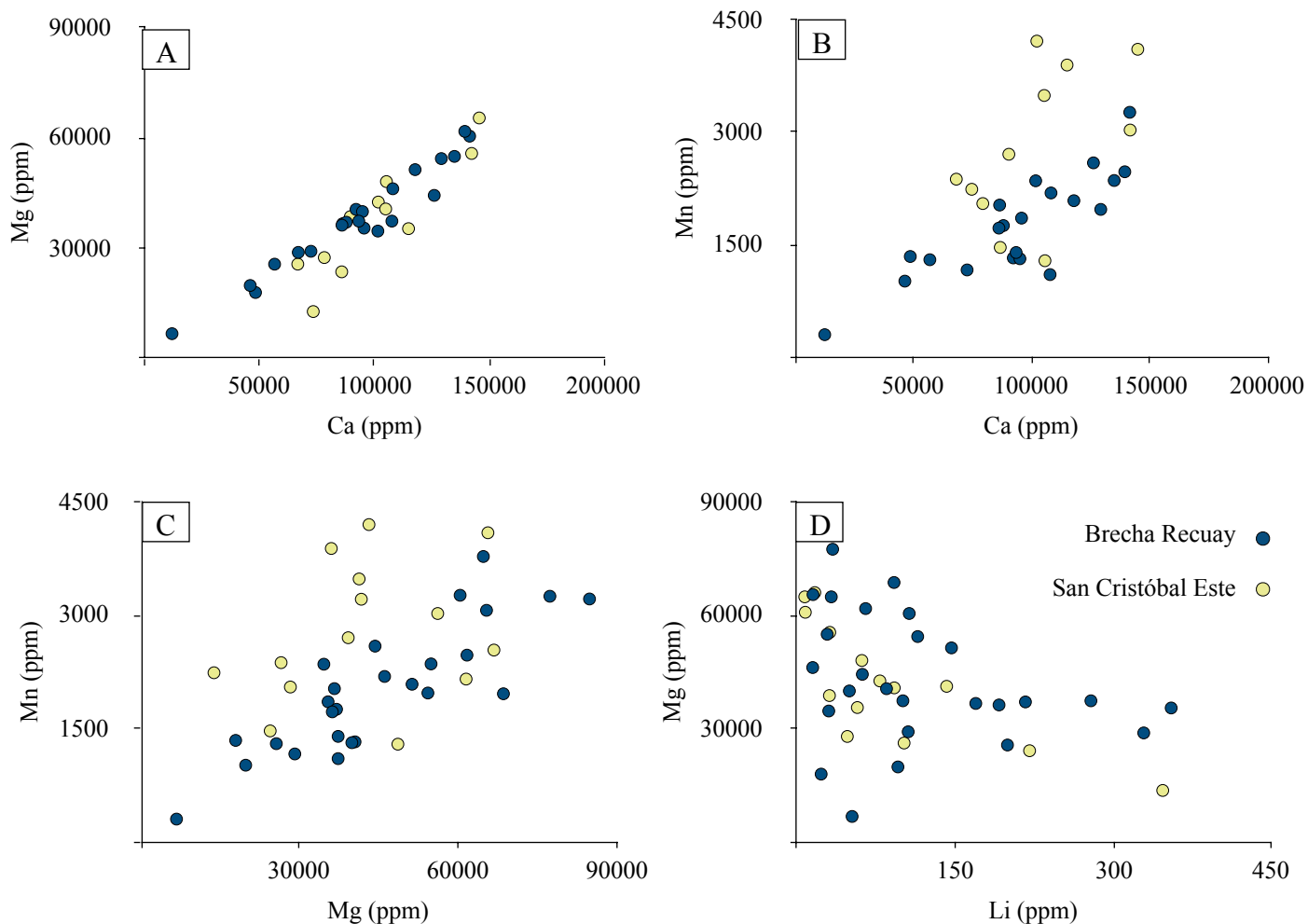


Figura 7,7 Diagramas de correlación. A) Ca vs Mg. B) Ca vs Mg. C) Mg vs Mn. D) Li vs Mg. En azul resultados en la Brecha Recuay y en amarillo de San Cristóbal Este.

La matriz de correlación (Tabla 7,4) muestra que la correlación entre Ca y Mg es casi perfecta, exhibiendo un aumento proporcional casi constante (Figura 7,7 A). El Mn tiene una correlación casi nula con el Ca y Mg, pero las Figuras 7,7 B y C muestran que estos elementos tienen una ligera tendencia a incrementar juntos. Por otra parte, el Li tiene una correlación negativa moderada con el Mg, que también puede ser observada en la Figura 7,7 D.

7.3 Alteración

Las estructuras de la Brecha Recuay y San Cristóbal Este, cortan rocas volcánicas andesíticas y tobas del Grupo Mitu. Estas rocas muestran coloraciones violáceas y rosáceas cuando están macroscópicamente inalteradas, pero debido a la alteración hidrotermal presentan coloraciones verdosas y blanquecinas (“bleaching”) (Figura 7,8 A). Las estructuras exhiben halos de alteración compuestas de un sector interno de carbonatización y silicificación y un sector externo de moderada cloritización (Figura 7,8 B y C).

Al microscopio se puede observar que el sector interno está compuesto principalmente por carbonatos pardos y sílice, además de dickita, pirita, especularita y arcillas. Esta alteración es invasiva, en donde el carbonato y la sílice reemplazan a la matriz y los fenocristales de plagioclasa (Figura 7,10 A, B, C y D). La sílice se muestra con bordes de reacción entre la roca caja y el carbonato pardo (Figura 7,10 A). El sector externo con cloritización es el más extendido y se caracteriza por una

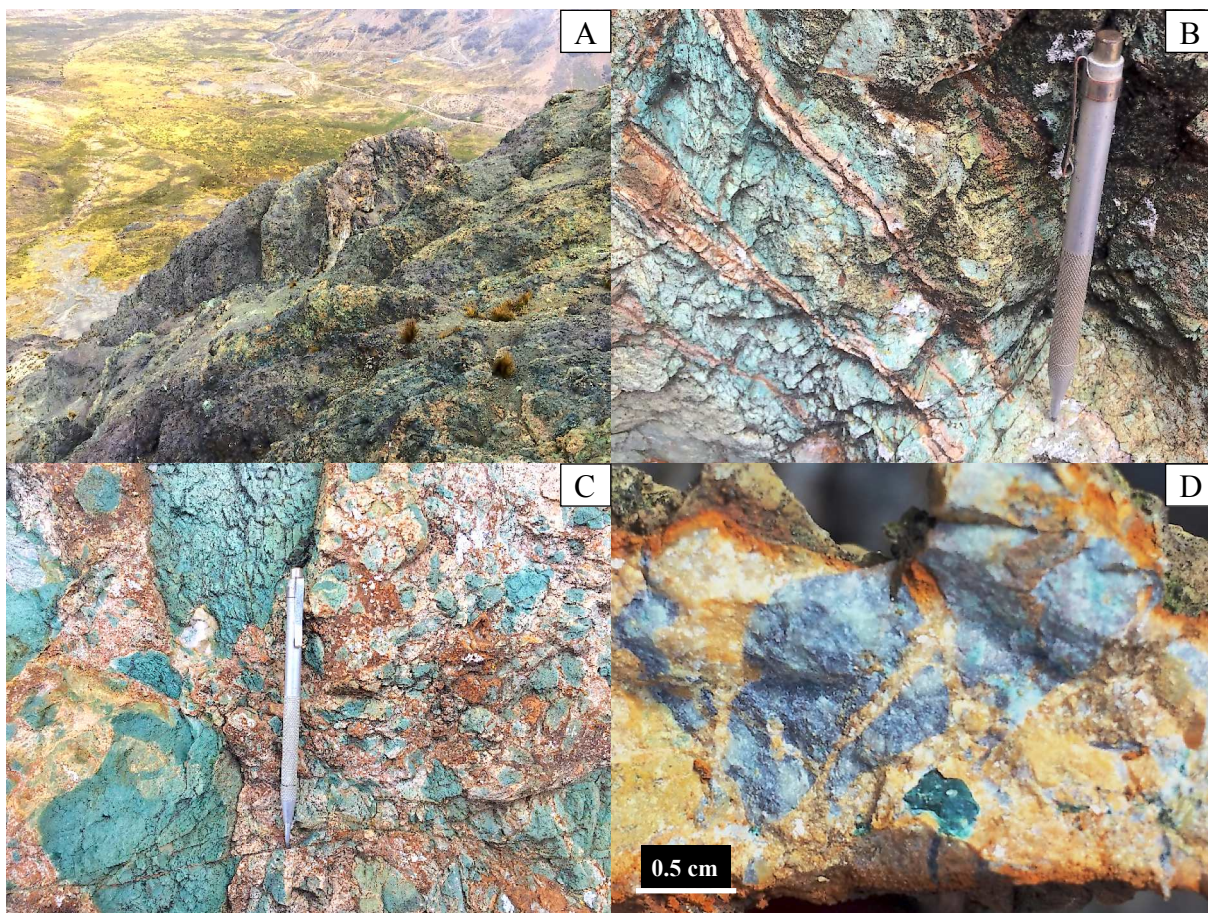


Figura 7,8 Imágenes de sectores de alteración en la Brecha Recuay y San Cristóbal Este. A) Anomalías de color verdosas y blanquecinas en San Cristóbal Este. B) corredor de vetillas de carbonatos con bordes decolorados (“bleaching”) y halos verdosos. C) Brecha clasto soportado con clastos decolorados y verdosos. D) muestra de mano de una brecha matriz soportada con clastos decolorados y cloritas.

alteración moderada de la roca encajonante (Figura 7,8 B, C y D). Ésta, se desarrolla sobre la matriz y plagioclasas y está constituida por clorita acompañada de débil carbonatización y silicificación (Figura 7,10 D y E). Usualmente ambos sectores son acompañados de cristales de anatasa y rutilo, accesorias de las rocas volcánicas y tobas (Figura 7,10 F).

Análisis de espectroscopía Raman revelan que el sector de cloritización está compuesto mayoritariamente por chamosita, además de arcillas como illita y dickita

(Figura 7,9 A, B y C). Los análisis también confirman a la anatasa, como accesorio de las rocas volcánicas (Figura 7,9 D).

Microanálisis de fluorescencia de rayos X sobre zonas de carbonatización revelan contenidos de hasta 32.09 % CaO, 5.11 % Fe₂O₃ y 5.47 % MgO, además valores de 10.17 % Na₂O, 19.97 % Al₂O₃ y 47.6 % SiO₂. Estos resultados nos muestran que los carbonatos reemplazan plagioclasas que tienen composiciones desde andesinas y oligoclasas. Por otra parte, análisis sobre cloritas muestran valores muy variables de MgO y Fe₂O₃, debido a su superposición con los carbonatos y sílice, por lo que no pudieron ser analizadas adecuadamente. Las dickitas presentan valores desde 37.76 hasta 38.73 % de Al₂O₃ y desde 58.18 hasta 59.22 % de SiO₂. La silicificación sobre los fenocristales y la matriz se expresa con valores de hasta 88.5 % de SiO₂. Los valores más altos de K₂O (hasta 3.45%) están asociados a la silicificación y puede reflejar el desarrollo en menor medida de arcillas. Cabe señalar que los valores de hasta 0.67 % TiO₂ son el reflejo de las inclusiones minerales de rutilo y anatasa, accesorias de las rocas volcánicas.

Tabla 7,5 Microanálisis de fluorescencia de rayos X realizados en las zonas de alteración en la Brecha Recuay y San Cristóbal Este. Abreviaturas. carb=carbonato; chl=clorita; dck=dickita; pl=plagioclasa.

Muestra	Na ₂ O (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MnO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Mineral
36941	10.17	-	19.97	47.60	1.56	15.59	-	-	5.11	carb, pl.
36954	0.09	0.02	11.47	82.79	2.44	0.60	0.09	0.35	2.08	qz, dck.
36960	5.80	5.47	10.65	41.36	1.56	32.09	0.05	0.29	2.60	carb, pl, chl.
36966	3.97	0.98	7.20	85.34	0.50	1.82	-	0.11	-	qz.
36989	0.03	1.55	37.76	58.18	0.85	1.19	0.02	0.01	-	dck.
39027	0.06	0.02	11.96	76.21	3.45	5.20	0.07	0.67	2.21	qz, cab.
39037	-	-	-	86.01	-	13.46	-	0.03	0.15	qz, carb.
39038	0.18	0.72	38.73	59.22	0.02	0.93	0.03	0.01	-	dck.

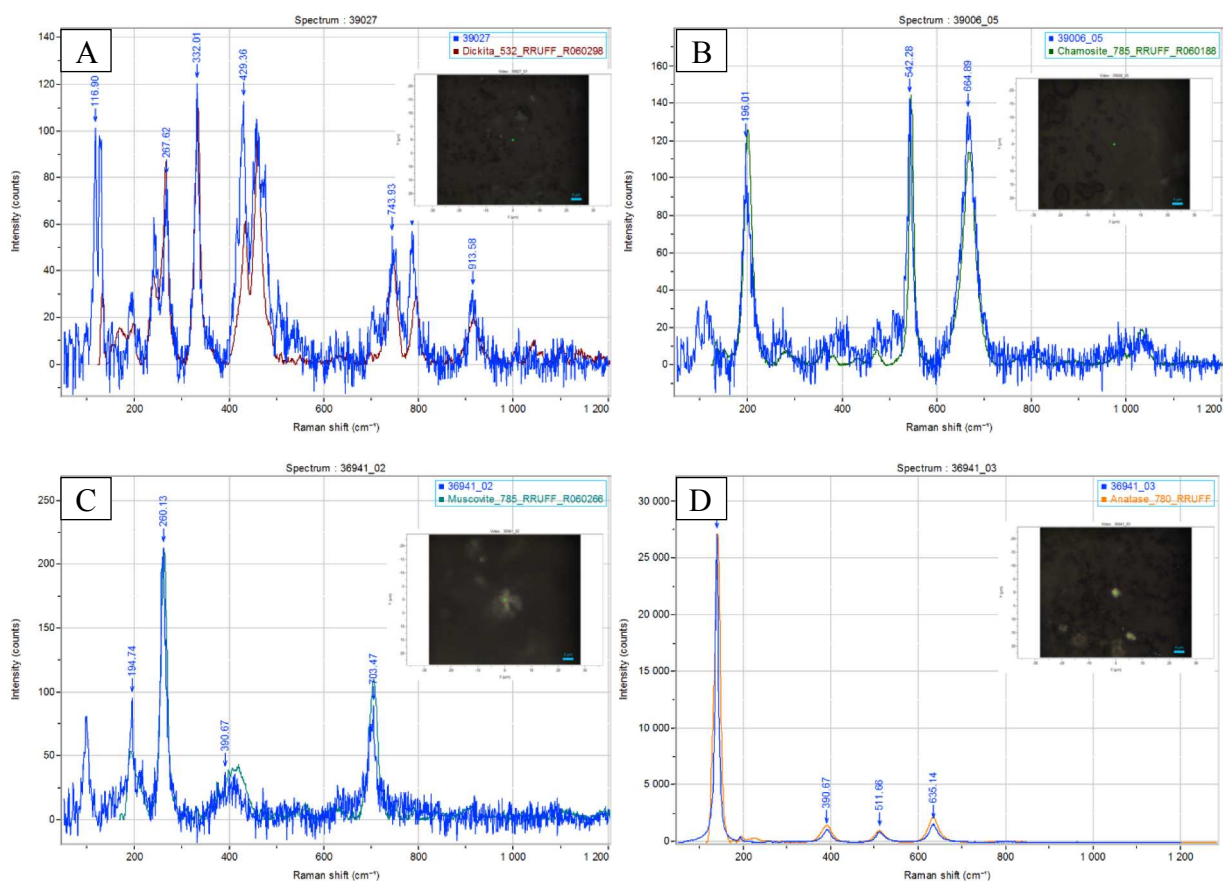


Figura 7,9 Espectros Raman de muestras la Brecha Recuay y San Cristóbal Este. A) Dickita (muestra 39027). B) Chamosita (muestra 39006). C) Illita? (muestra 36941). D) Anatasa (muestra 36941).

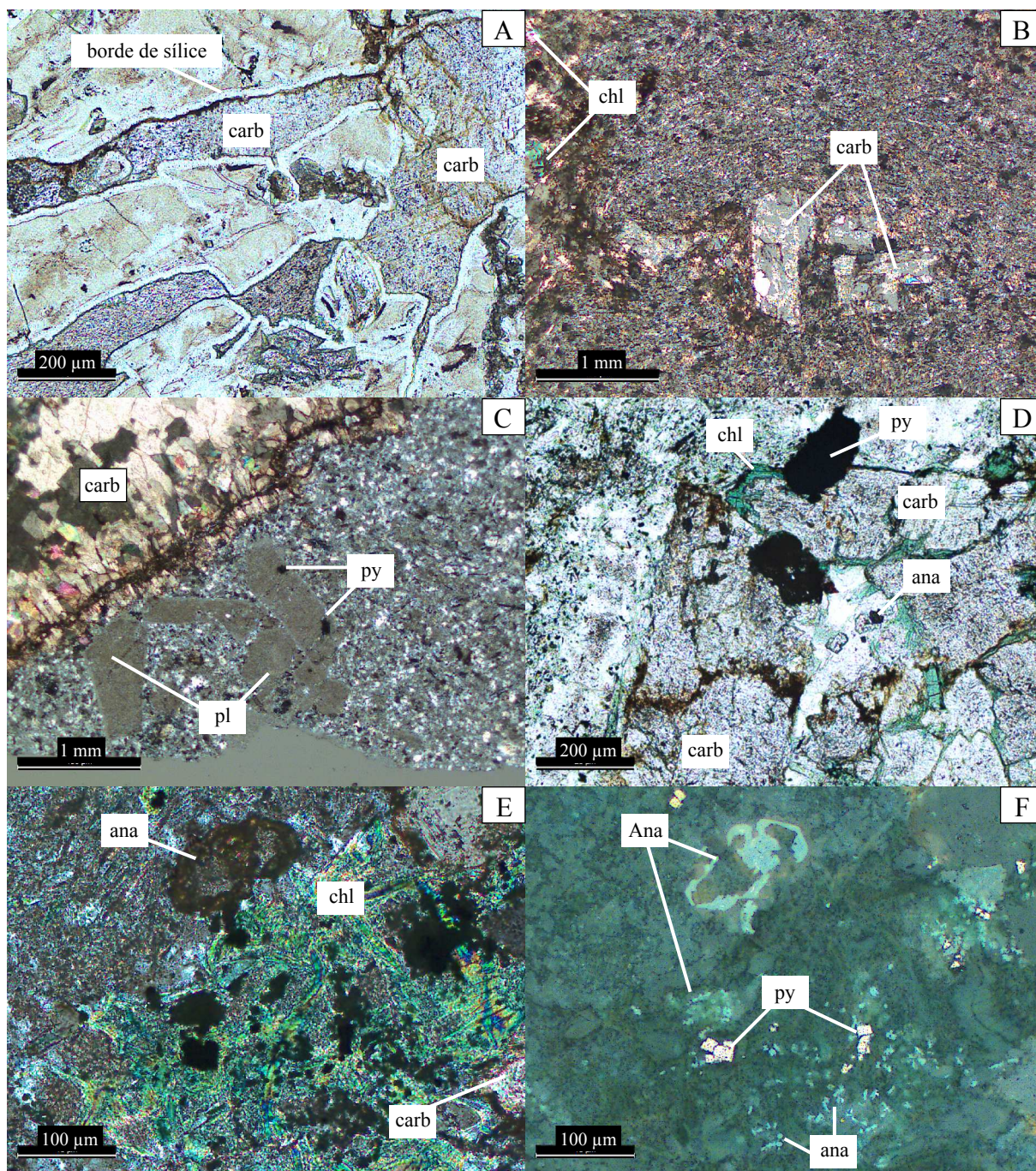


Figura 7,10 Microfotografía de secciones delgadas de muestras de alteración. A) Vetilla de carbonato pardo con borde de sílice y roca encajonante carbonatizado y silicificado (muestra 39037) L.T. B) Roca volcánica andesítica carbonatizada (fenocristales de plagioclasa reemplazados por carbonato) y parches de clorita (muestra 39027) L.T.n.c. C) Vetilla de carbonato pardo y roca caja carbonatizada y silicificada, con parches de pirita (muestra 36966) L.T.n.c. D) Carbonato reemplazando plagioclasas con bordes de clorita y parches de pirita y anatasa (muestra 36954) L.T. E) Clorita asociada a carbonatización y silicificación de la roca caja, con parches de pirita y anatasa (muestra 36960) L.T.n.c. F) Idem al campo E en L.R. Abreviaciones: L.T.=luz transmitida; L.R.=luz reflejada; n.c.=nícoles cruzados; ana=anatasa; carb=carbonato pardo; chl=clorita; pl=plagioclasa; py=pirita.

CAPÍTULO VIII

GEOQUÍMICA DE CARBONATOS

Se realizó un estudio de la composición de los diferentes carbonatos en el distrito de San Cristóbal. Para dicho propósito un total de 108 microanálisis de fluorescencia de rayos X en 76 muestras (<2 cm de diámetro) fueron llevadas a cabo. Adicionalmente se incluyeron 2344 microanálisis de fluorescencia de rayos X en 160 muestras, realizados por el equipo de exploración de Volcan Compañía Minera. Los resultados muestran la existencia de soluciones sólidas. Esto llevó a una clasificación de los carbonatos en 3 series: serie calcita, serie ankerita-dolomita y la serie manganosiderita-rodocrosita.

8.1 Serie calcita

Principalmente en la Brecha Recuay y San Cristóbal Este (Figura 8,1 A y B). Los resultados (n=144) indican altos contenidos de MgO, MnO y FeO (hasta 17.36, 6.57 y 20.67 % respectivamente, Tabla 8,1). Existe una moderada a alta correlación

negativa entre CaO, MgO, FeO a partir de 2.5 % MgO (Figura 8,2 A, C y D). Esto probablemente debido a la sustitución entre estos elementos en la estructura cristalina de la calcita. Por otro lado, el CaO y MnO muestran una correlación negativa a partir de 50 % CaO. Esto podría indicar dos fases minerales (una más rica en MnO y otra pobre en MnO).

La distribución de las calcitas con mayores valores de MgO, MnO y FeO tienden a ocurrir en el corredor principal de la Brecha Recuay y cerca a los halos de la veta Andaychagua, a diferencia del CaO que tiende a ocurrir más distante (Figura 8,3).

Tabla 8,1 Resumen de los microanálisis de fluorescencia de rayos X sobre calcita.

Muestras	CaO (%)	MgO (%)	MnO (%)	FeO (%)	ZnO (%)
36973	35.4	4.5	1.1	16.2	0.1
39032	36.6	9.3	0.7	10.7	0
39039	36.0	10.5	0.2	10.7	0
AND-BR-030	39.1	17.4	0.2	0.7	0
37094	48.8	0	6.6	0.7	0
37057	49.9	0	4.1	2.0	0
39032	36.6	0	0.8	20.0	0
AND127	36.7	0	0	20.7	0

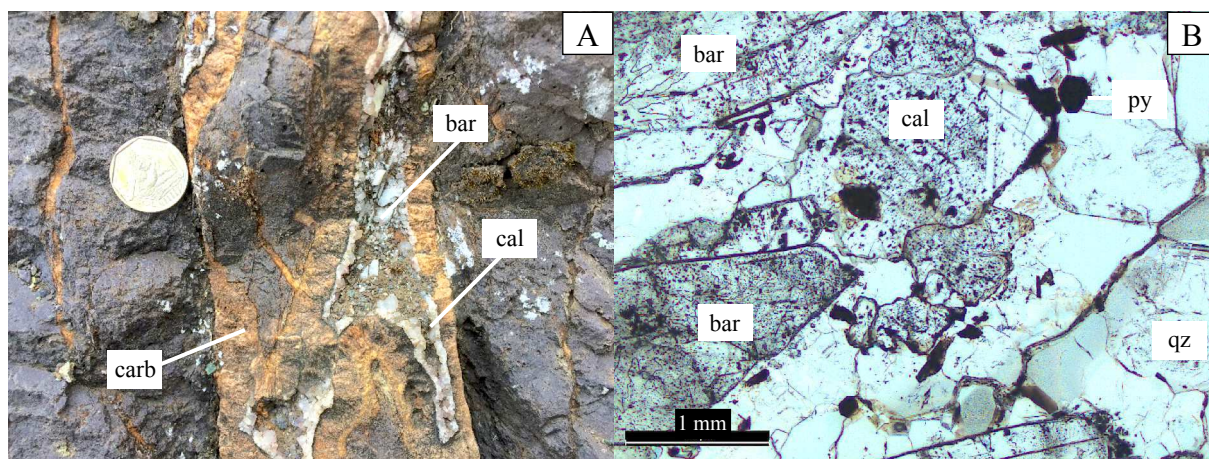


Figura 8,1 A) Veta-brecha de carbonatos pardos, reabierto por una vetilla de calcita, baritina y cuarzo. B) Microfotografía en luz transmitida de cristales tabulares de baritina, calcita, cuarzo y parches de pirita (muestra 36973). Abreviatura: bar=baritina; cal=calcita; carb=carbonato pardo; py=pirita; qz=cuarzo.

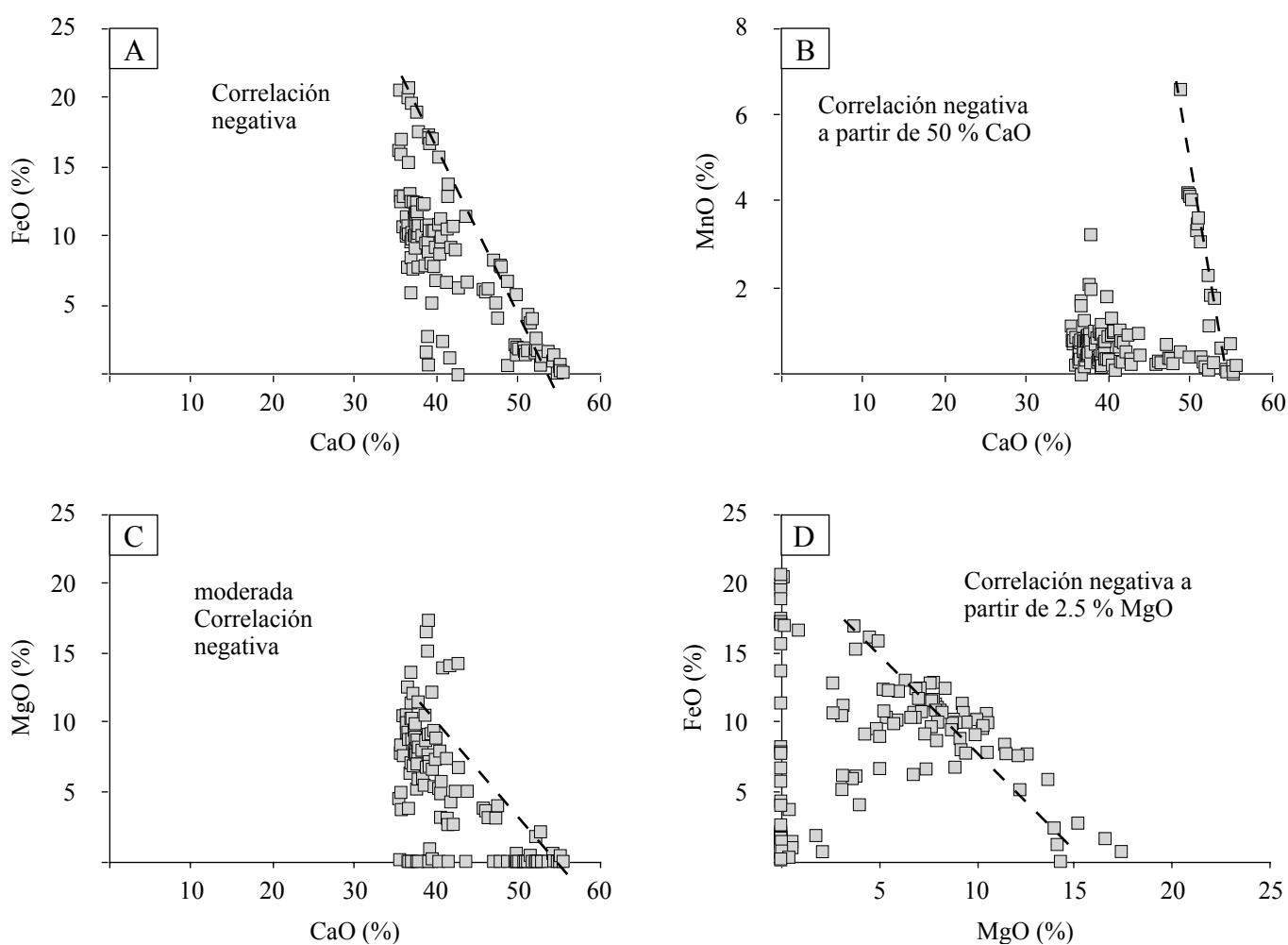


Figura 8,2 Diagramas de correlación, con probables líneas de tendencia. A) FeO vs CaO. B) CaO vs MnO. C) CaO vs MgO. D) MgO vs FeO.

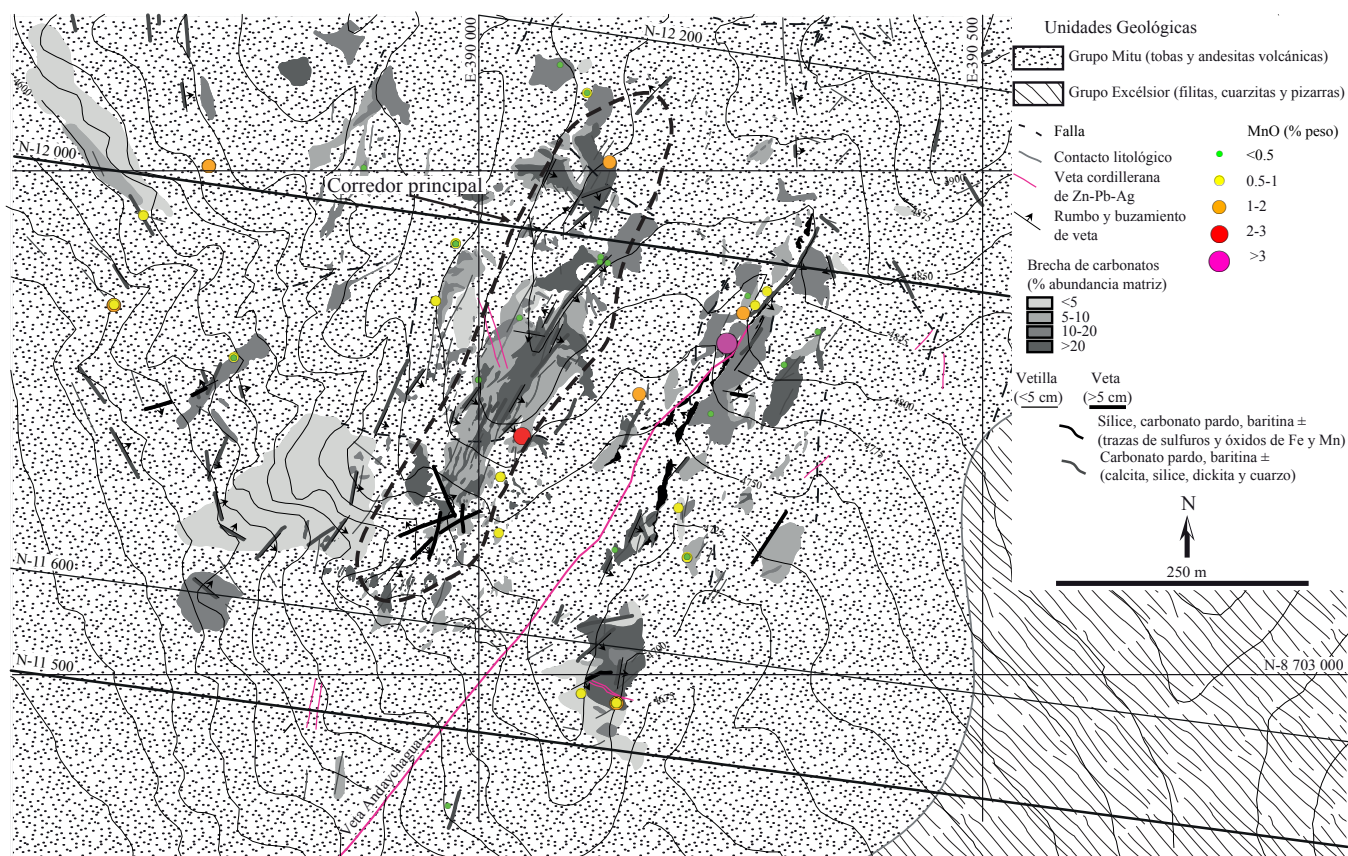


Figura 8.3 Plano geológico mostrando los valores de MnO (%) en calcitas de la Brecha Recuay.

8.2 Serie ankerita-dolomita

2260 microanálisis de fluorescencia de rayos X en muestras de superficie se realizaron en muestras de carbonatos pardos en la Brecha Recuay y San Cristóbal Este (Figura 8,4 A y B). Los valores obtenidos muestran concentraciones variables de CaO desde 23.21 hasta 38.04 %, MgO desde 3.52 hasta 19.65 %, MnO desde 0.0 hasta 24.6 % y FeO desde 0.4 hasta 23.65 % (Tabla 8,2). Cabe resaltar que dos muestras (36945 y la 37197) tienen contenidos de MnO entre 24.6 y 16.2 %, cercanos al contenido de MnO de las Kutnohoritas. Análisis de espectroscopía Raman confirman la presencia de este carbonato. Adicionalmente, valores de NiO son en promedio <0.1 % y llegan hasta 1.38 %.

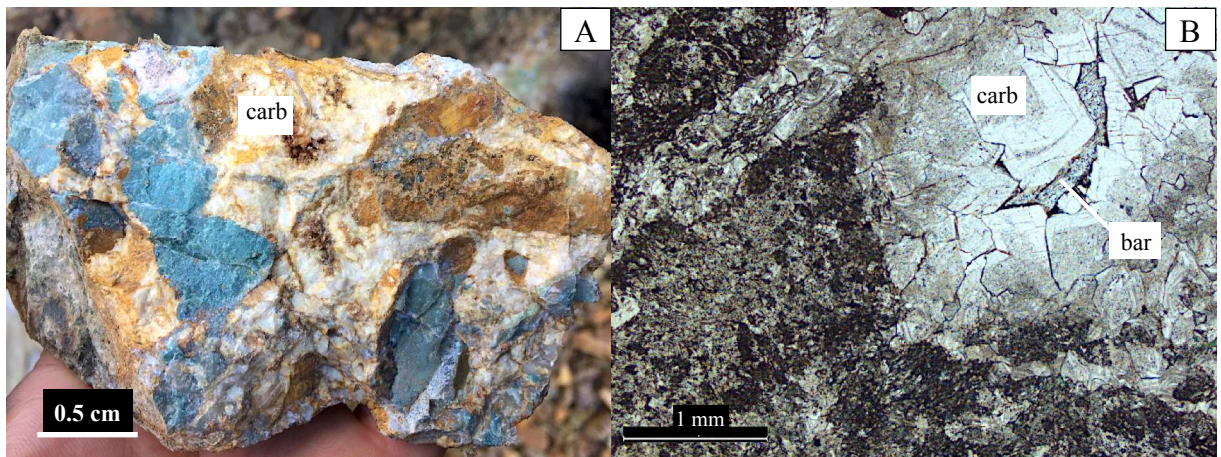


Figura 8,4 A) Muestra de mano en San Cristóbal Este de una brecha matriz soportada con clastos sub-angulosos carbonatizados y una matriz de carbonatos pardos (serie ankerita-dolomita). B) Microfotografía en luz transmitida de la sección delgada en la muestra en A, donde se observa las diferentes bandas que componen al cristal (muestra 39027). Abreviaciones: bar=baritina; carb=carbonato.

Los resultados muestran una correlación negativa entre el FeO y CaO y entre el FeO y MgO (Figura 8,5 A, D), mostrando una posible sustitución entre estos elementos en la estructura cristalina del carbonato. A diferencia de la serie calcita las concentraciones del CaO y MgO muestran una posible correlación positiva (Figura 8,5 C). Por otro lado, existe un posible tren de correlación positiva entre el CaO y MnO, cuando el contenido de MnO es <5%, pasando este valor la correlación se vuelve negativa (Figura 8,5 B). Este tipo de correlación podría indicar la existencia de dos fases minerales, una rica y otra pobre en MnO.

Basados en los resultados, se puede observar que los valores más altos de MnO en los carbonatos tienden a ocurrir en el corredor principal de la Brecha Recuay (valores de MnO en promedio de 2 %) y alrededor de la veta Andaychagua (valores de MnO >5 %) (Figura 8,6). Valores altos de MgO y FeO también tienen una distribución similar.

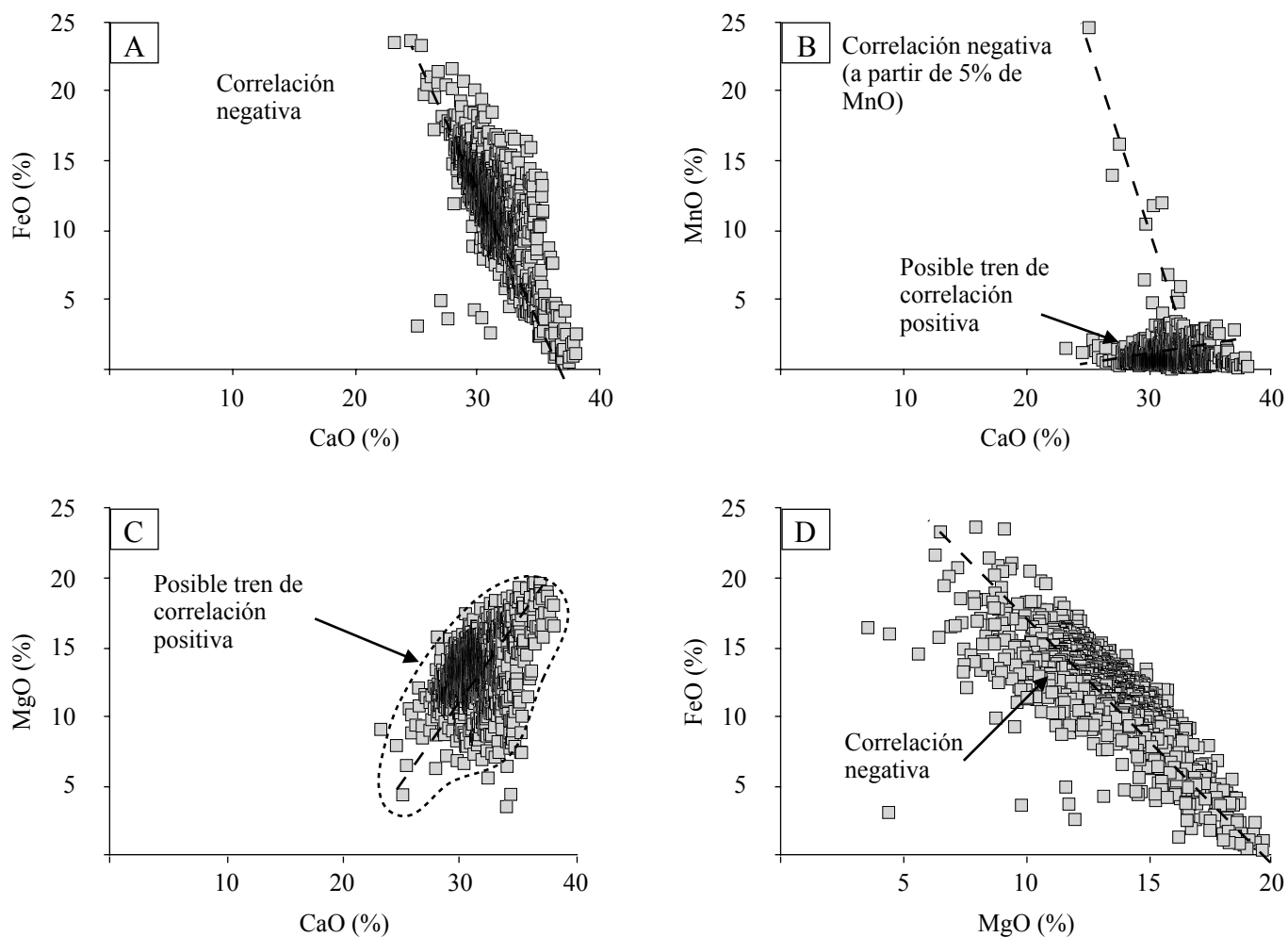


Figura 8,5 Diagramas de correlación A) FeO vs CaO. B) MnO vs CaO. C) MgO vs CaO. D. MgO vs FeO.

Tabla 8,2 Resumen de los microanálisis de fluorescencia de rayos X en la serie ankerita-dolomita. Una tabla completa se muestra en el Anexo C.

Muestras	CaO (%)	MgO (%)	MnO (%)	FeO (%)	ZnO (%)
AND-BR-033A	38.0	16.5	0.2	2.5	0.0
37045	36.4	19.7	0.2	1.1	0.0
36992	32.5	11.7	0.5	12.6	0.0
39038	31.5	8.0	0.5	16.9	0.4
39033	34.3	8.8	0.7	13.5	0.0
SAN-127-17	33.2	13.8	1.0	9.3	0.0
37164	24.5	7.9	1.2	23.7	0.0
39027	31.1	17.0	1.3	7.8	0.2
39006	32.4	5.6	4.8	14.5	0.0
37197	27.6	9.8	16.2	3.6	0.4
36945	25.1	4.4	24.6	3.1	0.1

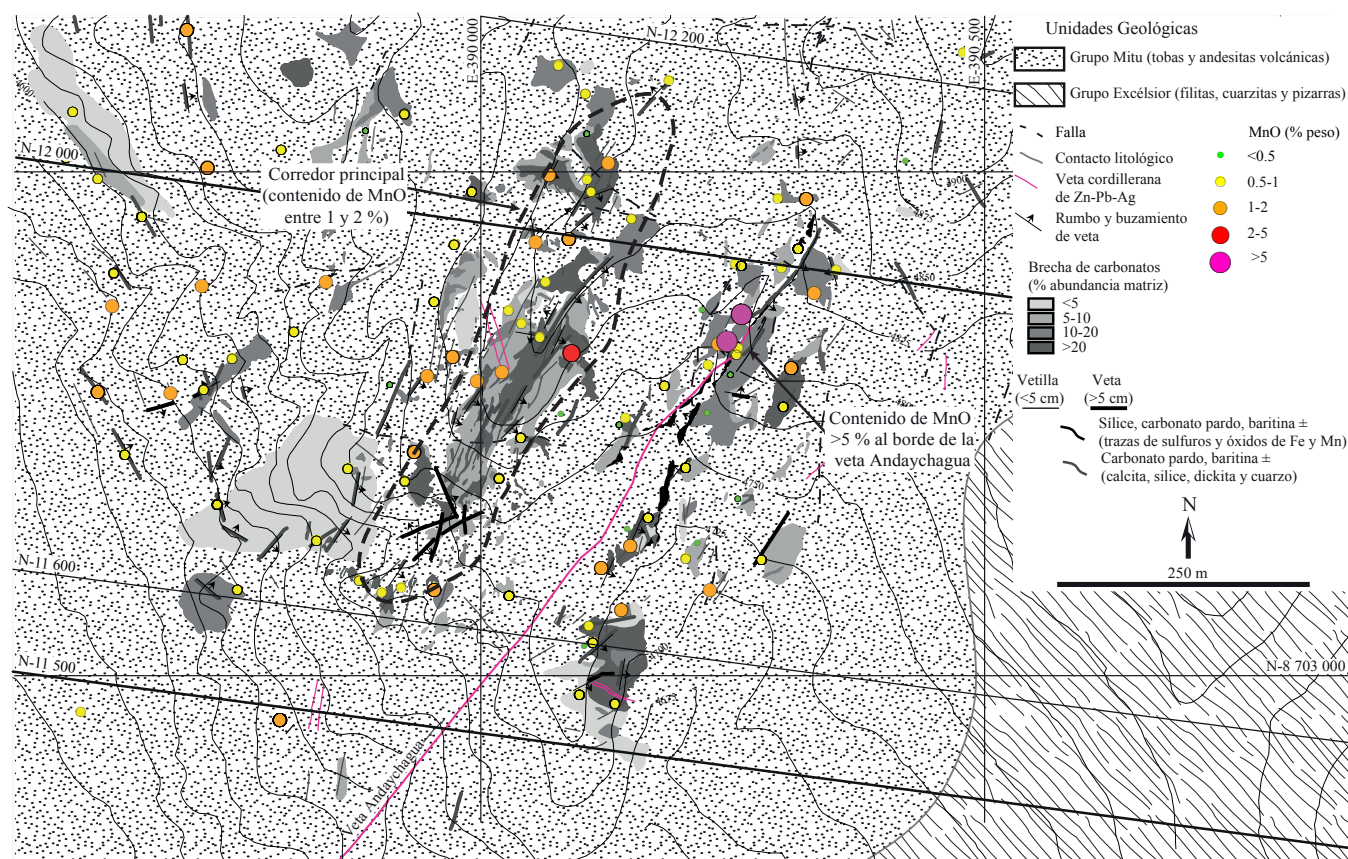


Figura 8,6 Plano geológico mostrando los valores de MnO (%) en carbonatos pardos de la Brecha Recuay.

8.3 Serie manganosiderita-rodocrosita

En carbonato Mn-Fe de la Veta Andaychagua y Veta Prosperidad E y Sur (Figura 8,8 A, B, C, D, E y F). Los análisis muestran concentraciones altas de MnO y FeO (hasta 54.00 y 43.87 % respectivamente), acompañados de valores de hasta 3.90 % de ZnO. Las concentraciones de CaO y MgO son bajas, generalmente <math><0.1\%</math> (algunos hasta 8 %). Estos resultados nos muestran rangos composicionales que van desde manganosideritas hasta rodocrositas (Figura 8,7).

Una correlación negativa entre FeO y MnO es muy clara y define la serie, mostrando un continuo reemplazo entre el Fe y Mn en la estructura de los carbonatos (Figura 8,7 y 8,6 A). ZnO también muestra una correlación negativa con el MnO en las manganosideritas, probablemente debido a una sustitución de Mn por el Zn. (Figura 8,9 B). Por otro lado, el ZnO y FeO muestran una correlación positiva en las manganosideritas (Figura 8,9 C). No se observa ninguna correlación entre MgO y CaO, MgO y FeO o MgO y MnO (Figura 8,9 D).

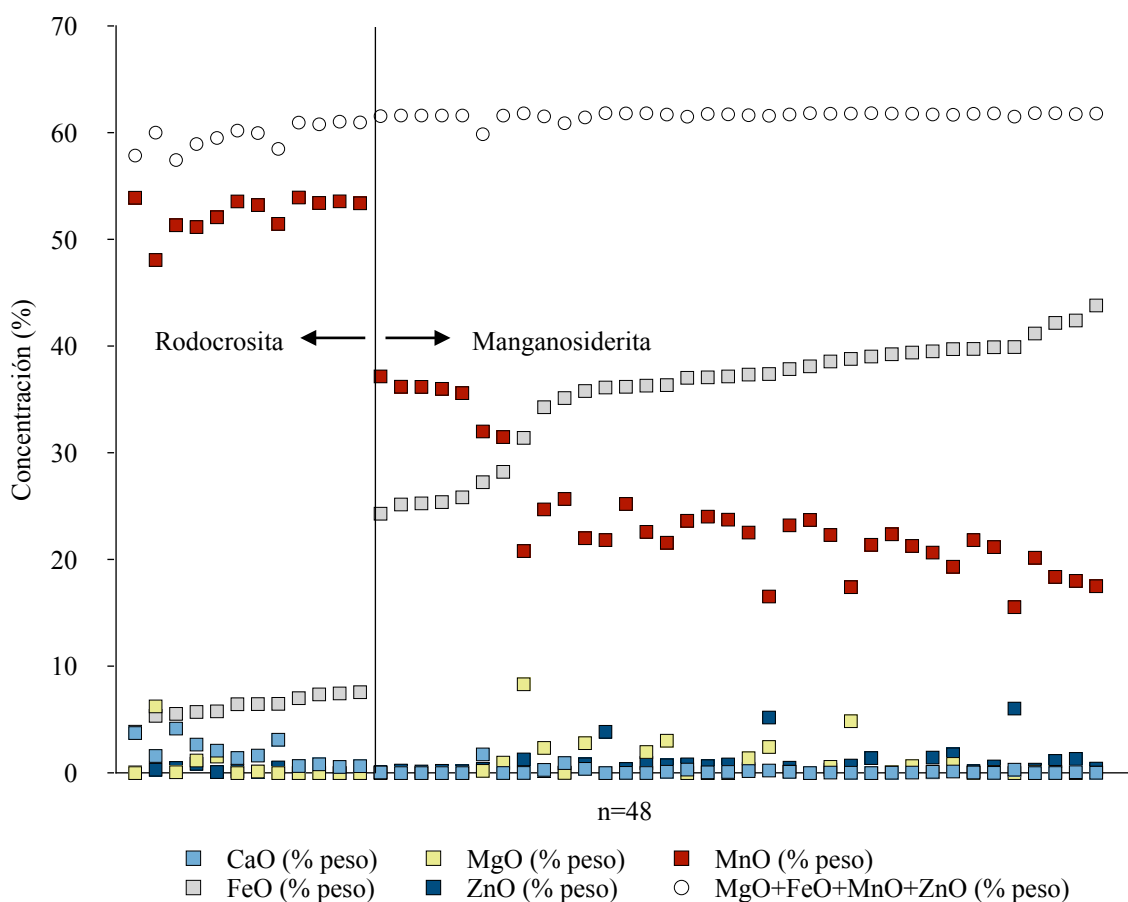


Figura 8,7 Resultados de los microanálisis de fluorescencia de rayos X en 48 muestras de carbonatos de la serie manganosiderita-rodrosita.

En la parte noreste de la veta Andaychagua (desde la línea N-11 000) los valores de MnO y CaO en los carbonatos son los más altos. Estos van desde 48.14 hasta 53.98 % MnO y desde 1.41 hasta 4.17 % CaO (Figura 8,10). Por el contrario, los valores de FeO y ZnO son bajos (<6.49 % y <0.80 % respectivamente). En la parte suroeste de la veta Andaychagua y en las vetas Prosperidad E y Sur (entre las líneas N-11 000 y N-9 500) los valores de MnO y CaO son menores, entre 17.44 y 32.05 % MnO y <1.75 % CaO. Valores FeO y ZnO son los más altos y oscilan entre 27.29 y 43.87 % y entre 0.37 y 3.90 % respectivamente (Figura 8,11 y 8,12). Cabe resaltar que la distribución del MgO es muy irregular, con valores de hasta 8.33 %.

Estos resultados revelan que las rodocrositas se presentan en mayor medida en la parte noreste de la Veta Andaychagua y las manganosideritas, en la parte suroeste y en las Vetas Prosperidad E y Sur (Figura 8,13). Adicionalmente, en la parte noreste de la Veta San Cristóbal son observadas también manganosideritas.

Estudios realizados en la Veta San Cristóbal por Kobe (1990) muestran rodocrositas impuras con tendencia hacia sideritas. Los estudios de Pastor (1970) revelan valores de hasta 35.9 % Fe, 1.44 % Mn, 3.5% Zn, 1.82 % CaO y 1.7 % MgO, correspondientes a sideritas impuras cercanas a la estequiometría. Por su parte Bartlett (1984) reporta valores entre 29.23 % y 55.06 % de FeO, entre 2.91 % y 27.38 % MnO, hasta 4.76 % MgO y hasta 2.01 % CaO, valores correspondientes a manganosideritas.

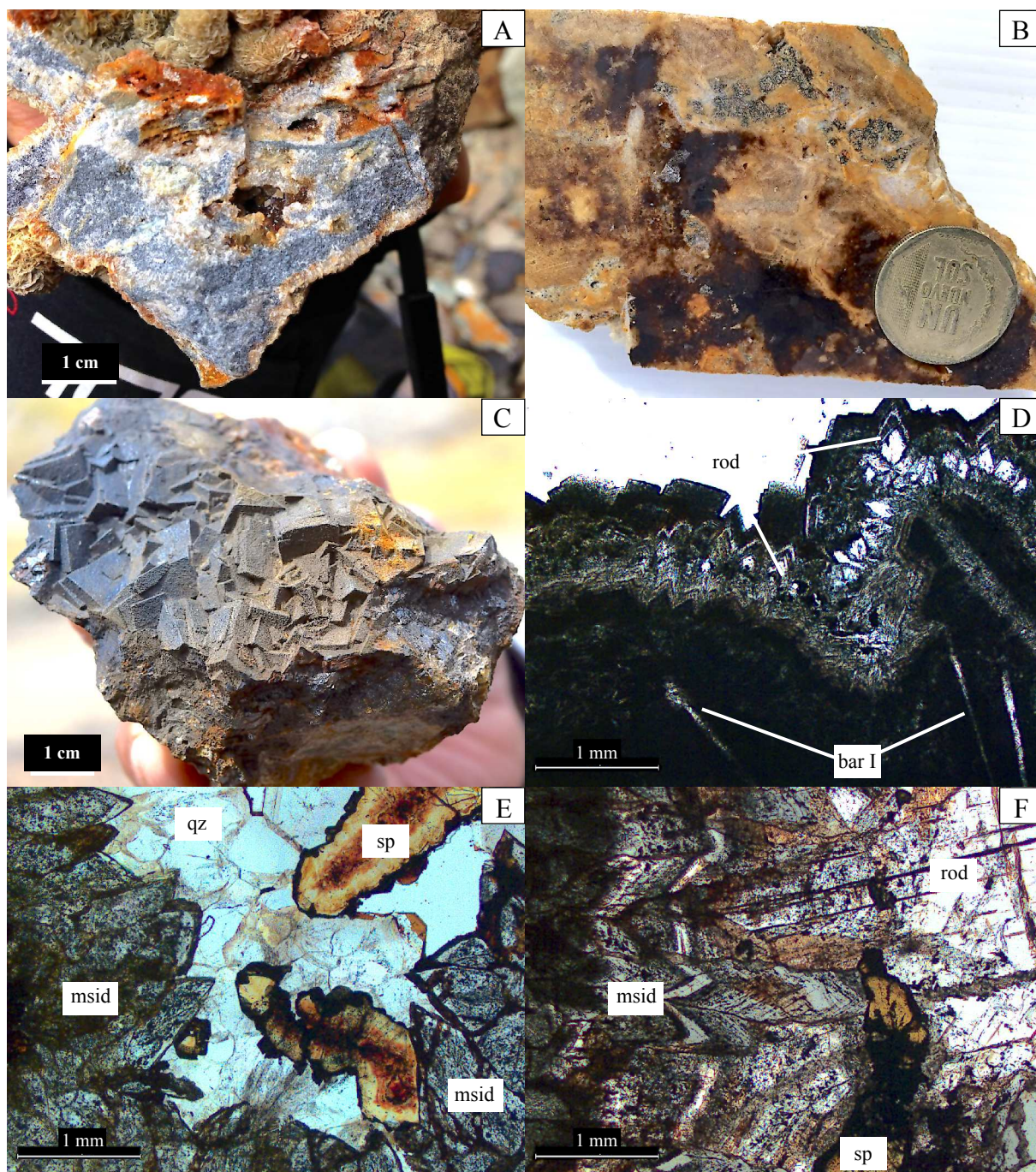


Figura 8,8 A) Muestra de mano de manganosiderita, con hábito “saddle” e inclusiones de cristales euhedrales de esfalerita rojiza. B) Muestra de sondaje con manganosiderita e inclusiones de esfalerita en la veta Prosperidad E (muestra PR 12 SUP 17). C) Muestra de superficie en la veta Andaychagua con rodocrosita de hábito romboédrico alterándose a óxidos de manganeso. D) Microfotografía de una muestra de rodocrosita con hábitos tipo “saddle”, conformada internamente por bandas de colores claros y oscuros (observar al centro baritina I) (muestra 36945) L.T. E) Cristales de manganosiderita, con cuarzo y esfalerita L.T. (muestra 36938). F) Microfotografía de cristales tipo “saddle” (con diferentes bandas) de manganosiderita y cristales romboédricos de rodocrosita, ambos cortando esfalerita (muestra 36993) L.T. Abreviaciones: L.T.=luz transmitida; bar=baritina; msid=manganosiderita; rod=rodocrosita; sp=esfalerita.

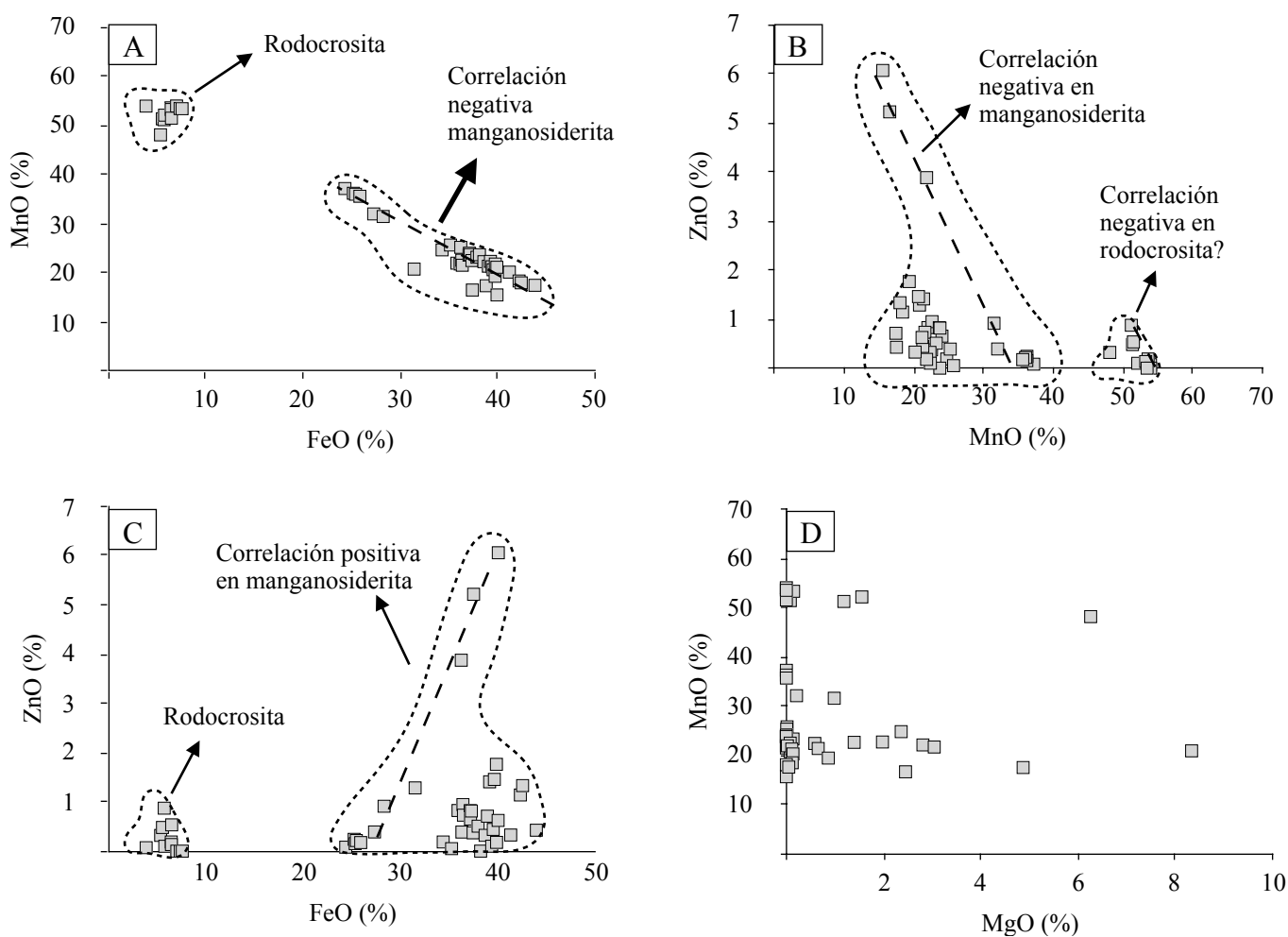


Figura 8,9 Diagrama de correlación. A) FeO vs MnO. B) ZnO vs MnO. C) ZnO vs FeO. D) MgO vs MnO.

Tabla 8,3 Resumen de los microanálisis de fluorescencia de rayos X en la serie manganosiderita-rodocrosita. Una tabla completa se muestra en el Anexo D.

Muestras	Mineral	CaO (%)	MgO (%)	MnO (%)	FeO (%)	ZnO (%)
36938	manganosiderita	0.0	0.0	21.9	36.2	3.9
36940	manganosiderita	0.1	0.1	20.7	39.6	1.5
36945	rodocrosita	1.6	0.1	53.3	6.5	0.1
36964	rodocrosita	2.7	1.2	51.2	5.7	0.9
36972	rodocrosita	3.8	0.0	54.0	3.9	0.1
36993	manganosiderita	0.3	0.0	23.7	37.1	0.8
PR 12 SUP 17 (03)	manganosiderita	0.4	2.8	22.0	35.8	0.8
PR 12 SUP 17 (05)	manganosiderita	0.0	4.9	17.4	38.9	0.7

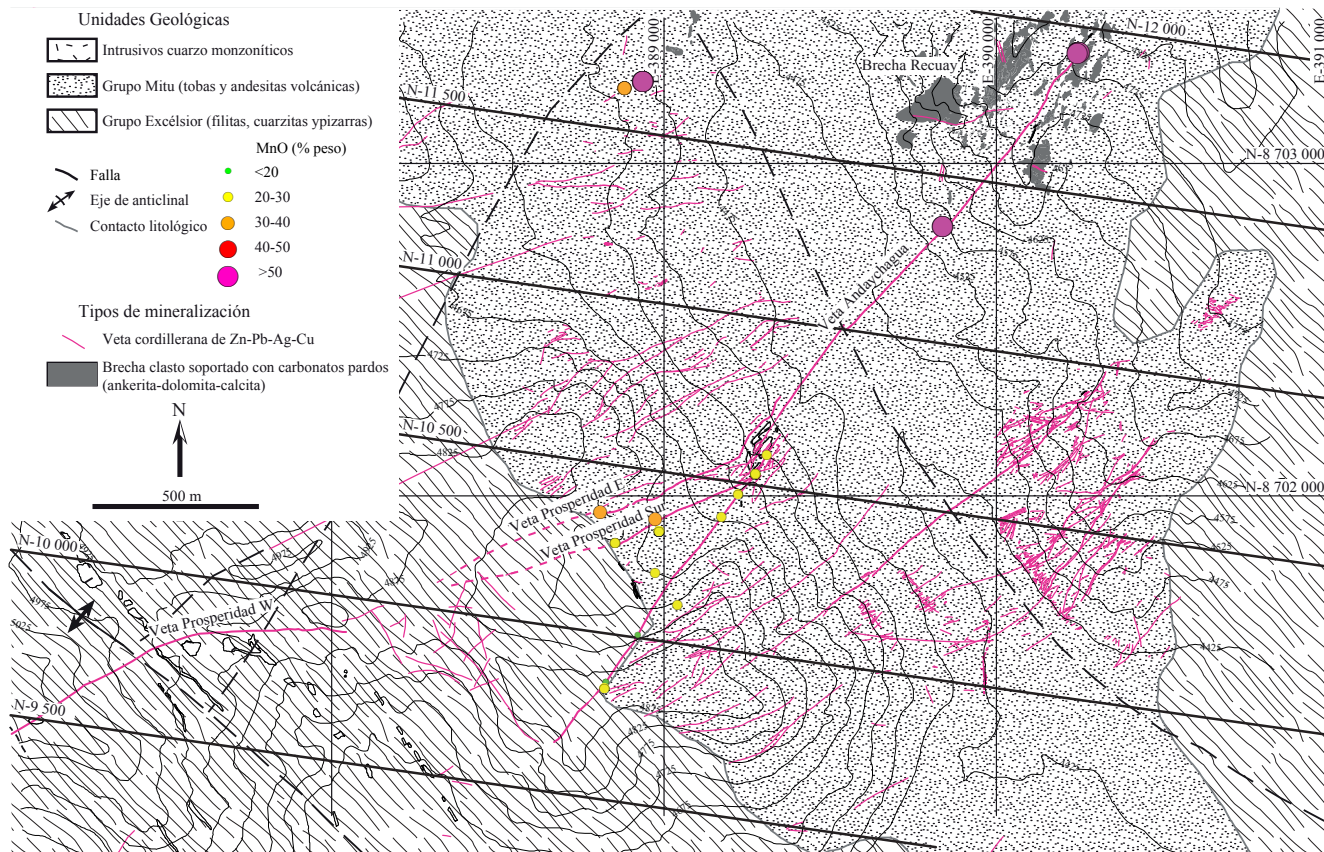


Figura 8,10 Plano mostrando los valores de MnO (%) en carbonatos.

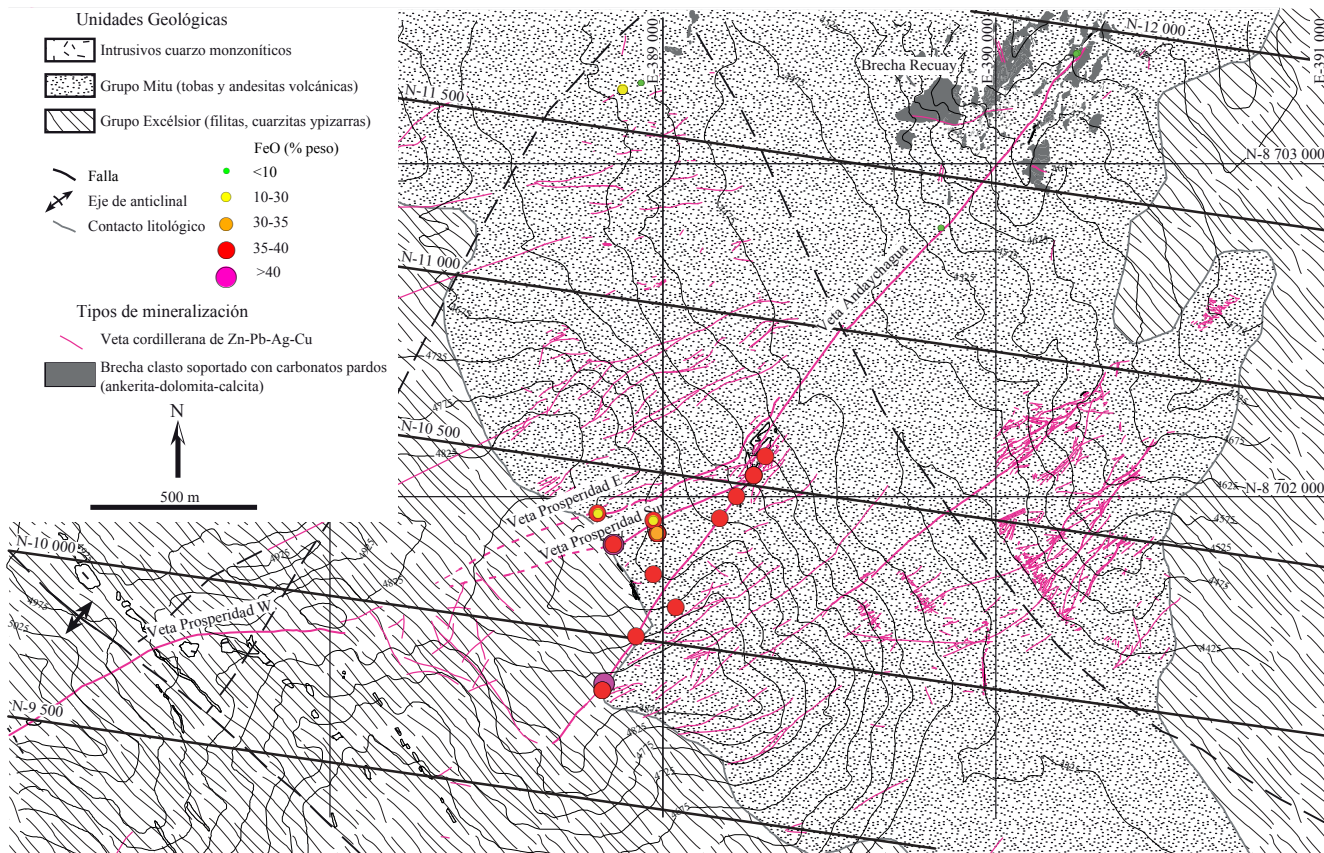


Figura 8,11 Plano mostrando los valores de FeO (%) en carbonatos.

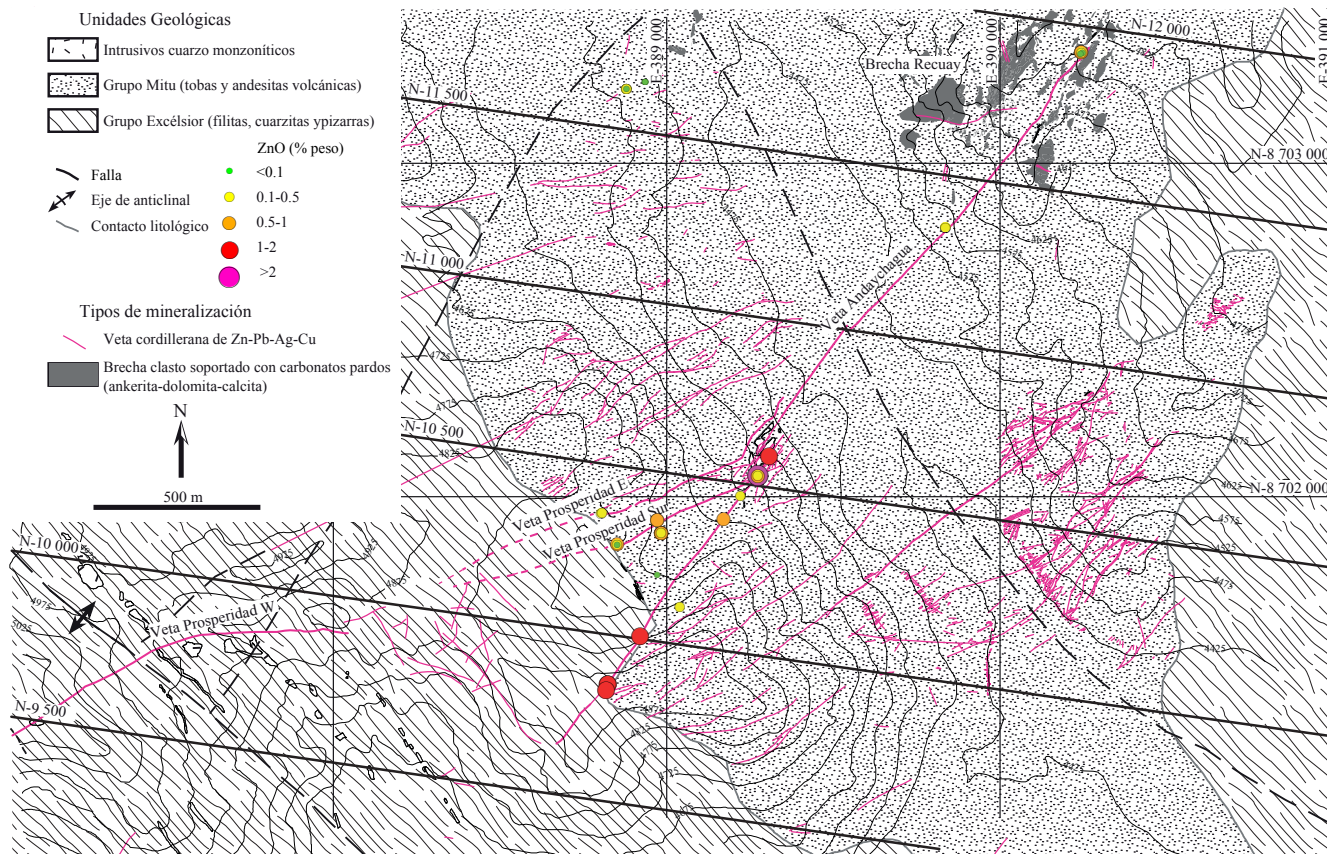


Figura 8,12 Plano mostrando los valores de ZnO (%) en carbonatos.

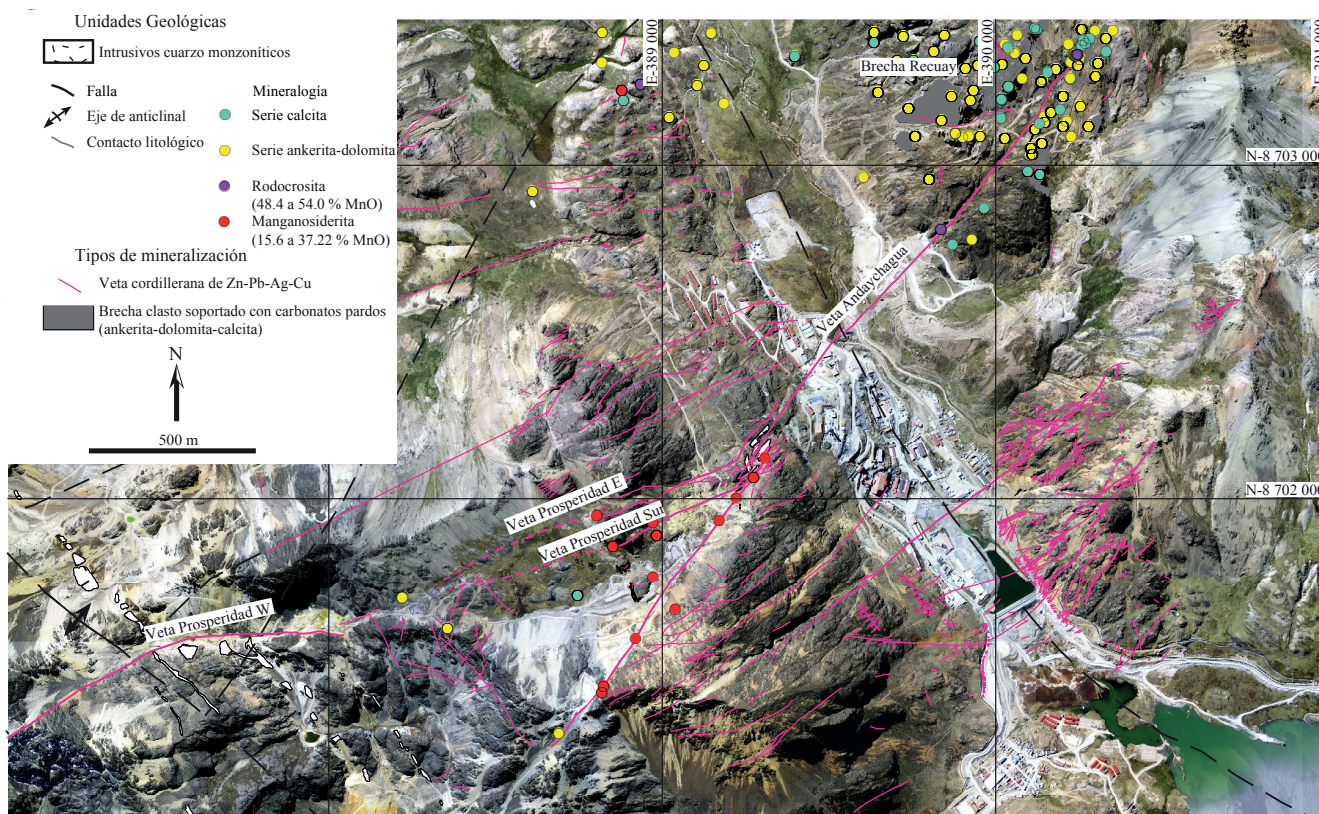


Figura 8,13 Imagen satelital, mostrando la mineralogía de las series de carbonatos.

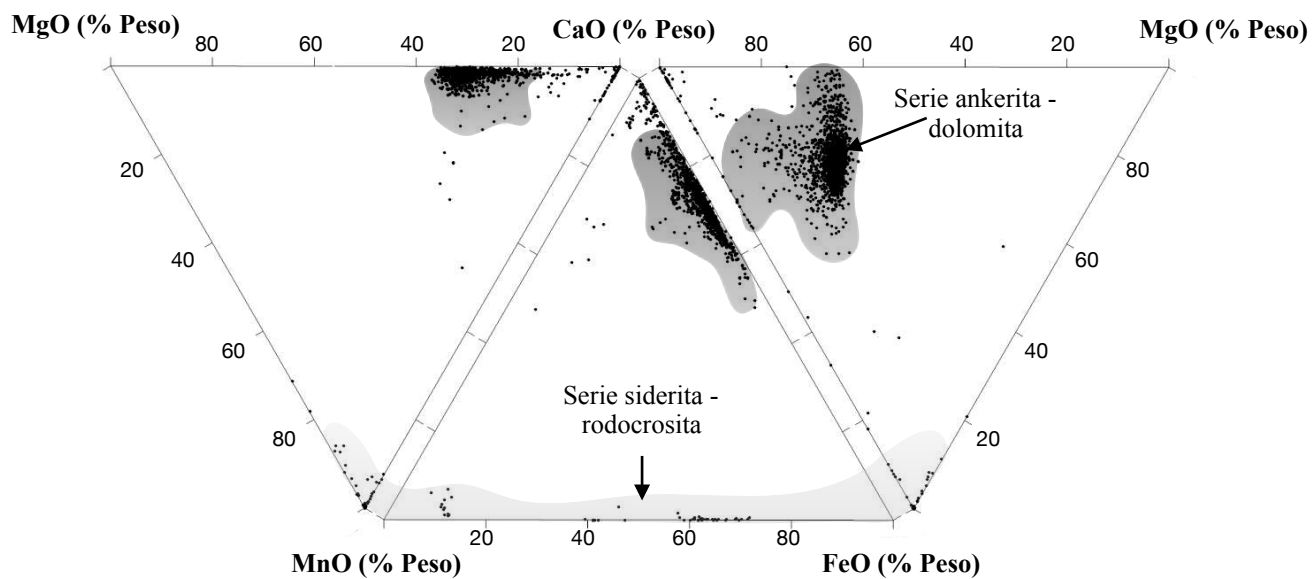


Figura 8,14 Microanálisis de fluorescencia de rayos X (n=2452) de carbonatos en la Brecha Recuay, San Cristóbal Este, Veta Andaychagua y Veta Prosperidad E y Sur, proyectados en el tetraedro MgO-CaO-MnO-FeO.

CAPÍTULO IX

SECUENCIA PARAGENÉTICA

Las relaciones de corte y el estudio de más de 59 secciones delgadas sugieren 3 etapas principales en la paragénesis. (1) Etapa cuarzo-pirita-wolframita, es la más temprana y es caracterizado por cristales de wolframita y pirita suspendidos en masas de cuarzo lechoso. Esta etapa incluye además specularita, calcopirita, muscovita, illita, scheelita, emplectita y calcedonia. (2) Etapa de metales base, es la más económica y está conformada por esfalerita (marrón oscuro a marrón claro), calcopirita, galena, cuarzo, arsenopirita, pirrotita, cobres grises, sulfuros y sulfosales Ag, bornita e illita. No hay evidencia de un lapso de tiempo entre la primera y la segunda etapa. Pequeñas inclusiones de calcopirita sobre wolframita y pirita podrían indicar una transición gradacional. (3) Etapa de carbonatos. Esta etapa se sobreimpone a las anteriores y es dividida en 2 sub-etapas: a) manganosiderita-rodocrosita, que además son acompañadas de grandes cantidades de baritina, cuarzo y arsenopirita y en menor medida esfalerita II (rojiza), pirita, galena, platas rojas, calcopirita, marcasita, estibina e illita; b) ankerita-dolomita, en diferentes

asociaciones con jasperoides, baritina, calcedonia, cuarzo, calcita, dickita y trazas de especlarita, pirita y clorita.

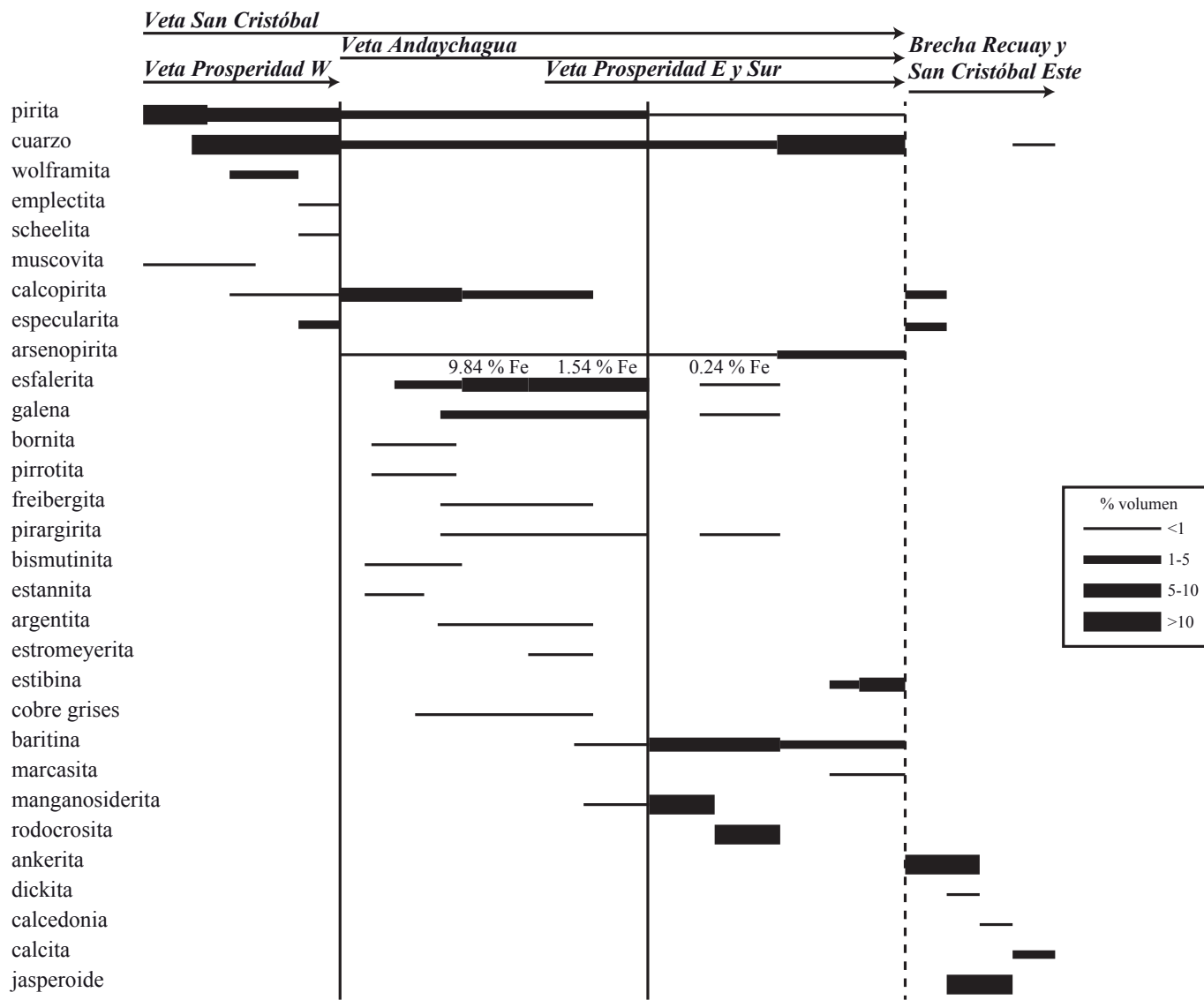


Figura 9,1 Paragénesis mineral. Modificado de Pastor (1970), Kobe (1990) y Beuchat (2003).

CAPÍTULO X

INCLUSIONES FLUIDAS

10.1 Métodos Analíticos

25 muestras de los diferentes ensambles minerales fueron seleccionadas para el estudio de inclusiones fluidas. 23 muestras fueron obtenidas de superficie y 2 de sondajes. Los ensambles de inclusiones fluidas (Goldstein & Reynolds, 1994) fueron analizadas a partir de secciones delgadas doblemente pulidas de 120 μm de espesor preparadas por WAGNER PETROGRAPHIC LLC. Un total de 104 inclusiones fluidas fueron estudiadas con luz transmitida usando un microscopio Leica DM2700 P. Estas inclusiones se encuentran en cuarzo, esfalerita, baritina, carbonato Fe-Mn, y calcita.

Experimentos de microtermometría y criometría fueron realizados en el laboratorio de mineralogía de Volcan Compañía Minera S.A.A. usando una plataforma de calentamiento y enfriamiento Linkam THMSG600 montado a una cá-

mara QIMAGING FAST1394, controlado por el software Lynksys32.

10.2 Petrografía de Inclusiones Fluidas

Inclusiones fluidas analizadas van desde bifásicas a trifásicas y todas homogenizan a la fase líquida. Los tipos de inclusiones han sido clasificadas siguiendo el criterio Roedder (1984) y las salinidades calculadas mediante la ecuación de Bodnar (1993). Los resultados son mostrados en el Anexo E y plotados en las Figuras 10,3, 10,7 y 10,11.

10.2.1 Etapa cuarzo-pirita-wolframita

Cristales de cuarzo analizados fueron muestreados en diferentes partes de la veta San Cristóbal y Prosperidad W. El cuarzo es lechoso, sus cristales son pequeños (<1.2 mm) y subhedrales, con texturas principalmente tipo “comb” y granulares (Figura 10,1 A y B). En menor medida muestran texturas plumosas (“feathery”). Comúnmente contienen cristales suspendidos de wolframita y pirita. 5 tipos de inclusiones han sido reconocidas.

Inclusiones tipo L_0 son las más abundantes. Son primarias, ya que se forman a lo largo de las zonas de crecimiento de los cristales (Figura 10,1 A y B). También podrían ser consideradas como pseudoprimarias, ya que están relacionadas en parte a texturas plumosas (“feathery”). Estas son muy pequeñas (<5 μm) y de formas alargadas y alineadas. Tienen variables cantidades de cocientes líquido/vapor debido

a que sufrieron procesos de “necking down”. También se muestran como una serie de líneas punteadas negras, interpretadas como inclusiones decrepitadas (Figura 10,1 C). Estas inclusiones fueron evitadas para el estudio.

Inclusiones tipo L_s son numerosas. Ellas son bifásicas y claramente secundarias, ya que forman “trails” que cortan los bordes de los cristales. Estos “trails” son sinuosos y sub-paralelos a la dirección de las vetas, sugiriendo repetido fracturamiento y sellamiento (Figura 10,1 B). Debido a su tamaño ($< 5 \mu\text{m}$) no fueron analizados.

Inclusiones tipo L_1 son bifásicas y ricas en líquido. Tienen formas irregulares que oscilan entre 10 y 45 μm en tamaño. Las burbujas de vapor ocupan entre el 20 y 30 % de la inclusión. Generalmente se encuentran aisladas y en menor medida formando pequeños grupos en los bordes de los cristales. Éstas han sido tentativamente interpretadas como primarias. Algunas inclusiones tienen fases minerales, identificados como dickita por espectroscopia Raman (Figura 10,4). La microtermometría muestra temperaturas de homogenización que oscilan entre 194.5 y 302.7 °C, con más del 60 % de inclusiones fluidas entre 200 y 260 °C (Figura 10,5). Los valores de salinidad van desde 1.74 hasta 4.96 wt % NaCl equiv.

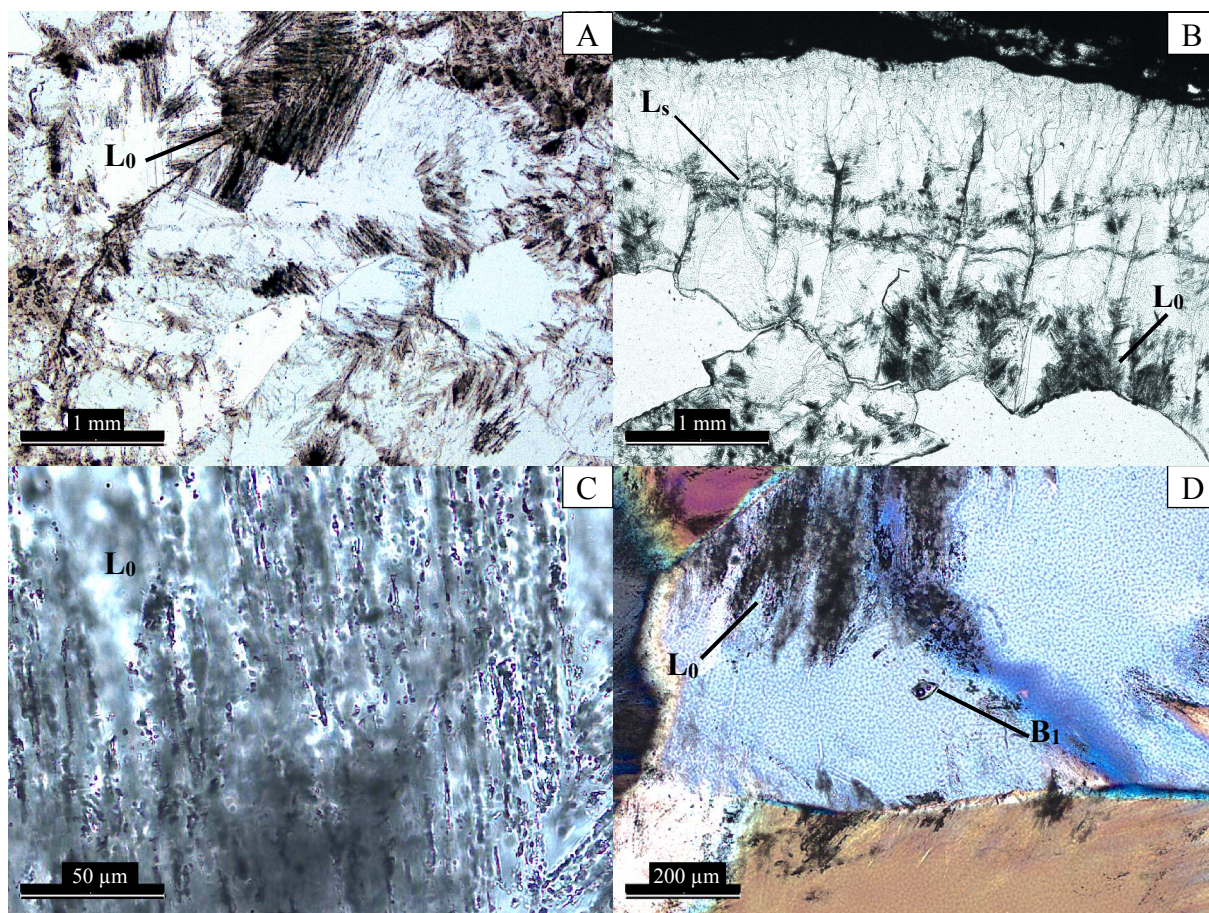


Figura 10,1 Microfotografías de cristales de cuarzo usados en el estudio de inclusiones fluidas. A) Abundantes inclusiones fluidas tipo L_0 . L.T. B) Inclusiones fluidas secundarias tipo L_s paralelas a la dirección de la veta. También se muestra inclusiones tipo L_0 . L.T. C) Detalle del conjunto de inclusiones tipo L_0 . L.T. Estas presentan formas alargadas y alineadas. Se puede observar también procesos de “necking down” y decrepitación. D) Inclusión fluida trifásica tipo B_1 . L.T.n.c. Todas las fotos son de la muestra 39041. Abreviaciones: L.T.=luz transmitida; n.c.=nícoles cruzados.

Inclusiones tipo B_1 son menos comunes. Ellas son trifásicas y tienen formas irregulares con tamaños entre 30 y 60 μm . Burbujas de vapor típicamente ocupan entre 15 y 30 % de la inclusión fluida. Contienen sólidos de sal, que ocasionalmente puede ser distinguidos como halita (Figura 10,2 A y B). Las inclusiones ocurren en posiciones similares a los del tipo L_1 y son posiblemente también primarias en origen. Éstas tienen temperaturas de homogenización que van desde 197.4 hasta 306.0 $^{\circ}\text{C}$, con cerca del 70 % entre 240 y 300 $^{\circ}\text{C}$ (Figura 10,5). La salinidad total no

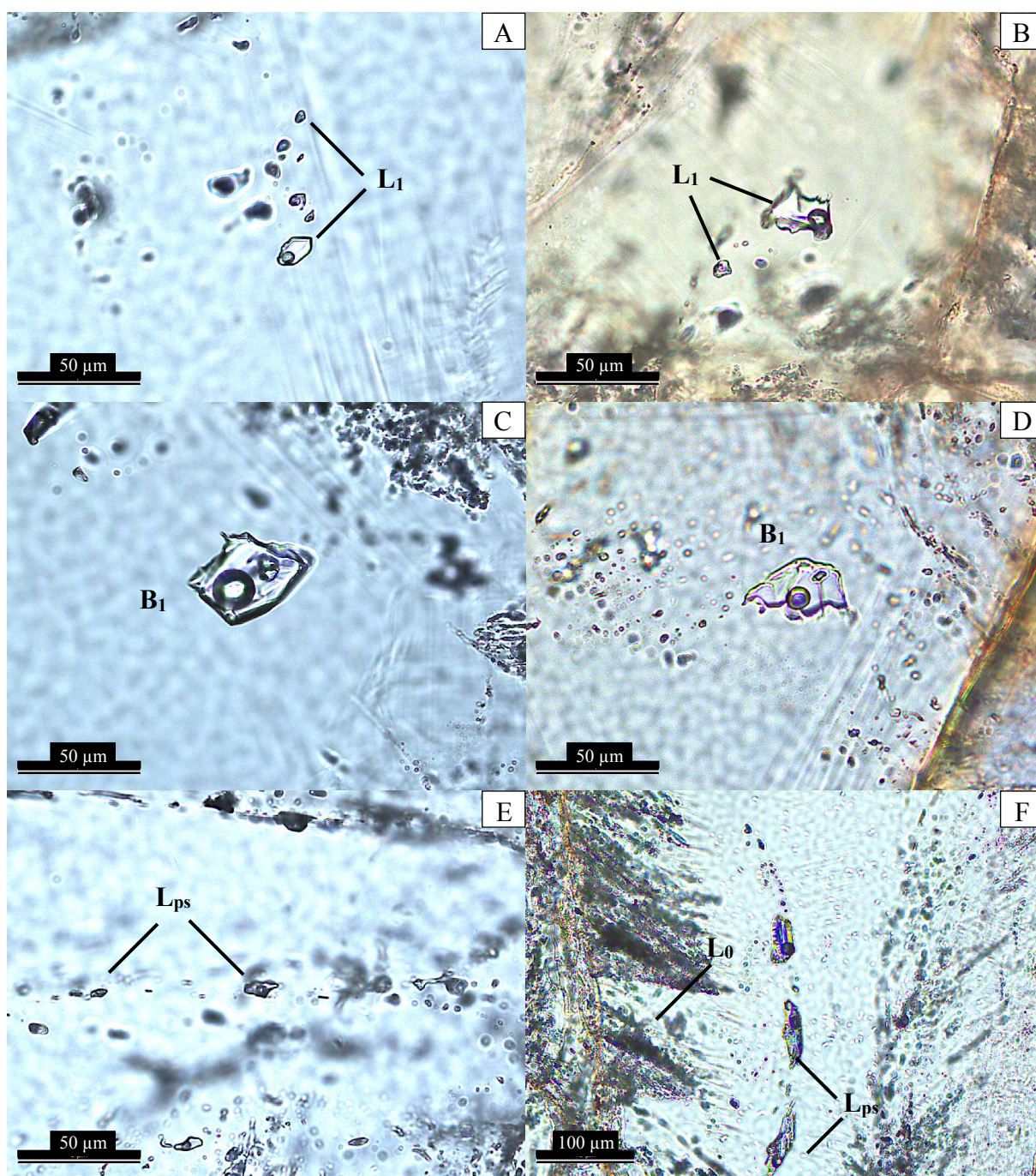


Figura 10,2 Tipos de inclusiones fluidas en cuarzo lechoso. A) IF tipo L_1 en la veta San Cristóbal (muestra 39041). B) IF tipo L_1 en la veta Prosperidad W (muestra 36997). C) IF salina B_1 en la veta San Cristóbal (muestra 39041). D) IF salina B_1 en la veta Prosperidad W (muestra 36997). E) IF pseudosecundaria (L_{ps}) en la veta San Cristóbal (muestra 39058). F) IF pseudosecundaria (L_{ps}) y L_0 en la veta Prosperidad W (muestra 36997). Abreviaciones: IF=inclusión fluida.

pudo ser medida en ninguna inclusión fluida, debido a su decrepitación antes de lograr la disolución total de la halita. Salinidades calculadas con la ecuación de

Sterner (1988) representan valores mínimos y van desde 42.51 hasta 43.46 % NaCl equiv.

Inclusiones tipo L_{ps} son pseudosecundarias. Consisten de “trails” de inclusiones fluidas bifásicas que crecen desde el centro hacia el exterior de los cristales. Tienen formas irregulares y tamaños que varían desde 10 a 60 μm . Muestran contenidos de burbujas de vapor entre 10 y 25 % en volumen (Figura 10,2 E y F). La microtermometría indica temperaturas de homogenización que varían de 180.3 a 233.0 $^{\circ}\text{C}$ y salinidades entre 2.07 y 6.45 wt % NaCl equiv.

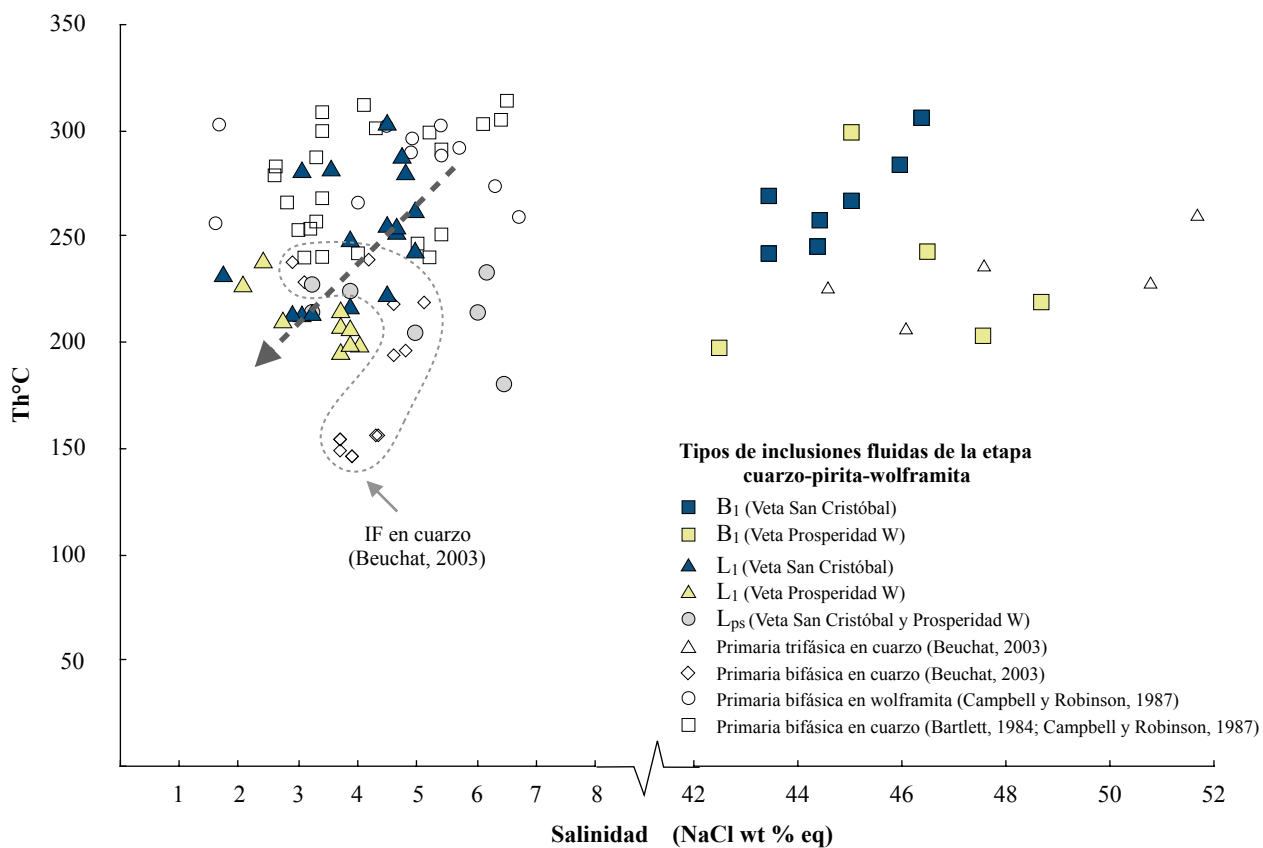


Figura 10,3 Diagrama de salinidad (NaCl wt % eq) vs. Temperatura de homogenización (Th) de inclusiones fluidas en cuarzo lechoso de la etapa cuarzo-pirita-wolframita. Adicionalmente se muestra resultados de estudios previos en inclusiones fluidas de esta etapa.

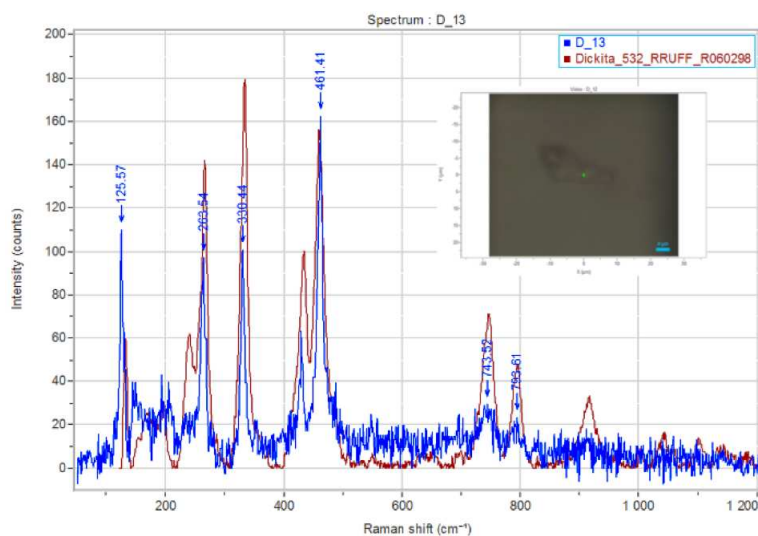


Figura 10,4 Análisis de espectroscopía Raman que muestra dickita entrampado en las inclusiones fluidas tipo L₁.

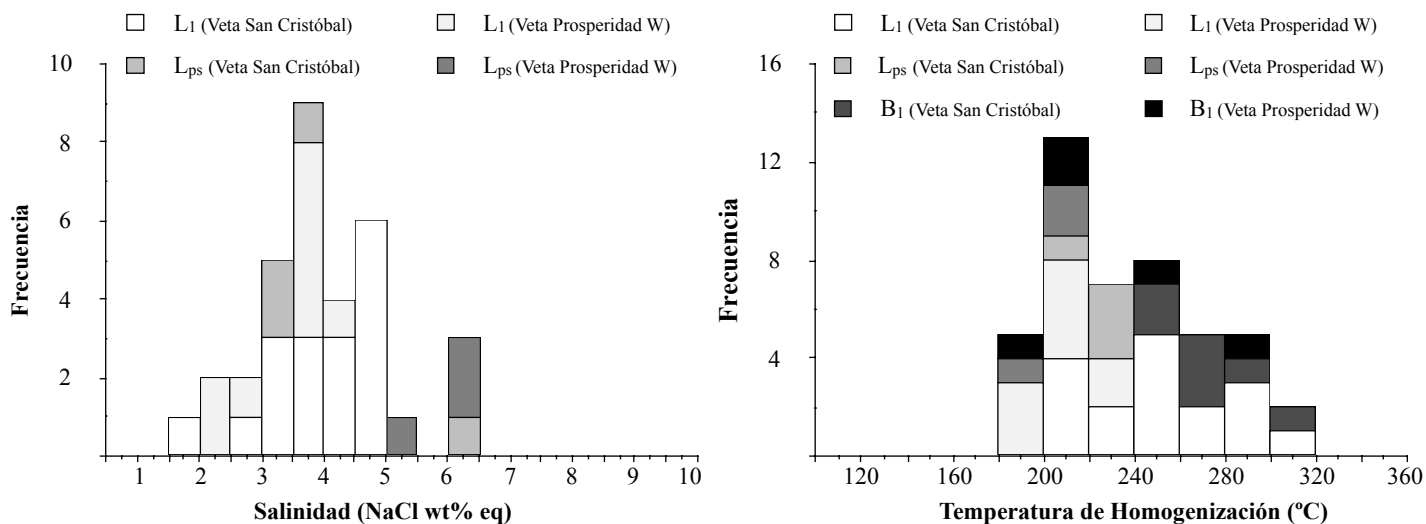


Figura 10,5 Histograma mostrando la distribución de las inclusiones fluidas en cuarzo de la etapa cuarzo-pirita-wolframita, de acuerdo a su origen (primaria o pseudosecundaria) y las fases que exhibe (bifásica o trifásica) vs. salinidad (wt % NaCl equivalente) y temperatura de homogenización (Th).

10.2.2 Etapa de metales base

Las muestras fueron seleccionadas en diferentes partes de la Veta Andaychagua y de las Vetas Prosperidad E y Sur. Se estudiaron inclusiones fluidas bifásicas ricas en

líquido (L_2), las cuales se encuentran en cristales de esfalerita I y cuarzo. Todas las inclusiones homogenizan a la fase líquida.

La esfalerita I tiene cristales que presentan hasta 3 zonas (Figura 10,6 A): (1) Un núcleo de coloración pardo oscuro con contenidos de 1.51 % Fe, (2) una zona intermedia de coloración amarillenta con 0.28 a 0.59 % Fe y (3) una zona externa pardo oscura con contenidos de Fe entre 1.01 y 1.36 %. Dos tipos principales de inclusiones fluidas han sido reconocidas (L_{2-sp1} y L_{2-sp2}).

Inclusiones fluidas L_{2-sp1} son las más abundantes, son bifásicas y tienen formas regulares y elongadas. Estas son primarias, ya que están a lo largo de las zonas de crecimiento del cristal (Figura 10,6 C). Las inclusiones varían en tamaños entre 10 y 25 μm y tienen burbujas de vapor que representan entre el 10 y 20 % de la inclusión fluida. La microtermometría revela temperaturas de homogenización que oscilan entre 193.5 y 268.0 °C. Los valores de salinidad van desde 4.03 hasta 5.41 wt % NaCl equiv.

Inclusiones fluidas L_{2-sp2} presentan formas negativas a irregulares y comúnmente exhiben estrías (Figura 10,6 C). Éstas están presentes en grupos, principalmente en la zona externa de los cristales. Sus tamaños van desde 30 a 60 μm y la fase vapor ocupa entre el 10 y 20 % en volumen. Las inclusiones fluidas negativas pueden usarse como criterio de inclusiones fluidas primarias, aunque tam-

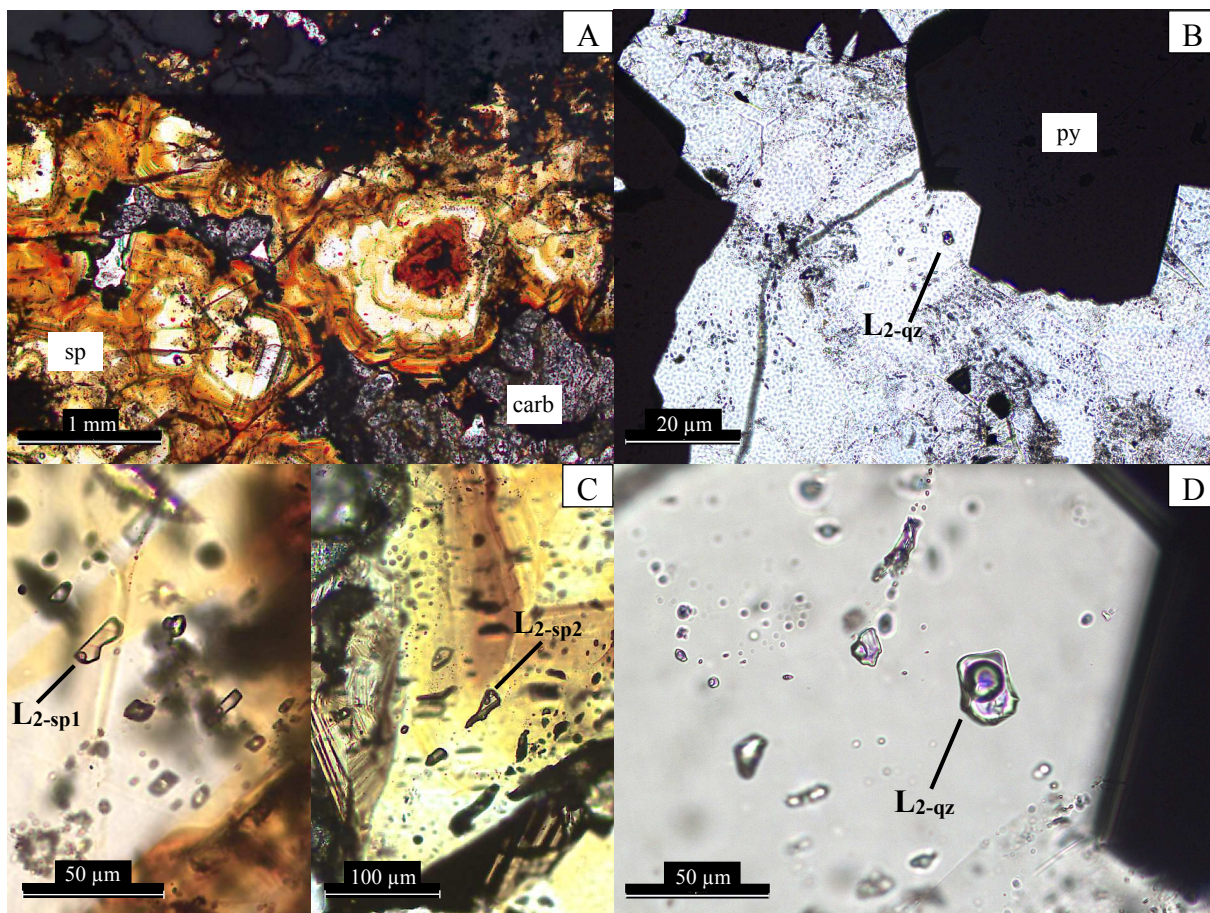


Figura 10,6 Tipos de inclusiones fluidas en esfalerita I y cuarzo de la etapa de metales base en las vetas Andaychagua y Prosperidad E y Sur. A) Cristales euhedrales de esfalerita en la veta Andaychagua (muestra 36938) L.T. B) Granos de cuarzo y pirita. El cuarzo contiene IF en sombras de presión (L_{2-qz}) (muestra 39017 de la veta Prosperidad E) L.T. C) Izquierda. IF tipo L_{2-sp1} en esfalerita, siguiendo zonas de crecimiento (muestra 36938 de la veta Andaychagua). Derecha. Grupo de IF tipo L_{2-sp2} en esfalerita, mostrando formas negativas. También se observa inclusiones secundarias (muestra 36985 de la veta Andaychagua) L.T. D) Grupo de IF tipo L_{2-qz} en cuarzo sobre sombras de presión de pirita (muestra 39017 de la veta Prosperidad) L.T. E) L.T. Abreviaciones: L.T.=luz transmitida; n.c.=nícoles cruzados; IF=inclusión fluida; cab=carbonato Mn-Fe; py=pirita; qz=cuarzo; sp=esfalerita.

bién se reportan inclusiones secundarias y/o re-equilibradas con las mismas características (Bonev & Kouzmanov, 2002). Las temperaturas de homogenización cubren un rango entre 163.1 y 235.7 °C y salinidades desde 2.41 hasta 5.26 wt % NaCl equiv.

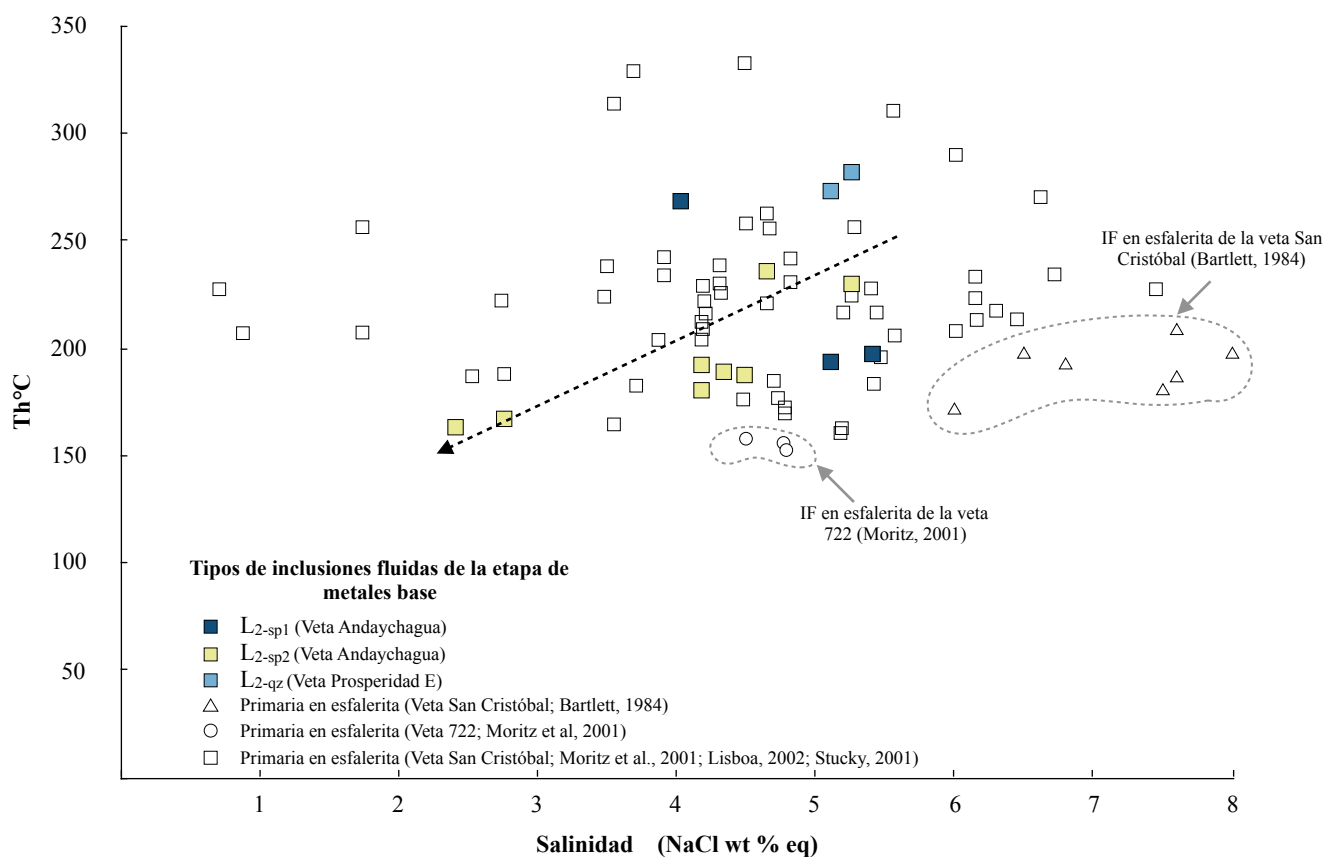


Figura 10,7 Diagrama de salinidad (NaCl wt % eq) vs. Temperatura de homogenización (Th) de inclusiones fluidas en esfalerita I y cuarzo de la etapa de metales base. Adicionalmente se muestra resultados de estudios previos en inclusiones fluidas de esta etapa.

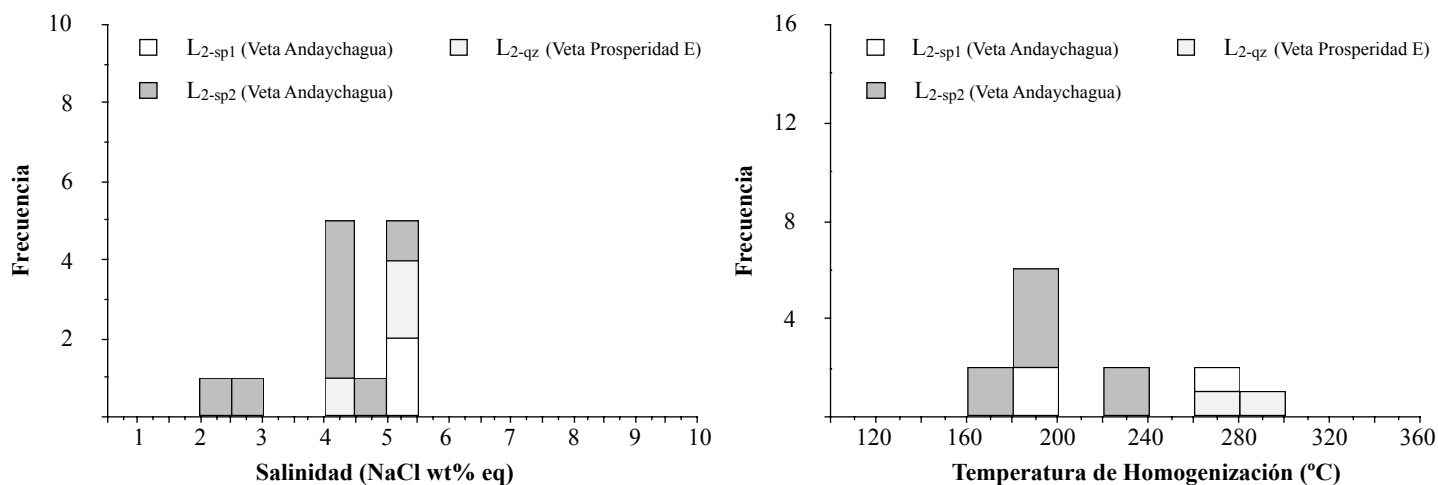


Figura 10,8 Histograma mostrando la distribución de las inclusiones fluidas en esfalerita I y cuarzo de la etapa de metales base, de acuerdo a su origen vs. salinidad (wt % NaCl equivalente) y temperatura de homogenización (Th).

Otro tipo de inclusión fluidas en esfalerita I son secundarias, las cuales cortan a las zonas de crecimiento del cristal, tienen formas alargadas y tamaños $<5 \mu\text{m}$. Estas no han sido parte de este estudio.

El cuarzo es subhedral y comúnmente presenta intercrecimientos con pirita, esfalerita y galena (Figura 10,6 B). Contiene inclusiones $L_{2\text{-qz}}$, las cuales son bifásicas y de formas regulares, y tamaños entre 10 y 35 μm (Figura 10,6 D). La fase vapor tiene un volumen que oscila entre 20 y 40 %. Las inclusiones forman grupos pequeños en diferentes partes del cristal, con mayor desarrollo en sombras de presión sobre sulfuros. Éstas han sido consideradas tentativamente como primarias. Sus temperaturas de homogenización varían desde 273.0 a 281.8 °C, con salinidades entre 5.11 y 5.26 wt % NaCl equiv.

10.2.3 Etapa de carbonatos

10.2.3.1 Sub-etapa manganosiderita-rodocrosita

Cristales de manganosiderita, baritina, cuarzo y esfalerita II usados para el estudio de inclusiones fluidas fueron muestreados de las vetas Andaychagua y Prosperidad Este y Sur (Figura 10,9 A y B). Estas contienen inclusiones bifásicas y ricas en líquido (L_3).

Inclusiones fluidas en cristales tabulares de baritina (L_{3-ba}) son regulares y van desde 40 a 70 μm en tamaño (Figura 10,9 C). Las inclusiones tienen diferentes cocientes líquido/vapor probablemente por re-equilibrio o “gentle boiling” en sentido de Moncada, et al. (2012). Conforman grupos en diferentes partes del cristal y comúnmente están cortadas por inclusiones secundarias y pseudosecundarias, por lo que no ha habido un adecuado criterio para considerarlas primarias. Las temperaturas de homogenización varían entre 222.1 y 271.6 $^{\circ}\text{C}$ y las salinidades oscilan entre 2.90 y 4.80 wt % NaCl equiv.

Inclusiones fluidas observadas en esfalerita II (L_{3-sp}) fueron estudiadas en una muestra de la veta Prosperidad Sur. Tienen formas regulares y pequeñas en tamaño ($<20 \mu\text{m}$), con contenidos de vapor entre 5 y 10 % (Figura 10,9 D). Son distribuidas a lo largo de zonas de crecimiento del cristal, por lo que son interpretadas como primarias. Tienen temperaturas de homogenización entre 211.3 y 214.7 $^{\circ}\text{C}$ y salinidades entre 3.87 y 4.34 wt % NaCl equiv. En menor grado se observan inclusiones fluidas finas pseudosecundarias y secundarias y que no fueron objetivo de análisis para este estudio.

Inclusiones fluidas en manganosiderita (L_{3-msd}) varían en tamaño de 5 a 20 μm y tienen formas rectangulares (Figura 10,9 E). El contenido de la fase vapor oscila entre 20 y 25 %. Ellos están dispersos a lo largo del cristal y se presume ser

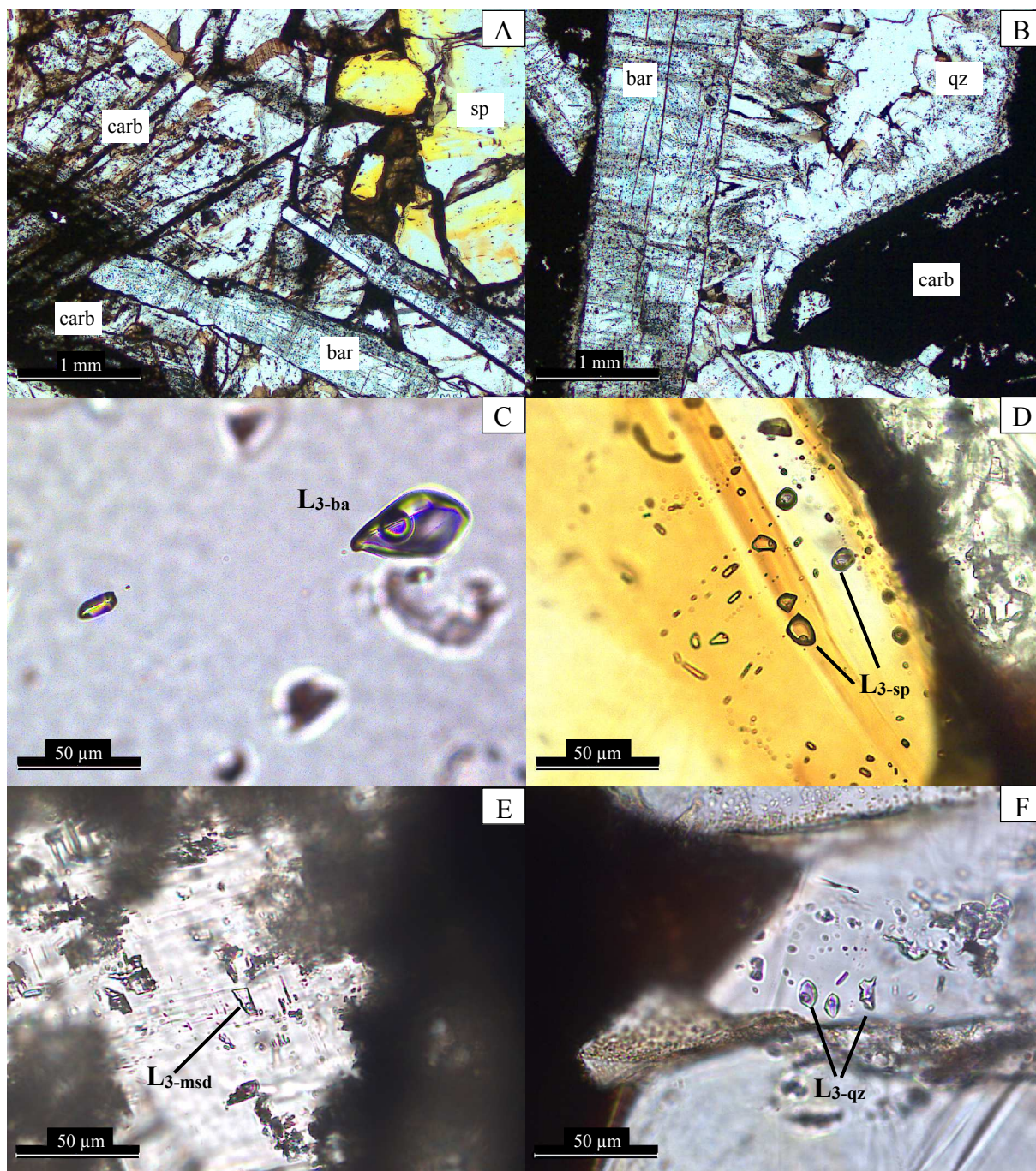


Figura 10,9 Microfotografías en luz transmitida de secciones delgadas doblemente pulidas en esfalerita, baritina, carbonato Mn-Fe y cuarzo, mostrando sus ensambles de IF. A) Cristales de esfalerita II con baritina y carbonato Mn-Fe (muestra 36993 de la veta Prosperidad E). B) Cristales de cuarzo sobre baritina I y carbonato Mn-Fe (muestra 36924 de la veta Andaychagua). C) IF primaria en baritina I (tipo L₃-ba) (muestra 36994 de la veta Prosperidad Sur). C) IF L₃-SP en esfalerita II. También se muestran inclusiones pseudosecundarias (muestra 36993 de la veta Prosperidad Sur). E) IF L₃-msd en manganosiderita (muestra 36964 de la veta Andaychagua). F) Grupos de I.F. primarias en cuarzo (tipo L₃-qz) (muestra 36924 de la veta Andaychagua). Abreviaciones: IF=inclusión fluida; bar=baritina; carb=carbonato Mn-Fe; qz=cuarzo; sp=esfalerita.

primarias en origen. Tienen temperaturas de homogenización que van desde 190.3 hasta 222.2 °C y salinidades entre 3.23 y 5.86 wt % NaCl equiv.

Inclusiones fluidas en cuarzo (L_{3-qz}) exhiben formas regulares de dimensiones que varían entre 5 y 20 μm , con burbujas de vapor que representan entre el 15 y 20 % de la inclusión (Figura 10,9 F). Temperaturas de homogenización varían entre 163.2 y 223.1 °C y salinidades desde 3.71 hasta 5.71 wt % NaCl equiv.

En general, los resultados microtermométricos en la sub-etapa manganosiderita-rodocrosita revelan temperaturas de homogenización que varían entre 163.2 y 271.6 °C, con cerca del 70 % entre 180 y 240 °C. Las salinidades muestran valores que van desde 2.90 hasta 5.86 wt% NaCl equiv. Además, se observa una disminución concomitante entre la temperatura de homogenización y salinidad entre los diferentes tipos de inclusiones (Figura 10,11 y 10,12).

10.2.3.1 Sub-etapa ankerita-dolomita

Esta sub-etapa consiste de ensambles y asociaciones minerales de ankerita-dolomita, jasperoides, baritina, cuarzo, calcita y dickita observadas principalmente en la Brecha Recuay y San Cristóbal Este. Todos los tipos de inclusiones fluidas son bifásicas y ricas en líquido (L_4) y son encontradas en cristales subhedrales de calcita y cuarzo hialino (Figura 10,10 A). Todas éstas homogenizan a la fase líquida.

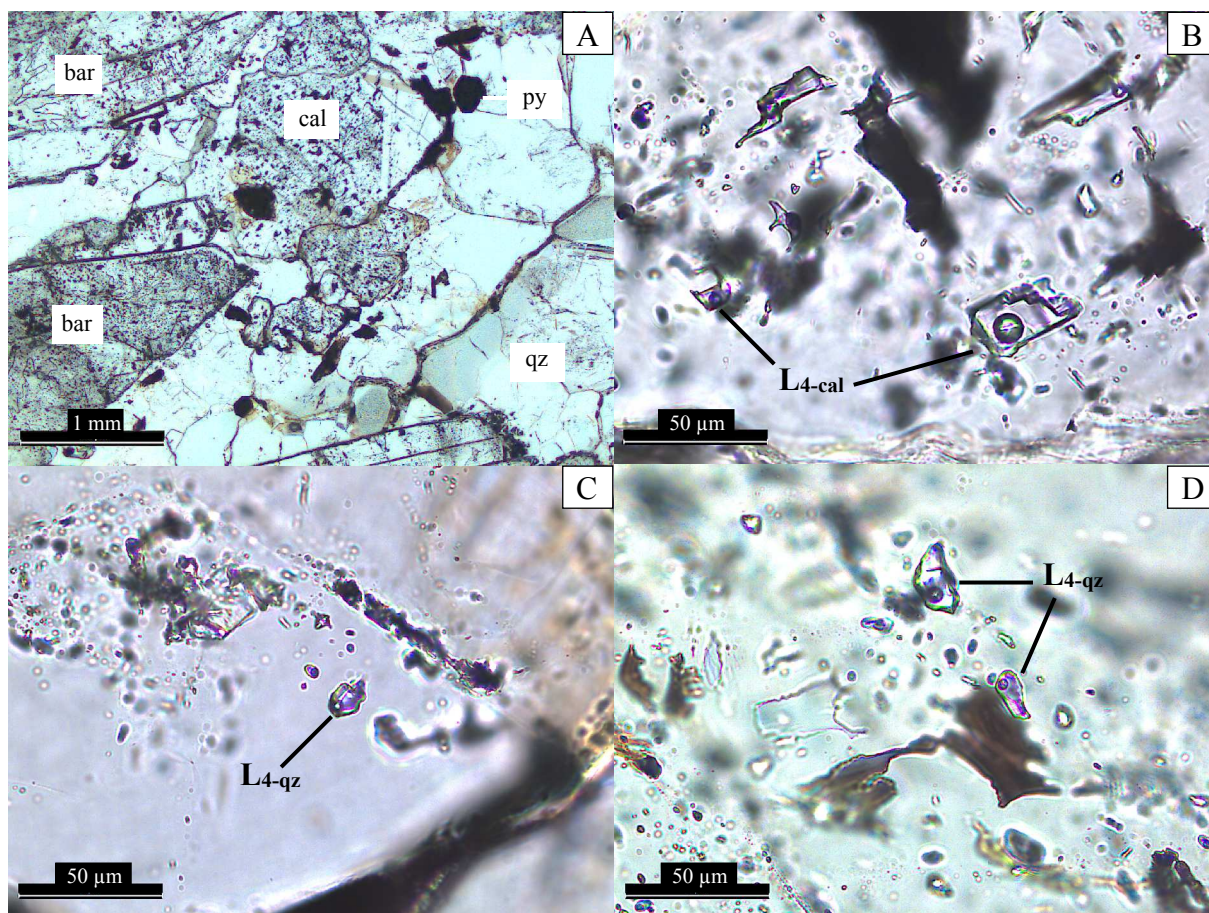


Figura 10,10 Microfotografías de las secciones delgadas doblemente pulidas en calcita y cuarzo, mostrando sus inclusiones fluidas. A) Cristales subhedrales de calcita y cuarzo, acompañados de baritina L.T. B) Grupo de I.F. bifásicas rectangulares en calcita. C) Grupo de I.F. bifásicas e irregulares en cuarzo. D) Grupo de I.F. bifásicas e irregulares en cuarzo. A, B y C pertenecen a la muestra 36973 de la Brecha Recuay y D pertenece a la muestra 39025 de San Cristóbal Este. Abreviaciones: L.T.=luz transmitida; n.c.=nícoles cruzados; I.F.=inclusión fluida; bar=baritina; cal=calcita; qz=cuarzo.

Inclusiones fluidas en calcita (L_{4-cal}) tienen formas rectangulares y alcanzan hasta $40 \mu\text{m}$ en tamaño (Figura 10,10 B). La fase vapor representa entre el 15 y 25 % de la inclusión. La distribución de las inclusiones es irregular, formando pequeños grupos a lo largo del cristal. Se presume que estas inclusiones sean primarias.

Inclusiones fluidas en cuarzo hialino (L_{4-qz}) tienen un amplio rango de tamaños (entre 5 y $30 \mu\text{m}$) y de formas irregulares (Figura 10,10 C y D). Las

burbujas de vapor tienen un volumen que oscila entre 10 y 15 %. Las inclusiones forman grupos pequeños principalmente al centro de los cristales. Esta distribución es sugerente de un origen primario de las inclusiones.

Los rangos de valores de microtermometría entre L_{4-cal} y L_{4-qz} son similares. La temperatura de homogenización oscila entre 173.2 y 231.8 °C y la salinidad entre 1.4 y 3.87 wt% NaCl equiv. De estos valores se puede observar que tanto la temperatura de homogenización y salinidad disminuyen conjuntamente (Figura 10,11).

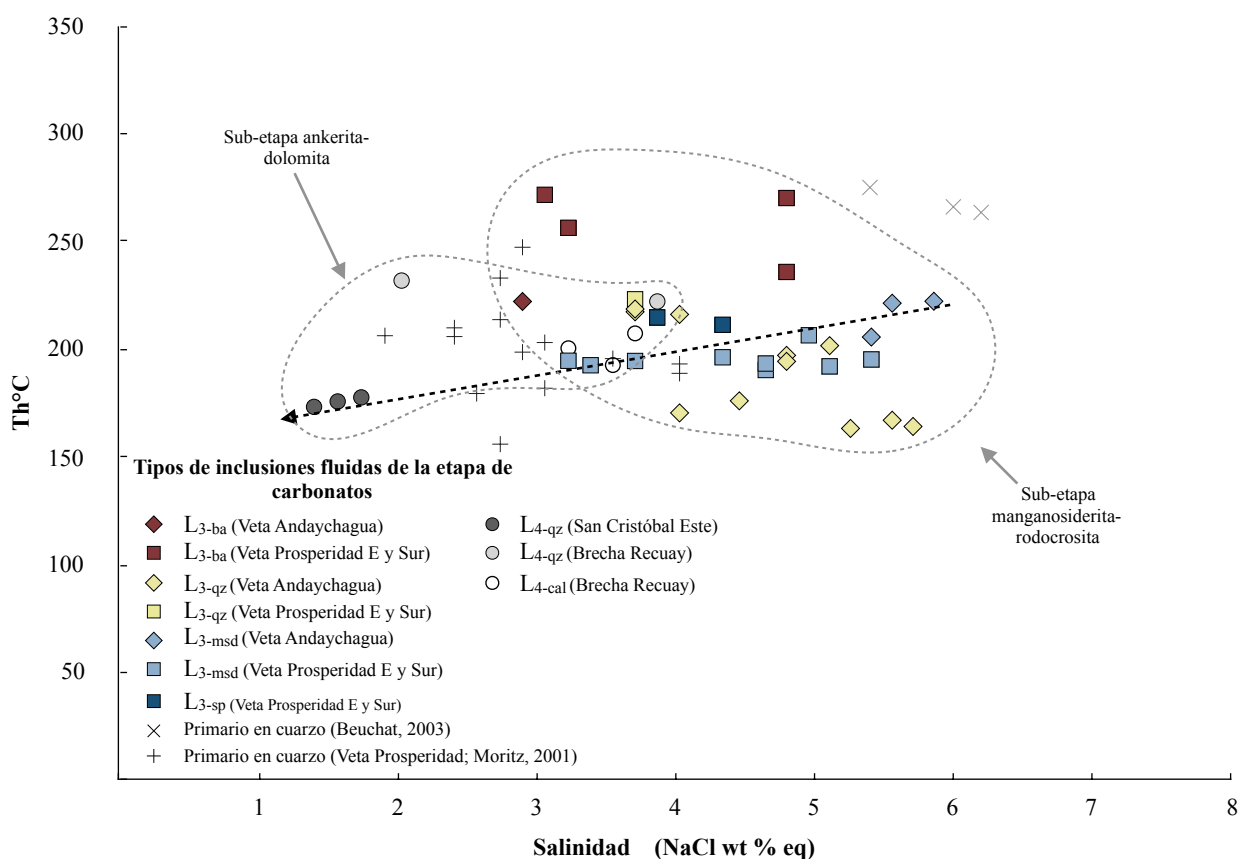


Figura 10,11 Diagrama de salinidad (NaCl wt % eq) vs. Temperatura de homogenización (Th) de inclusiones fluidas de la etapa de carbonatos en las vetas Andaychagua y Prosperidad E y Sur. Se muestra también resultados de estudios previos en esta etapa.

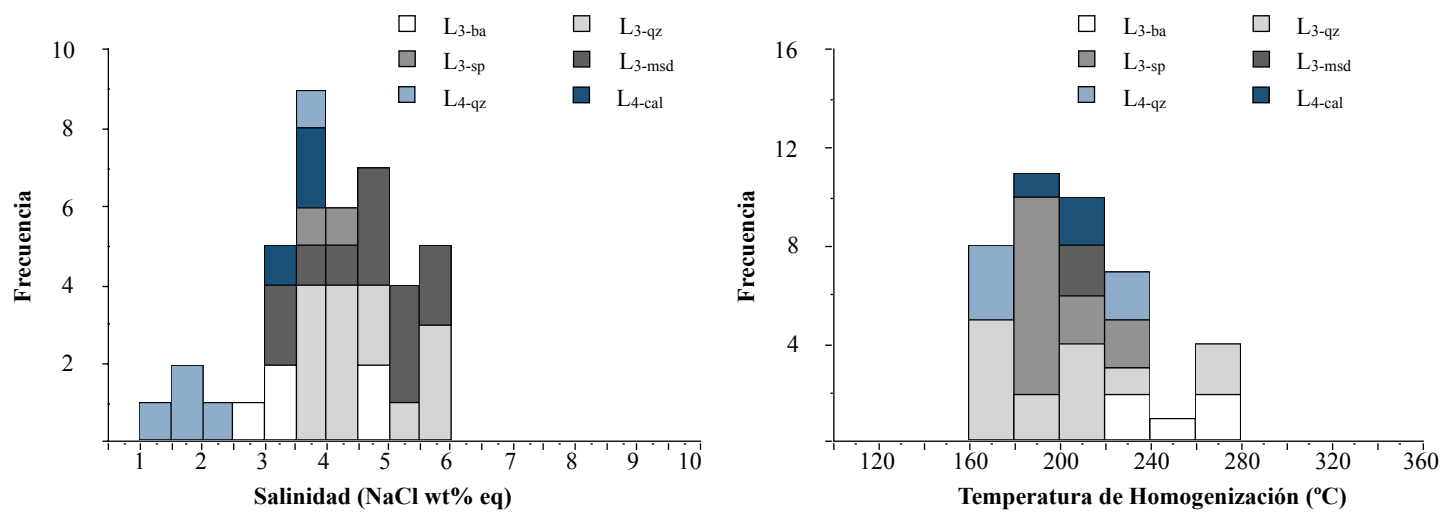


Figura 10,12 Histograma mostrando la distribución de las inclusiones fluidas de acuerdo a su origen (primaria) y el mineral vs. salinidad (wt % NaCl equivalente) y temperatura de homogenización (Th).

Tabla 10.1 Resumen de los diferentes ensambles de inclusiones fluidas en este estudio. Una tabla completa que incluye temperaturas de fusión del hielo y ensambles mineralógicos es mostrada en el Anexo E.

Etapa	Número de fases a temperatura ambiente	Tipo / localización	Mineral / Morfología	Sólidos	Tamaño (µm)	n	Salinidad (wt% NaCl equiv.)	Temperatura de homogenización (°C)
Etapa cuarzo-pirita-wolframita								
L ₁	Bifásica (LV)	Primaria / aislados y grupos pequeños	Cuarzo / irregular	A veces dickita	10 - 45	24	1.74 - 4.96	194.3 - 302.7
B ₁	Trifásica (LVH)	Primaria / aislados y grupos pequeños	Cuarzo / irregular	Una sal	30 - 60	12	42.51 - 43.46	197.4 - 306.0
L _{ps}	Bifásica (LV)	Pseudosecundaria / "trails" desde el centro	Cuarzo / irregular	-	10 - 60	10	2.07 - 6.45	180.3 - 233.0
Etapa de metales base								
L _{2-sp1}	Bifásica (LV)	Primaria / zonas de crecimiento	Esfalerita / regular	-	10 - 25	3	4.03 - 5.41	193.5 - 268.0
L _{2-sp2}	Bifásica (LV)	Primaria / grupos al borde del cristal	Esfalerita / negativa	-	30 - 60	8	2.41 - 5.26	163.1 - 235.7
L _{2-qz}	Bifásica (LV)	Primaria / grupos pequeños	Cuarzo / regular	-	10 - 35	2	5.11 - 5.26	273.0 - 281.8
Etapa de carbonatos								
<i>Sub-etapa manganosiderita-rodocrosita</i>								
L _{3-ba}	Bifásica (LV)	Primaria? / grupos a lo largo del cristal	Baritina / regular	-	40 - 70	5	2.90 - 4.80	222.1 - 271.6
L _{3-sp}	Bifásica (LV)	Primaria / zonas de crecimiento	Esfalerita / regular	-	10 - 20	2	3.87 - 4.34	211.3 - 214.7
L _{3-msd}	Bifásica (LV)	Primaria / grupos a lo largo del cristal	Carbonato / rectangular	-	5 - 20	14	3.23 - 5.86	190.3 - 222.2
L _{3-qz}	Bifásica (LV)	Primaria / grupos pequeños	Cuarzo / irregular	-	5 - 20	15	3.71 - 5.71	163.2 - 223.1
<i>Sub-etapa ankerita-dolomita</i>								
L _{4-cal}	Bifásica (LV)	Primaria? / grupos a lo largo del cristal	Calcita / rectangular	-	10 - 40	3	3.23 - 3.71	192.6 - 207.3
L _{4-qz}	Bifásica (LV)	Primaria / grupos pequeños	Cuarzo / irregular	-	5 - 30	5	1.40 - 3.87	173.2 - 231.8

CAPÍTULO XI

DISCUSIÓN

11.1 Distribución composicional y mineral a escala de la veta

En las vetas Andaychagua y Prosperidad E, la variación del contenido metálico y la abundancia mineral de las etapas definidas en la paragénesis (etapa cuarzo-pirita-wolframita, etapa de metales base y etapa de carbonatos) permiten identificar 3 principales zonas: Zona Cu (en profundidad, debajo de la cota 3 800), con concentraciones de Cu >1 % y compuesta por calcopirita, cuarzo ± (esfalerita, galena, pirita, arsenopirita, pirrotita); Zona Zn-Pb-(Ag) (parte intermedia, entre la cota 3 800 y 4 200), típicamente con valores de Zn >7 % y ratios Zn/Pb >5, consta de esfalerita I marrón oscuro a marrón claro ± (galena, pirita, arsenopirita, cuarzo, calcopirita, manganosiderita, baritina); Zona Ag-Pb-(Zn) (parte intermedia y alta, por encima de la cota 4 200), con valores de Ag >7 Oz/t, Zn < 7% y ratios Zn/Pb <5, conformada por esfalerita I marrón claro, galena, manganosiderita, baritina, rodocrosita, cobres grises ± (acantita, arsenopirita, esfalerita II rojiza, pirita, platas

rojas, cuarzo, illita). Esta zona contiene una banda de 200 m de potencia con leyes de Cu entre 0.1 y 0.5 % asociado a cobres grises. Por otro lado, valores de Au >3 ppm, Sb >350 ppm, Ba >0.7 %, Mn >15 % y Ag <30 ppm, ocurren en las partes más altas y están asociados con el incremento de manganosiderita, rodocrosita, baritina, cuarzo, arsenopirita ± (marcasita, estibina) y la aparición de carbonatos de la serie ankerita-dolomita (Brecha Recuay). Cabe señalar la posibilidad de ocurrir una zona en profundidad, con ensambles de wolframita similares a los observados en la veta Prosperidad W (Figura 11,1).

En la veta San Cristóbal, la distribución metálica y mineralógica es más compleja. Sectores con altos valores de Ag (>7 Oz/t), Zn (>7 %), Pb (>3 %), Cu (>1 %) y WO₃ (>0.5 %) coexisten. Ag entre 3 y 7 Oz/t ocurre a lo largo y en profundidad (algunos tramos > 7 Oz/t). El Pb muestra concentraciones >1 % al centro y en profundidad. El Zn y Cu aumentan sus contenidos en el contacto del Gp. Mitu y Excelsior (hasta >7 % y >5 % respectivamente). El Zn continúa hacia el suroeste entre 3 y 5 %, mientras que el Cu disminuye a <0.5 %. Hacia el noreste el Cu se mantiene entre 0.5 y 3% cerca de 1.3 km. Valores de WO₃ >0.5 % son restringidos espacialmente a diques cuarzo-monzoníticos del intrusivo Chumpe. Por otro lado, cocientes Zn/Pb muestran valores irregulares a lo largo de la veta y definen posibles direcciones de flujo del fluido hidrotermal hacia el suroeste. La coexistencia de valores altos de Ag, Zn, Pb, Cu y WO₃, cocientes Zn/Pb y otras líneas de evidencia como asociaciones de carbonatos, esfalerita, galena, sulfosales Ag, calcopirita y wol-

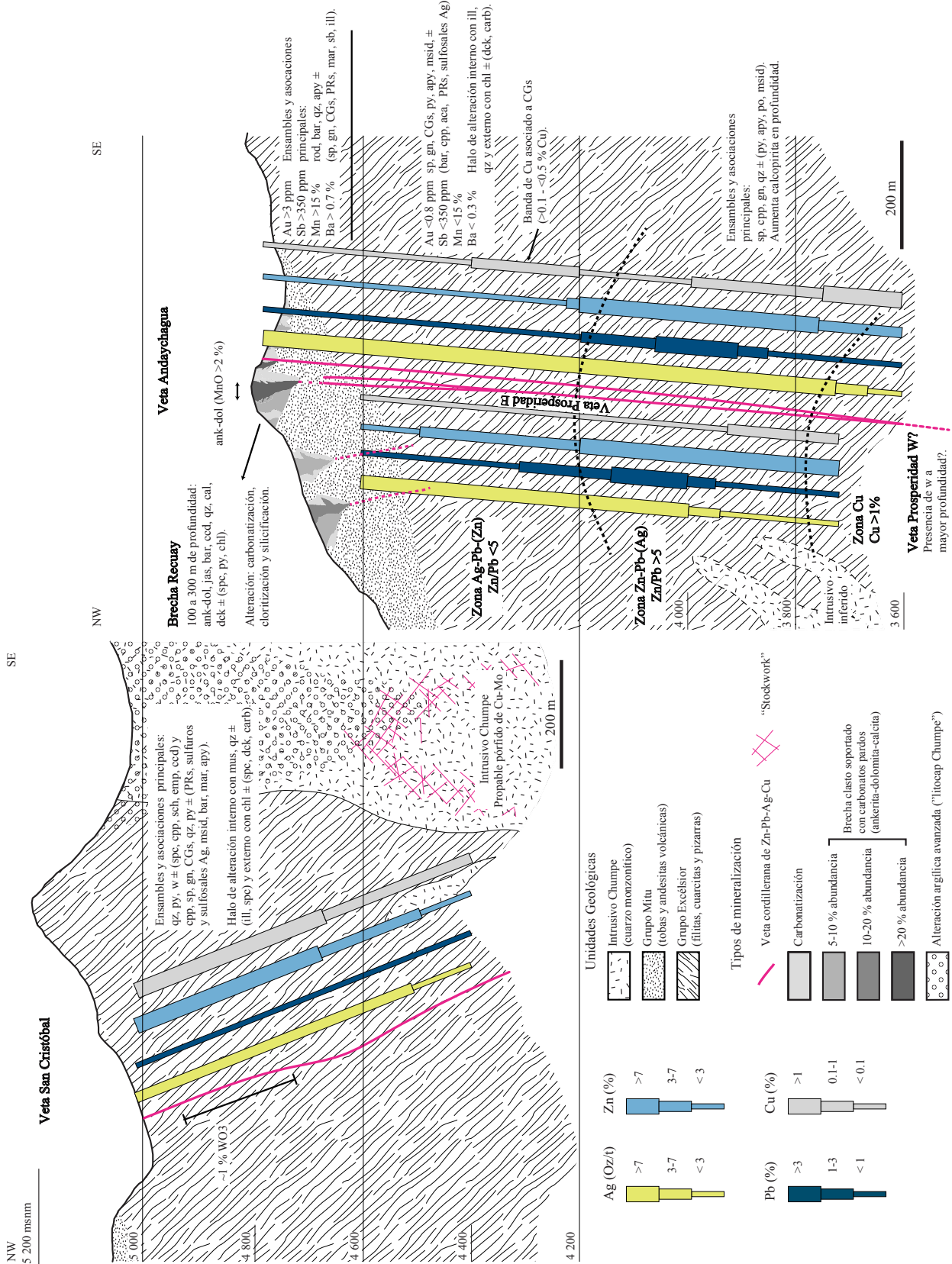


Figura 11,1 Modelo interpretativo de la distribución metálica a escala de las vetas, basados en la dirección de flujo del fluido hidrotermal mediante ratios Zn/Pb y ensambles y asociaciones mineralógicas descritas en este estudio y trabajos previos. Contenido de WO₃ en la veta San Cristóbal es tomado de Pastor (1970). Abreviaturas: aca=acantita; ank=ankerita; apy=arsenopirita; bar=baritina; cal=calcita; carb=carbonato; ccd=calcedonia; CGs=cobres grises; chl=clorita; cpp=calcopirita; dck=dickita; dol=dolomita; emp=emplectita; gn=galena; ill=illita; jas=jasperoide; mar=marcasita; msid=manganosiderita; mus=muscovita; PRs=platas rojas; py=pirita; po=pirotita; qz=cuarzo; rod=rodocrosita; sb=estibina; sch=scheelita; sil=silíce; spc=especularita; sp=esfalerita; w=wolframita.

framita son sugerentes de procesos de contracción (“telescoping”) del fluido hidrotermal.

11.2 Distribución composicional y mineral a escala del distrito

La zonación metálica reconocida en una veta (e.j, veta Andaychagua y Prosperidad E), con Ag en las partes altas e intermedias, Zn-Pb en las partes intermedias y Cu en profundidad; también es mostrada en superficie a escala del distrito.

La abundancia mineral de las etapas definidas en la paragénesis (etapa de cuarzo-pirita-wolframita, metales base y carbonatos) varía en diferentes partes de las vetas. Esta variación es acompañada de cambios en las concentraciones de metales. Así, menas de W y Cu (wolframita, calcopirita y bornita, cobres grises) son encontrados en el centro del distrito cerca al intrusivo Chumpe. En este sector típicamente los valores de WO_3 y Cu son $>0.5\%$. Menas de Zn, Pb y Ag (esfalerita, galena, cobres grises, sulfuros y sulfosales Ag) incrementan en partes más externas, mostrando concentraciones $>7\%$, $>1\%$ y $>7\text{ Oz/t}$ respectivamente. De esta manera, la zonación metálica a escala del distrito está definida por una parte central de W, seguido de una zona de Cu, una zona intermedia de Zn-Pb-(Ag) y una zona externa de Ag-Pb-(Zn). Un halo externo compuesto de minerales de la sub-etapa ankerita-dolomita (zona de carbonatos Ca-Fe-Mg-(Mn)) envuelve a las demás zonas (Figura 11,2). Este halo es considerado como parte de las manifestaciones hidrotermales de

las partes más altas o distales de sistemas polimetálicos cordilleranos (e.j., Brecha Recuay y San Cristóbal Este).

11.3 Variación composicional de los carbonatos según la paragénesis

Nuestros resultados de estudios de fluorescencia de rayos X revelan 3 series: serie calcita, serie ankerita-dolomita y serie manganosiderita-rodocrosita.

Como es descrito en el Capítulo VIII, la serie calcita y ankerita-dolomita son identificadas en la Brecha Recuay y en San Cristóbal Este (zona distal de carbonatos Ca-Fe-Mg-(Mn)) y se encuentran acompañadas de jasperoides, baritina, cuarzo hialino, calcedonia, dickita, clorita y óxidos de manganeso. Estas manifestaciones hidrotermales son típicas de porciones altas o distales de sistemas polimetálicos (básicamente ciegos), y han sido reportadas en varios depósitos cordilleranos en el Perú central (Escalante, 2008; Jurado, 2006) y en México (Dreier, 2005). Los análisis revelan valores muy variables Ca, Fe, Mg y Mn y una fuerte sustitución entre ellos. Tienen contenidos de hasta 19.65 % MgO, 24.6 % MnO y 23.65 % FeO, en donde los valores altos de MnO probablemente estén relacionados a kutnohoritas. Valores de MnO en promedio >2 % se encuentran en la parte central del corredor principal de la Brecha Recuay y hasta >5 % en cercanías a la veta Andaychagua. Tales concentraciones de MnO ocurren generalmente entre 200 y 300 m, sobre la mineralización de Zn-Pb-(Ag) preservada en profundidad (Figura 11,1).

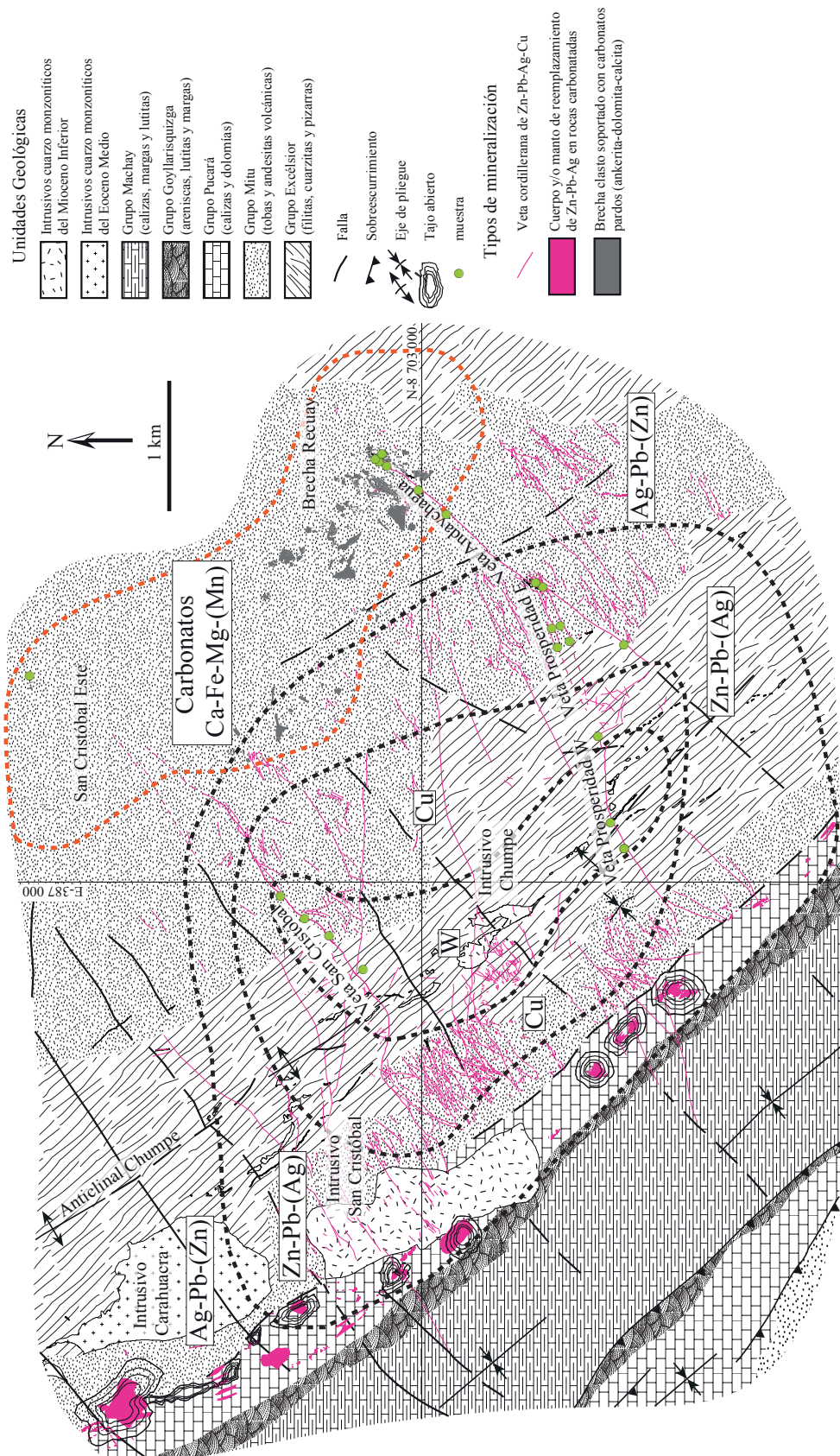


Figura 11,2 Zonamiento metálico idealizado en superficie a escala del distrito. Modificado de Pastor (1970) y Kobe (1990).

Los análisis de la serie manganosiderita-rodocrosita en las vetas Andaychagua y Prosperidad E y Sur muestran que las manganosideritas tienen contenidos de hasta 43.87 % FeO, 32.05 % MnO y 3.90 % ZnO, acompañadas de concentraciones de Cu entre 0.01 y 0.22 %, Pb entre 0.25 y 5.45 %, Zn entre 4.14 y 22.18 % y Ag hasta 615 ppm. Por otra parte, las rodocrositas muestran valores de MnO entre 48.14 y 53.90 %, FeO entre 5.37 y 6.49 % y ZnO <0.8 %. Las rodocrositas están acompañadas de concentraciones de Cu <0.01 %, Pb <0.10 % y Zn <1.00 % y Ag <50 ppm. Estas variaciones composicionales en los carbonatos de Mn-Fe y sus asociaciones metálicas de Zn, Pb, Cu y Ag; evidencian un claro zonamiento desde suroeste con mayor contenido de manganosiderita (zona Zn-Pb-(Ag)) hacia el noreste con mayor contenido de rodocrosita (zona Ag-Pb-(Zn)).

11.4 Inclusiones fluidas en la etapa cuarzo-pirita-wolframita

Las inclusiones fluidas primarias en cuarzo son bifásica y ricas en líquido (L_1). Fueron formados en condiciones epitermales (entre 194.3 - 306.0 °C) por fluidos con salinidades entre 1.74 y 4.96 NaCl wt% equiv. Raras inclusiones trifásicas (B_1) muestran salinidades de hasta 43.46 NaCl wt %. Las inclusiones L_1 esporádicamente contienen fases sólidas entrampadas, las cuales tienen una distribución y tamaño irregular, identificadas por espectroscopía Raman como dickita.

En la veta San Cristóbal, las inclusiones fluidas L_1 muestran temperaturas de homogenización en promedio 50 °C más altas con respecto a la veta Prosperidad W.

En esta última, la temperatura de homogenización disminuye cerca de 30 °C de suroeste a noreste en 1 km de distancia (Figura 11,4 A). Los resultados demuestran que el fluido hidrotermal en esta etapa fue una salmuera. Estas características también han sido observadas en etapas tempranas de otros depósitos cordilleranos del Centro del Perú, donde igualmente reportan ensambles de cuarzo, wolframita y piritita, como por ejemplo en Julcani (Deen, et al., 1994) y Pasto Bueno (Landis & Rye, 1974).

Estudios realizados en esta etapa por Campbell y Robinson (1987) y Bartlett (1984), reportan rangos de temperaturas de homogenización que coinciden con los resultados, a diferencia de Beuchat (2003) que reporta en promedio 40 °C menos.

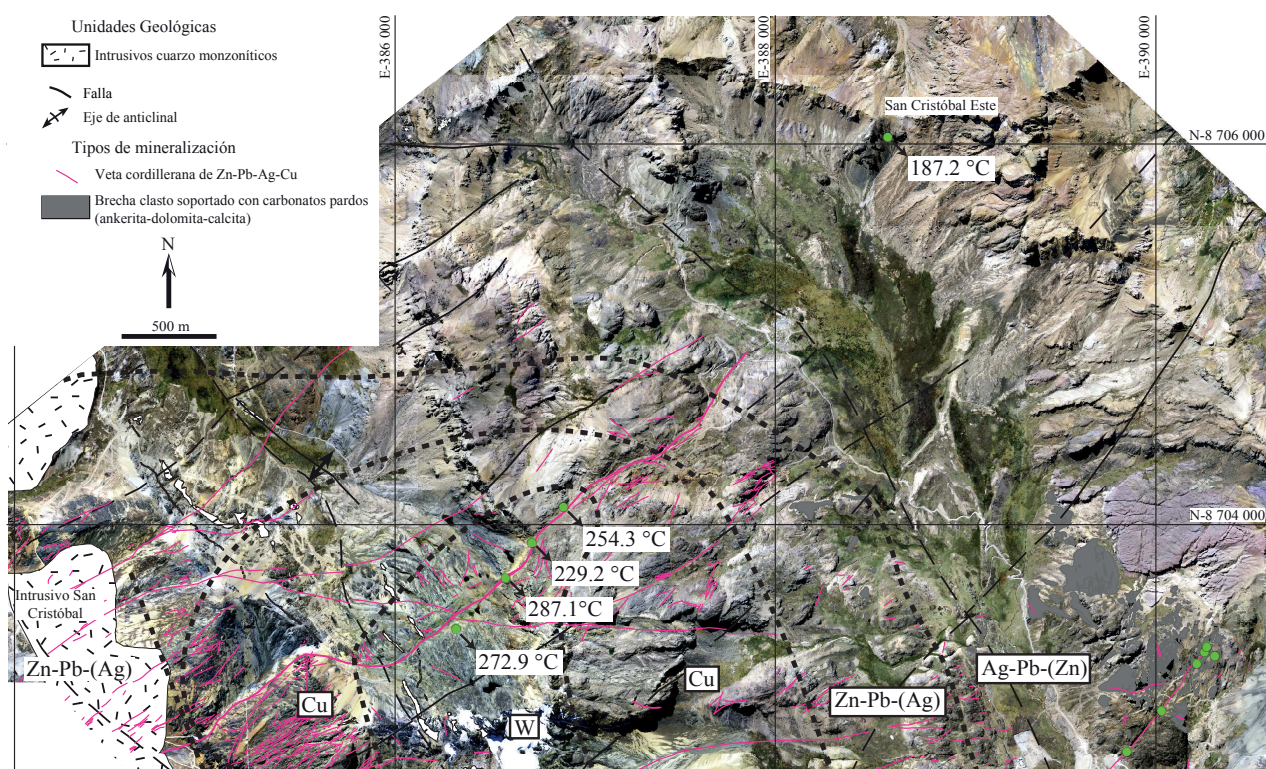


Figura 11,3 Temperaturas de homogenización promedio de inclusiones fluidas L₁. Adicionalmente, se muestran resultados en San Cristóbal Este. Los puntos verdes pertenecen a las muestras estudiadas.

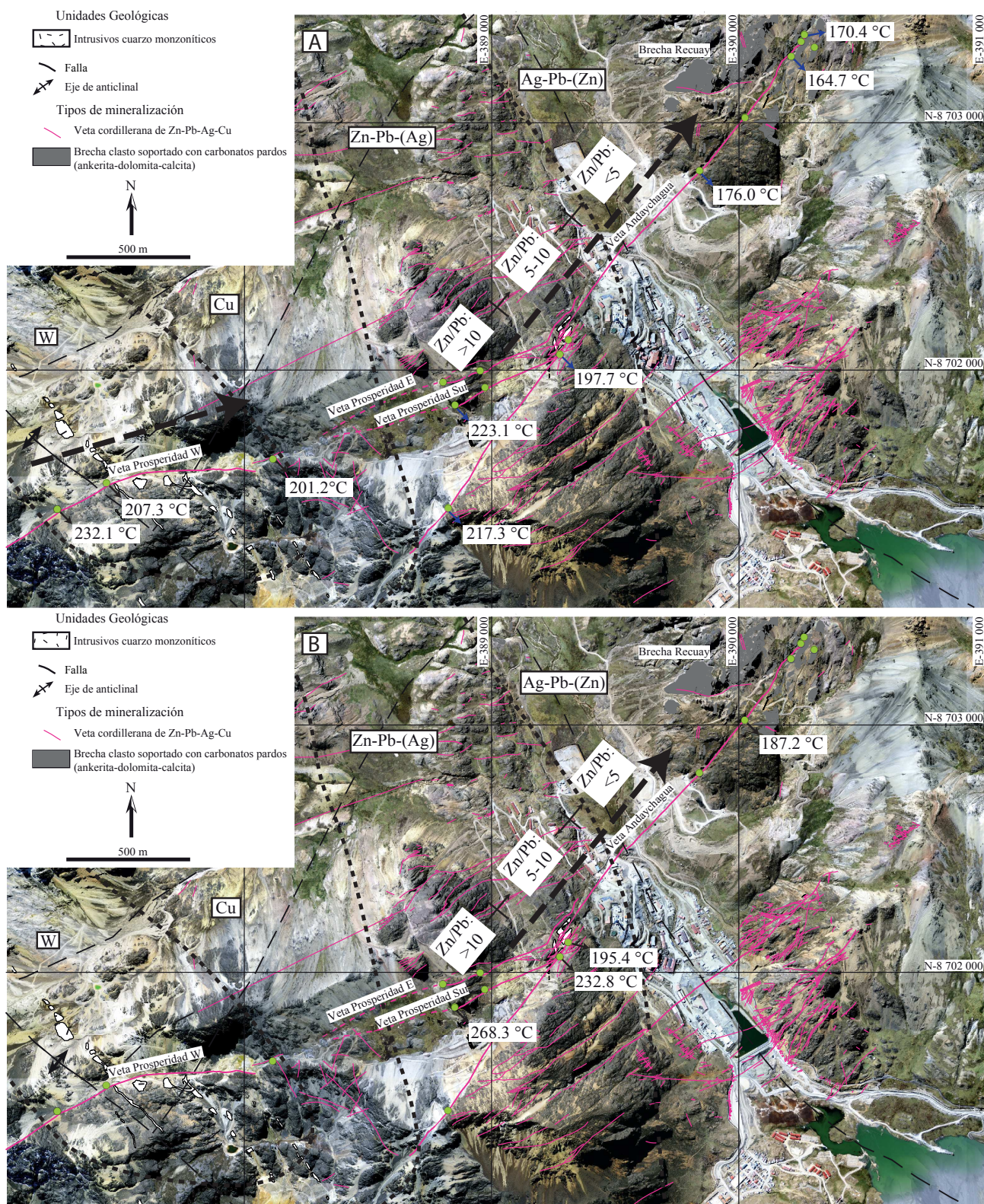


Figura 11,4 Gradiente geotérmico y probable dirección de flujo del fluido hidrotermal, basados en las temperaturas de homogenización promedio de las inclusiones fluidas. A) Resultados de inclusiones fluidas en cuarzo. Las flechas negras pertenecen a inclusiones fluidas en cuarzo de la etapa cuarzo-pirita-wolframita (L_1) y flechas azules, al cuarzo de la etapa de carbonatos (L_{3-qz}). B) Resultados en esfalerita I de la etapa de metales base (L_{2-sp}). Los puntos verdes sobre las vetas pertenecen a las muestras usadas en el estudio de inclusiones fluidas.

11.5 Inclusiones fluidas en la etapa de metales base y carbonatos

Colectivamente, las inclusiones fluidas en la etapa de metales base (L_2) y en la sub-etapa manganosiderita-rodocrosita (L_3), proporcionan temperaturas de homogenización típicas de sistemas epitermales (desde 163.1 hasta 281.8 °C) y salinidades bajas (entre 2.41 y 5.86 NaCl wt% equiv.).

Inclusiones fluidas en esfalerita I (L_{2-sp}) presentan temperaturas de homogeneización promedio más altas (hasta 268.3 °C) en el sector suroeste de la veta Andaychagua y en las vetas Prosperidad E y Sur (zona Zn-Pb-(Ag)). Varias decenas de grados más bajas, son registradas a 1 km de distancia en la parte noreste de la veta Andaychagua (zona Ag-Pb-(Zn)), donde la temperatura de homogenización promedio llega a 187.2 °C (e.j., muestra 36968, Figura 11,4 B).

Al igual que la esfalerita I, inclusiones fluidas en cuarzo (L_{3-qz}) también exhiben un decrecimiento de la temperatura de homogenización promedio, con temperaturas que oscilan entre 223.1 y 197.7 °C en la zona Zn-Pb-(Ag) (e.j., muestra 36924) y entre 164.7 a 176.0 °C en la zona Ag-Pb-(Zn) (e.j., muestra 36945, Figura 11,4 A). Igualmente, esta disminución de temperatura coincide con la aparición de estibina y valores altos de Au (e.j., muestra 36876).

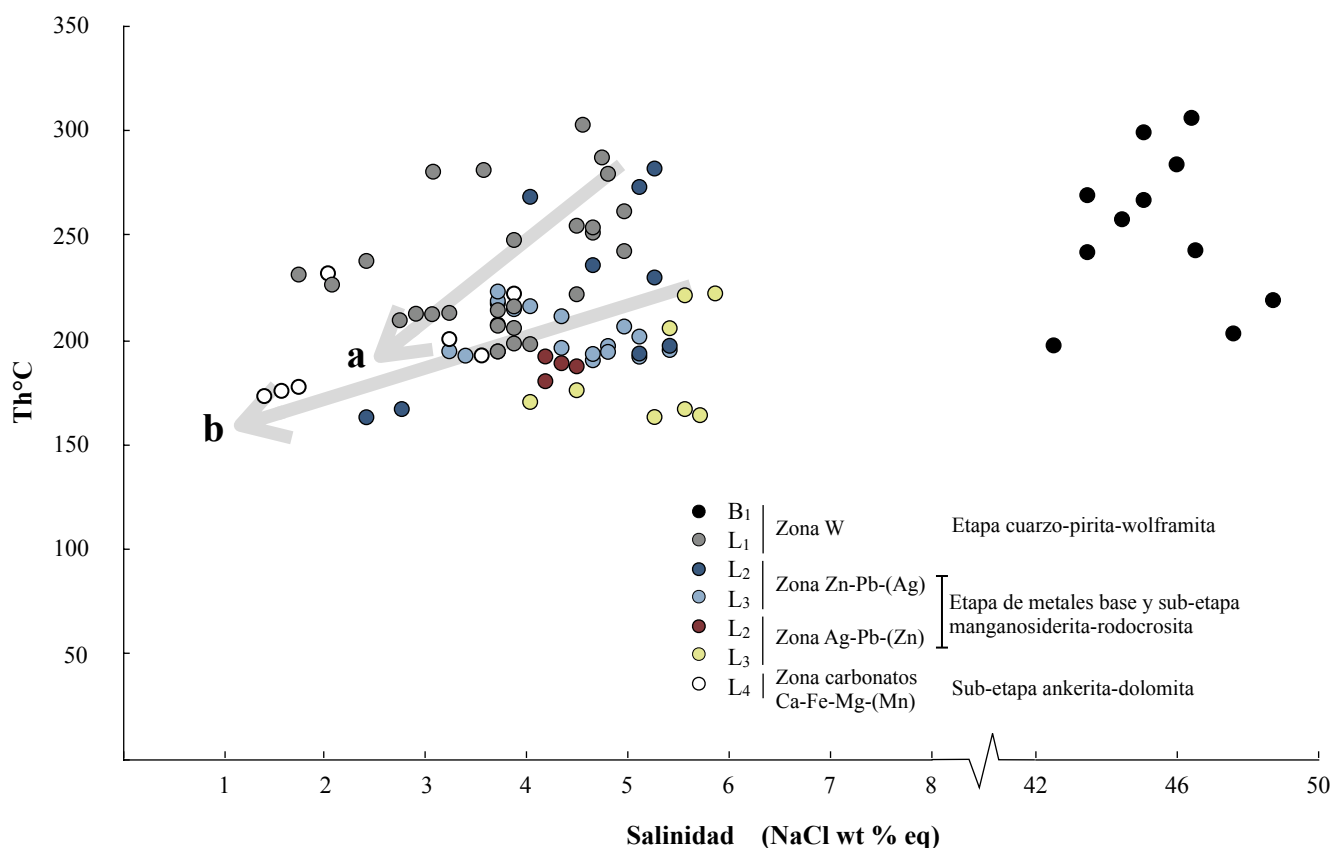


Figura 11,5 Líneas de tendencias de disminución conjunta de temperatura de homogenización y salinidad de la etapa de cuarzo-pirita-wolframita (a) y la etapa de metales base y carbonatos (b).

Estos resultados, coinciden con los rangos de las mediciones microtermométricas realizadas en trabajos previos por Campbell (1987), Stucky (2001), Lisboa, (2002), Moritz (2001) y Beuchat (2003). Sin embargo, estudios en esfaleritas en la veta San Cristóbal realizados por Bartlett (1984) muestran similares rangos de temperatura de homogenización, pero mayores valores de salinidad.

Inclusiones fluidas en cuarzo y calcita (L4) en la sub-etapa ankerita-dolomita (Brecha Recuay y San Cristóbal Este), muestran temperaturas de homogenización entre 173.2 y 231.8 °C y salinidades entre 1.40 y 3.87 NaCl wt % eq. Estos

resultados muestran que esta etapa presenta las temperaturas más bajas en la paragénesis.

Resumiendo, el distrito de San Cristóbal exhibe un decrecimiento de la temperatura de formación en aproximadamente 100 °C desde la zona W en la veta San Cristóbal (~260 °C) hasta las zonas más distales (Ag-Pb-(Zn) y carbonatos Ca-Fe-Mg-(Mn)), localizados a 2 km al noreste (San Cristóbal Este) y 3.5 km al sureste (Veta Andaychagua y Brecha Recuay); donde se registran temperaturas de homogenización <200 °C. Estos resultados demuestran que la distribución mineral y zonamiento metálico fue debido principalmente a gradientes de temperatura. Además, se percibe una disminución conjunta entre temperatura de homogenización y salinidad en las diferentes etapas de mineralización (Figura 11,5). Esto puede ser consistente con una dilución de los fluidos hidrotermales con aguas meteóricas. Este proceso de dilución ha sido reportado anteriormente en San Cristóbal por Batlett (1984), Moritz (2001) y Beuchat (2003) y en otros depósitos cordilleranos en el Perú Central, como es el caso de Cerro de Pasco (Rottier, et al., 2018).

CONCLUSIONES

1. El distrito de San Cristóbal presenta un marcado zonamiento del contenido metálico. En la parte central y cerca al pórfido Chumpe las vetas contienen wolframita y minerales de Cu, mientras que en las partes laterales y distales la mineralización es principalmente de Zn, Pb y Ag. De esta manera, la zonación metálica está definida por una parte central de W, seguido de una zona de Cu, una zona intermedia de Zn-Pb-(Ag) y una zona externa de Ag-Pb-(Zn). Tres etapas en la paragénesis han sido reconocidas en estas zonas: (1) etapa cuarzo-pirita-wolframita, es la más temprana y está compuesta de cuarzo, pirita, wolframita ± (especularita, calcopirita, scheelita, emplectita, muscovita, illita, calcedonia); (2) etapa de metales base, es la más económica y está constituido por esfalerita (marrón oscuro a marrón claro), calcopirita, galena ± (cobres grises, pirita, arsenopirita, pirrotita, illita, acantita); (3) etapa de carbonatos, es la más tardía y está dividida en dos sub-etapas: Sub-etapa manganosiderita-rodocrosita, constituida de baritina, cuarzo, arsenopirita ± (pirita, esfalerita (rojiza), galena, platas rojas, calcopirita, marcasita, estibina, illita, dickita). Sub-etapa ankerita-dolomita, la más distal y contiene jasperoides, baritina, calcedonia, cuarzo, calcita ± (dickita, specularita, pirita, clorita).
2. Isovalores en las secciones longitudinales de las vetas Andaychagua y Prosperidad E, ilustran que valores Cu >1 % se encuentra en profundidad (zona Cu), valores Zn >7 % y Pb >1 % en las partes intermedias (zona Zn-Pb-(Ag)) y

3. valores Ag >7 Oz/t en las partes intermedias y altas (zona Ag-Pb-(Zn)). Cocientes de Zn/Pb indican posibles direcciones de flujo del fluido hidrotermal desde el suroeste hacia el noreste. Por otro lado, isovalores en la veta San Cristóbal, en donde coexisten altas concentraciones de Ag, Zn, Pb Cu y WO₃, sugieren una posible contracción (“telescoping”) del fluido hidrotermal.
4. Cambios de ensambles de sulfuros vienen acompañados de variaciones del % Fe en esfaleritas, desde 9.84 % en las partes internas (zona Cu) hasta 0.42 % en las partes externas (zona Zn-Pb-(Ag) y Ag-Pb-(Zn)). Estas variaciones composicionales sugieren cambios de estados de sulfidización del sistema desde baja a intermedia sulfidización y, son interpretados como resultado de procesos de interacción de los fluidos hidrotermales con “black shales” del Grupo Excélsior.
5. Ensamblés de alteración muscovita, illita, cuarzo y dickita y removilización de elementos (Al, K, Ca, Sr, Ba y Rb) en los bordes de las vetas, revelan que el fluido hidrotermal fue medianamente ácido.
6. Microanálisis de fluorescencia de rayos X sobre carbonatos en la veta Andaychagua y Prosperidad E y Sur, reflejan composiciones entre rodocrositas y manganosideritas. Por otro lado, análisis en carbonatos de la Brecha Recuay indican composiciones desde calcitas hasta ankeritas y dolomitas, exhibiendo

zonas con contenidos de MnO >2 %, las cuales típicamente ocurren entre 200 y 300 m sobre la mineralización polimetálica de vetas.

7. Inclusiones fluidas en cuarzo de la etapa cuarzo-pirita-wolframita son bifásicas (LV) y homogenizan a la fase líquida entre 180.3 y 327 °C, con salinidades entre 1.74 y 6.45 wt % NaCl equiv. Esporádicas inclusiones trifásicas con cristales de sal presentan salinidades de hasta 43.46 wt % NaCl equiv. Inclusiones fluidas en cuarzo, esfalerita, manganosiderita y calcita de la etapa de metales base y de carbonatos muestran temperaturas de homogeneización entre 163.2 y 281.8 °C y salinidades entre 1.40 y 5.86 wt % NaCl equiv. Esto revela un ambiente de formación epitermal con altas y bajas salinidades.

8. El zonamiento metálico es marcado principalmente por gradientes de temperatura (disminución ~100 °C en la temperatura de formación a través de la paragénesis). Además, una disminución conjunta entre temperatura de homogenización y salinidad pueden ser consistentes con una dilución de los fluidos hidrotermales con aguas meteóricas.

RECOMENDACIONES

Los resultados descriptivos e interpretativos han permitieron generar un modelo geológico y genético preliminar, por lo que estamos en condición de recomendar nuevos targets para futuras campañas de exploración.

1. Según el modelo generado en este estudio, se recomienda realizar un programa de exploración mediante sondajes diamantinos en la Brecha Recuay, que investigue porciones entre los 200 m y 300 m de profundidad, para descartar o confirmar la presencia de mineralización polimetálica ciega de Ag-Pb-(Zn). Además, debido a que las estructuras (corredores de vetillas, vetas y brechas) presentan una clara geometría y configuración espacial de dirección y buzamiento, no sería determinante llevar a cabo estudios previos de geofísica.
2. Otros sectores de interés, son las áreas situadas entre las vetas Prosperidad E y Prosperidad W y entre la veta San Cristóbal y el prospecto San Cristóbal Este, ambas áreas cubiertas por bofedales. Según nuestro modelo estos podrían presentar mineralización de Zn-Pb-(Ag); por lo que se recomienda considerarlos como “targets” de exploración.
3. Generar nuevos targets de exploración en el distrito de San Cristóbal, mediante la inspección de sectores donde ocurren corredores de vetas y brechas de carbonatos pardos similares a los encontrados en la Brecha Recuay y San

Cristóbal Este, principalmente en las proyecciones suroeste y noreste de las vetas polimetálicas del distrito. Para este fin, se sugiere el uso de análisis de fluorescencia de rayos X en carbonatos, utilizando el contenido de MnO (>2 %) como vector.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbas, R. (1996). Evaluación Geológica del Domo de Yauli. *Informe privado Volcan Compañía Minera S.A.A.*, 16 p.
- Bartlett, M. (1984). Petrology and genesis of carbonate-hosted lead – zinc – silver ores, San Cristóbal district, Department of Junin, Peru. *Unpublished PhD thesis, Oregon State University, Corvallis, OR, USA.*, 272 p.
- Baumgartner, R., Fontboté, L., & Vennemann, T. (2008). Mineral zoning and geochemistry of epithermal polymetallic Zn-Pb-Ag-Cu-Bi mineralization at Cerro de Pasco, Perú. *Econ. Geol.*, v. 103, p. 493–537.
- Bendezú, R., & Fontboté, L. (2009). Cordilleran epithermal Cu-Zn-Pb-(Au-Ag) Cordilleran epithermal Cu-Zn-Pb-(Au-Ag) patterns. *Econ. Geol.*, v. 104, p. 905-944.
- Beuchat, S. (2003). Geochronological, structural, isotopes and fluid inclusion constrains of the polymetallic Domo de Yauli distric, Peru. *Unpublished PhD thesis, University of Geneva, Switzerland*, 129 p.
- Bissig, T., Ullrich, T., Tosdal, R., Friedman, R., & Ebert, S. (2008). The time-space distribution of eocene to miocene magmatism in the central peruvian polymetallic province and its metallogenetic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 26, p. 16-35.
- Bodnar, R. (1993). Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 57, p. 683-684.
- Bonev, I., & Kouzmanov, K. (2002). Fluid inclusions in sphalerite as negative crystals: a case study. *Eur. J. Mineral*, v. 14, p. 607-620.
- Campbell, A., & Robinson-Cook, S. (1987). A Infrared fluid inclusion microthermometry on coexisting wolframite and quartz: *Econ. Geol.*, v. 82, p. 1640-1645.
- Campbell, A., (1987 b). A sulfur isotopic study of the San Cristóbal tungsten-base metal mine, Perú. *Mineral. Deposita*, v. 22, p. 42-46.
- Campbell, A., Rye, D., & Petersen, U. (1984). Ahydrogen and oxygen isotope study of the San Cristóbal mine, Perú: implications of the role of water to rock ratio for the genesis of wolframite deposits. *Econ. Geol.*, v. 79, p. 1818-1832.

- Campbell, A., & Rye, D. M. (1982). Fluid inclusion and stable Isotope study of the San Cristobal Mine, Perú. *Geol. Soc. America, Abstracts with programs*, v. 14, p. 458.
- Catchpole, H., Kouzmanov, K., Putlitz, B., Seo, J., & Fontboté, L. (2015). Zoned base metal mineralization in a porphyry system: Origin and evolution of mineralizing fluids in the Morococha District, Perú. *Econ. Geol.*, v. 110, p. 39-71.
- Dalheimer, M. (1977). The Zn-Pb-Ag deposits Huaripampa and Carahuacra in the mining district of San Cristóbal, Central Perú. In: L. Fontboté, G.C. Amstutz, M. Cardozo, E. Cedillo and J. Frutos (eds.), *Stratabound Ore Deposits in the Andes, Berlin: Springer-Verlag*.
- Deen, J., Rye, R., Munoz, J., & Drexler, J. (1994). The magmatic hydrothermal system at Julcani, Perú: evidence from Fluid Inclusions and Hydrogen and Oxygen Isotopes. *Econ. Geol.*, v. 89, p. 1924-1938.
- Dong, G., Morrison, G., & Jaireth S. (1995). Quartz textures in epithermal veins, Queensland-classification, origin, and implication: *Econ. Geol.*, v. 90, p. 1841-1856.
- Einaudi, M.T., Hedenquist, J.W., & Inan, E. (2003). Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: Transitions from porphyry to epithermal environments. *Society of Economic Geologists and Geochemical Society Special Publication*, v. 10, p. 285-313.
- Einaudi, M.T. (1977). Environment of ore deposition at Cerro de Pasco, Perú. *Econ. Geol.*, v. 72, p. 893-924.
- Escalante, E. (2008). Patterns of distal alteration zonation around Antamina Cu-Zn skarn and Uchucchacua Ag-base metal vein deposits, peru: mineralogical, chemical and isotopic evidence for fluid composition, and infiltration, and implications for mineral exploration. *Unpublished PhD thesis, British Columbia University, Vancouver*, 311 p.
- Goodell, P., & Petersen, U. (1974). Julcani mining district, Perú: A study of metal ratios. *Econ. Geol.*, v. 69, p. 347-361.
- Harrison, J. (1948). Geología de los Andes Centrales en parte del Departamento de Junín. *Bol. Soc. Geol. Perú*, vol. 16, p. 3-54.

- INGEMMET. (1983). Geología de los cuadrángulos de: Matucana y Huarochiri, hojas 24-k y 25-k. Boletín Nr 36, serie A. *Carta geológica Nacional*.
- Jurado J. (2006). Distal alteration in the carbonate-hosted replacement and skarn system at Yauricocha, Central Perú. *Unpublished M.Sc. thesis, British Columbia University, Vancouver*, 122 p.
- Kobe, H. (1964). Internal memorandum. *Cerro de Pasco Corporation*, 5p.
- Kobe, H. (1990). Metallogenic evolution of the Yauli Dome, Central Perú. A Summary. In: L. Fontboté et al., *Stratabound Ore Deposits in the Andes*, Berlin: Springer-Verlag.
- Landis, G., & Rye, R. (1974). Geologic. fluid inclusion and stable isotope studies of the Pasto Buena tungsten-base metal ore deposit, northern Perú. *Econ. Geol.*, v. 69, p. 1025-1059.
- Lepry, L. (1981). The structural geology of the Yauli dome región, Cordillera Occidental, Perú. *Unpublished M.Sc. Thesis, Univ. of Arizona, U.S.A.*, 99 p.
- Lisboa, H. (2002). Etude le veine 722 á Zn, Pb, Ag de la mine San Cristobal (District minier do Domo de Yauli, Pérou central). *Unpublished M.Sc. thesis, University of Geneva, Switzerland*.
- Lovering, T. (1972). Jasperoid in the United States - Its Characteristics, Origin, and Economic Significance. *U.S. Geological Survey Professional Paper 710*, 164 p.
- Lyons, W. (1968). The Geology of the Carahuacra Mine, Perú. *Econ. Geol.*, v. 63, p. 247- 256.
- McLaughling, D. (1924). Geology and physiography of the Peruvian Cordillera, Departments Junin and Lima. *Geological Society of America Bolletín*, vol. 35, p. 591-632.
- Megard, F. (1979). Estudio geológico de los Andes del Perú Central. *Bol. No 8. Serie D. Estudios especiales INGEMMET*, 227 p.
- Moncada D., Mutchler S., Nieto B, Reynolds T., Rimstidt J, & Bodnar R. (2012). Mineral textures and fluid inclusion petrography of the epithermal Ag–Au deposits at Guanajuato, Mexico: Application to exploration: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 114, p. 20- 35.

- Moritz, R., Beuchat, S., Chiaradia, M., Stucky, P., Sallier, B., & Lisboa, H. (2001). Zn-Pb mantos and veins at domo de Yauli, Central Perú: two products of one hydrothermal system with common Pb & S sources, but contrasting fluid inclusion characteristics. *Extended abstract, 6th biennial meeting of the SGA, Krakow, Poland.*
- Mount, M. (2004). A report on the silver veins etc of San Cristóbal & Andaychagua, Yauli. *Informe privado Volcan Compañía Minera S.A.A. 28 p.*
- Mount, M. (2005). Mineral Potential, Yauli mines-A guide for exploration, Memorandum interno. *Volcan Compañía Minera S.A.A. 13 p.*
- Pastor, J. (1970). The mineralization in San Cristobal mine. *Unpublished M.Sc. Thesis, Univ. of Arizona, U.S.A., 115 p.*
- Tumialán, P. (2003). Compendio de Yacimientos Minerales del Perú. *Bol. No 10. Serie B. Geología Económica. INGEMMET, 638 p.*
- Petersen, U. (1965). Regional geology and major ore deposits of central Perú. *Econ. Geol., v. 60, p. 407-476.*
- Petersen, U., Mayta, O., Gamarra, L., Vidal, C., & Sabastizagal, A. (2004). Uchucchacua: A major silver producer in South America. *Society of Economic Geologists, Special Publication, v. 11, p. 243-257.*
- Rivera, N., & Kobe, H. (1983). Evolución Geológica del Domo de Yauli. *Bol. Sociedad Geológica del Perú No. 72, p. 177-195.*
- Roedder, E. (1984). Fluid Inclusions. Reviews in Mineralogy. *Mineralogical Society of America, vol.12, p. 646.*
- Rosas S., & Muñoz C. (2009). Sedimentological and geochemical characterization of the Paleozoic carbonate rock related to a Ni-Co ore showing at the Yauli Dome-Central Perú. *International-kolloquium 2009. Universidad de Göttingen.*
- Rosas, S., Fontboté, L., & Morche, W. (1996). Within-plate volcanism in upper triassic to lower jurassic Pucara Group carbonates (Central Perú), *Third ISAG, St Malo (France), 4 p.*
- Rosas, S., Fontboté, L., & Tankard, A. (2007). Tectonic evolution and paleogeography of the Mesozoic Pucará basin, central Peru. *Journal of South American Earth Sciences, v. 24, p. 1-24.*

- Rottier, B., Kouzmanov, K., Casanova, V., Wälle, M., & Fontboté, L. (2018). Cyclic Dilution of Magmatic Metal-Rich Hypersaline Fluids by Magmatic Low-Salinity Fluid: A Major Process Generating the Giant Epithermal Polymetallic Deposit of Cerro de Pasco, Peru. *Econ. Geol.*, v. 113, p. 825-856.
- Sallier, B. (2002). Minéralisations stratiformes à Zn, Pb, ± Ag dans les calcaires du Pucará (Domo de Yauli, Andes du Pérou Central). *Unpublished M.Sc. Thesis, University of Geneva, Switzerland*, 170 p.
- Sander, M., & Black, J. (1988). Crystallization and recrystallization of growth-zoned vein quartz crystals from epithermal systems - implications for fluid inclusion studies: *Econ. Geol.*, v. 83, p. 1052-1060.
- Simmons, S.F., White, N.C., & John, D.A. (2005) Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, p. 485-522.
- Spikings, R., Reitsma, M.J., Boekhout, F., Miškovi'c, A., Ulianov, A., Chiaradia, M., Gerdes, A., & Schaltegger, U. (2016). Characterization of Triassic rifting in Peru and implications for the early disassembly of western Pangaea. *Gondwana Research*, v. 35, p. 124–143.
- Sterner, M., Hall, D., & Bodnar, R. (1988). Synthetic fluid inclusions. V. Solubility relations in the system NaCl-KCl-H₂O under vapor-saturated conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 52, p. 989-1005.
- Stucky, P. (2001). La veine de Pb, Zn, Ag d'Andaychagua (Domo de Yauli, Andes centrales, Pérou). *Unpublished M.Sc. thesis, University of Lausanne, Switzerland*.
- Szekely, T., & Grose, L. (1972). Stratigraphy of the carbonate, black shale, and phosphate of the Pucará Group (Upper Triassic-Lower Jurassic), Central Andes, Perú. *Bull. Geol. Soc. Am.*, v. 83, p. 407-428.
- Terrones, A. J. (1949). La Estratigrafía del distrito minero de Morococha. *Sociedad Geológica del Perú, V. Jubilar, XXV Aniversario*, v. 8, p.1-15.
- Van den Kerkhof A.M., & Hein, U. (2001), Fluid inclusion petrography. *Lithos*, v. 55, p. 27-47.
- Vallance, J. (2015). Informe de estudio Petrográfico para 9 láminas. *Informe privado Volcan Compañía Minera S.A.A.*, 47 p.

ANEXOS

Anexo A. Resultados de los análisis químicos en las vetas San Cristóbal, Andaychagua, Prosperidad W, Prosperidad E y Sur, Brecha Recuay y San Cristóbal Este. Coordenadas UTM PSAD 56.

Muestra	Este	Norte	Cota	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Ba (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ga (ppm)	In (ppm)	Li (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Rb (ppm)	Sb (ppm)	Sn (ppm)	Sr (ppm)	Te (ppm)	Ti (%)	U (ppm)	W (ppm)	Zn (ppm)	Estructura
39040	386712	8703906	5077	0.1	26.7	182.0	107.0	18.0	40.7	39.0	5592.0	27.2	3.2	8.6	78900.0	5.1	3716.0	24.0	32.8	10.6	102.0	0.8	0.0	13.1	49.7	45900.0	Veta San Cristóbal
39041	386712	8703906	5077	1.1	81.1	293.0	463.0	73.9	0.2	585.0	874.0	34.3	11.8	12.4	234.0	7.9	1504.0	16.8	46.0	42.6	380.0	3.3	0.0	15.1	1462.0	634.0	Veta San Cristóbal
39051	386879	8704092	4992	1.7	18.6	91.4	78.0	568.0	0.1	333.0	3087.0	46.4	0.6	14.1	72.0	11.3	212.0	49.8	30.4	49.8	300.0	16.5	0.1	9.1	1031.0	32.8	Veta San Cristóbal
39053	386573	8703718	5029	0.3	18.6	474.0	93.0	21.0	0.1	543.0	101.0	10.7	0.5	9.2	79.0	7.0	533.0	32.8	44.8	27.5	216.0	3.1	0.1	6.2	164.0	62.3	Veta San Cristóbal
39058	386314	8703454	5004	25.1	353.0	247.0	13.0	41.9	16.9	610.0	1252.0	11.8	10.6	3.2	1644.0	23.3	160.0	1.7	552.0	298.0	41.9	67.0	0.0	2.8	4195.0	9383.0	Veta San Cristóbal
36997	387447	8701538	4941	0.0	3.3	22.5	321.0	11.5	0.3	187.0	514.0	38.6	4.1	37.2	264.0	4.4	78.8	62.1	34.2	7.7	58.1	0.4	0.1	1.4	16.2	177.0	Veta Prosperidad W
36999	388047	8701581	4843	0.3	7.6	1227.0	116.0	19.9	0.1	152.0	1203.0	59.4	0.5	3.8	98.0	11.7	24.1	87.6	3.3	38.1	18.8	10.6	0.1	2.6	388.0	38.7	Veta Prosperidad W
39005	388118	8701635	4862	0.0	64.7	138.0	371.0	7.2	0.1	330.0	626.0	91.9	7.6	38.8	58.0	5.6	480.0	89.0	38.7	6.5	197.0	0.5	0.1	1.5	41.8	58.5	Veta Prosperidad W
39023	387249	8701431	5016	0.8	95.7	56.7	144.0	3681.0	0.9	399.0	283.0	51.8	6.6	28.1	254.0	6.3	149.0	51.8	32.9	17.7	87.3	3.0	0.0	4.4	3407.0	744.0	Veta Prosperidad W
36993	388853	8701854	4791	0.0	39.7	130.0	684.0	0.3	85.4	30.0	52.5	6.6	13.1	6.6	12000.0	8.7	2492.0	37.7	17.0	3.4	401.0	0.2	0.0	0.3	1.7	41700.0	Veta Prosperidad Sur
36994	388973	8701926	4740	0.0	61.3	215.0	1561.0	1.3	32.7	22.0	81.0	8.1	11.4	2.8	14800.0	10.5	733.0	11.5	19.5	1.9	343.0	0.3	0.0	0.2	3.0	16600.0	Veta Prosperidad Sur
36937	389253	8702122	4593	0.0	300.0	2671.0	83.0	1.1	8.1	80.0	39.7	12.3	1.0	7.2	195100.0	57.4	763.0	60.1	69.0	2.3	12.9	0.5	0.2	0.3	5.9	10400.0	Veta Prosperidad E
36995	388804	8701948	4801	0.1	70.2	732.0	976.0	0.6	53.6	30.0	136.0	7.1	12.2	8.3	105900.0	13.8	2018.0	38.2	31.1	2.5	453.0	0.2	0.0	0.3	1.5	28200.0	Veta Prosperidad E
39017	388954	8701995	4727	2.0	681.0	10700.0	51.0	0.6	92.2	261.0	528.0	8.4	0.2	31.7	2123.0	9.6	22100.0	60.0	563.0	16.2	5.4	0.1	0.1	0.4	1.0	41400.0	Veta Prosperidad E
36924	388825	8701435	4902	0.3	194.0	29900.0	2354.0	26.8	7.5	112.0	498.0	22.7	93.7	8.8	15200.0	4.8	18600.0	60.8	273.0	18.5	324.0	1.4	0.0	0.4	6.7	5243.0	Veta Andaychagua
36927	388873	8701491	4870	0.2	475.0	28500.0	1963.0	10.2	3.2	155.0	1072.0	43.8	128.0	9.1	114.0	2.9	67900.0	46.9	417.0	76.6	222.0	0.8	0.1	0.8	6.1	2478.0	Veta Andaychagua
36928	388921	8701577	4830	0.1	109.0	7694.0	731.0	4.3	99.0	159.0	422.0	17.9	8.3	8.2	17500.0	22.2	6492.0	171.0	75.6	22.2	127.0	0.2	0.2	0.5	4.6	32300.0	Veta Andaychagua
36938	389275	8702061	4608	0.1	615.0	5374.0	448.0	0.9	403.0	78.0	2172.0	10.6	6.4	10.2	51200.0	21.2	54500.0	20.5	351.0	53.0	59.0	0.3	0.1	0.3	5.4	221800.0	Veta Andaychagua
36939	389312	8702065	4617	0.1	99.7	7646.0	830.0	2.2	13.8	127.0	250.0	9.0	0.8	19.5	40100.0	6.1	11000.0	79.4	87.1	20.9	12.5	0.8	0.1	0.6	6.0	4723.0	Veta Andaychagua
36940	389309	8702119	4583	0.7	393.0	18200.0	579.0	1.0	198.0	140.0	584.0	13.9	4.2	7.5	86000.0	18.1	11900.0	85.9	224.0	37.3	75.7	0.8	0.3	0.3	7.2	78600.0	Veta Andaychagua
36945	389839	8702807	4571	0.3	50.0	2953.0	139.0	0.1	15.8	150.0	46.1	12.5	0.5	14.1	71500.0	33.7	1414.0	101.0	63.8	7.8	21.5	0.4	0.3	0.5	4.4	12000.0	Veta Andaychagua
36964	390247	8703332	4797	4.2	21.6	20900.0	69.0	0.5	6.4	134.0	73.7	5.8	0.1	36.4	70100.0	10.5	744.0	39.7	15600.0	1.5	17.1	0.1	0.1	0.2	2.2	3361.0	Veta Andaychagua
36971	390261	8703359	4810	3.2	15.8	13100.0	105.0	0.7	1.5	208.0	57.4	2.4	0.1	57.8	25200.0	20.2	104.0	18.0	373.0	0.9	18.2	0.2	0.0	0.2	2.0	444.0	Veta Andaychagua
36972	390245	8703329	4811	10.2	32.2	45800.0	69.0	0.3	8.2	217.0	112.0	4.3	0.2	40.6	150900.0	15.4	1101.0	6.3	502.0	1.6	10.5	0.2	0.0	0.1	5.2	5656.0	Veta Andaychagua
36975	390227	8703304	4804	0.4	1.8	3990.0	118.0	0.2	0.9	220.0	13.8	2.6	0.1	65.4	84600.0	17.3	56.3	8.1	115.0	0.4	5.2	0.1	0.0	0.1	1.7	593.0	Veta Andaychagua
36976	390208	8703271	4778	0.1	9.9	319.0	7436.0	0.5	13.8	79.0	32.7	6.3	0.1	17.3	181100.0	11.8	2113.0	29.3	114.0	5.0	160.0	0.2	0.1	0.2	5.9	8820.0	Veta Andaychagua

Anexo A (cont.). Resultados de los análisis químicos en las vetas San Cristóbal, Andaychagua, Prosperidad W, Prosperidad E y Sur, Brecha Recuay y San Cristóbal Este. Coordenadas UTM PSAD 56.

Muestra	Este	Norte	Cota	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Ba (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ga (ppm)	In (ppm)	Li (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Rb (ppm)	Sb (ppm)	Sn (ppm)	Sr (ppm)	Te (ppm)	Ti (%)	U (ppm)	W (ppm)	Zn (ppm)	Estructura
36985	390021	8703023	4714	0.8	472.0	1901.0	1820.0	1.1	8.7	254.0	97.3	5.5	0.6	44.2	70200.0	6.1	6257.0	39.6	174.0	8.5	344.0	0.9	0.1	0.2	2.0	6107.0	Veta Andaychagua
36986	389958	8702944	4681	0.0	16.6	233.0	8382.0	1.3	35.8	32.0	31.4	4.0	3.3	20.5	144100.0	4.7	2210.0	12.1	51.9	1.7	144.0	0.3	0.0	0.5	2.8	16300.0	Veta Andaychagua
36943	389873	8702761	4576	0.0	1.2	117.0	2656.0	0.5	1.7	40.0	118.0	9.0	0.1	62.6	2588.0	8.0	51.0	33.3	6.3	1.0	98.4	0.3	0.1	0.9	1.6	167.0	Brecha Recuay
36947	390134	8703124	4758	0.0	0.5	144.0	60.0	0.4	0.7	89.0	12.4	3.2	0.1	33.2	3774.0	8.2	31.8	44.9	10.8	0.5	87.6	0.0	0.0	0.5	1.4	77.2	Brecha Recuay
36948	390217	8703132	4739	0.0	0.3	67.7	186.0	0.5	1.5	119.0	14.4	11.3	0.1	23.6	1341.0	5.9	81.7	112.0	8.6	1.1	29.1	0.2	0.2	0.6	1.3	148.0	Brecha Recuay
36949	390070	8703058	4743	0.0	0.2	22.5	6260.0	0.3	1.1	24.0	9.4	5.9	0.1	15.9	3062.0	4.9	29.5	43.0	4.5	0.7	226.0	0.1	0.1	0.3	1.2	72.9	Brecha Recuay
36950	389923	8703088	4729	0.0	0.3	34.4	65.0	0.3	1.0	28.0	36.5	2.2	0.1	24.1	3212.0	11.2	18.4	3.6	4.0	0.5	243.0	0.0	0.0	0.4	1.0	83.6	Brecha Recuay
36952	390493	8703618	4936	0.0	0.1	20.2	137.0	0.2	1.0	162.0	11.0	10.3	0.1	279.0	1100.0	73.2	35.5	21.0	5.5	0.9	239.0	0.1	0.6	0.9	1.0	101.0	Brecha Recuay
36953	390520	8703561	4932	0.0	0.1	24.8	100.0	0.6	1.0	39.0	19.1	15.8	0.1	85.5	1322.0	12.6	40.3	47.4	4.7	1.3	574.0	0.1	0.1	0.5	1.2	92.6	Brecha Recuay
36954	390447	8703540	4904	0.0	0.1	17.7	6287.0	0.5	1.3	77.0	14.1	6.9	0.1	50.3	1311.0	8.4	46.5	23.4	4.8	0.7	1205.0	0.1	0.1	0.2	0.8	62.0	Brecha Recuay
36955	390414	8703580	4895	0.0	0.2	38.4	434.0	0.6	1.3	97.0	56.3	8.2	0.1	106.0	1162.0	10.2	47.5	8.3	27.4	1.0	198.0	0.2	0.1	4.0	3.2	68.0	Brecha Recuay
36956	390379	8703621	4895	0.0	0.1	10.9	2979.0	0.4	0.8	216.0	10.8	13.5	0.1	52.9	300.0	8.5	28.1	77.0	1.7	4.0	75.1	0.1	0.2	0.7	1.1	70.4	Brecha Recuay
36959	390355	8703403	4854	0.0	0.1	11.7	14700.0	0.3	0.5	41.0	8.1	6.6	0.1	147.0	2084.0	9.2	16.4	22.2	3.2	0.6	463.0	0.1	0.1	0.2	0.6	56.3	Brecha Recuay
36960	390330	8703407	4847	0.0	0.1	15.9	575.0	0.3	1.0	88.0	10.9	2.9	0.1	92.6	1958.0	6.4	21.0	16.1	4.2	0.5	92.4	0.1	0.0	1.0	0.7	70.5	Brecha Recuay
36961	390332	8703456	4843	0.0	0.2	19.4	125.0	0.6	0.7	79.0	26.2	8.1	0.1	355.0	1852.0	47.5	16.7	43.5	13.9	0.9	100.0	0.0	0.2	0.7	0.9	76.1	Brecha Recuay
36962	390318	8703425	4835	0.0	0.1	10.0	772.0	0.2	0.5	84.0	11.0	4.1	0.1	107.0	3261.0	13.6	13.5	27.1	7.9	0.5	109.0	0.1	0.1	0.3	0.9	87.8	Brecha Recuay
36963	390285	8703381	4861	0.0	1.1	199.0	101.0	0.2	0.4	198.0	32.6	10.3	0.1	329.0	34400.0	79.0	8.4	61.8	53.5	0.9	87.0	0.1	0.6	0.4	5.8	158.0	Brecha Recuay
36965	390158	8703279	4790	0.0	0.3	43.8	114.0	0.2	0.9	111.0	14.1	6.7	0.1	170.0	2026.0	7.5	26.8	66.7	32.1	0.8	58.2	0.1	0.1	0.5	0.8	66.0	Brecha Recuay
36966	390222	8703364	4818	0.0	0.2	43.6	9367.0	0.4	1.5	92.0	20.7	7.7	0.1	217.0	1753.0	6.7	44.1	19.8	31.1	1.0	330.0	0.2	0.1	0.5	0.7	82.0	Brecha Recuay
36967	390061	8703336	4848	0.0	0.1	32.9	4455.0	0.3	0.6	34.0	25.9	1.9	0.1	34.5	3248.0	11.2	13.2	4.5	28.8	0.5	216.0	0.0	0.0	0.8	0.9	53.1	Brecha Recuay
36968	390108	8703493	4831	0.0	0.1	15.9	5333.0	0.3	0.8	83.0	10.1	5.1	0.2	29.3	2353.0	6.5	25.4	8.9	9.2	0.8	150.0	0.3	0.1	0.2	4.1	54.8	Brecha Recuay
36970	390273	8703448	4845	0.0	0.1	33.4	5405.0	0.8	1.9	55.0	20.3	9.4	0.1	101.0	1394.0	6.4	82.6	11.5	18.8	1.3	171.0	0.3	0.2	0.5	2.5	85.5	Brecha Recuay
36973	390302	8703308	4825	0.0	0.4	102.0	14400.0	0.4	1.4	43.0	15.1	5.1	0.1	65.7	2469.0	7.1	27.4	22.3	6.2	0.7	518.0	0.1	0.1	0.3	1.6	84.1	Brecha Recuay
36974	390243	8703224	4777	0.0	0.2	92.0	820.0	0.7	2.8	136.0	16.7	8.5	0.1	192.0	1719.0	9.2	58.4	44.1	8.1	1.2	123.0	0.4	0.1	0.9	1.6	101.0	Brecha Recuay
36980	390117	8703056	4748	0.0	0.3	103.0	2121.0	0.2	0.4	51.0	6.7	8.0	0.1	15.6	2187.0	6.9	11.1	92.7	7.8	0.9	54.7	0.1	0.1	0.6	1.2	47.0	Brecha Recuay
36981	390062	8702985	4744	0.0	0.1	27.3	233.0	0.9	1.4	60.0	34.2	14.4	0.1	96.3	1013.0	10.6	73.3	67.8	6.2	1.2	155.0	0.2	0.2	1.0	0.9	95.1	Brecha Recuay

Anexo A (cont.). Resultados de los análisis químicos en las vetas San Cristóbal, Andaychagua, Prosperidad W.(Prosperidad E y Sur, Brecha Recuay y San Cristóbal Este. Coordenadas UTM PSAD 56.

Muestra	Este	Norte	Cota	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Ba (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ga (ppm)	In (ppm)	Li (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Rb (ppm)	Sb (ppm)	Sn (ppm)	Sr (ppm)	Te (ppm)	Ti (%)	U (ppm)	W (ppm)	Zn (ppm)	Estructura
36984	389993	8703060	4719	0.0	0.1	20.2	13900.0	0.5	1.2	44.0	23.9	4.9	0.1	115.0	1968.0	6.1	20.4	18.0	5.1	0.5	359.0	0.1	0.1	0.4	0.7	66.5	Brecha Recuay
36988	389853	8702907	4628	0.0	0.3	33.9	1479.0	0.8	2.4	63.0	41.6	10.4	0.1	30.8	2349.0	8.2	84.8	42.7	6.4	1.2	87.2	0.2	0.1	1.5	0.9	114.0	Brecha Recuay
36989	390241	8703328	4803	0.0	0.3	24.7	1075.0	0.8	1.7	79.0	18.4	10.0	0.1	200.0	1298.0	7.5	78.1	30.8	7.0	1.3	127.0	0.2	0.2	0.6	0.8	94.3	Brecha Recuay
39024	387576	8705614	4755	0.0	0.6	21.8	8096.0	2.2	1.1	41.0	8.5	5.6	0.2	42.9	3069.0	8.5	22.9	10.0	3.5	0.5	517.0	0.1	0.1	0.2	14.2	98.7	San Cristóbal Este
39025	387648	8705741	4789	0.0	0.2	5.0	6540.0	1.9	1.4	60.0	30.4	7.3	0.1	20.0	4116.0	6.9	17.5	23.5	2.2	0.6	266.0	0.0	0.1	1.9	5.7	88.3	San Cristóbal Este
39026	387649	8705847	4802	0.0	0.9	14.3	696.0	15.3	1.0	66.0	18.0	9.7	0.1	42.6	2755.0	9.2	37.3	38.5	3.8	1.0	188.0	0.1	0.2	0.6	11.1	97.2	San Cristóbal Este
39027	387604	8705909	4855	0.0	0.4	17.5	783.0	0.5	1.3	64.0	52.5	9.9	0.1	88.8	4222.0	7.7	40.9	24.8	5.3	1.0	213.0	0.1	0.1	0.7	4.2	99.0	San Cristóbal Este
39028	387393	8705939	4940	0.0	0.2	28.0	214.0	0.6	2.7	23.0	14.7	11.8	0.1	59.0	2116.0	7.4	83.6	27.8	6.4	1.0	136.0	0.2	0.2	0.9	3.6	101.0	San Cristóbal Este
39029	387637	8706046	4845	0.0	0.3	29.9	2988.0	3.3	1.6	54.0	19.0	10.4	0.1	111.0	2432.0	6.4	60.8	26.6	8.7	1.1	180.0	0.1	0.2	0.7	3.6	79.2	San Cristóbal Este
39030	387490	8706229	4940	0.0	0.3	15.7	8461.0	0.2	1.2	72.0	6.2	8.6	0.2	68.2	3912.0	4.1	24.7	25.4	4.4	0.7	237.0	0.1	0.1	0.7	2.4	139.0	San Cristóbal Este
39031	387915	8706332	4963	0.0	0.1	18.3	6330.0	0.3	0.6	110.0	84.3	4.8	0.1	226.0	1547.0	16.5	14.2	17.1	15.3	0.7	1457.0	0.0	0.1	0.5	3.2	81.6	San Cristóbal Este
39032	387992	8706294	4932	0.0	0.2	33.4	5907.0	1.3	0.3	63.0	19.7	3.8	0.1	150.0	3254.0	13.1	8.5	8.2	18.5	0.4	216.0	0.0	0.1	1.4	3.9	77.9	San Cristóbal Este
39033	387970	8706310	4949	0.0	0.2	24.0	1660.0	0.4	0.2	56.0	17.1	6.0	0.1	348.0	2301.0	14.3	12.3	21.5	36.7	0.5	187.0	0.1	0.2	3.0	2.9	68.2	San Cristóbal Este
39036	388201	8706289	4973	0.0	0.2	33.0	313.0	0.7	1.5	115.0	32.4	9.7	0.1	102.0	3517.0	11.7	54.6	7.1	11.7	0.9	359.0	0.2	0.3	3.6	3.0	71.0	San Cristóbal Este
39037	388303	8705884	4760	0.0	0.1	17.9	276.0	0.6	1.3	96.0	11.8	9.1	0.1	72.3	1375.0	9.1	47.5	4.2	8.9	1.3	311.0	0.1	0.1	0.8	1.3	71.1	San Cristóbal Este
39038	388529	8705990	4827	0.0	0.2	32.8	4648.0	0.9	1.7	59.0	9.5	4.5	0.1	20.5	2219.0	10.4	36.1	2.2	7.4	0.5	148.0	0.1	0.1	0.4	1.0	87.6	San Cristóbal Este
39039	388584	8706037	4829	0.0	0.1	40.2	12800.0	0.7	2.4	39.0	8.9	4.6	0.1	29.2	2595.0	16.8	41.6	0.7	8.4	0.6	575.0	0.3	0.1	0.8	1.3	142.0	San Cristóbal Este

Anexo B. Resultado de los análisis geoquímicos en los halos de alteración. Coordenadas UTM PSAD 56.

Muestra	Este	Norte	Cota	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	Sr (ppm)	Ba (ppm)	Rb (ppm)	Distancia de la Veta (m)	Roca / Ensamble de Alteración
Veta Andaychagua															
36990	390238	8703330	4805	6.1	12.0	4.5	1.5	6.2	0.4	0.2	27.7	74.0	71.7	0.2	volc. and. / ill, py, qz, dck, carb.
36991	390243	8703327	4812	8.4	6.4	3.6	2.0	3.2	0.3	0.2	31.0	108.0	115.0	1.5	volc. and. / ill, py, qz, dck.
36992	390258	8703326	4816	10.7	3.8	2.3	1.1	1.8	1.1	0.3	96.9	552.0	54.0	12.0	volc. and. / chl, dck, carb.
36929	389045	8701674	4776	14.0	0.0	6.2	4.1	0.7	0.4	0.3	5.3	263.0	241.0	16.5	volc. and. / chl, dck.
36926	388914	8701499	4874	15.7	0.3	3.3	2.5	1.9	3.6	0.4	84.5	239.0	127.0	19.8	volc. and. / chl, dck.
36987	389916	8702953	4674	14.2	2.5	4.7	2.2	0.4	4.0	0.6	42.7	314.0	83.5	33.6	volc. and. / chl, carb, dck.
36917	388534	8701147	4776	10.6	0.1	5.0	2.9	0.6	0.3	0.3	23.4	362.0	138.0	35.8	filita inalterada?.
36957	390346	8703538	4878	10.5	4.5	3.5	1.7	2.2	2.5	0.3	192.0	1214.0	86.5	37.7	toba / chl, dck, carb.
36978	390040	8703134	4757	11.7	0.1	2.3	2.9	0.3	0.3	0.4	18.0	436.0	159.0	44.7	volc. and. / carb, chl, py.
36920	388668	8701300	4891	11.4	4.9	12.9	0.1	8.0	1.7	0.9	60.2	15.0	7.4	45.7	metavolcánico / chl, carb, py.
36923	388795	8701449	4895	12.6	0.0	4.6	3.8	0.6	0.3	0.2	13.8	391.0	202.0	46.3	filita inalterada?.
36942	389831	8702695	4542	14.0	2.9	4.5	1.6	1.5	1.1	0.5	100.0	480.0	66.7	46.3	volc. and. / chl.
36941	389716	8702710	4502	13.0	3.1	3.4	1.5	1.8	1.1	0.4	193.0	803.0	44.8	48.7	volc. and. / chl, dck, carb, ill.
36933	389156	8701811	4762	13.7	1.6	3.4	3.7	1.7	0.4	0.4	22.9	287.0	143.0	49.5	volc. and. / cao, py.
36983	389936	8702838	4645	14.3	2.4	3.2	2.4	0.9	2.5	0.5	74.9	675.0	93.3	50.9	volc. and. / chl, dck, carb.
36958	390414	8703474	4880	10.9	4.5	3.4	0.1	2.6	0.4	0.3	226.0	139.0	4.8	55.5	toba / chl, carb.
36934	389109	8701718	4786	13.2	0.2	3.9	3.3	2.2	0.4	0.2	12.2	329.0	143.0	56.1	volc. and. / cao, py.
36982	390008	8702911	4692	14.6	1.2	3.4	1.5	0.5	5.4	0.5	94.4	629.0	56.5	60.9	volc. and. inalterado?.
36946	389802	8702852	4577	13.2	1.0	3.5	2.1	0.9	0.9	0.4	107.0	1030.0	79.9	67.4	volc. and. / chl, dck, carb.
36915	388565	8701003	4736	8.1	0.0	2.5	2.5	0.4	0.2	0.2	14.1	287.0	108.0	67.7	filita / chl, py.
36935	389236	8701884	4700	15.1	2.4	2.8	2.5	1.7	3.0	0.4	35.6	158.0	106.0	75.9	volc. and. / qz, cao, py.
36979	390192	8703136	4743	6.9	13.1	4.6	1.0	6.4	1.0	0.2	79.2	1227.0	53.7	76.0	volc. and. / chl, dck, carb.
36931	388973	8701763	4742	13.5	0.8	3.7	4.0	2.2	1.3	0.4	44.2	346.0	207.0	86.0	toba / cao, py.
36930	388939	8701713	4780	14.0	0.6	3.5	2.6	2.2	2.3	0.3	108.0	356.0	119.0	93.5	volc. and. / cao, py.
36969	390172	8703551	4841	11.5	0.2	3.0	0.8	0.1	0.2	0.4	54.6	306.0	19.2	186.5	volc. and. / chl, dck, carb.
Veta Prosperidad Sur															
39008	388855	8701854	4786	15.1	0.3	4.0	2.2	2.1	4.0	0.4	117.0	411.0	99.2	0.1	aglomerado / ill, chl, py.
39007	388849	8701858	4787	14.4	0.3	4.7	6.4	1.8	0.8	0.5	27.5	501.0	299.0	0.5	aglomerado / ill, chl, py.
39003	388860	8701852	4799	15.7	0.3	3.5	2.4	2.1	3.9	0.4	108.0	333.0	112.0	3.5	volc. and. / ill, dck, chl.
39004	388835	8701858	4787	14.7	3.1	3.4	3.7	1.3	2.2	0.4	122.0	356.0	196.0	11.4	aglomerado / chl, carb.
39009	388863	8701844	4771	14.4	0.6	3.7	2.7	1.8	3.3	0.4	142.0	420.0	126.0	12.0	aglomerado / chl, carb, dck.
39018	388965	8701938	4732	14.6	0.4	3.5	2.5	1.7	4.2	0.3	108.0	390.0	101.0	14.4	aglomerado / chl, carb, dck.
39010	388834	8701866	4791	13.0	1.2	2.3	3.9	1.0	1.9	0.3	81.6	514.0	184.0	18.9	volc. and. / chl, dck, carb.
39016	388927	8701947	4750	14.5	0.4	3.7	2.3	1.9	4.2	0.4	115.0	329.0	96.8	42.0	aglomerado / chl, carb, dck.

Anexo B (cont.). Resultado de los análisis geoquímicos en los halos de alteración. Coordenadas UTM PSAD 56.

Muestra	Este	Norte	Cota	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	Sr (ppm)	Ba (ppm)	Rb (ppm)	Distancia de la Veta (m)	Roca / Ensamble de Alteración
Veta Prosperidad E															
39011	388807	8701948	4806	14.3	0.1	5.0	5.7	1.0	1.2	0.4	19.7	416.0	260.0	0.1	aglomerado / ill, chl, py, qz.
39012	388805	8701939	4781	14.9	0.6	4.3	5.8	1.4	1.6	0.4	23.6	358.0	285.0	1.5	aglomerado / ill, chl, py.
39000	388803	8701942	4816	14.5	0.2	3.5	5.4	1.0	2.0	0.3	33.8	421.0	264.0	5.1	aglomerado / chl, dck, ill.
39014	388811	8701937	4803	15.1	0.3	4.2	3.5	1.3	3.6	0.4	54.8	368.0	159.0	10.0	aglomerado / chl, dck, carb.
39013	388800	8701962	4796	13.9	0.5	3.9	3.5	1.2	3.3	0.4	47.7	251.0	182.0	12.0	aglomerado / chl, ill, dck, carb.
39002	388824	8701915	4803	14.9	0.7	4.2	2.0	1.8	4.4	0.4	76.3	308.0	89.0	37.0	volc. and. / chl, dck, carb.
Veta Prosperidad W															
39022	387249	8701432	5017	13.6	0.0	4.4	3.7	0.3	0.3	0.3	229.0	463.0	171.0	0.3	filita / mus-spc, qz, py, ill.
39021	387245	8701438	5017	13.7	0.0	4.2	3.8	0.4	0.4	0.4	155.0	467.0	169.0	0.4	filita / chl-spc, mus-spc, qz.
36996	387846	8701601	4860	15.5	0.1	5.9	3.7	1.6	0.5	0.1	27.9	602.0	173.0	1.2	filita / ill, chl-spc, py.
39019	387244	8701437	5013	16.7	0.2	5.2	4.3	1.6	0.5	0.5	52.9	659.0	194.0	4.0	filita / ill, chl-spc.
39006	388221	8701702	4868	9.4	10.3	9.2	2.2	5.9	0.9	0.9	85.5	170.0	99.9	4.7	metavolcánico / dck-carb, chl, py.
39020	387242	8701426	5018	14.6	0.1	5.7	3.7	1.6	0.5	0.5	29.8	548.0	172.0	5.0	filita / chl-spc, mus, py.
Veta San Cristóbal															
39056	386574	8703713	5026	12.2	0.0	3.4	3.0	0.3	0.2	0.4	47.4	339.0	143.0	0.5	filita / mus-spc, py, qz.
39042	386708	8703922	5068	12.9	0.2	1.8	3.6	0.4	0.2	0.2	380.0	446.0	142.0	1.0	toba / mus-spc, ill, qz.
39043	386714	8703910	5071	10.2	0.0	1.4	2.8	0.3	0.2	0.2	271.0	112.0	104.0	1.0	toba / mus-spc, ill, py, qz.
39048	386883	8704090	4997	9.6	0.0	1.2	2.5	0.1	0.1	0.1	178.0	72.0	100.0	1.0	toba / mus-spc, ill, qz.
39049	386881	8704093	4997	10.9	0.0	3.3	2.9	0.2	0.2	0.2	90.7	56.0	114.0	1.0	toba / mus-spc, ill, py, qz.
39055	386571	8703714	5024	11.6	0.1	8.3	2.8	0.1	0.2	0.5	86.8	56.0	122.0	2.0	toba / ill, py, spc, qz.
39050	386879	8704096	5007	13.8	0.1	5.7	3.8	0.6	0.4	0.3	83.3	96.0	181.0	3.5	toba / mus-spc, ill, py, chl, qz.
39047	386881	8704086	4990	12.6	0.1	4.5	3.0	1.3	0.3	0.3	24.7	122.0	129.0	4.0	toba / mus-spc, ill, py, chl.
39054	386566	8703710	5028	13.7	0.0	6.0	3.6	0.3	0.2	0.2	63.6	98.0	129.0	4.0	toba / mus-spc, ill, py, chl.
39044	386721	8703904	5071	14.1	0.1	4.3	4.1	0.5	0.4	0.3	212.0	140.0	152.0	10.0	toba / chl, ill, spc, cao.
39057	386561	8703692	5027	12.9	0.0	2.2	3.7	0.4	0.3	0.3	6.7	136.0	134.0	12.0	toba / chl-spc, cao.
39045	386709	8703944	5099	12.4	0.2	3.4	3.8	1.2	0.3	0.3	11.2	331.0	143.0	30.0	toba / chl, py, dck, ill.
39046	386736	8703884	5087	13.6	0.1	6.5	4.0	1.2	0.4	0.3	15.4	150.0	167.0	34.0	toba / chl, dck, py.
39052	386549	8703654	4999	11.9	1.9	3.3	3.4	1.5	0.4	0.4	102.0	330.0	133.0	35.0	volc. and. / chl, dck, carb.

Abreviaturas: carb=carbonato; cao=caolinita, chl=clorita; dck=dickita; ill=illita; mus=muscovita; py=pirita; qz=cuarzo; spc=especularita; volc. and.=volcánico andesítico. Guiones refieren ensambles y comas asociaciones. Filas con fondos grises pertenecen a muestras estudiadas en secciones delgadas.

Anexo C. Análisis de fluorescencia de rayos X sobre carbonatos de la serie ankerita-dolomita.

Muestra	MgO (%)	CaO (%)	MnO (%)	FeO (%)	ZnO (%)	Muestra	MgO (%)	CaO (%)	MnO (%)	FeO (%)	ZnO (%)
36945	4.37	25.09	24.60	3.11	0.09	AND141	7.09	33.00	0.65	16.57	0.02
36971	9.51	31.53	6.81	9.28	0.20	AND 142	12.10	37.17	0.34	7.62	0.10
36971	8.75	32.56	5.95	9.91	0.17	36971	8.78	36.63	1.70	10.13	0.08
39025	11.43	35.80	1.28	8.73	0.08	AND 148	13.30	34.83	0.52	8.65	0.03
39025	10.60	35.02	1.19	10.37	0.15	AND 155	5.49	38.56	0.85	12.32	0.11
39039	13.94	40.81	0.10	2.40	0.06	VTM 01	8.58	32.71	0.60	15.42	0.02
36943	3.73	35.75	0.79	16.96	0.10	36966	12.42	34.83	0.24	9.58	0.26
36947	14.09	41.68	0.29	1.22	0.03	36972	16.34	30.83	0.64	9.52	0.00
36948	12.00	31.82	0.49	12.98	0.04	36972	12.87	33.41	0.91	10.13	0.00
AND85	11.78	33.54	0.71	11.27	0.02	36972	5.93	37.81	3.23	10.18	0.17
36989	12.59	33.30	0.53	10.85	0.06	36990	7.42	35.27	1.13	13.23	0.28
36990	11.51	32.50	0.44	12.84	0.03	36990	10.02	35.32	0.36	11.39	0.23
36991	8.98	34.53	0.57	13.20	0.04	39027	17.00	31.14	1.26	7.77	0.16
36992	11.67	32.47	0.51	12.63	0.05	39027	15.24	31.28	1.55	9.08	0.18
AND-13-17	13.14	31.98	0.33	11.80	0.08	39032	12.56	36.51	0.36	7.74	0.15
SAN-84-17	9.45	37.32	0.44	10.04	0.09	39032	0.18	39.53	0.36	17.00	0.26
39033	8.82	34.27	0.74	13.49	0.00	39032	0.13	35.56	0.79	20.50	0.35
39038	7.98	31.49	0.53	16.89	0.44	AND 145	8.21	33.25	0.62	15.23	0.03
39039	13.62	36.93	0.83	5.90	0.05	39006	5.59	32.39	4.82	14.52	0.01
36950	13.97	31.68	0.79	10.89	0.00	AND164	10.41	32.73	2.90	11.24	0.05
AND 87	8.41	34.48	0.52	13.76	0.15	AND80	10.03	33.54	0.38	13.33	0.05
AND 90	9.10	33.61	0.34	14.15	0.14	AND81	9.99	36.41	0.54	10.22	0.17
AND 91	14.62	34.98	0.76	6.91	0.06	AND83	10.92	30.04	1.84	14.27	0.26
36959	8.85	35.23	0.79	12.46	0.01	AND120	7.19	28.85	0.45	20.73	0.11
AND 114	6.84	29.75	0.59	20.11	0.04	AND118	10.59	33.34	0.61	12.76	0.04
AND 116	8.38	35.68	0.71	12.47	0.09	SAN-127-17	13.78	33.15	1.04	9.34	0.01
36964	7.55	32.30	5.26	12.10	0.11	AND126	11.59	31.37	0.89	13.33	0.15
36965	4.52	35.44	1.12	16.16	0.08	AND127	2.65	41.44	0.31	12.85	0.08
36967	11.33	35.03	0.65	10.26	0.06	AND145	9.52	32.18	0.56	15.01	0.06
AND 124	10.30	32.93	0.88	13.12	0.09	AND115	7.79	35.65	0.93	12.90	0.06
36968	7.46	35.19	0.89	13.76	0.04	AND103	15.74	37.12	0.25	4.19	0.02
AND 139	11.42	31.29	0.71	13.88	0.03						

Filas con fondos grises pertenecen a muestras estudiadas en secciones delgadas.

Anexo D. Análisis de fluorescencia de rayos X en carbonatos de la serie siderita-rodrosita.

Muestra	Mineral	MgO (%)	CaO (%)	MnO (%)	FeO (%)	ZnO (%)
36945	rodrosita	6.26	1.61	48.14	5.37	0.32
36945	rodrosita	0.00	1.42	53.64	6.46	0.19
36945	rodrosita	0.15	1.65	53.29	6.47	0.13
36964	rodrosita	0.08	4.18	51.40	5.56	0.48
36964	rodrosita	1.18	2.68	51.23	5.74	0.87
36964	rodrosita	0.00	3.13	51.53	6.50	0.53
36972	rodrosita	0.00	3.76	53.99	3.88	0.07
36994	rodrosita	0.98	0.01	31.53	28.27	0.91
39011	rodrosita	0.21	1.75	32.05	27.29	0.39
AND-01-17	rodrosita	1.55	2.11	52.15	5.79	0.10
AND-BR-65	rodrosita	0.00	0.06	37.22	24.34	0.08
AND-BR-72	rodrosita	0.00	0.66	54.00	7.03	0.00
36938	manganosiderita	8.33	0.01	20.83	31.45	1.28
36924	manganosiderita	0.12	0.01	18.41	42.24	1.14
36924	manganosiderita	0.00	0.08	18.03	42.47	1.33
36928	manganosiderita	0.86	0.15	19.36	39.78	1.76
36931	manganosiderita	0.01	0.94	25.72	35.19	0.05
36938	manganosiderita	0.00	0.00	21.86	36.18	3.88
36938	manganosiderita	1.98	0.01	22.63	36.35	0.95
36938	manganosiderita	0.02	0.06	21.86	39.80	0.18
36940	manganosiderita	0.08	0.12	20.69	39.57	1.46
36993	manganosiderita	0.00	0.33	23.68	37.09	0.82
36993	manganosiderita	0.08	0.04	22.40	39.30	0.10
36993	manganosiderita	0.14	0.00	20.21	41.24	0.33
36993	manganosiderita	0.05	0.04	17.53	43.87	0.42
36994	manganosiderita	0.11	0.02	21.20	39.96	0.62
36995	manganosiderita	0.65	0.05	21.31	39.46	0.44
37261	manganosiderita	0.00	0.00	23.75	38.16	0.00
37261	manganosiderita	0.00	0.00	21.42	39.09	1.41
39040	manganosiderita	2.45	0.24	16.57	37.44	5.21
39040	manganosiderita	0.00	0.32	15.57	39.97	6.06
AND51	manganosiderita	0.01	0.02	25.25	36.25	0.39
AND56	manganosiderita	3.04	0.13	21.62	36.40	0.73
AND57	manganosiderita	1.39	0.19	22.57	37.39	0.37
PR-12-SUP-17 (03)	manganosiderita	2.81	0.40	22.04	35.85	0.82
PR-12-SUP-17 (03)	manganosiderita	0.00	0.07	24.06	37.13	0.65
PR-12-SUP-17 (03)	manganosiderita	0.00	0.11	23.78	37.22	0.81
PR-12-SUP-17 (05)	manganosiderita	4.87	0.04	17.44	38.86	0.71
PR-12-SUP-17 (05)	manganosiderita	2.36	0.30	24.74	34.33	0.19

Filas con fondos grises pertenecen a muestras estudiadas en secciones delgadas.

Anexo E. Resumen de resultados de microtermometría de las inclusiones fluidas de los depósitos cordilleranos del distrito de San Cristóbal.

Muestra	Mineral huésped	Deposito / Etapa	Tipo de Inclusión	Tf hielo °C	Salinidad (NaCl wt % eq)	Th°C
39041	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria (L _i)	-1.80	3.06	212.30
39041	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria (L _i)	-1.90	3.23	212.90
39041	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Pseudosecundaria (L _{ps})	-3.80	6.16	233.00
39041	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria (L _i)	-1.00	1.74	231.20
39041	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria (L _i)	-2.70	4.49	221.80
39041	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria (L _i)	-2.30	3.87	216.00
39041	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria trifásica (B ₁)	n.d.	43.46*	269.10
39041	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria (L _i)	-2.70	4.49	302.70
39041	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria (L _i)	-1.70	2.90	212.50
39041	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Pseudosecundaria (L _{ps})	-2.30	3.87	224.20
39041	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Pseudosecundaria (L _{ps})	-1.90	3.23	214.20
39041	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Pseudosecundaria (L _{ps})	-1.90	3.23	227.30
39041	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria trifásica (B ₁)	n.d.	45.98*	283.80
39041	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria (L _i)	-3.00	4.96	242.40
39041	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria trifásica (B ₁)	n.d.	44.44*	257.60
39041	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria trifásica (B ₁)	n.d.	43.46*	241.90
39051	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria (L _i)	-2.30	3.87	247.70
39051	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria (L _i)	-3.00	4.96	261.40
39051	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria trifásica (B ₁)	n.d.	45.05*	266.80
39051	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria trifásica (B ₁)	n.d.	44.40*	245.20
39051	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria (L _i)	-2.70	4.49	254.50
39051	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria (L _i)	-2.80	4.65	253.70
39053	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria (L _i)	-1.00	4.74	287.10
39058	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria (L _i)	-1.80	3.06	280.30
39058	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria (L _i)	-2.10	3.55	281.10
39058	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria trifásica (B ₁)	n.d.	46.40*	306.00
39058	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria (L _i)	-2.90	4.80	279.30
39058	cuarzo	Veta San Cristóbal / qz-py-w	Primaria (L _i)	-2.80	4.65	251.20
36997	cuarzo	Veta Prosperidad W/ qz-py-w	Primaria (L _i)	-2.20	3.71	206.80
36997	cuarzo	Veta Prosperidad W/ qz-py-w	Pseudosecundaria (L _{ps})	-3.70	6.01	214.10
36997	cuarzo	Veta Prosperidad W/ qz-py-w	Primaria (L _i)	-2.30	3.87	205.70
36997	cuarzo	Veta Prosperidad W/ qz-py-w	Pseudosecundaria (L _{ps})	-4.10	6.45	180.30
36997	cuarzo	Veta Prosperidad W/ qz-py-w	Primaria trifásica (B ₁)	n.d.	47.58*	203.10
36997	cuarzo	Veta Prosperidad W/ qz-py-w	Primaria (L _i)	-1.60	2.74	209.40
36997	cuarzo	Veta Prosperidad W/ qz-py-w	Primaria trifásica (B ₁)	n.d.	48.70*	219.00
39005	cuarzo	Veta Prosperidad W/ qz-py-w	Primaria (L _i)	-2.40	4.03	198.00
39005	cuarzo	Veta Prosperidad W/ qz-py-w	Primaria (L _i)	-2.20	3.71	214.20
39005	cuarzo	Veta Prosperidad W/ qz-py-w	Primaria (L _i)	-2.30	3.87	198.30

Anexo E (cont.): Resumen de resultados de microtermometría de las inclusiones fluidas de los depósitos cordilleranos del distrito de San Cristóbal.

Muestra	Mineral huésped	Deposito / Etapa	Tipo de Inclusión	Tf hielo °C	Salinidad (NaCl wt % eq)	Th°C
39005	cuarzo	Veta Prosperidad W/ qz-py-w	Primaria (L ₁)	-2.20	3.71	194.50
39005	cuarzo	Veta Prosperidad W/ qz-py-w	Primaria trifásica (B ₁)	n.d.	42.51*	197.40
39023	cuarzo	Veta Prosperidad W/ qz-py-w	Primaria (L ₁)	-1.20	2.07	226.40
39023	cuarzo	Veta Prosperidad W/ qz-py-w	Primaria trifásica (B ₁)	n.d.	46.51*	242.80
39023	cuarzo	Veta Prosperidad W/ qz-py-w	Primaria (L ₁)	-1.40	2.41	237.70
39023	cuarzo	Veta Prosperidad W/ qz-py-w	Pseudosecundaria (L _{ps})	-3.00	4.96	204.50
39023	cuarzo	Veta Prosperidad W/ qz-py-w	Primaria trifásica (B ₁)	n.d.	45.05*	299.10
36924	cuarzo	Veta Andaychagua / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L _{3-qz})	-2.20	3.71	217.30
36924	cuarzo	Veta Andaychagua / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L _{3-qz})	-2.40	4.03	216.10
36924	cuarzo	Veta Andaychagua / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L _{3-qz})	-2.20	3.71	218.60
36938	cuarzo	Veta Andaychagua / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L _{3-qz})	-3.10	5.11	201.60
36938	cuarzo	Veta Andaychagua / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L _{3-qz})	-2.90	4.80	197.10
36938	cuarzo	Veta Andaychagua / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L _{3-qz})	-2.90	4.80	194.30
36938	manganosiderita	Veta Andaychagua / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L _{3-msd})	-3.60	5.86	222.20
36938	manganosiderita	Veta Andaychagua / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L _{3-msd})	-3.40	5.56	221.30
36938	esfalerita I (zona 3)	Veta Andaychagua / metales base	Primaria (L _{2-sp2})	-2.80	4.65	235.70
36938	esfalerita I (zona 3)	Veta Andaychagua / metales base	Primaria (L _{2-sp2})	-3.20	5.26	229.80
36940	manganosiderita	Veta Andaychagua / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L _{3-msd})	-3.30	5.41	205.60
36940	esfalerita I (zona 3)	Veta Andaychagua / metales base	Primaria (L _{2-sp2})	-1.40	2.41	163.10
36940	esfalerita I (zona 3)	Veta Andaychagua / metales base	Primaria (L _{2-sp2})	-1.60	2.76	167.00
36940	esfalerita I (zona 2)	Veta Andaychagua / metales base	Primaria (L _{2-sp1})	-3.30	5.41	197.20
36940	esfalerita I (zona 2)	Veta Andaychagua / metales base	Primaria (L _{2-sp1})	-3.10	5.11	193.50
36945	cuarzo	Veta Andaychagua / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L _{3-qz})	-2.70	4.49	176.00
36964	cuarzo	Veta Andaychagua / manganosiderita-rodocrosita	Pseudosecundaria	-2.40	4.03	263.30
36964	cuarzo	Veta Andaychagua / manganosiderita-rodocrosita	Pseudosecundaria	-2.20	3.71	265.90
36971	cuarzo	Veta Andaychagua / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L _{3-qz})	-2.40	4.03	170.40
36976	baritina	Veta Andaychagua / manganosiderita-rodocrosita	Primaria? (L _{3-ba})	-1.70	2.90	222.10
36976	cuarzo	Veta Andaychagua / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L _{3-qz})	-3.20	5.26	163.20
36976	cuarzo	Veta Andaychagua / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L _{3-qz})	-3.40	5.56	167.00
36976	cuarzo	Veta Andaychagua / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L _{3-qz})	-3.50	5.71	164.10
36985	esfalerita I (zona 3)	Veta Andaychagua / metales base	Primaria (L _{2-sp2})	-2.50	4.18	180.30
36985	esfalerita I (zona 3)	Veta Andaychagua / metales base	Primaria (L _{2-sp2})	-2.70	4.49	187.40
36985	esfalerita I (zona 3)	Veta Andaychagua / metales base	Primaria (L _{2-sp2})	-2.50	4.18	192.10
36985	esfalerita I (zona 3)	Veta Andaychagua / metales base	Primaria (L _{2-sp2})	-2.60	4.34	188.90

Anexo E (cont.): Resumen de resultados de microtermometría de las inclusiones fluidas de los depósitos cordilleranos del distrito de San Cristóbal.

Muestra	Mineral huésped	Deposito / Etapa	Tipo de Inclusión	Tf hielo °C	Salinidad (NaCl wt % eq)	Th°C
39017	cuarzo	Veta Prosperidad E/ metales base	Primaria (L2-qz)	-3.10	5.11	273.00
39017	cuarzo	Veta Prosperidad E/ metales base	Primaria (L2-qz)	-3.20	5.26	281.80
36993	manganosiderita	Veta Prosperidad Sur / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L3-msd)	-3.10	5.11	192.00
36993	manganosiderita	Veta Prosperidad Sur / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L3-msd)	-2.80	4.65	193.30
36993	manganosiderita	Veta Prosperidad Sur / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L3-msd)	-3.30	5.41	195.20
36993	cuarzo	Veta Prosperidad Sur / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L3-qz)	-2.20	3.71	223.10
36993	esfalerita II	Veta Prosperidad Sur / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L3-sp)	-2.30	3.87	214.70
36993	esfalerita II	Veta Prosperidad Sur / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L3-sp)	-2.60	4.34	211.30
36994	baritina	Veta Prosperidad Sur / manganosiderita-rodocrosita	Primaria? (L3-ba)	-1.90	3.23	256.30
36994	baritina	Veta Prosperidad Sur / manganosiderita-rodocrosita	Primaria? (L3-ba)	-2.90	4.80	235.80
36994	baritina	Veta Prosperidad Sur / manganosiderita-rodocrosita	Primaria? (L3-ba)	-1.80	3.06	271.60
PR-12-SUP-17 (05)	manganosiderita	Veta Prosperidad E/ manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L3-msd)	-2.60	4.34	196.20
PR-12-SUP-17 (05)	baritina	Veta Prosperidad E/ manganosiderita-rodocrosita	Primaria? (L3-ba)	-2.90	4.80	270.10
PR-12-SUP-17 (05)	manganosiderita	Veta Prosperidad E/ manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L3-msd)	-2.80	4.65	190.30
PR-12-SUP-17 (05)	manganosiderita	Veta Prosperidad E/ manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L3-msd)	-3.00	4.96	206.40
PR-12-SUP-17 (03)	esfalerita I (zona 2)	Veta Prosperidad Sur / metales base	Primaria (L2-sp1)	-2.40	4.03	268.30
PR-12-SUP-17 (03)	manganosiderita	Veta Prosperidad Sur / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L3-msd)	-2.20	3.71	194.50
PR-12-SUP-17 (03)	manganosiderita	Veta Prosperidad Sur / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L3-msd)	-1.90	3.23	194.60
PR-12-SUP-17 (03)	manganosiderita	Veta Prosperidad Sur / manganosiderita-rodocrosita	Primaria (L3-msd)	-2.00	3.39	192.50
36973	calcita	Brecha Recuay / ankerita-dolomita	Primaria (L4-cal)	-2.10	3.55	192.60
36973	calcita	Brecha Recuay / ankerita-dolomita	Primaria (L4-cal)	-1.90	3.23	200.40
36973	calcita	Brecha Recuay / ankerita-dolomita	Primaria (L4-cal)	-2.20	3.71	207.30
36973	cuarzo	Brecha Recuay / ankerita-dolomita	Primaria (L4-qz)	-2.30	3.87	222.10
36973	cuarzo	Brecha Recuay / ankerita-dolomita	Primaria (L4-qz)	-2.40	2.03	231.80
39039	cuarzo	San Cristóbal Este / ankerita-dolomita	Primaria (L4-qz)	-0.80	1.40	173.20
39039	cuarzo	San Cristóbal Este / ankerita-dolomita	Primaria (L4-qz)	-1.00	1.74	177.60
39039	cuarzo	San Cristóbal Este / ankerita-dolomita	Primaria (L4-qz)	-0.90	1.57	175.70

* Salinidad mínima calculada a partir de la temperatura de decrepitación de la inclusión fluida.
 Abreviaturas: bar=baritina; cal=calcita; msd=manganosiderita; py=pirita; qz=cuarzo; sp=esfalerita; w=wolframita.