

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES y MUSEO
INSTITUTO DE RECURSOS MINERALES**



**TESIS DOCTORAL:
GEOLOGÍA Y METALOGÉNESIS DEL
COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN
(SUROESTE DE BOLIVIA)
Y ANÁLISIS COMPARATIVO
CON PROSPECTOS DEL
NORTE ARGENTINO**

WILFREDO RAMOS COLLORANA

**DIRECTOR DE TESIS: Dr. RAÚL R. FERNÁNDEZ
Universidad Nacional de La Plata**

**CO-DIRECTOR DE TESIS: Dr. BERND LEHMANN
Technische Universität Clausthal**

LA PLATA - ARGENTINA

2006

A mi papá:

Enrique Ramos Cabrera

(1941 – 1989)

“Perforista” en la Sección Minchin,

Empresa Minera Avicaya, Oruro-Bolivia.

Por tu trabajo sobre el tope de las vetas

y por compartir todos los mejores

momentos de mi vida y enseñarme

la inquietud de superación.

A mi Mamitay Marcelina:

Por todo su sacrificio como “Palliri” y “Cocani”,

en los ríos y desmontes del distrito

minero de Avicaya, Bolivia.



A:

María Angélica,

a mis tesoros Enrique Willy, Alelí “Wara” y Toño.

A: Edgar, Marisabel,

Triny, Concepción, Consuelo, Gabriel y Camila;

además a toda mi familia en general.

GEOLOGÍA Y METALOGÉNESIS DEL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN (SUROESTE DE BOLIVIA) Y ANÁLISIS COMPARATIVO CON PROSPECTOS DEL NORTE ARGENTINO

ÍNDICE

Página

Resumen

Abstract

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Agradecimientos.....	7
1.2. Planteamiento del tema de investigación.....	9
1.3. Objetivos.....	10
1.4. Ubicación de la zona de estudio.....	11
1.5. Antecedentes.....	14
1.6. Metodología de trabajo.....	16
 Capítulo 2. MARCO REGIONAL: GEOGRAFÍA, GEOLOGÍA Y METALOGENIA DE BOLIVIA	
2.1. Datos generales de Bolivia.....	20
2.2 Geografía.....	20
2.3. La industria minera de Bolivia.....	22
2.4. Geología.....	23
2.4.1. La Cordillera de los Andes.....	23
2.4.2. Marco geológico de Bolivia.....	23
2.4.3. Provincias geológicas	
2.4.3.1. Escudo Precámbrico	
2.4.3.2. Serranías Chiquitanas	
2.4.3.3. Llanura Chaco – Beniana	
2.4.3.4. Zona Subandina	
2.4.3.5. Cordillera Oriental	
2.4.3.6. Altiplano	
2.4.3.7. Cordillera Occidental	
2.4.4. Ciclos tectonoestratigráficos de Bolivia.....	28
2.4.5. Estratigrafía de Bolivia.....	28
2.4.5.1. Precámbrico	
2.4.5.2. Paleozoico	
2.4.5.3. Mesozoico	
2.4.5.4. Cenozoico	
2.5. Tectónica de Bolivia.....	34
2.6. Geología del suroeste de Bolivia.....	35
2.6.1. Paleozoico	
2.6.2. Mesozoico	
2.6.3. Cenozoico	
2.6.3.1. Magmatismo cenozoico	
2.6.4. Tectónica.....	40

2.7. Metalogenia de Bolivia.....	40
2.7.1. Fajas metálicas relacionadas al escudo precámbrico	
2.7.2. Fajas metálicas relacionadas al orógeno andino boliviano	

Capítulo 3. GEOLOGÍA DEL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN

3.1. Introducción.....	46
3.2. Geomorfología del Complejo Volcánico Galán.....	46
3.3. Estratigrafía del Complejo Volcánico Galán.....	50
3.3.1. Paleozoico	
3.3.2. Cenozoico	
3.3.3. Complejo Volcánico Galán	
3.3.3.1. Estratovolcán Azulejos	
3.3.3.2. Domos	
3.3.3.3. Diques	
3.3.3.4. Cuaternario	
3.4. Tectónica del Complejo Volcánico Galán.....	67
3.5. Petrología del Complejo Volcánico Galán.....	68
3.5.1. Petrografía.....	69
3.5.1.1. Resultados	
3.5.2. Geoquímica de rocas.....	73
3.5.2.1. Resultados	
3.5.2.2. Interpretación de resultados.....	75
3.5.3. Relación con la mineralización.....	85
3.6. Conclusiones.....	90

Capítulo 4. DEPÓSITOS MINERALES EN EL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN

4.1. Introducción.....	92
4.2. Depósitos minerales en el Complejo Volcánico Galán.....	94
4.2.1. Mina Pueblo Viejo (W, Bi, Au,Ag).....	97
4.2.1.1. Ubicación	
4.2.1.2. Geología del depósito	
4.2.1.3. Descripción del depósito	
4.2.1.3.1. Sistema de vetas	
4.2.1.3.2. Mineralogía	
4.2.1.3.3. Alteración	
4.2.1.4. Perspectivas	
4.2.2. Mina Central (Bi, Cu, Au, Ag).....	109
4.2.2.1. Ubicación	
4.2.2.2. Geología del depósito	
4.2.2.3. Descripción del depósito	
4.2.2.3.1. Descripción de las vetas	
4.2.2.3.2. Mineralogía	
4.2.3. Mina Farellones (W, Bi, Au,Ag).....	113
4.2.3.1. Geología del depósito	
4.2.3.2. Descripción del depósito	
4.2.3.2.1. Mineralogía	

4.2.4. Mina Azulejos (Bi, Au, Ag).....	116
4.2.4.1. Geología del depósito	
4.2.4.2. Descripción del depósito	
4.2.4.2.1. Mineralogía	
4.2.5. Mina Khasayoj (Pb,Zn,Bi,Au,Ag).....	122
4.2.5.1. Geología del depósito	
4.2.5.2. Descripción del depósito	
4.2.5.2.1. Descripción de las vetas	
4.2.5.2.2. Mineralogía	
4.2.6. Mina San Martín.....	126
4.2.6.1. Geología del depósito	
4.2.6.2. Descripción del depósito	
4.2.6.2.1. Descripción de las vetas	
4.2.6.2.2. Mineralogía	
4.2.7. Mina Lipina (Pb).....	130
4.2.7.1. Ubicación	
4.2.7.2. Geología del depósito	
4.2.7.3. Descripción del depósito	
4.2.7.3.1. Mineralogía	
4.2.7.3.2. Alteración	
4.2.8. Mina Cuatro Ases (Pb, Cu, Bi, Au, Ag).....	134
4.2.8.1. Ubicación	
4.2.8.2. Geología del depósito	
4.2.8.3. Descripción del depósito	
4.2.8.3.1. Mineralogía	
4.2.8.3.2. Alteración	
4.2.9. Mina Villarroel (Pb,Zn).....	137
4.2.9.1. Geología del depósito	
4.2.9.2. Descripción del depósito	
4.2.10. Mina Toldos (Zn).....	140
4.2.10.1. Geología del depósito	
4.2.10.2. Descripción del depósito	
4.3. Prospectos en el Complejo Volcánico Galán.....	143
4.4. Exploración.....	147
4.4.1. Pozos a diamantina	
4.5. Zonación.....	151
4.6. Paragénesis.....	151
4.7. Perspectivas de exploración.....	153
4.8. Conclusiones.....	157

Capítulo 5. GEOQUÍMICA Y ALTERACIONES HIDROTERMALES DEL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN

5.1. Introducción.....	158
5.2. Muestras y resultados.....	158
5.3. Geoquímica.....	160
5.3.1. Metodología	
5.3.2. Geoquímica de alteración hidrotermal.....	161
5.3.2.1. Resultados	

5.3.3. Geoquímica de vetas y/o zonas mineralizadas.....	167
5.3.3.1. Resultados	
5.3.4. Geoquímica de la mina San Martín.....	178
5.3.4.1. Resultados	
5.4. Interpretación geoquímica.....	183
5.5. Análisis geoquímico regional.....	187
5.6. Conclusiones.....	188

Capítulo 6. INCLUSIONES FLUIDAS DEL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN

6.1. Introducción.....	190
6.2. Estudio de inclusiones fluidas.....	191
6.2.1. Microtermometría	
6.3. Petrografía.....	193
6.4. Salinidad.....	197
6.5. Temperatura de homogeneización.....	200
6.6. Relación de la temperatura de homogeneización y salinidad.....	202
6.7. Comparación con inclusiones fluidas de depósitos minerales de los Andes Centrales de Bolivia.....	204
6.8. Conclusiones.....	208

Capítulo 7. METALOGÉNESIS Y MODELO DE EXPLORACIÓN DEL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN

7.1. Introducción.....	210
7.2. Metalogénesis.....	210
7.3. Modelo de exploración.....	215
7.3.1. Principales características de los sistemas de mineralización de oro relacionado a intrusiones (Intrusion-Related Gold Systems)	
7.4. Modelo de exploración del Complejo Volcánico Galán.....	219
7.5. El Complejo Volcánico Galán en el contexto regional del suroeste de Bolivia.....	223

Capítulo 8. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN (SUROESTE DE BOLIVIA) CON DEPÓSITOS MINERALES DEL NOROESTE ARGENTINO

8.1. Introducción.....	229
8.2. Marco geológico del noroeste argentino.....	229
8.3. Depósitos minerales en el noroeste de Argentina.....	233
8.4. Análisis comparativo del Complejo Volcánico Galán con depósitos minerales del noroeste argentino.....	233
8.4.1. Comparación con depósitos asociados al Paleozoico	
8.4.2. Comparación con depósitos asociados al Mesozoico	
8.4.3. Comparación con depósitos asociados al Cenozoico	
8.5. Principales diferencias y analogías del Complejo Volcánico Galán con los depósitos minerales del noroeste argentino.....	241
8.5.1. Diferencias	
8.5.2. Analogías	
8.6. Análisis comparativo regional de los Andes Centrales.....	242

- 8.6.1. Comparación del ambiente geológico de los Andes Centrales
- 8.6.2. Comparación de los depósitos minerales en el marco de las fajas metálicas

Capítulo 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. Conclusiones.....	248
9.2. Recomendaciones.....	254
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	255

ANEXOS

- Anexo 1. Resultados de análisis químico de rocas del Complejo Volcánico Galán
- Anexo 2. Resultados de análisis químico de metales del Complejo Volcánico Galán

RESUMEN

El Complejo Volcánico Galán (CVG) es de edad Mioceno medio (14.6 ± 0.5 Ma; Lema y Ramos Collorana, 1997), y es parte del arco magmático Cenozoico andino. Consiste de un estratovolcán denudado conformado por ignimbritas, lavas, cuerpos subvolcánicos y domos volcánicos de composición dacítica (dacitas biotíticas y dacitas biotíticas-hornbléndicas) a andesítica; los cuales están cortados por diques (granodiorita biotítica) de dirección este – oeste y norte – sur. Los análisis químicos indican que éstas rocas se encuentran en el límite metaluminoso a peraluminoso, además corresponden a la serie calcoalcalina rica en potasio. El contenido de $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ varía entre 0.09 – 2.51. El promedio de los análisis químicos ($n=21$) de las muestras no alteradas sobre roca total es de 64 % en peso de SiO_2 , 0.64 % en peso de TiO_2 , 154 ppm de Zr. Estos parámetros son similares a aquellos de los pórfidos estañíferos bolivianos (0.57 - 0.67 % en peso de TiO_2 , de 135 - 294 ppm de Zr y 1.5 a 3 ppm de Ta; Dietrich et al., 2000). La clasificación de rocas del CVG en el diagrama de Nb/Y vs. Zr/ TiO_2 de Winchester and Floyd (1977) están en el campo de riodacitas-dacitas, andesitas a traquiandesitas y basaltos.

La tipología de los depósitos minerales es vetiforme con una asociación polimetálica de W, Bi, Pb, Zn, Ag, Au e indicios de Sn. La mina Pueblo Viejo (W) y Central (Bi, Au, Pb) están emplazadas en el stock subvolcánico; y Khasayoj (Pb, Zn), Toldos (Zn) y Lipina (Pb) están encajonadas en ignimbritas; la mina Azulejos (Bi, Au, Pb) y Farellones (Au, W) están en lavas y domos volcánicos; mientras que Cuatro Ases (Pb, Cu) corta a rocas conglomerádicas e ignimbritas. La textura de las vetas es masiva, bandeada, drúsica y brechada con diferentes longitudes hasta de 1500 m de dirección general este-oeste, con buzamientos tanto al norte como al sur. La explotación es mediante labores subterráneas y actualmente solo se aprovecha la mineralización de wolframio (mina Pueblo Viejo). Entre los minerales de mena están la wolframita (hubnerita), bismutina, bismutita, galena, esfalerita e indicios de Au y Ag. Los principales minerales de ganga son pirita, cuarzo y hematita. La metalogenia del Complejo Volcánico Galán está relacionada a procesos magmáticos vinculados a eventos subvolcánicos – volcánicos, y la mineralización presenta una zonación metálica lateral con minerales de alta temperatura de wolframita y turmalina en la

parte oriental (mina Pueblo Viejo), mientras que en los bordes existen minerales de menor temperatura de Pb (mina San Martín, Lipina, Villarroel, Khasayoj) y Zn (mina Toldos). La zonación vertical está determinada debido a que los depósitos minerales de alta temperatura solamente están en las partes bajas del complejo.

La alteración en el ámbito regional consiste de propilitización, con turmalinización y silicificación en la parte central. En alrededor de las vetas la alteración (caolinización y sericitización) se encuentra restringida a éstas.

Las temperaturas de homogeneización de inclusiones fluidas en cuarzo son hasta de 450 °C (Pueblo Viejo) y en esfalerita de 170- 265°C (mina Toldos). Las salinidades varían de < 25 hasta de 50 % en peso equivalente a NaCl. Aparentemente no hay presencia de fluidos carbónicos. Estos resultados corroboran la zonación y demuestran la similitud de los mismos con depósitos minerales relacionados a la Faja Estañífera.

Los resultados de la prospección geoquímica en zonas de alteración hidrotermal del Complejo Volcánico Galán (fondo y umbral geoquímico, respectivamente, sobre 297 muestras) son: 7 (17) ppb Au, 0.60 (8) ppm Ag, 10 (94) ppm Cu, 116 (998) ppm Pb, 160 (1098) ppm Zn, 1.5 (29) ppm Sb, 20 (258) ppm As, 425 (3400) ppm Mn, 3 (6) ppm Mo, 2.5 (18) ppm Bi, 3 (18) ppm W, 2 (8) % Fe y 357 (897) ppm Ba. Estos datos para las vetas (124 muestras) son 10 (1430) ppb Au, 7 (171) ppm Ag, 88 (2713) ppm Cu, 860 (16000) ppm Pb, 640 (3400) ppm Zn, 10 (164) ppm Sb, 40 (548) ppm As, 2320 (24800) ppm Mn, 4 (13) ppm Mo, 2.5 (294) ppm Bi, 6 (22) ppm W, 4 (17) % Fe y 116 (1095) ppm Ba. La mina San Martín (171 muestras) tiene 10 (320) ppb Au, 0.60 (24) ppm Ag, 62 (847) ppm Cu, 44 (350) ppm Pb, 410 (826) ppm Zn, 1.5 (12) ppm Sb, 1 (50) ppm As y 2 (5) ppm Mo. La distribución geoquímica de los elementos indica las zonas favorables de mineralización con mayor contenido en Au, Bi, W, tanto en las rocas como en vetas en el sector oriental; mientras el Zn es de mayor contenido en la parte occidental.

El presente trabajo propone el modelo de sistemas de mineralización de oro relacionado a intrusiones ("intrusion-related gold systems") para el Complejo Volcánico Galán, que corresponde al ambiente somero por las características de su asociación metálica W, Bi, Au, Ag, el ambiente relacionado a fajas Sn-W. Este modelo planteado asociado a la Faja Estañífera, incluye a los depósitos de Tasna y Kori Kollo (Lang et al., 2000); por su relación a la fajas de Sn-W, el ambiente tectónico, composición de las rocas, roca hospedante y sobre todo por su asociación

metálica W, Bi, Sn, Au $\pm$ As, y una zonación lateral vinculada en el estilo y alteración de los depósitos.

El Complejo Volcánico Galán es similar con depósitos minerales asociados al magmatismo del Mioceno medio del extremo noroeste de Argentina; incluido la mina Pirquitas, la cual corresponde a la Faja Estañífera. La diferencia es con los depósitos Au (Sierra de Rinconada) y Pb-Ag-Zn (Distrito de Pumahuasi) emplazados en rocas ordovícicas; mientras que las manifestaciones minerales asociadas al volcanismo en la parte occidental muestran alguna similitud. Sin embargo en el marco regional del límite boliviano-argentino, las características de los depósitos minerales son similares. Au y Pb-Ag-Zn están asociados a sedimentitas ordovícicas; mientras que la mineralización polimetálica W, Bi, Pb, Zn, Au, Ag es característica de la Faja Estañífera y los depósitos minerales polimetálicos de Au, Ag, Pb, Zn son relevantes en las rocas volcánicas en la parte occidental.

En el modelo propuesto de sistemas de mineralización de oro relacionado a intrusiones, los criterios de exploración mineral en la Faja Estañífera son la asociación metálica mencionada y el magmatismo de carácter intermedio.

El presente estudio es un aporte al desarrollo de las investigaciones geológico – mineras del límite boliviano – argentino; para definir controles regionales y desarrollar modelos de exploración de la evolución de los Andes Centrales.

ABSTRACT

The Galán Volcanic Complex (GVC) is of middle Miocene age (14.6 ± 0.5 Ma; Lema and Ramos Collorana, 1997), and is part of the Cenozoic Andean magmatic arc. The eroded stratovolcanic edifice consists of ignimbrites, lavas, subvolcanic stocks and volcanic domes of dacitic (biotite dacitic and biotite-hornblende dacitic) to andesitic composition. It is cut by EW- and NS-trending dykes of biotite granodioritic composition. Chemical analysis show that the rocks are near the metaluminous to peraluminous boundary, and belong to the calc-alkaline high-potassium series. The $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ ratio varies (0.09 – 2.51). The average content of 21 non-altered bulk-rock samples is 64 wt% SiO_2 , 0.64 wt% TiO_2 , and 154 ppm Zr. These data are similar to those from Bolivian tin porphyry systems (0.57-0.67 wt% TiO_2 , of 135-294 ppm Zr, 1.5-3 ppm Ta; Dietrich et al. (2000). The rock classification of the Galán Volcanic Complex (GVC) in the diagram of Nb/Y vs. Zr/ TiO_2 of Winchester and Floyd (1977) is in the fields of rhyodacite-dacite, andesite to trachyandesite and basalts.

The associated ore deposits are mainly of vein-type, with the polymetallic association of W, Bi, Pb, Zn, Ag, Au and traces of Sn. The Pueblo Viejo mine (W) and Central (Bi, Au, Pb) are emplaced in the subvolcanic stock; Khasayoj (Pb, Zn), Toldos (Zn), Lipina (Pb) and some other mines are hosted in ignimbrite, the Azulejos (Bi, Au, Pb) and Farellones (Au, W) mines are in lavas and volcanic domes, while Cuatro Ases (Pb, Cu) and others cut through conglomeratic and ignimbrites rocks. The texture of the veins is massive, banded, vuggy and brecciated with lengths up to 1500 m and general east-west strike, with both northern and southern steep dip. The mining is by shrinkage, and there is currently only the Pueblo Viejo tungsten mine active. The main economic ore minerals are wolframite (hubnerite), bismuth, bismuthinite, galena, sphalerite, plus traces of Au and Ag (in chemical analysis). The main gangue minerals are pyrite, quartz and hematite. The ore formation of the Galán Volcanic Complex is related to magmatic processes during the subvolcanic – volcanic evolution, and the mineralization presents a spatial zonation with the high-temperature minerals wolframite and tourmaline in the eastern part (Pueblo Viejo mine), whereas low-temperature minerals of lead (San Martín mine, Lipina, Villarroel, Khasayoj), and zinc (Toldos mine) are dominant laterally. Vertical zonation is

expressed by high-temperature mineralization exclusively in the lower parts of the complex.

The regional alteration consists of propylitization, with tourmalinization and silicification in the central part. Kaolinite and sericite alteration is restricted to alteration halos around veins.

The homogenization temperatures of fluid inclusions in quartz are up to 450°C in the Pueblo Viejo system, and in sphalerite are up to 170-265°C in the Toldos mine. The salinities range from <25 wt% up to 50 wt% in NaCl equivalent. There were no indications of carbonic fluids found. These results corroborate the mineralogical zonation and show the similarity of these deposits with ore deposits related to the tin belt.

Statistical geochemical exploration data for the hydrothermal alteration zone of the Galán Volcanic Complex are (background and threshold, respectively, for 297 samples): 7 (17) ppb Au, 0.60 (8) ppm Ag, 10 (94) ppm Cu, 116 (998) ppm Pb, 160 (1098) ppm Zn, 1.5 (29) ppm Sb, 20 (258) ppm As, 425 (3400) ppm Mn, 3 (6) ppm Mo, 2.5 (18) ppm Bi, 3 (18) ppm W, 2 (8) wt% Fe and 357 (897) ppm Ba. These data for the veins (124 samples) are 10 (1430) ppb Au, 7 (171) ppm Ag, 88 (2713) ppm Cu, 860 (16000) ppm Pb, 640 (3400) ppm Zn, 10 (164) ppm Sb, 40 (548) ppm As, 2320 (24800) ppm Mn, 4 (13) ppm Mo, 2.5 (294) ppm Bi, 6 (22) ppm W, 4 (17) % Fe and 116 (1095) ppm Ba. The San Martín mine (171 samples) gave 10 (320) ppb Au, 0.60 (24) ppm Ag, 62 (847) ppm Cu, 44 (350) ppm Pb, 410 (826) ppm Zn, 1.5 (12) ppm Sb, 1 (50) ppm As and 2 (5) ppm Mo. The geochemical metal distribution reflects the distribution of ore deposits, with a higher abundance of Au, Bi, W, both in the rocks and in the veins in the eastern sector, while Zn is enriched in the western part.

The present work suggests a model of intrusion-related gold systems for the Galán Volcanic Complex, and the shallow part of this system with the metallic association of W, Bi, Au, Ag is typical of the Andean Sn-W belt. This model is similar to what was proposed for Tasna and Kori Kollo (Lang et al., 2000). The relationship to the Sn-W belt is expressed in the tectonic environment, rock composition, and the W, Bi, Sn, Au ± As metal association and a lateral zonation linked to mineralization and alteration style.

The Galán Volcanic Complex is similar to other ore systems associated to the middle Miocene magmatic province of northwesternmost Argentina; including the Pirquitas

mine, which belongs to the tin belt. There is a difference with the Au (Rinconada Ranges) and Pb-Ag-Zn (Pumahuasi District) deposits emplaced in Ordovician rocks; whereas the features of mineralization associated to volcanic rocks in the western part show some analogy. However in terms of the regional setting of the Bolivian-Argentine border region, the characteristics of the ore deposits are similar. Au and Pb-Ag-Zn are associated to Ordovician sedimentary rocks while W, Bi, Pb, Zn, Au, Ag of the polymetallic mineralization is a characteristic sign of the tin belt and the Au, Ag, Pb, Zn polymetallic ore deposits are typical of the volcanic rocks in the western part.

In the proposed intrusion-related gold systems model, the exploration criteria of the ore deposits in the tin belt are the typical metallic association mentioned before and the magmatism of intermediate character.

The present study contributes to the research on geology and mine development of the Bolivian–Argentine border region in the regional framework of the evolution of the Central Andes.

**GEOLOGÍA Y METALOGÉNESIS
DEL
COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN
(SUROESTE DE BOLIVIA)
Y
ANÁLISIS COMPARATIVO CON
PROSPECTOS DEL NORTE
ARGENTINO**

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

Los recursos naturales constituyen una de las bases fundamentales para el desarrollo de un país. La República de Bolivia cuenta con una variedad de recursos minerales, entre los que se encuentran los alojados en el Complejo Volcánico Galán (Fig. 1.1) objeto del presente estudio. La minería es una de las industrias mejor desarrolladas y constituye uno de los pilares fundamentales de la economía boliviana por la producción y exportación de minerales (Fig. 1.2), debido a que la exploración y explotación de los depósitos minerales se remonta desde las culturas originarias (Tiwanacota, Aymara, Quechua, Incaica) de ésta región. La tradición minera se inició con el beneficio de rocas, piedras semipreciosas, cobre, oro y plata; que fueron utilizados principalmente en el aspecto ornamental. Posteriormente se han explotado diferentes depósitos conocidos a nivel mundial (Cerro Rico de Potosí, Oruro, Porco y Llallagua), que han caracterizado a este territorio como un país minero. En la época republicana (1825) se continuó con la explotación de la plata, posteriormente la del estaño; mientras que en las últimas décadas la exploración está orientada principalmente a los metales preciosos (Au - Ag). Todo el desarrollo antes mencionado, corrobora el potencial minero de la Cordillera de los Andes como un ambiente geológico y metalogenético favorable.

La actividad minera en el suroeste boliviano ha disminuido en los últimos años y con la perspectiva de aportar datos para incentivar la investigación geológica - minera de ésta región y de los Andes Centrales en general, se concretó ésta investigación posterior a consultas de distintas fuentes, generación de ideas del tema y el conocimiento de los antecedentes acerca de la temática.

El presente estudio fue realizado en el Instituto de Recursos Minerales (INREMI) de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo (FCNyM). El trabajo fue llevado a cabo bajo un acuerdo y una beca concedida por el Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) de Alemania en la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) en Argentina.

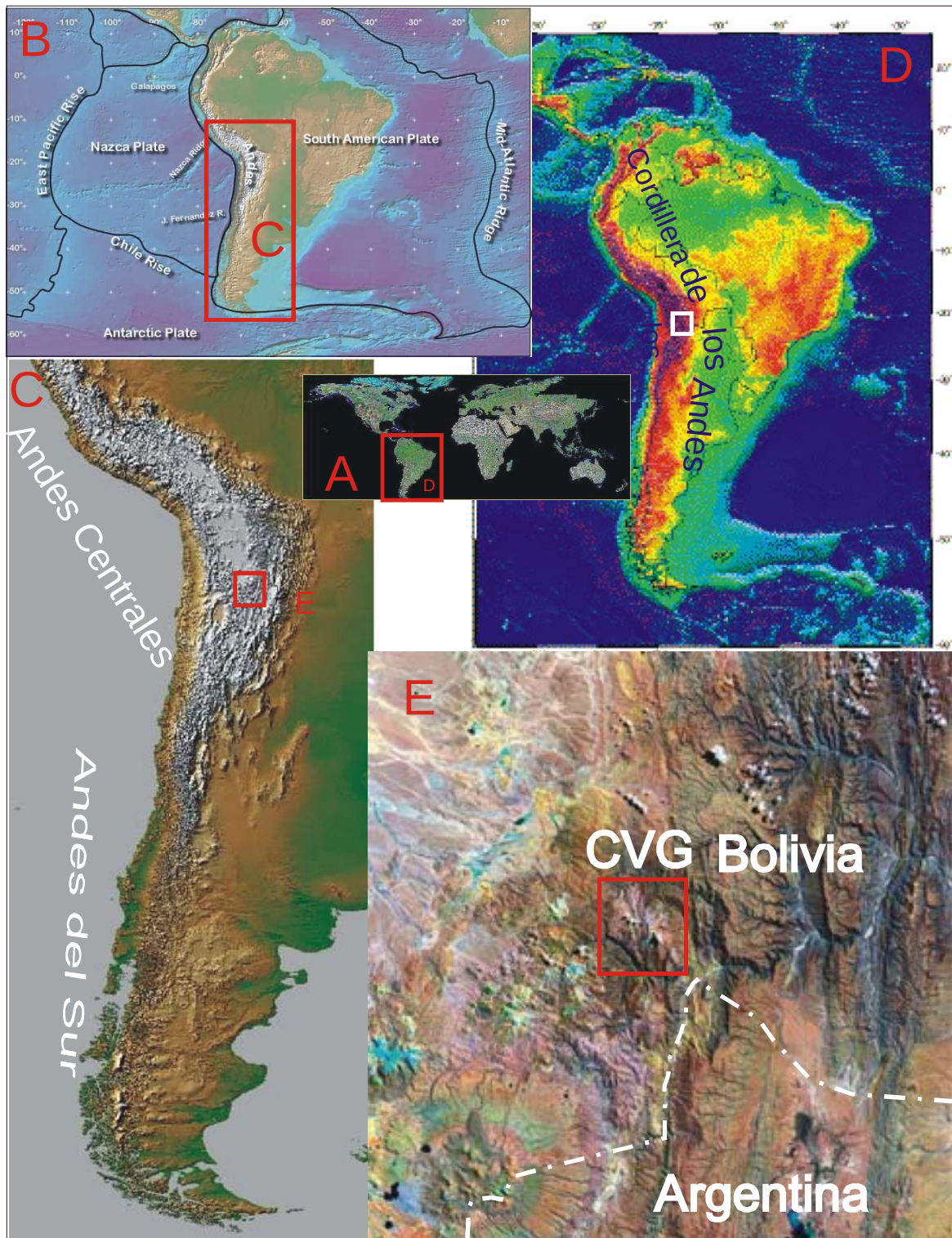


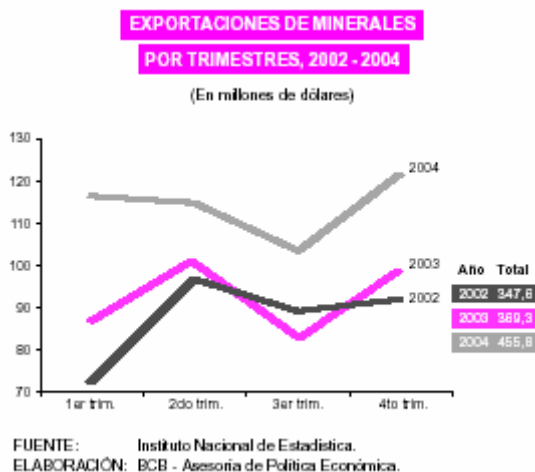
Figura 1.1. Ubicación del Complejo Volcánico Galán (CVG). A. Mapa mundial con ubicación de Suramérica. B y C. Imágenes donde se muestra los Andes (centrales y del sur) (Tomado de Cornell University, Project Andes: http://www.geo.cornell.edu/geology/cap/CAP_gen/SAM_Topo/NAZ_SAM.html, http://www.geo.cornell.edu/geology/cap/CAP_gen/SAM_Topo/TopoBrowser.html). D. Imagen de la Cordillera de los Andes. E - El CVG en la imagen satelital 232/075 LANDSAT (RGB: 731).

A. BOLIVIA: PRODUCCIÓN NACIONAL DE MINERALES POR AÑO, 1992 - 2002 (Toneladas métricas finas)

DESCRIPCIÓN	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001(p)	2002(p)
Estaño	16,516.32	18,634.20	16,026.59	14,419.02	14,801.86	12,897.99	11,308.06	12,416.59	12,502.66	12,039.23	13,210.45
Plomo	20,010.10	21,220.18	19,678.36	20,387.26	16,537.75	18,607.93	13,847.52	10,152.87	9,523.00	9,090.42	9,268.19
Zinc	143,935.61	122,637.61	100,741.70	146,130.75	145,091.80	154,490.68	152,109.97	146,144.09	149,134.31	141,982.50	141,708.12
Wólfram	1,073.36	362.41	582.56	825.96	733.25	646.61	626.94	420.92	495.50	671.28	474.23
Plata	282.35	332.77	352.08	425.05	386.29	387.20	403.96	422.54	433.59	409.72	460.90
Antimonio	6,021.61	5,556.20	7,050.44	6,426.19	6,487.40	5,998.87	4,735.02	2,789.92	1,906.67	2,072.15	2,343.32
Oro (1) (2)	4,687.77	10,403.30	12,790.67	14,404.89	12,633.50	13,291.47	14,445.23	11,785.91	12,000.33	12,373.70	11,269.41
Cobre	100.93	93.76	79.25	127.13	92.35	181.87	47.78	249.75	109.65	18.32	119.63

Fuente: VICEMINISTERIO DE MINERÍA Y METALURGIA - COMIBOL – MINERÍA MEDIANA - FENCOMIN - LOCALIDAD DE VINTO
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA
(p): Preliminar
(1): Considera la información de empresas mineras medianas y FENCOMIN
(2): Kilos finos

B.



C.

EXPORTACIONES, 1995-2004
(En millones de dólares)

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Minerales	480	454	481	436	401	425	335	348	369	456
Estaño	89	86	81	64	69	76	56	58	73	145
Zinc	151	153	200	156	154	171	121	112	124	152
Plata	71	64	59	74	68	74	53	68	76	91
Oro	131	120	110	112	89	88	86	90	72	34
Otros	38	31	30	30	21	16	19	20	24	34
Hidrocarburos	142	133	98	88	65	166	289	331	491	839

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística.
ELABORACIÓN: BCB - Asesoría de Política Económica.
NOTAS:
1 Incluye grano, harina, torta y aceite.
2 Comprende bienes para transformación, combustibles y lubricantes, reparación de bienes y reexportaciones.
3 Incluidas RITEX.

Figura 1.2. Producción y exportación de minerales de Bolivia. A. Producción nacional (INE, Bolivia http://www.ine.gov.bo/cgi-bin/Panuario_00xx.exe/CUADRO). B y C. Exportación de minerales por trimestres y cuadro del periodo 1995-2004 del Banco Central de Bolivia (<http://www.bcb.gov.bo/pdf/files/iniciales/memorias/2004/cap3.pdf>).

El trabajo fue desarrollado con la orientación como Director de Tesis Doctoral del Dr. Raúl R. Fernández (Universidad Nacional de La Plata, Argentina) y como Co-Director el Dr. Bernd Lehmann (Universidad Técnica de Clausthal, Alemania).

El tema de investigación propuesto, pretende aportar e indicar los controles de mineralización de esta región, con la intención de promover la prospección y exploración del potencial minero y obtener un contexto generalizado de las áreas más favorables en el límite boliviano-argentino.

Los trabajos de gabinete fueron realizados en el Instituto de Recursos Minerales (INREMI) y en el Museo, de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata.

El área de investigación es de características orográficas particulares (Fig. 1.3 y 1.4) de cumbres elevadas y escarpadas en donde las condiciones climáticas en ciertas épocas son dificultosas.

La Tesis Doctoral contiene nueve capítulos que son la introducción, marco regional: Geografía, geología y metalogenia de Bolivia, geología del Complejo Volcánico Galán, depósitos minerales, geoquímica y alteraciones hidrotermales, inclusiones fluidas, metalogénesis y modelo de exploración, análisis comparativo con depósitos minerales del norte argentino y conclusiones y recomendaciones. La introducción comprende la ubicación, objetivos y metodología del presente estudio, mientras que los aspectos regionales describen la geografía, geología y metalogenia de Bolivia, para brindar una idea regional y entendimiento de la zona de estudio. La geología comprende el aspecto regional y local del Complejo Volcánico Galán, además del estudio petrológico de la zona y la asociación con los depósitos minerales. Continúa con la descripción de las principales características de los depósitos minerales, prospección geoquímica y alteraciones hidrotermales para caracterizar el comportamiento de los metales e inclusiones fluidas para determinar las condiciones de los fluidos de mineralización y la metalogénesis y modelo de exploración. Se considera la comparación de los resultados obtenidos del Complejo Volcánico Galán con los depósitos minerales del noroeste argentino, determinando sus diferencias y similitudes, para su aplicación en la prospección minera regional en esta parte de los Andes Centrales.

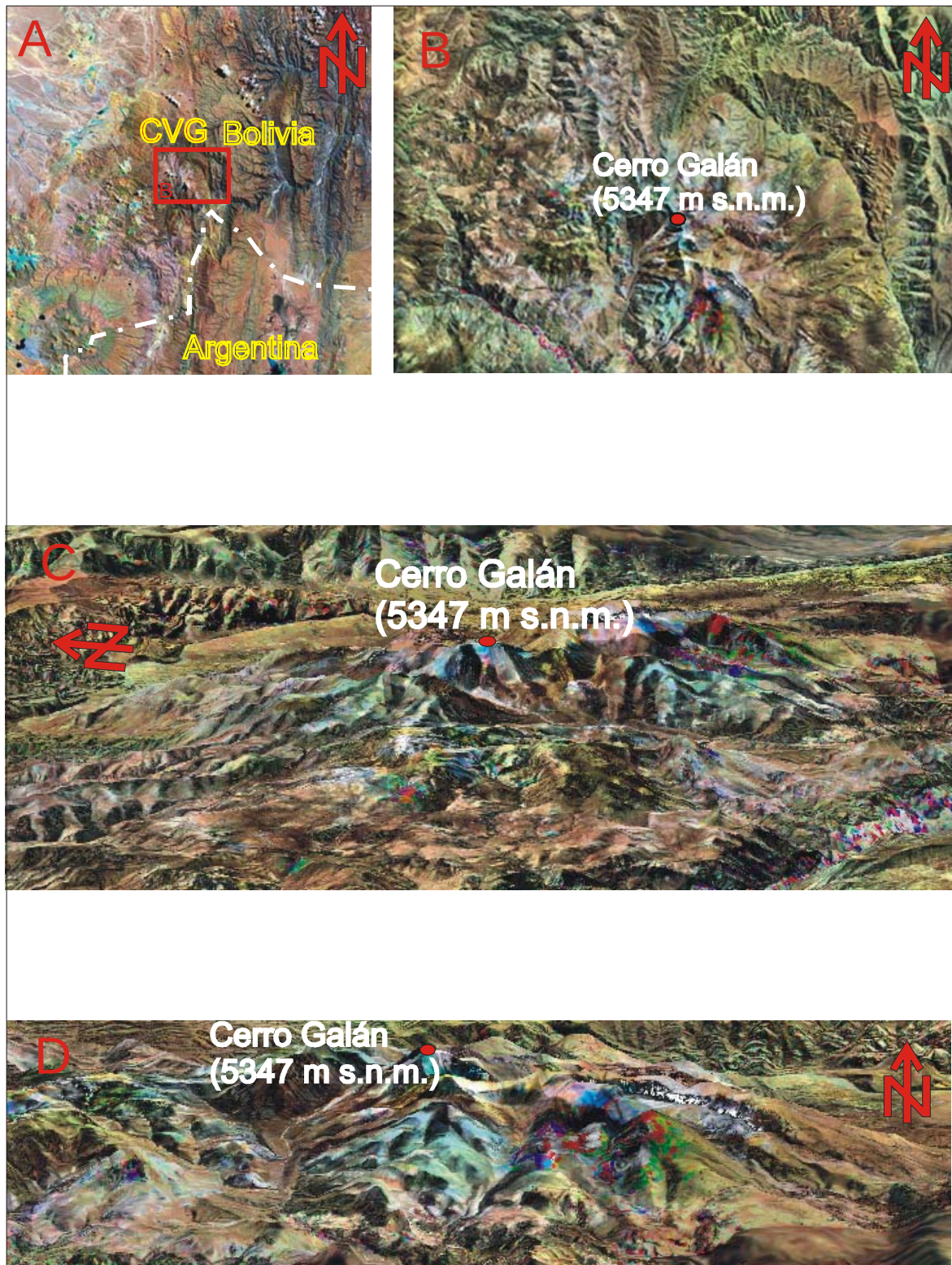


Figura 1.3. Ubicación del Complejo Volcánico Galán (CVG). A. Imagen satelital 232 /075 LANDSAT (RGB: 731). B . Fusión de imagen y fotos aéreas. C. Modelo digital de elevación (DEM) de dirección N-S. D. DEM de dirección E-O .

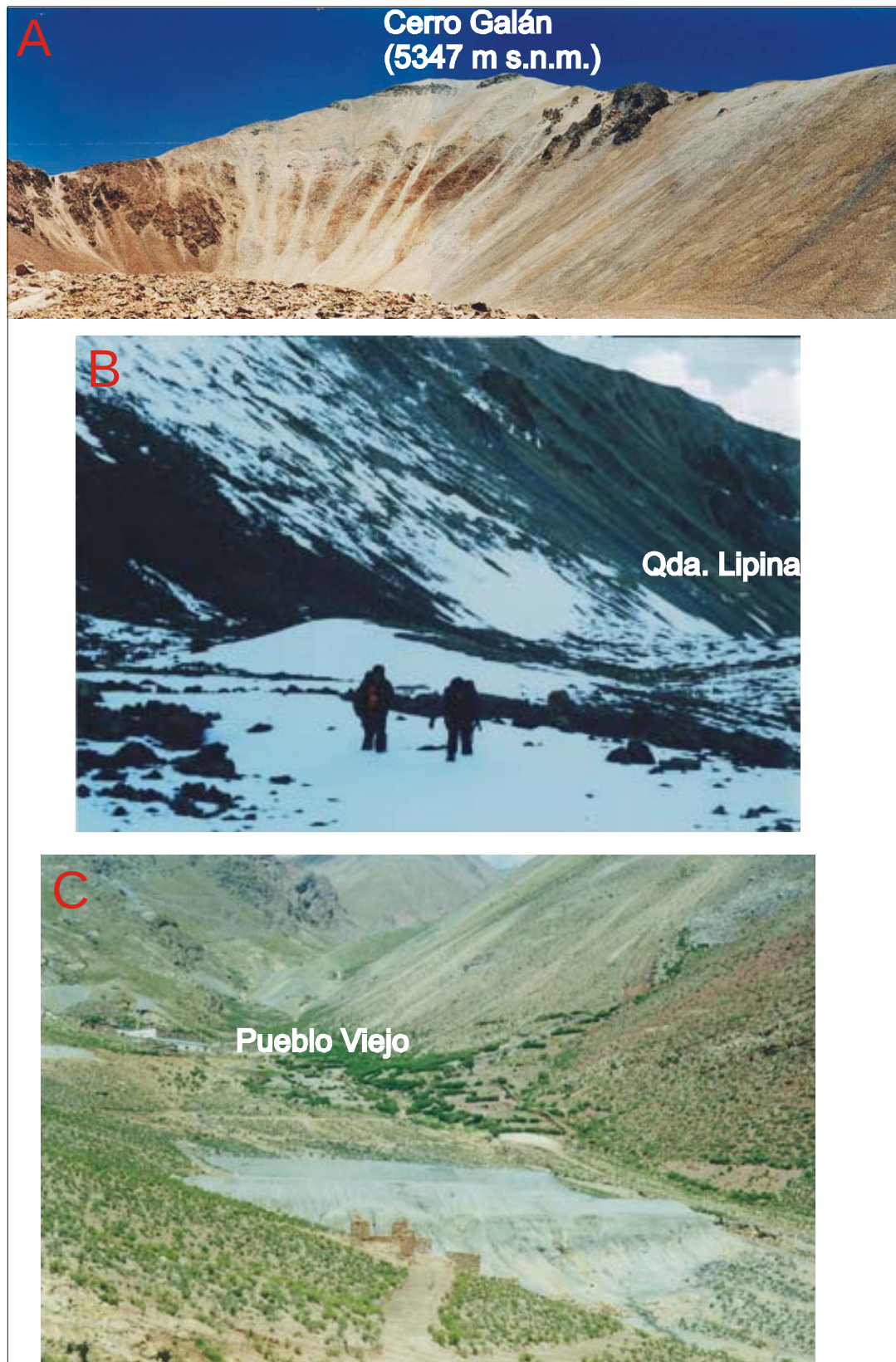


Figura 1.4. Fotos del Complejo Volcánico Galán (CVG). A. Cerro Galán, vista al norte . B . Quebrada Lipina, vista al sur. C. Pueblo Viejo, vista al oeste.

1.1. Agradecimientos

El presente estudio ha contado con el apoyo de prestigiosas instituciones, las cuales brindaron el subsidio económico y la infraestructura necesaria. Además de toda la colaboración de colegas y amigos que de una u otra manera dieron su contribución con su amistad y apoyo en los laboratorios. Por lo tanto expresarles mis agradecimientos por toda la asistencia recibida.

Al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD), quien fue la institución patrocinadora de la beca, por el apoyo en la investigación, estadía y los trabajos de campo. Por la oportunidad brindada en este proceso de formación de postgrado, mediante la cual fue posible alcanzar los objetivos de formación académica.

Al Instituto de Recursos Minerales (INREMI), quien fue la institución que me cobijo, por todo el apoyo recibido en la infraestructura, laboratorios, además de los trabajos de campo y de gabinete. Al Museo de La Plata donde he tenido la oportunidad de compartir sus ambientes.

A la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, y la Universidad Nacional de La Plata, donde en sus aulas y ambientes, he compartido la enseñanza y la investigación.

Mi reconocimiento a todas las instituciones argentinas públicas, quienes brindaron la colaboración necesaria para toda mi familia.

Manifestar mis agradecimientos a instituciones bolivianas como el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERGEOMIN) y Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL), por las consultas en las bibliotecas.

Deseo expresar mis sinceros agradecimientos al Dr. Raúl R. Fernández, mi Director de Tesis Doctoral, por su valiosa cooperación y orientación en el transcurso de toda la investigación. Por las charlas en el aspecto técnico, las cuales fueron importantes en la dirección y el impulso durante el desarrollo del trabajo. Por la bibliografía brindada, el tiempo dedicado y la paciencia en la revisión de los resultados, cuyos consejos fueron enriquecedores para el presente estudio. Deseo recalcar la amistad y el apoyo personal en este aspecto, además por el permanente aliento en la culminación del estudio.

Al Dr. Bernd Lehmann, Co-Director de Tesis Doctoral, por todo el apoyo y sugerencias brindadas en la investigación. Su orientación fue preponderante y una guía para desarrollar y simplificar todo el trabajo.

Al Dr. Isidoro B. Schalamuk, Director del INREMI, por toda la colaboración recibida durante el transcurso de la investigación, por brindar la infraestructura y laboratorios; además por el apoyo y la asistencia constante en el aspecto personal.

Al Dr. Ricardo O. Etcheverry, Decano de la Facultad, por toda la colaboración recibida.

A los jurados de mi Tesis Doctoral: Dr. Eduardo Llambías, Dra. Magdalena Koukharsky y Dr. Alberto Arospide; por su revisión crítica y constructiva, además de las sugerencias que dan claridad al presente trabajo.

Mis agradecimientos a mis compañeros becarios (DAAD), con quienes compartimos la investigación, colaboración y el apoyo de Leduar Ramayo Cortés, Julio Cesar Galeano Inchausti, Katty López y Fernando Moyano.

En el INREMI, a todos los colegas y amigos, los cuales de una u otra manera aportaron para el desarrollo de esta investigación. Expresar mis agradecimientos a los Dres. Edgardo Roller, Raúl de Barrio, Marcelo Caballé, Marta Alperín y Milka Brodtkorb, como también a Yerko Zlata, Horacio Echeveste, Mabel Lafranchini, María José Correa, Diego Guido, Daniela Marchionni, Miguel del Blanco, Mario Tessone, Karina Mikietiu, Cecilia Cábana, Marcela Curci, Ramiro López, Pilar Moreira, Matías Pierri, Esteban Gobo, Josefina Pons, Lia Botto, Juan Carlos Gómez, Mario Hernández, Sebastián Jovic y Gerardo Paéz. Asimismo extender los agradecimientos por todo el apoyo recibido a Adriana González, María José González, Marcela Pene, Susana Ilhero, Mario De Giusto, José Luis Molina, Facundo, Patricia, Esteban Luna; además del personal de apoyo de Hugo, Adrián, Ángela, Ángel y Roberto.

En el Museo de La Plata expresar mis agradecimientos por todo el apoyo a la Dra. Silvia Ametrano, Dr. Mario Teruggi (+), Silvia Carrasquero, María Elena Canafoglia, Andrea Ramis, Virginia Villamayor, Claudia Dilello, Mónica López, Alberto Julianello. Asimismo a todo el personal técnico y administrativo. También fueron importantes todo el apoyo de Roque y todo el personal de esta prestigiosa institución. Asimismo al Ing. Tabani del CETMIC donde se realizó parte de la preparación de muestras.

A Enzo Piccirillo y Angelo DeMin de la Universidad de Trieste (Italia), quienes realizaron los análisis químicos de rocas.

Deseo expresar mis agradecimientos a colegas y amigos bolivianos como a los Ings. Geol. Eddy Baldellón, Hernán Uribe, Nielsen Morillas, Gonzalo Lemus, Edwin Jurado, Oscar Almendras, entre otros, por toda la colaboración y el aliento en este

proceso; además por las discusiones en el aspecto de la geología y metalogenia de Bolivia.

Al Lic. Florencio Mamani, Ing. René Medrano y a los trabajadores mineros de la Empresa San José de Berque, por el acceso a la mina Pueblo Viejo y alrededores.

Un agradecimiento especial para toda mi familia. Mi reconocimiento a la memoria de mi papá Enrique Ramos Cabrera (1941 - 1989). Por todo el apoyo y la paciencia de María Angélica, a mis tesoros Enrique Willy, Alelí "Wara" y Toño. A mi Mamitay Marcelina por el aliento continuo, a Edgar, Marisabel, Triny, Consuelo, Concepción y Gabriel; además a toda la familia en general.

1.2. Planteamiento del tema de investigación

El tema propuesto es el producto del análisis de las características regionales acerca de la geología y los depósitos minerales presentes en la zona. La zona de estudio fue objeto de exploración mineral, sin embargo las características y condiciones de mineralización todavía no están claras respecto a la composición química de las rocas y datos acerca las manifestaciones minerales, los cuales son factores relevantes para su investigación.

Esta investigación pretende aportar datos acerca de la geología y metalogenia del Complejo Volcánico Galán; además de proponer un modelo de exploración para el mismo. El análisis comparativo con depósitos minerales del norte argentino es importante por la determinación de las principales similitudes y diferencias de la región de los Andes Centrales en general.

El desarrollo minero en este distrito fue reducido, en comparación con otros depósitos que se encuentran al norte (cf. Cerro Rico de Potosí).

El Complejo Volcánico Galán posee características geológicas (volcanismo, tectónica) y metalogenéticas (yacimientos minerales) favorables, además de la presencia de alteraciones hidrotermales y posible mineralización diseminada. Los metales principales son el Bi, W, además presentan indicios de metales preciosos Au-Ag, presencia de depósitos aluviales auríferos que provienen de mineralizaciones primarias de la región.

La ubicación geográfica de la zona de estudio (suroeste boliviano), constituye un factor para proponer el análisis comparativo con depósitos minerales del norte argentino. Las características de los Andes Centrales tanto en territorio boliviano

como argentino, permiten determinar los aspectos geológicos y metalogenéticos en el ámbito regional. Los depósitos minerales que se encuentran en el Complejo Volcánico Galán, indican la posibilidad de un origen asociado a la actividad magmática de un mismo evento. Asimismo se plantea una zonación lateral y un control estructural de los principales yacimientos de este complejo. En la Faja Estañífera boliviana existen depósitos minerales, donde los principales metales presentes son el estaño y el wolframio, sin embargo es frecuente el tipo polimetálico, por lo tanto la asociación metálica es un factor importante para caracterizar los distritos mineros en la región.

1.3. Objetivos

Los objetivos generales del presente estudio son:

- ◆ Obtener y definir criterios geológicos y metalogenéticos del Complejo Volcánico Galán (CVG) y poder aplicarlos con respecto a modelos existentes en la bibliografía mundial. Asimismo, comparar los resultados alcanzados con otros yacimientos en el noroeste argentino.
- ◆ Caracterizar el magmatismo y los depósitos minerales, además de la asociación con las alteraciones hidrotermales en la región.
- ◆ Definir zonas favorables y/o mineralizadas y establecer un modelo de exploración para la aplicación de la comarca.

Los objetivos específicos son:

- ◆ Determinar la temperatura de formación de los depósitos minerales.
- ◆ Realizar un análisis geológico – metalogenético en el ámbito regional de los Andes Centrales.

El estudio del Complejo Volcánico Galán pretende aportar datos para orientar la exploración de esta zona, mientras que el análisis comparativo con el noroeste argentino (sobre la base de la bibliografía publicada), consiste en determinar cuales

son las principales similitudes y diferencias de la región; para obtener criterios geológico metalogenéticos para el suroeste boliviano y noroeste argentino.

1.4. Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio (Fig. 1.1 y 1.3) conforma la parte meridional de la región andina boliviana, donde existen varios depósitos minerales, entre los que se encuentra la comarca a investigar.

El Complejo Volcánico Galán (CVG) se encuentra ubicado en las Provincias de Sur Lípez - Sur Chichas (Fig. 1.5), del Departamento de Potosí, suroeste de la República de Bolivia, cerca al límite con la República Argentina. Sus coordenadas centrales son las siguientes: 66° 18' longitud Oeste y 21° 41' latitud Sur.

La vía terrestre es el principal acceso a la zona (Fig. 1.6). Los caminos carreteros fundamentales son los que vinculan capitales de departamento y el más importante de ellos y de tránsito permanente es el tramo La Paz – Oruro – Potosí – Tupiza – Villazón. A partir de los dos últimos es posible ingresar a la comarca. Otro tramo muy utilizado es el de La Paz – Oruro - Challapata (a partir del cual se continua al sur)- Uyuni-San Pablo de Lípez - río Viluyo – Esmoraca - Pueblo Viejo (zona de estudio), teniendo en cuenta la época de lluvias (diciembre-marzo).

Los caminos secundarios son los que unen capitales de provincia y en el sector son Tupiza y Villazón. Es posible ingresar a la zona desde Tupiza por distintos caminos con un promedio de 141 a 150 km, uno de los cuales es por Nazareno – Khucho – Santo Domingo – Chuqui – Esmoraca – Pueblo Viejo, mientras que el otro es por Talina el que se junta a Khucho para continuar el recorrido mencionado. El otro camino es por Chilcobija – Santa Isabel – río Okhe Loma (región oeste de estudio). Así mismo desde la Ciudad de Villazón (punto fronterizo con el territorio argentino de La Quiaca), pasando por Valle Rico y cruzando el río San Juan del Oro (intransitable en época de lluvias), Esmoraca - hasta la zona de estudio.

Dentro de la zona del Complejo Volcánico Galán, se encuentran muy pocos caminos vecinales, que principalmente son de herradura, además de varias sendas que comunican las estancias de la comarca.



Figura 1.5. Ubicación del Complejo Volcánico Galán (CVG) en las provincias de Sur Lipez y Sur Chichas del Departamento de Potosí, Bolivia.

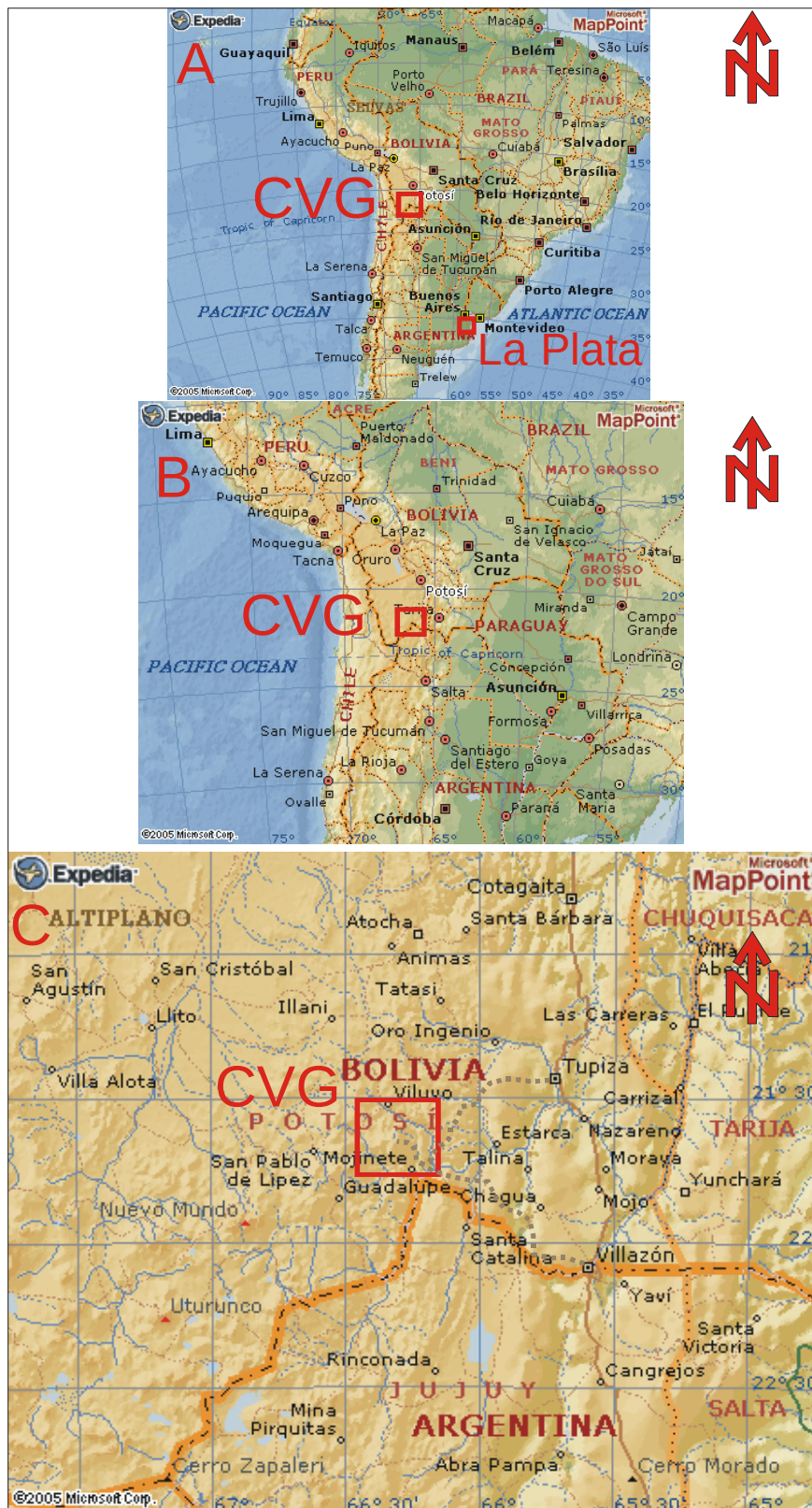


Figura 1.6. Principales accesos a la zona de estudio que se muestra en imágenes (<http://Microsoft.com>, 2005) . A. El Complejo Volcánico Galán (CVG) y La Plata. B . Sector de suroeste de Bolivia. C. Vías de acceso en el límite boliviano-argentino.

La empresa San José de Berque trabaja la mina Pueblo Viejo en la zona y utiliza el tramo de Tupiza – Pueblo Viejo, en el transcurso de todo el año, aunque con limitaciones en la época de lluvias.

Por vía férrea, la red Andina cubre el tramo Oruro - Villazón, la que puede ser utilizada para llegar hasta Tupiza o Villazón y posteriormente continuar por carretera. La zona en el ámbito regional conforma serranías de dirección Norte – Sur, como son la Cordillera Occidental, Altiplano y Cordillera Oriental. La serranía de los Lípez del cual el CVG forma parte, tiene una dirección NE-SO, y los principales cerros son Galán (zona de estudio), Morokho, Bonete, Nuevo Mundo, con alturas mayores a los 5000 m snm.

La cuenca hidrográfica a la que pertenece esta comarca es la Cuenca del Plata. Todos los afluentes secundarios de la zona como los ríos Esmoraca, Viluyo, Chuqui, y otros descargan sus aguas en el afluente principal el río San Juan del Oro, el cual fluye desde territorio argentino y recorre la parte sur del territorio boliviano.

El clima de la región es seco y árido (Montes de Oca, 1997) además los suelos son poco desarrollados y la escasa vegetación se concentra en los valles (Fig. 1.4).

1.5. Antecedentes

Los trabajos anteriores fueron desarrollados en el ámbito regional y local. Los estudios geológicos y descripción de yacimientos se realizaron desde los ámbitos gubernamentales, académicos y de empresas privadas.

La geología regional está descrita en el mapa geológico de Bolivia (Pérez et al., 1996), que fue publicada por el Servicio Nacional de Geología (SERGEOMIN) y Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPFB) del año 1996 y reeditada el año 2000. En esta se representan los principales afloramientos por sistemas y brinda una idea general de las provincias geológicas. Representa una síntesis actualizada de los trabajos realizados por ambas instituciones.

En el marco de yacimientos minerales, esta la publicación del mapa metalogenético de Bolivia (Miranda et al., 1998, SERGEOMIN, 1998), donde están representados los principales distritos mineros, además indican información de su tipología, entre otros datos.

La geología y depósitos minerales de la Cordillera Occidental y el Altiplano (1992), fueron descritos en un informe dentro del convenio del Servicio Geológico de Bolivia

(GEOBOL) y TDP – USGS de Estados Unidos, en el cual se indican las características generales de los yacimientos de la zona de estudio.

El estudio metalogenético regional realizado por el proyecto multinacional andino (PMA) que fue un convenio de los servicios geológicos de Canadá y países latinoamericanos, donde se resume las características principales de los depósitos minerales. Constituye un trabajo en el ámbito regional, donde se describe la metalogenia de parte de los territorios de Argentina, Bolivia, Chile y Perú (Zappettini et al., 2001).

Los principales estudios regionales del suroeste boliviano son:

Ahlfeld (1954), Ahlfeld y Schneider-Scherbina (1964); quienes publicaron mapas geológicos de Sur Lipez, otro con mineralogía y planos de San Pablo, respectivamente. Además se describe las características de los depósitos minerales de Esmoraca.

El Proyecto “LIPEZ-COMIBOL 70”, efectuó la prospección de minerales de interés económico, en concesiones de la empresa estatal Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL) en la región de los Lipez.

Fernández (1972) describe la geomorfología, mientras que Meave (1972) estudió la estratigrafía y Subieta (1972) la tectónica del ámbito regional de los Lipez.

Fernández et al., (1973) y Kussmaul et al., (1975) presentaron los primeros resultados de las investigaciones petrológicas, geoquímicas y dataciones radiométricas de la comarca.

Así como, diversas Tesis de Grado en el ámbito universitario, que incluyen variadas temáticas, en ó alrededores de la zona de estudio.

Dentro del convenio GEOBOL-PNUD, se realizaron trabajos bajo el financiamiento del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), de prospectos con algunas zonas alteradas para la prospección de metales preciosos, en los cuales recomiendan estudios más detallados de la zona (Pinto-Vásquez, 1988).

Finalmente, el Servicio Geológico de Bolivia (GEOBOL) que actualmente es el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERGEOMIN), desde años anteriores realizó el levantamiento geológico regional y la descripción general de yacimientos de la zona.

En los años recientes varias empresas mineras, tanto nacionales como extranjeras, se han dedicado a la exploración de prospectos minerales en el suroeste de Bolivia y

zonas adyacentes, cuyo principal interés fueron los ambientes volcánicos para la búsqueda de depósitos para una explotación masiva o de gran escala.

La ORSTOM (actualmente IRD) realizó investigaciones de geología, petrología y dataciones de rocas del ambiente volcánico, además de depósitos minerales de oro secundario relacionados a mineralización primaria en los Lípez. Determinaron dos tipos de oro secundario con relación a la morfología y composición química de las partículas de oro (Fornari et al., 1989, Pozzo, 1991, Ramos Collorana, 1992, Ramos Collorana y Fornari, 1992 y 1994).

Acerca de la zona del Complejo Volcánico Galán se realizaron trabajos geológicos y de exploración. Así fue realizado el mapa geológico de la hoja Esmoraca (Lema y Ramos Collorana, 1997), a escala 1: 100000 dentro del proyecto de la carta geológica, que abarca parte de este complejo, para fines de mapeo se describió las estructuras del estratovolcan Azulejos y el domo Iscay Orcko y zonas de alteración. Los prospectos del CVG, son principalmente de Bi, W; además presentan indicios de metales preciosos, además de la presencia de yacimientos aluviales en el valle de Esmoraca y el río Viluyo.

La explotación anterior de algunos depósitos minerales del Complejo Volcánico Galán (Pueblo Viejo, Azulejos y Central), constituyen criterios favorables para la búsqueda de yacimientos.

Distintas empresas mineras realizaron exploración en esta comarca como son la Empresa Minera Austpac, La Source y la Empresa Minera del Altiplano.

1.6. Metodología de trabajo

La presente investigación fue desarrollada en diferentes etapas, similar a la propuesta por Lahner et al., (1994), las cuales consisten en trabajos de gabinete y de campo. El esquema general se indica en la figura 1.7; donde se resume los pasos desarrollados en la investigación.

Una etapa inicial de gabinete fue realizada para la recopilación bibliográfica del ámbito regional del territorio boliviano y de la zona de estudio. En la descripción general del ámbito regional de la geología y depósitos minerales de Bolivia, se ha recurrido a mapas geológicos y metalogenéticos. Para el análisis a escala local, se utilizó una imagen satelital Landsat TM (escena 232 / 075) correspondiente a San Pablo de Lípez de una escala aproximada de 1:250 000. En ésta se realizó un

estudio de lineamientos para el análisis geológico, tectónico y los principales controles de mineralización en la zona en el ámbito del suroeste de Bolivia (Ramos Collorana et al., 2002 a).

Para el levantamiento geológico del Complejo Volcánico Galán, se ha utilizado mapas topográficos a escala 1:50 000 y 1:250 000 que están en el sistema Universal Transversa de Mercator (UTM) referidas al datum del Sistema Geodésico Internacional WGS-84; éste sistema fue utilizado en los mapas y esquemas de las figuras de la tesis. Además de fotografías aéreas; a una escala aproximadamente de 1: 40000 del Instituto Geográfico Militar (IGM) de Bolivia. Asimismo se ha realizado la fusión de la imagen satelital y fotografías aéreas (Ramos Collorana et al., 2002 b). El trabajo de campo en la zona fue realizado con la base e información anterior; el cual consiste en la descripción geológica y el muestreo. Para la confección del mapa geológico se ha realizado perfiles en lugares accesibles para el reconocimiento y descripción de las unidades geológicas. El muestreo, principalmente de tipo orientativo, fue realizado para obtener resultados de composición química de las rocas.

En el aspecto de los depósitos minerales de la comarca, se ha realizado una descripción y muestreo de vetas, rocas, alteraciones hidrotermales e inclusiones fluidas. El muestreo fue realizado de los afloramientos y de los lugares accesibles de interior mina. Las muestras para litogeoquímica fueron enviados a laboratorios (ACME laboratories y ActLabs), mientras que el estudio de inclusiones fluidas fue desarrollado en el Instituto de Recursos Minerales (INREMI).

La metodología utilizada para el estudio petrográfico y petrológico consiste en el muestreo, descripción de afloramientos, descripción petrográfica (laboratorio) y análisis químicos. Las muestras fueron tomadas de los afloramientos representativos y más frescos posibles. La preparación de los cortes delgados y secciones pulidas; además de la descripción fueron realizadas en los laboratorios del Instituto de Recursos Minerales (INREMI). El muestreo se realizó de los principales afloramientos representativos de ignimbritas, pómez, lavas, domos volcánicos, diques, stocks subvolcánicos y xenolitos. El muestreo consistió en la toma de unidades representativas de 1 a 2 Kg. de peso, tanto en roca masiva como en esquirlas y en lugares donde la roca no esta alterada en lo posible. Para el análisis químico se escogieron 21 muestras, con la finalidad de obtener resultados de roca total.

Los análisis químicos fueron realizados de la siguiente manera: Las muestras pulverizadas fueron comprimidas en pastillas y analizadas en el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Trieste, con un espectrómetro XRF Phillips PW 1404, siguiendo el procedimiento propuesto por Phillips (X40 Software Operation Manual) para la corrección del efecto matriz. Los resultados son seguros con un error entre 2 y 3% para elementos mayores y entre 7 y 10% para elementos traza. El LOI fue realizado por calentamiento a 1100 °C por 12 Horas y corregido por la oxidación de Fe^{+2} ; el Fe^{+2} fue determinado por titulación.

La metodología del estudio de inclusiones fluidas, así como la clasificación y técnicas fue descrita en detalle por Roedder (1984) y Shepherd et al., (1985). La preparación de muestras y el estudio de las inclusiones fluidas se realizó en el Instituto de Recursos Minerales (INREMI) de la Universidad Nacional de La Plata. El equipo utilizado fue una platina de calentamiento y enfriamiento LINKAM THMS 600, que tiene rangos -196° a 600° C, con una máxima resolución de 0.1°C , la cual está incorporada a un microscopio Nikon. Adicionalmente posee un termo para nitrógeno líquido (utilizado para enfriamiento) y recipientes para la circulación de agua destilada. El procedimiento se realiza mediante un programador y controlador de temperatura de 0.01° C a 130° C/min.

Las muestras seleccionadas para este estudio fueron minerales de cuarzo, baritina y esfalerita. La descripción petrográfica de la inclusión fluida consiste en la determinación del tipo, tamaño, distribución, fases que lo componen. El enfriamiento permite medir la temperatura de congelamiento, punto eutéctico y fusión del hielo. Como el primero es difícil de observar se recurre al “cyclum” para observar el enfriamiento lentamente y observar la fusión de las aristas del hielo que se forma con este proceso. El calentamiento consiste en medir la temperatura de homogeneización, para lo cual se controla una de las fases (última), en general, la fase gaseosa disminuye de tamaño hasta desaparecer, que es donde las fases están en equilibrio. La salinidad de las inclusiones fluidas fue obtenida con la temperatura de disolución y de enfriamiento, los cuales se obtienen a partir de tablas y gráficos.

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO

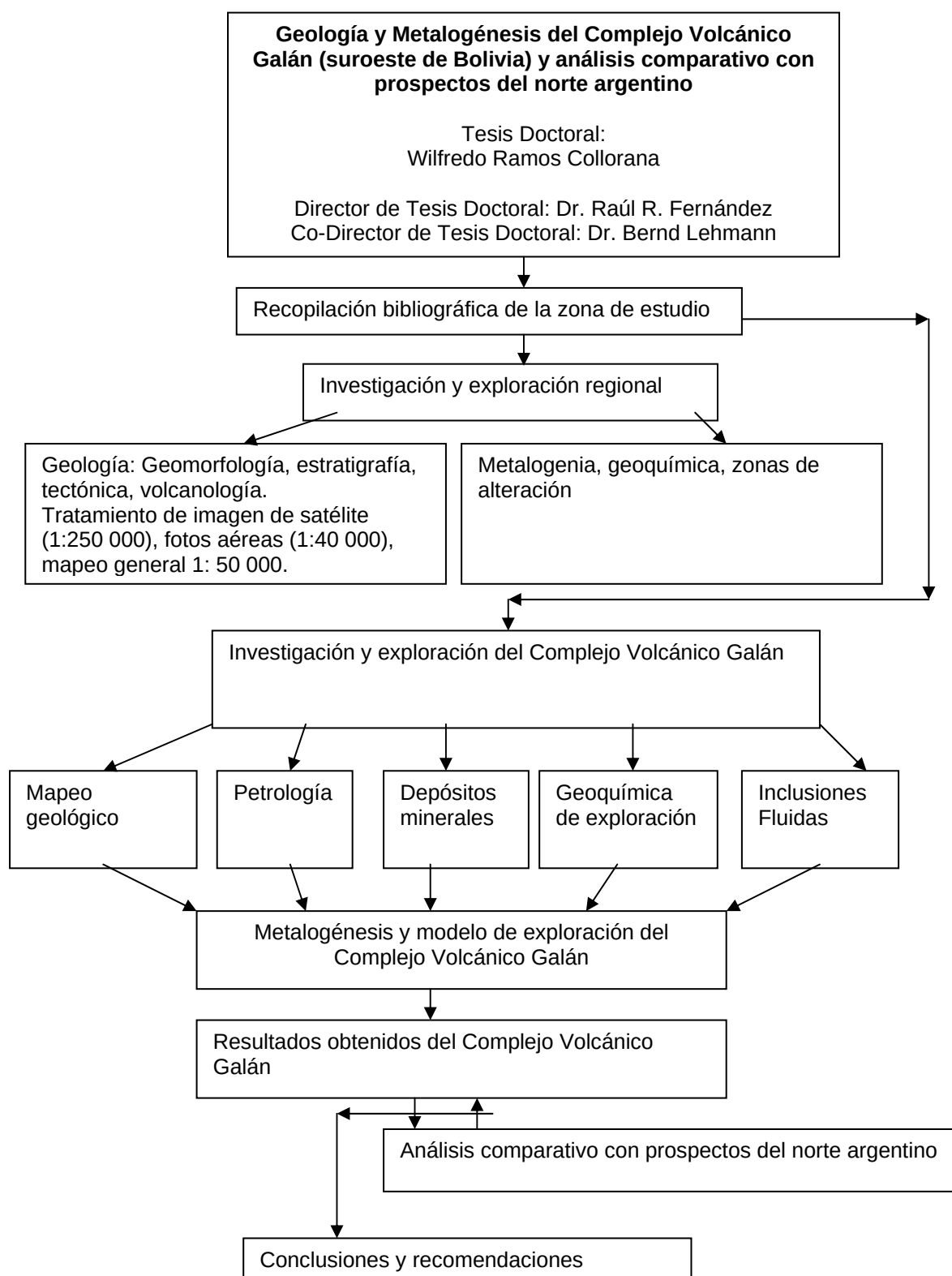


Fig. 1.7. Esquema general del diagrama de flujo de investigación utilizado para el estudio del Complejo Volcánico Galán.

Capítulo 2

MARCO REGIONAL: GEOGRAFÍA, GEOLOGÍA Y METALOGENIA DE BOLIVIA

Capítulo 2

MARCO REGIONAL: GEOGRAFÍA, GEOLOGÍA Y METALOGENIA DE BOLIVIA

En el presente capítulo se describen los aspectos regionales de Bolivia, con la finalidad de explicar el marco geográfico, geológico y metalogenético en el cual se encuentra la zona de estudio.

2.1. Datos generales de Bolivia

El territorio boliviano se encuentra situado en la zona central de América del Sur (Fig. 1.1), entre los meridianos 57° 26' y 69° 38' de longitud oeste y los paralelos 9° 38' y 22° 53' de latitud sur. Los límites internacionales son con Argentina al sur, Brasil al noreste, Chile al suroeste, Paraguay al sureste y Perú al noroeste. La República de Bolivia fue creada el 6 de Agosto de 1825 y su Capital es la ciudad de Sucre (2790 m snm), mientras que la Sede de Gobierno es la ciudad de La Paz (3640 m snm). Bolivia cuenta con una superficie de 1 098 581 km² y una población de alrededor de 8,328,700 habitantes (Censo, 2001: <http://www.ine.gov.bo/>), y es considerado como un país altiplánico, sin embargo cuenta con mayor extensión la llanura oriental (Fig. 2.1). La división política del territorio boliviano es en 9 departamentos, 112 provincias, 312 municipios y 1384 cantones (INE: Instituto Nacional de Estadística, Bolivia).

2.2. Geografía

La geografía del territorio boliviano se caracteriza por tres zonas predominantes que son la parte Andina, Subandina y Llanos (Fig. 2.1).

La zona Andina se encuentra en la parte occidental y abarca el 28 % del territorio nacional. Esta conformada por la Cordillera Andina, que está a más de 3000 m snm, además de los lagos Titicaca (3.810 m snm, 8.100 km²) y Poopo, como los salares de Uyuni (3650 m snm, 10.000 km²) y Coipasa. En esta región la temperatura varía entre 15° a -20 °C. El Complejo Volcánico Galán se encuentra en la parte meridional de esta zona geográfica (Fig. 2.1).

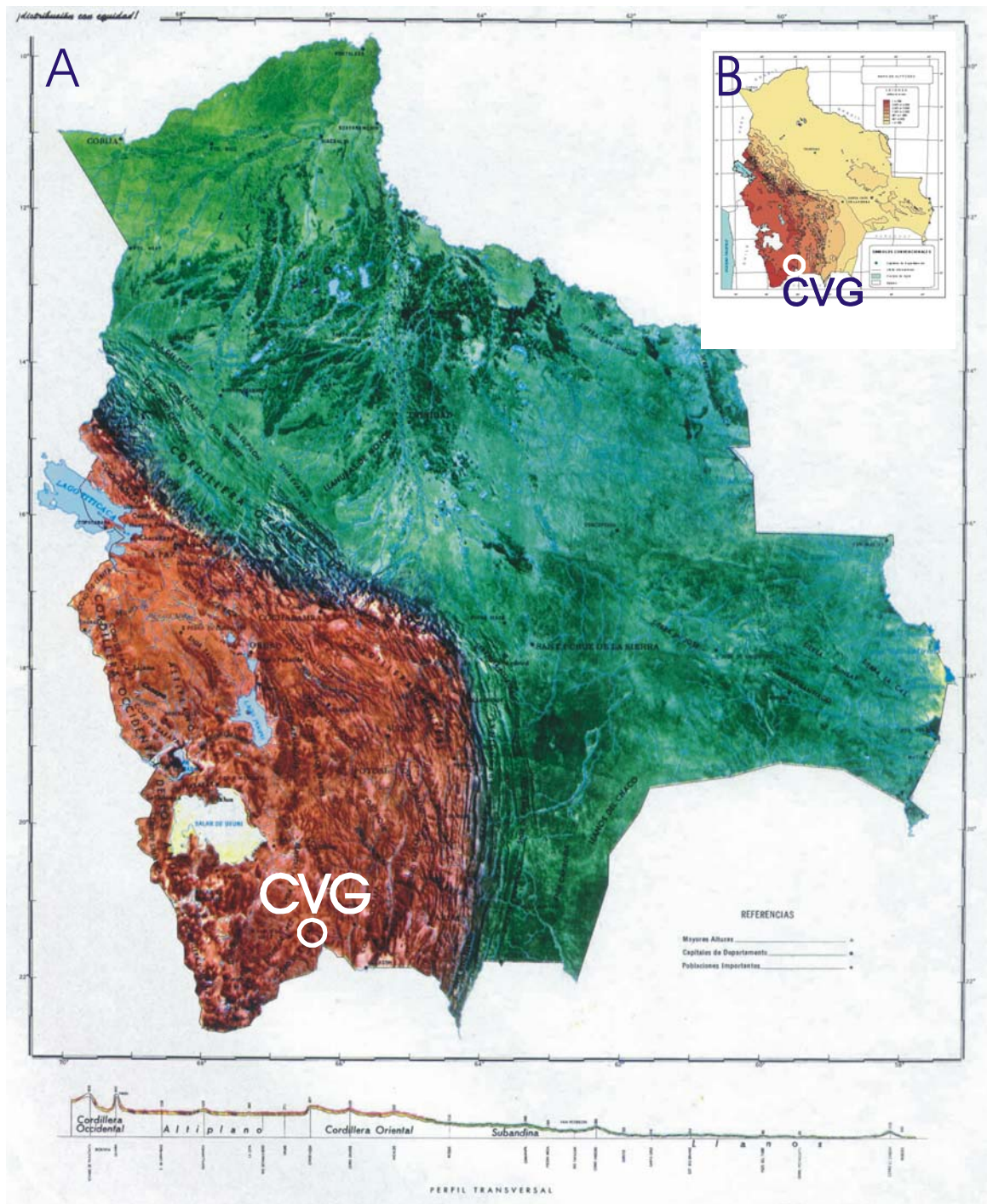


Figura 2.1. A. Mapa orografico de Bolivia, publicado por el Instituto Geografico Militar; donde se indica la ubicación del Complejo Volcánico Galán (CVG). En la parte inferior el perfil transversal. B. Mapa altimétrico, con regiones más altas (color marrón) en la parte andina.

La zona Subandina es una región intermedia entre la parte andina y los llanos orientales, que abarca el 13% del territorio. Comprende los valles y los yungas (a 2.500 m snm promedio) y se caracteriza por la actividad agrícola y su clima templado a cálido (15° a 25° C). La zona de los llanos se encuentra en la parte oriental y cubre el 59 % de la superficie, la cual es una tierra de llanuras y bajas mesetas, cubierta por extensas selvas ricas en flora y fauna; donde la temperatura media anual es de 22° a 25° C.

La orografía boliviana es variada desde el punto mas bajo en el río Paraguay (90 m s.n.m.) y el punto más alto el cerro Sajama (6542 m snm). La característica relevante es la Cordillera de los Andes Centrales, que se ramifica en las cordilleras Occidental y Oriental (Fig. 2.1).

Bolivia conforma parte de tres cuencas hidrográficas que son del Amazonas, Lacustre y del Plata. La primera abarca desde la parte central hacia el noreste; mientras que la segunda es una cuenca endorreica en la altiplanicie y finalmente la Cuenca del Plata que abarca desde la parte central hacia el sureste. A esta última corresponde la zona de estudio.

El clima es variable de acuerdo a la geografía desde frío y semiárido en la altitud hasta húmedo y tropical en la parte llana u oriental. El periodo de lluvias se extiende desde los meses de noviembre a marzo.

2.3. La industria minera de Bolivia

La minería en Bolivia es importante por el efecto que tiene en la economía, debido a que constituye alrededor del 70 % de la exportación y es un pilar fundamental para el desarrollo.

En el ámbito gubernamental, cuenta con empresas estatales como la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL), Empresa Nacional de Fundición (ENAF), entre otras, aunque en la actualidad tienen limitadas facultades. El Ministerio de Minería e Hidrocarburos, la Superintendencia de Minas y el Servicio Técnico de Minas son los organismos encargados de controlar la actividad y el catastro minero. El Servicio Nacional de Geología y Minería (SERGEOMIN), es una institución encargada de los trabajos de la geología y minería.

El Código de Minería (1997) legisla los diferentes aspectos de esta actividad; la cual se divide en minería grande, mediana y chica.

2.4. Geología

2.4.1. La Cordillera de los Andes

En el aspecto geotectónico regional la característica sobresaliente es la Cordillera de los Andes (Fig. 1.1), que es una cadena semiparalela al borde occidental del continente suramericano. Es una zona convergente activa entre la placa continental Suramericana con vergencia occidental y las placas oceánicas de Cocos, Nazca y Antártida con vergencia oriental.

La Cordillera Andina se extiende en una longitud de alrededor de 9.000 Km. y un ancho promedio de 500 Km. y está dividida longitudinalmente en las regiones Nórdicas, Centrales y Australes, que están delimitados por megalineamientos Carnegie-Galápagos y la dorsal submarina chilena - Neuquen, respectivamente.

La zona de estudio se encuentra en los Andes Centrales. Esta región durante el Fanerozoico evolucionó sobre corteza de tipo continental (ensiática) en basamento Precámbrico – Paleozoico; además la migración magmática de oeste a este durante el Mesozoico a Cenozoico. La dirección de las serranías y estructuras es NO-SE en su borde septentrional; con un cambio de dirección (lineamiento Arica -Santa Cruz) a NS en la parte meridional, producto del Oroclino Boliviano (Sempere et al., 1988); sin embargo también atribuyen esta bifurcación a la denominada geosutura boliviana que fue acomodada en el ciclo Andino (Suarez-Soruco, 2000). Esta característica geológica predomina en gran parte del territorio boliviano, donde el espesor de la corteza es cercano a 70 Km. y el ángulo de subducción es alrededor de 30°.

2.4.2. Marco geológico de Bolivia

El estudio geológico del territorio boliviano fue desarrollado por varios investigadores; según Rodrigo y Castaños (1978), entre los pioneros es de destacar los trabajos de las misiones francesas (Alcides D'Orbigny, 1828-1832), alemanas (G. Steinmann y F. Ahlfeld), inglesas (A. Douglas) y mucho otros investigadores tanto nacionales como extranjeros de empresas estatales, transnacionales y académicas. La publicación de mapas geológicos de Bolivia se inició con Ahlfeld (1946 a,b), seguido por las publicaciones entre el Servicio Geológico y Yacimientos Petrolíferos Fiscales por Pareja et al. (1978), Pareja y Ballon (1978) y últimamente fue

actualizado por Pérez et al., (1996) en coordinación entre el SERGEOMIN-YPFB; además del Cuadro Cronoestratigráfico (Oller, 1992).

2.4.3. Provincias geológicas

El territorio boliviano está dividido en general en el Escudo Precámbrico, llanura Chacobeniana y la Cordillera de los Andes. Estas unidades son coincidentes con las unidades morfoestructurales (Ahlfeld y Branisa, 1960), además con las provincias geológicas (Rodrigo y Castaños, 1978) que de oriente a occidente son: Escudo Precámbrico, Serranías Chiquitanas, Llanura Chaco - Beniana, Zona Subandina, Cordillera Oriental, Altiplano y Cordillera Occidental (Fig. 2.2).

2.4.3.1. Escudo Precámbrico

Esta provincia geológica se encuentra al noreste de Bolivia (Fig. 2.2) y forma parte de la plataforma que se extiende en territorio brasilero. Es una superficie relativamente plana, con algunas elevaciones de alrededor de 700 m snm y un predominio de rocas de edad precámbrica, que en general son rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias. Sobreyacen afloramientos de extensión reducida de rocas silúricas, devónicas, carboníferas, jurásicas y en menor proporción coberturas lateríticas terciarias y cuaternario reciente. La estructura principal esta determinada por el cratón de Guaporé que fue afectada principalmente por los ciclos Transamazónico a Brasiliano.

2.4.3.2. Serranías Chiquitanas

Esta provincia se encuentra en la parte oriental (Fig. 2.2). En general tiene una dirección ONO, con similares características geográficas que la anterior. Están constituidas por rocas del basamento Precámbrico, como también rocas cámbricas, ordovícicas, silúricas, devónicas y cretácicas.

PROVINCIAS GEOLÓGICAS DE BOLIVIA

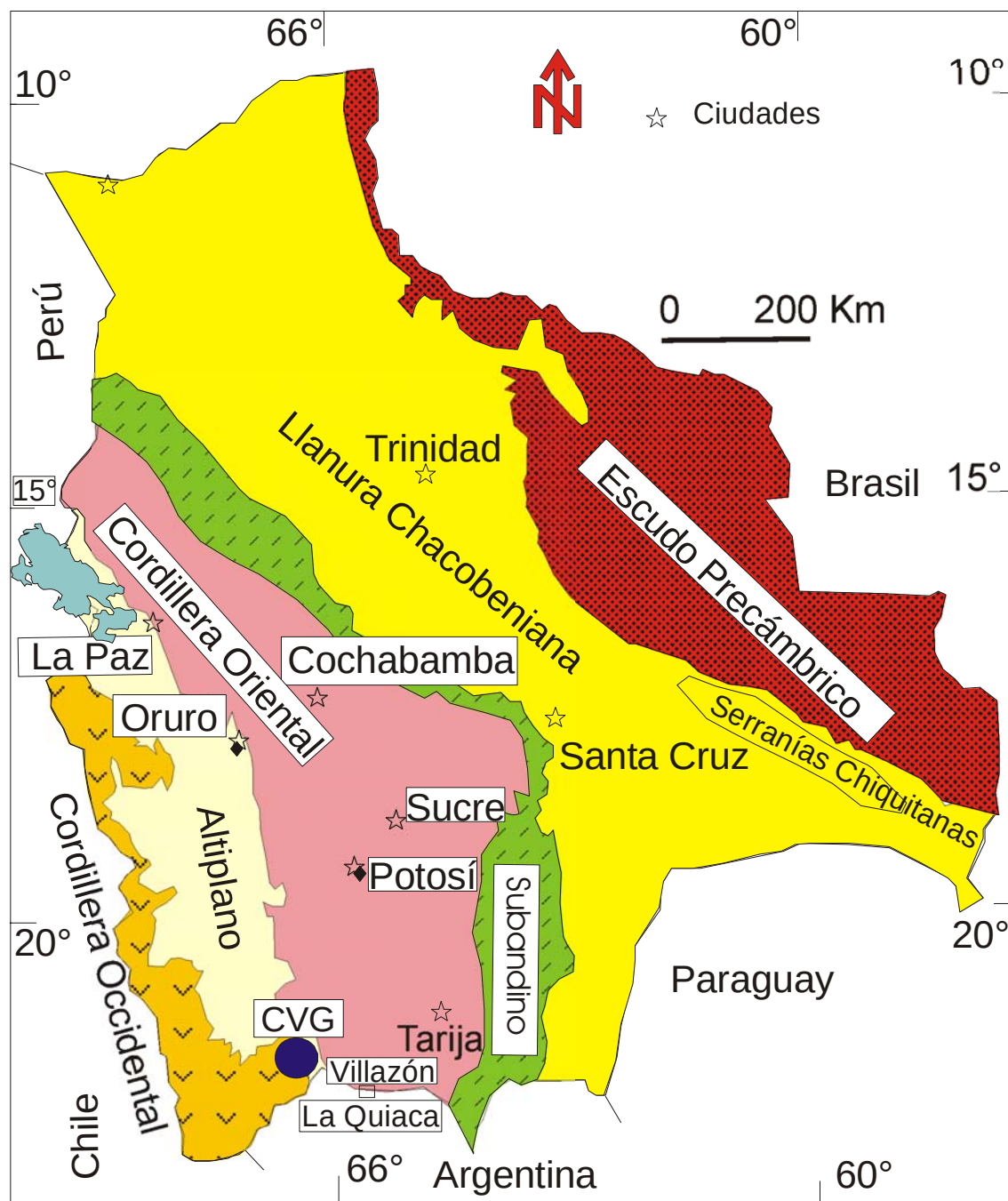


Figura 2.2. Provincias geológicas de Bolivia. El Complejo Volcánico Galán (CVG) en el suroeste del territorio, cerca al límite boliviano-argentino.

2.4.3.3. Llanura Chaco - Beniana

Esta provincia geológica se encuentra entre el Subandino y el Escudo Precámbrico (Fig. 2.2). Su característica es que presenta un relieve llano y en el sector norte existen lagunas rectangulares que probablemente están controlados por la litología y tectónica del basamento.

Esta región en general se encuentra cubierta por sedimentos cuaternarios, sin embargo, afloramientos de rocas del silúrico, carbonífero y cretácico fueron descritos en el extremo sureste (Pérez et al., 1996).

2.4.3.4. Zona Subandina

Conforma el borde oriental de los Andes Centrales de Bolivia (Fig. 2.2). El límite con la cordillera Oriental, denominado zona interandina (Troëng et al., 1993) es transicional.

Esta zona consiste en serranías paralelas estrechas que son coincidentes con anticlinales, además de cuencas intermontañas. En esta provincia afloran rocas de edad Paleozoica, Mesozoica y Cenozoica, sin embargo tienen predominio las rocas devónicas, carboníferas y paleógenas; mientras que en menor proporción están las rocas cretácicas. La característica estructural predominante corresponde a una faja plegada y corrida, la cual consiste de fallas y sobrecorrimientos con una vergencia al Este.

La zona interandina posee pliegues estrechos, con pendientes de alto ángulo y el buzamiento es paralelo a los ejes de pliegues.

2.4.3.5. Cordillera Oriental

Se encuentra en la parte central del orógeno andino, entre las provincias del Altiplano y el Subandino (Fig. 2.2). La Cordillera Oriental está conformada por un conjunto de sierras y cuencas intermontañas, con algunas elevaciones de alrededor de 6000 m snm en el norte y más bajas en las serranías del sur.

En ésta provincia se ha inferido un basamento proterozoico, mientras que los afloramientos principales consisten de rocas de edad paleozoica. Las rocas de edad mesozoica y cenozoica se encuentran en sectores restringidos. El magmatismo se

ha desarrollado en los sectores norte, central y meridional, con afloramientos plutónicos, subvolcánicos y volcánicos respectivamente. Además de los campos ignimbríticos de Morococala y los Frailes que corresponden a un magmatismo de trasarco.

Respecto a la estructura de esta provincia, las fallas principales en general son de vergencia Atlántica, sin embargo en el borde Oeste, las estructuras tienen una vergencia occidental (falla San Vicente). Las estructuras anticlinales pueden ocupar bajos topográficos, marcando una inversión de relieve y existen discordancias angulares entre el Paleozoico – Mesozoico y Paleozoico – Cenozoico (Rodrigo y Castaños, 1978).

2.4.3.6. Altiplano

Esta provincia corresponde a una cuenca intermontañosa y está limitada por las Cordilleras Occidental y Oriental (Fig. 2.2). La altura promedio es de 3700 a 4000 m snm y conforma una cuenca endorreica.

En el sector norte fue descrito un basamento precámbrico (Lehmann, 1978) y en otros sectores éste basamento se infiere por estudios geofísicos. Por encima se depositaron rocas ordovícicas y silúricas; mientras que en discordancia apoyan rocas mesozoicas y cenozoicas. Fundamentalmente los afloramientos característicos corresponden a rocas del Paleógeno, Neógeno y Cuaternario; que conforman la cuenca.

2.4.3.7. Cordillera Occidental

Se encuentra al Oeste de Bolivia (Fig. 2.2). Conforman una serranía en general NNO con algunos cerros que están por encima de 4000 msnm, con mesetas y lagunas en un ambiente predominantemente volcánico. Esta cadena volcánica en general de edad Neógena - Holocena, conforma el arco volcánico actual y es parte de la Zona Volcánica Central (Baker & Francis, 1978).

El basamento (Troëng et al., 1994) consiste en rocas de edad Precámbrica; por encima se encuentran rocas ordovícicas y silúricas restringidas en la parte sur; sin embargo la característica es la presencia de volcanismo del Neógeno que dio lugar a estratovolcanes, campos ignimbríticos, calderas, entre otras formas.

La estructura predominante consiste de lineamientos orientados con la misma dirección de las serranías en la parte occidental de la provincia.

El Complejo Volcánico Galán se encuentra en la parte meridional de la provincia geológica de la Cordillera Occidental, cerca de los límites de la Cordillera Oriental y Altiplano (Fig. 2.2).

2.4.4. Ciclos tectonoestratigraficos de Bolivia

La evolución geológica del territorio boliviano fue descrita mediante ciclos tectonoestratigráficos (Fig. 2.3 y 2.4). Los ciclos son el Transamazónico, San Ignacio, Sumsás, Brasileño, Tacsariano, Cordillerano, Subandino y Andino. Entre estos últimos, Oller (1992) menciona el ciclo Tacuruano. Las fases tectónicas del Fanerozoico son las fases Tilcárica, Oclóyica, Chiriguana, Aimara, Kolla, Araucana, Incaica, Quechua I y II (Fig. 2.3).

Los dominios tectonoestratigráficos definidos por Sempere (1990), abarcan principalmente la parte andina. Son coincidentes con las características de la estructura de los Andes; así menciona la Faja Subandina, Conjunto Tarija – Teoponte, Conjunto Sucre – La Paz, Conjunto Uyuni - Coipasa – Ulloma. Estos dominios están limitados por fallas regionales y cabalgamientos con vergencias orientales y occidentales (Fig. 2.4).

El Complejo Volcánico Galán se encuentra en el Conjunto Sucre – La Paz (Fig. 2.4), que está limitado al oriente por el Cabalgamiento Andino principal (CANP) con vergencia al Este; y al occidente por la Faja Plegada y Corrida de Huarina (FPCH), Cabalgamiento altiplánico principal (CALP) y el sistema de Falla Khenayani (SFK). Este dominio abarca parte de la Cordillera Oriental, Altiplano y Cordillera Occidental Sur.

2.4.5. Estratigrafía de Bolivia

2.4.5.1. Precámbrico

Las rocas precámbricas forman parte de los ciclos Transamazónico, San Ignacio, Sumsas y Brasileño. La fase tectónica Tilcárica marca una discordancia angular (Troëng et al, 1993) y el límite entre los ciclos Brasileño y Tacsariano (Oller, 1992).

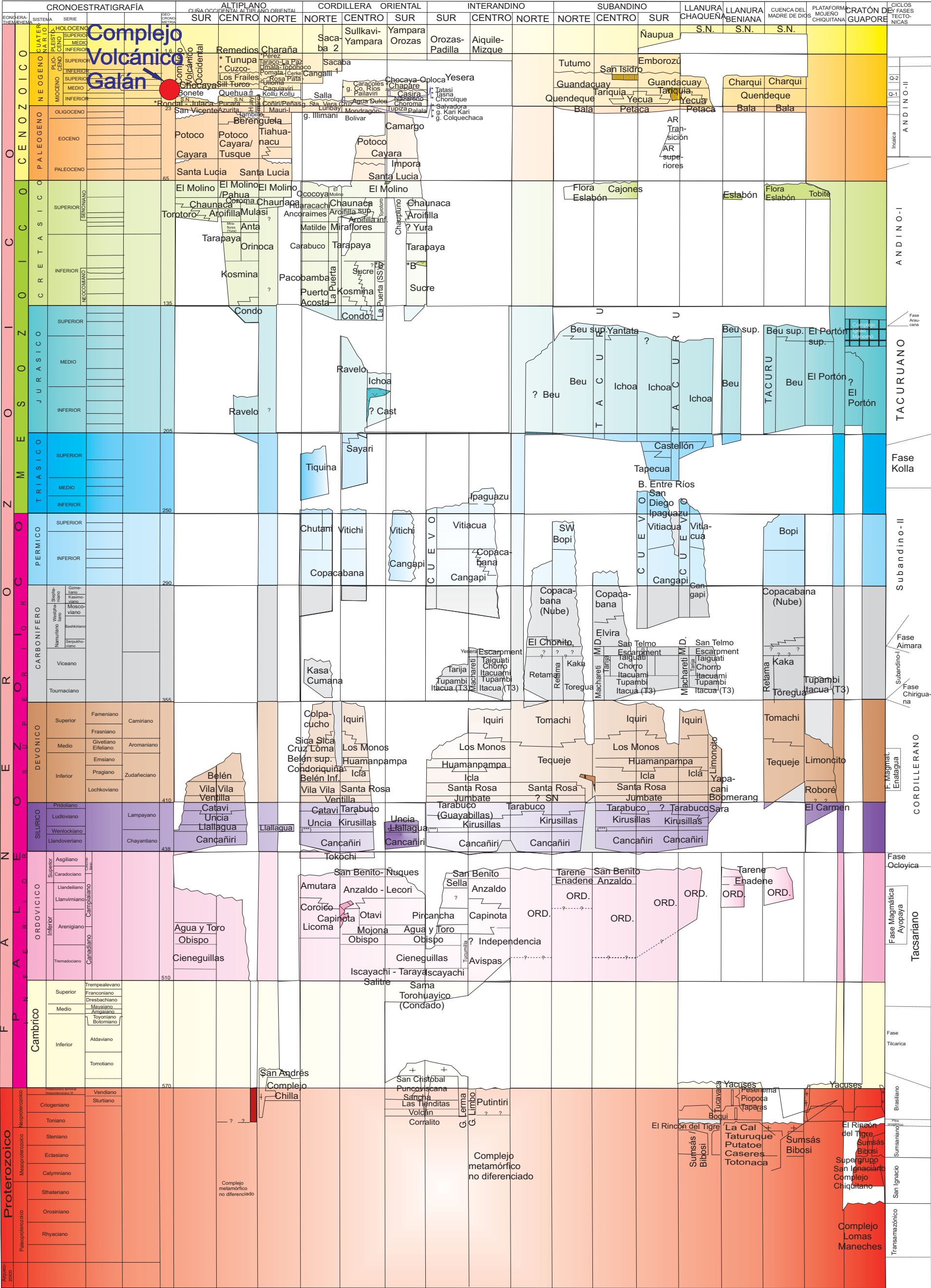
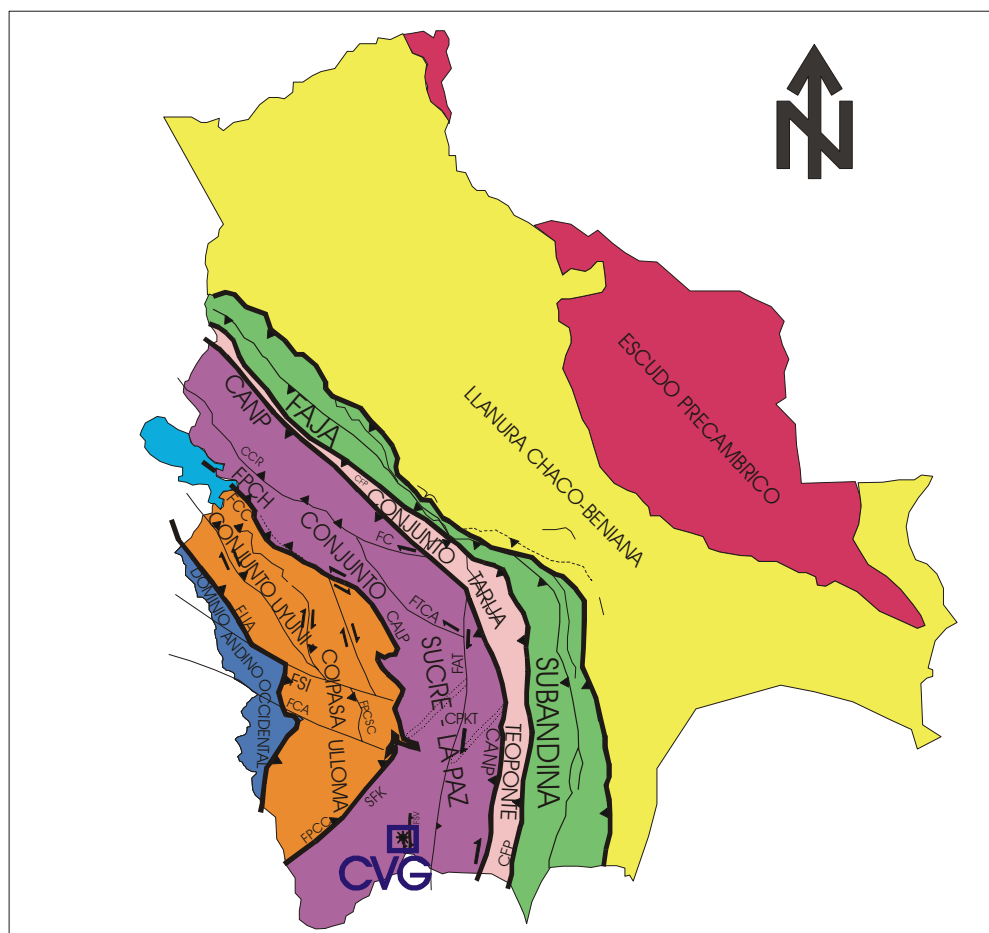


Figura 2.3 Cuadro cronoestratigráfico simplificado de Bolivia. Modificado de Oller (1992, Editado por YPFB-SERGEOMIN). El Complejo Volcánico Galán (Mioceno) se encuentra en el Altiplano Sur y Cordillera Occidental.



REFERENCIAS

FPCH	Faja plegada y corrida de Huarina
CALP	Cabalgamiento Altiplánico Principal
CCR	Cabalgamiento de la Cordillera Real
FAT	Falla Aiquile Tupiza
FCA	Falla Chita Arica
FLIA	Falla-límite Intra-Andina
FTCA	Falla Toracarí-Cabalgamiento de Arque
FPCC	Faja plegada y corrida de Corregidores
CFP	Cabalgamiento Frontal Principal
FC	Falla Cochabamba o Tunari
FCC	Frente de Cabalgamiento Coniri
CPKT	Corredor Paleoestructural Khenayani-Turuchipa
FSI	Falla Sevaruyo-Incapujio
SFK	Sistema de Falla Khenayani
FPCSC	Faja plegada y corrida de Sevaruyo-Chita
CANP	Cabalgamiento Andino Principal
FSV	Falla San Vicente
CVG	Complejo Volcánico Galán

	Falla inversa de Cabalgamiento
	Falla inversa de Cabalgamiento inferida
	Falla Transcurrente

Figura 2.4. Dominios tectonoestratigráficos de Bolivia (Modificado de Sempere, 1990). El Complejo Volcánico Galán (CVG) se encuentra en el conjunto Sucre - La Paz.

Los principales afloramientos (Fig. 2.5) se encuentran en la parte oriental (Escudo Precámbrico ó Cratón de Guaporé), mientras que son restringidos en la parte occidental (Cordillera Oriental y Altiplano). La litología consiste de metamorfitas (gneis, anfibolitas, esquistos), sedimentitas (cuarcitas, psamitas, lutitas y conglomerados) y rocas ígneas (granitoides, además de serpentinitas, gabros y troctolitas).

2.4.5.2. Paleozoico

Las rocas de edad cámbrica forman parte del ciclo Brasileño (Fig. 2.3). Los afloramientos principales se encuentran en la Cordillera Oriental (sur de Tarija) y en el alto Chapare de Cochabamba (Rodrigo y Castaños, 1978, Pérez et al., 1996). La litología consiste de metamorfitas (filitas y esquistos en el Chapare) y sedimentitas (calizas, areniscas y lutitas en el sur de Tarija).

Las rocas de edad ordovícica conforman parte del ciclo Tacsariano. Sus principales afloramientos se encuentran en la Cordillera Oriental, Altiplano (sur y norte), Zona Subandina y Serranías Chiquitanas. La secuencia alcanza un espesor alrededor de 10.000 metros, compuesta por lutitas, limolitas, areniscas, cuarcitas de origen marino; con algunos sectores con un grado bajo de metamorfismo. Estas rocas están intruidas por diques basálticos en el sur de la Cordillera Oriental, aunque Rodrigo y Castaños (1978) indican que las rocas ígneas son poco frecuentes y mencionan sienitas (Ahlfeld y Schneider-Scherbina, 1964), basaltos y mantos basálticos.

Las rocas de edad silúrica conforman parte del ciclo Cordillerano. Sus principales afloramientos se encuentran en la Cordillera Oriental (alrededor de Oruro y Cochabamba) y en la zona Subandina, mientras que menores afloramientos están en la parte occidental del territorio y en las Serranías Chiquitanas. Están representadas por diamictitas y grauvacas glaciomarinas, además de una secuencia de areniscas y lutitas.

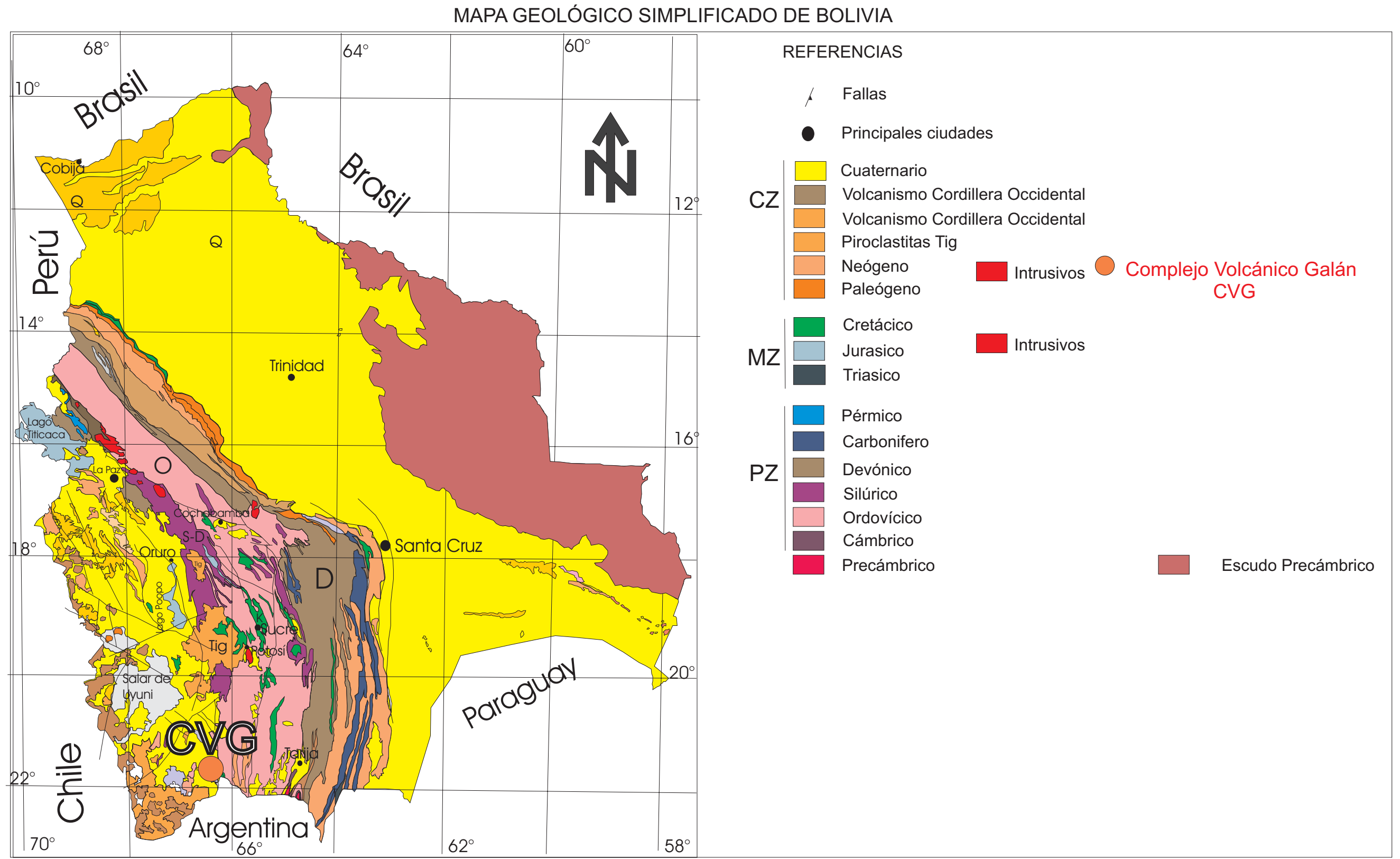


Figura 2.5. Mapa geológico simplificado de Bolivia, modificado de Pérez et al., (1996). El Complejo Volcánico Galán (CVG) está en la parte meridional. El Escudo Precámbrico es la provincia geológica donde predominan las rocas precámbricas.

Las rocas de edad devónica también son parte del ciclo Cordillerano. Los principales afloramientos se encuentran en la Zona Subandina, Cordillera Oriental y el Altiplano norte. Consiste de una secuencia de areniscas, seguido por sedimentitas pelíticas con alto contenido fosilífero (Rodrigo y Castaños, 1978) y en la parte superior con concreciones calcáreas, continúa con rocas predominantemente psamíticas intercaladas con algunas lutitas y limolitas y finalmente una delgada sucesión de lutitas.

Las rocas de edad carbonífera pertenecen al ciclo Subandino. Los principales afloramientos se encuentran en la Zona Subandina y parte de la Cordillera Oriental, como también alrededor del Lago Titicaca. Consisten principalmente de areniscas y varios horizontes de tillitas, la secuencia continua con lutitas intercaladas con areniscas.

Las rocas de edad pérmica corresponden también al ciclo Subandino. Los principales afloramientos se encuentran en la Cordillera Oriental, Altiplano Norte y Sierras Subandinas. La litología predominantemente consiste de areniscas calcáreas, calizas y areniscas, cuyas proporciones y características varían de acuerdo a los distintos lugares.

2.4.5. 3. Mesozoico

El Ciclo Andino se inició en el Mesozoico y abarca hasta el reciente. Los afloramientos se encuentran ampliamente distribuidos en la zona de la cadena andina.

Los afloramientos sedimentarios de edad triásica en territorio boliviano, están en la parte subandina; afloran areniscas limolíticas intercaladas con horizontes de yeso (Troëng et al., 1993) como también cuerpos lenticulares de sal. Sin embargo, en el eje de la Cordillera Oriental, en la parte norte hay intrusivos de edad Triásica.

Las rocas de edad Jurásica no son de gran desarrollo, es de mencionar las areniscas de ambiente eólico, en la cordillera Oriental y la Zona subandina. Los afloramientos ígneos se encuentran asociados al norte de la Cordillera Oriental.

Las rocas de edad Cretácica son también de ambiente continental; en territorio boliviano son de amplio desarrollo y los principales afloramientos se encuentran en la Cordillera Oriental, Altiplano y Subandino. Esta secuencia, está en discordancia angular sobre las rocas más antiguas, se inició con areniscas, conglomerados y

arcillitas con niveles de coladas basálticas en la base. Alrededor de Potosí y Sucre, se encuentran secuencias litológicas importantes, con niveles de calizas en la secuencia media y en el tope, que son localidades tipo para una correlación en el ámbito regional.

2.4.5.4. Cenozoico

Las rocas del Paleógeno consisten en general de sedimentitas continentales, intercaladas con algunos niveles volcánicos; y afloran principalmente en el Altiplano, Cordillera Oriental y Subandino. Esta conformada por conglomerados, areniscas y limolitas.

Las rocas del Neógeno son rocas magmáticas en la Cordillera Occidental, las cuales corresponden al arco volcánico de edad Neógena - Cuaternaria.

Las rocas de edad cuaternaria se encuentran a lo largo del territorio y están conformados por gravas, morrenas, limolitas y arcillas.

2.5. Tectónica de Bolivia

Las distintas unidades litológicas presentes en el territorio boliviano fueron afectadas por las diferentes fases tectónicas (Fig. 2.3). Se distingue el Escudo Precámbrico en la parte oriental y la Cadena Andina en la parte occidental; que están separados por la llanura chaco – beniana. La Cadena Andina está formada por las provincias geológicas de la Cordillera Occidental, Altiplano, Cordillera Oriental y Zona Subandina. Se reconocen fallas longitudinales (Fig. 2.4) con dirección predominante de los Andes Centrales.

Troëng et al., (1993) indican las siguientes fases tectónicas en los Andes Centrales: Tilcárica, Ocloyica, Eohercínica, Gondwánica, Araucana, Incaica y Quechua. La fase Tilcárica se produjo en el cámbrico, la fase Ocloyica a fines del ordovícico, la eohercínica entre el devónico-carbonífero, la deformación gondwánica en el Pérmico, la deformación araucana en el Jurásico y las deformaciones andinas Incaica y Quechua desde el Cretácico.

2.6. Geología del suroeste de Bolivia

La región está conformada por la parte meridional de la Cordillera Oriental, el Altiplano y la Cordillera Occidental. El límite entre las primeras es la falla San Vicente, mientras que entre las últimas está demarcado por el volcanismo occidental (Fig. 2.2).

La región (Fig. 2.6) está formada por la cuenca de Lipez, limitadas por las fallas San Vicente (vergencia occidental) y Uyuni - Khenayani (vergencia oriental), la cual fue descrita como una cuenca en compresión de edad Oligo - Miocena (Baby et al., 1990), además de estructuras en flor de Pululos - San Pablo y de Casa Grande. Toda esta comarca corresponde al dominio Uyuni (Ritcher et al., 1992), donde se produjeron distintas fases tectónicas de las cuales la más importante ocurrió en el Oligoceno - Mioceno (27 - 19 Ma) que marca el inicio de la Orogenia Andina (Sempere et al., 1990; en Ritcher et al., 1992).

El ambiente volcánico del suroeste se caracteriza por los lineamientos principales NO – SE (Lipez - Coranzuli) y otros menores de dirección NE – SO, y por estructuras semicirculares de calderas (Guacha, Capina, Pastos Grandes, Coruto). Una característica sobresaliente es la denominada Cordillera de Lipez, de dirección NE-SO, de la cual forma parte la zona de estudio. El volcanismo se inició coincidente con la fase Incaica de la Orogenia Andina; consiste de eventos efusivos y explosivos eruptados de diferentes estructuras (calderas, estratovolcanes y domos).

La Zona Volcánica Central (Thorpe et al., 1982) es de extensión regional y abarca desde Perú, Bolivia, Chile y Argentina. Esta zona volcánica es el producto de la subducción entre la placa oceánica y la placa sudamericana. Se distinguen dos arcos volcánicos, que conforman la Cordillera Occidental, con rocas de edad cenozoica y estructuras volcánicas en general de composición andesítica a dacítica; además en la Cordillera Oriental, están los campos de ignimbrita de composición riolítica, domos, restos de estratovolcanes e intrusivos someros (Ritcher et al., 1992). Baldellón y Quezada (en prensa, comunicación personal), mencionan los estudios sísmicos referidos por Aranibar-Riguera et al., (1995), que infieren la presencia de rocas del basamento precámbrico por debajo de la Cordillera Occidental Sur, a profundidades menores a 100 m (sector Oeste).

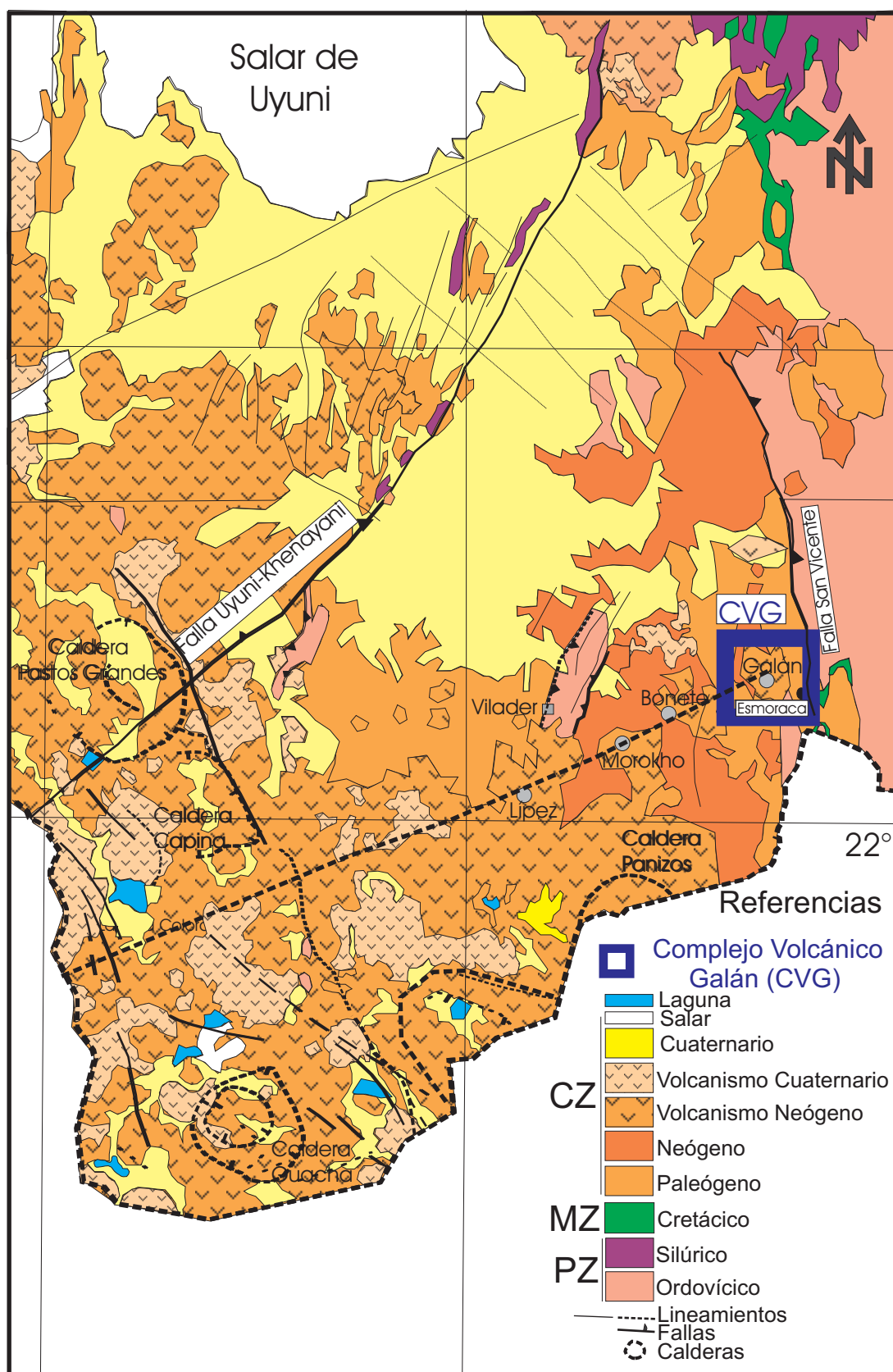


Figura 2.6. Mapa geológico simplificado del suroeste de Bolivia. Mapa modificado de Pérez et al., (1996) editado por SERGEOMIN - YPFB. La zona de estudio está indicada por el recuadro.

2.6.1. Paleozoico

Los principales afloramientos paleozoicos en el suroeste boliviano corresponden al Ordovícico y Silúrico (Fig. 2.6). Las rocas de edad Ordovícica, predominan en la Cordillera Oriental (Troëng et al., 1993; Kley et al., 1997; Lema y Ramos Collorana, 1997; Rössling, 2000). Afloramientos de menor extensión se encuentran en el Altiplano Sur y Cordillera Occidental (Ramos Collorana, 1992; Choque y Mamani, 1997; Baby et al., 1990) y en la zona de Esmoraca (Lema y Ramos Collorana, 1997). Están constituidas por lutitas, limolitas, areniscas, cuarcitas, grauvacas y conglomerados, depositados en un ambiente marino profundo, bajo un régimen turbidítico. Constituyen secuencias grano y estratocrecientes, con espesores de hasta 3 m en la base. Esta secuencia fue descrita como las unidades Marquina, Angosto, Kollpani y Tapial (Kley et al., 1997, Ramírez, 2000). Estudios paleontológicos (en graptolites) las atribuyen al Caradociano inferior (Muller et al., 1996, Kley et al., 1997). Las rocas están deformadas y diaclasadas, además conforman la roca hospedante de mineralización de Pb,Ag,Zn y Sb-Au.

Las rocas de edad Ordovícica de la zona (Esmoraca – Chilcobija), conforma parte del denominado Segmento Atocha (Erdtmann et al., 1995) que está entre la falla San Vicente y Almona-Tupiza (Rössling, 2000).

Los afloramientos del Silúrico inferior son de menor extensión en esta región, se encuentran en el borde occidental de la falla Uyuni-Khenayani (Baby et al., 1990; Sempere, 1990; Baldellón y Quezada, en prensa) y hacia el este de Uyuni (Pérez et al., 1996); y consisten de diamictitas masivas, además de areniscas y limolitas de secuencias turbidíticas.

2.6.2. Mesozoico

Los afloramientos de rocas Cretácicas se encuentran distribuidos en parte de la región de Esmoraca y al Este de Uyuni. Se describen afloramientos del Cretácico medio (Formaciones Tarapaya y Chaunaca) a superior (Formación El Molino). En general su litología está representada por areniscas, lentes de conglomerados con clastos de rocas paleozoicas, limolitas rojizas y amarillentas, arcillitas, margas con nódulos calcáreos. El tope del cretácico consiste principalmente de conglomerados, areniscas, limolitas, calizas y margas multicolores.

2.6.3. Cenozoico

En el suroeste boliviano las rocas del Paleógeno son de amplio desarrollo. Estas unidades son principalmente de ambiente sedimentario con algunos eventos magmáticos intercalados. Los afloramientos de este sistema se encuentran en la cuenca sur del Altiplano, parte de la Cordillera Occidental y en cuencas intermontañas de la Cordillera Oriental. La secuencia se inició con arcillas rojizas y una intercalación de areniscas (Formación Santa Lucia), continúa con limolitas, areniscas, areniscas conglomerádicas, rojizas a blanquecinas con delgados niveles de yeso (Formación Potoco), la secuencia suprayacente (Formación San Vicente) consiste de una facies conglomerádica en una matriz arenosa, con clastos de rocas Paleozoicas y en algunos sectores (occidente) con clastos de lavas andesíticas (Baldellón y Quezada, en prensa). El tope de esta secuencia (Formación Esmoruco) está constituida por arcilitas yesíferas, areniscas y conglomerados rojizos, con signos de deformación sinsedimentaria (Lema y Ramos Collorana, 1997)

Las rocas de edad Neógena en esta región, son formaciones volcanosedimentarias, que llevan distintos nombres formacionales. Se trata de conglomerados, areniscas, limolitas, arcilitas intercalados con lavas y tobas, además de depósitos epiclásticos.

Las rocas de edad cuaternaria, están compuestos por morrenas, depósitos fluvio-glaciares, depósitos fluviales y lacustres (Formación Minchin), depósitos coluviales, coluvio - fluviales, fluviales, terrazas, abanicos aluviales, deslizamientos y depósitos eólicos.

2.6.3.1. Magmatismo Cenozoico

El magmatismo en la región suroccidental de Bolivia, predominantemente es de carácter volcánico (Fig. 2.6), con menor desarrollo de cuerpos plutónicos y subvolcánicos y se desarrolló desde principios del Mioceno hasta el Holoceno.

Manifestaciones magmáticas que intruyen a las formaciones Potoco y San Vicente, son la presencia de sills, diques y pequeños plutones (Baldellón y Quezada, en prensa), además de rocas piroclásticas que se interestratifican con las formaciones mencionadas (Lema y Ramos Collorana, 1997).

La actividad volcánica principal se inició con la efusión de las lavas andesítica - basálticas de la Formación Rondal (22.9 ± 0.9 Ma, Kussmaul et al., 1975; 21.41 ± 0.1

Ma, Fornari et al., 1997). Localmente estas lavas están intercaladas con brechas de coladas y flujo de detritos y con sedimentos de la Formación Esmoruco en el área de Guadalupe (Lema y Ramos Collorana, 1997). Los principales afloramientos están restringidos a los sectores del Cerro Bonete, en el área de San Pablo y cerca a la Falla Uyuni – Khenayani. Es correlacionable con la Formación Suripujio y Julaca (Baldellón, 1995) hacia el noroeste de la comarca.

Las unidades superiores son secuencias volcanosedimentarias del Neógeno, indicando un paso gradual a un ambiente volcánico.

El volcanismo de composición intermedia a ácida, predominó durante el Mioceno inferior tardío a Mioceno medio (17 a 10 Ma), con el emplazamiento de manifestaciones de ambiente explosivo, desarrolladas principalmente en la parte sur de la Cordillera Occidental, representadas por depósitos piroclásticos de pómez y cenizas, asociados a efusiones plinianas que desarrollaron facies de caída y de colapso.

Posteriormente se produjo la construcción de estratovolcanes y flujos de lava, de composición predominantemente dacítica a andesítica, con fases posteriores de extrusión e intrusión de domos de composición dacítica a riolítica. El Complejo Volcánico Galán corresponde a este periodo.

Durante el Mioceno superior - Plioceno inferior, se desarrollaron calderas (Capina, Panizos, Guacha) o escudos relacionados a procesos fisurales, acompañados de estratovolcanes de amplio desarrollo y domos.

Han sido descritas extensas planicies de depósitos piroclásticos con evidencias de emisión fisural y composición dacítica – riolítica. Sus edades varían entre 12.4 ± 0.4 (Pacheco y Ramirez, 1997 a,b) y 9.0 ± 0.6 Ma (Pacheco y Ramirez, 1996) en el Sur y entre 6.7 ± 0.6 Ma y 6.0 ± 0.5 Ma (Almendras et al., 1997) en el Norte.

Durante el Plioceno superior - Holoceno en la Cordillera Occidental Sur se desarrollaron centros caldéricos, estratovolcanes, escudos ignimbríticos, domos-lava y domos de considerable extensión (Caldera Pastos Grandes, Domo Totoral).

El desarrollo de estratovolcanes está mayormente expuesto en la zona fronteriza con Chile, donde conforman una cadena de edad Pleistocena-Holocena. Los eventos más recientes del volcanismo Cenozoico en la Cordillera Occidental Sur están representados por emisiones lávicas monogénicas y domos-lava, los cuales son resultado de actividad freatomagmática y subaérea de composición ácida.

2.6.4. Tectónica

La tectónica en el suroeste boliviano se inició con la fase compresiva Oclóyica, que actuó principalmente sobre rocas ordovícicas; con el desarrollo de plegamientos estrechos de anticlinales y sinclinales, de rumbo general NNE - SSO a N-S, predominantemente en la Cordillera Oriental y en afloramientos menores del Altiplano y Cordillera Occidental. Continuó con la fase Eohercínica que afectó a depósitos silúrico - devónicos al NO de la falla Uyuni - Khenayani en el Altiplano.

Los registros de rocas cretácicas en el Altiplano están relacionados a un régimen extensional predominante durante el Mesozoico, que estuvo asociado a facies continentales depositadas en cuencas tafrogénicas, a las cuales siguieron transgresiones marinas intercaladas con depósitos fluviolacustres.

La Orogenia Andina predomina durante el Cenozoico. Las distintas fases afectaron a unidades sedimentarias, volcanosedimentarias y volcánicas de la región.

En el Cenozoico inferior, el desarrollo de una extensa cuenca continental de antepaís estuvo vinculada a un régimen compresivo, que diseñó un plegamiento de dirección N-S, que dió origen a facies continentales psefíticas (Formación San Vicente).

El magmatismo está relacionado, por sus primeras manifestaciones (Eventos Rondal y Suri Pujio), a esfuerzos laterales regionales y regímenes transpresivos y/o transtensivos derivando en regímenes de subducción oblicua. Las mismas condiciones afectaron tanto a rocas sedimentarias y volcanosedimentarias en esta región. El volcanismo se produjo asociado a regímenes extensionales y transtensivos, se produjo el ascenso de cámaras magmáticas que originaron centros caldéricos (Guacha, Pastos Grandes, Panizos). Los lineamientos principales son de dirección NO-SE (Pastos Grandes ó Lípez-Coranzuli), NE-SO y NNO-SSE (cadena Plio – Pleistocena).

2.7. Metalogenia de Bolivia

La metalogenia del territorio boliviano está dividida en distintas fajas metálicas que presentan una distribución regional y se relacionan con los distintos ambientes geológicos (Tabla 2.1 y Fig. 2.7). Entre los estudios realizados acerca de la temática pueden citarse: Ahlfeld (1941, 1942), Ahlfeld y Schneider-Scherbina (1964), Miranda

et al., (1998), Miranda et al., (2000), Sillitoe et al., (1975), Lehmann et al., (1990), Heuschmidt y Miranda (1998, 2000 a,b), Gustavson Associates et al., (1992), Ludington et al., (1992 b). El Servicio Nacional de Geología y Minería (SERGEOMIN, 1998) publicó el mapa metalogénico de Bolivia y Miranda et al., (1998) describen la memoria explicativa.

Tabla 2.1. Relación de las provincias geológicas y las fajas metalogenéticas	
PROVINCIAS GEOLÓGICAS	FAJAS METALOGENÉTICAS
ESCUDO PRECAMBRICO	-Auro-manganesífera del Cratón de Paragua
	-Polimetálica de Sunsas
	-Ferro-manganesífera de Mutún - Tucavaca
OROGENO ANDINO BOLIVIANO	-Polimetálica marginal de la Cordillera Oriental
	-Estañífera
	-Polimetálica del Altiplano y la Cordillera Occidental

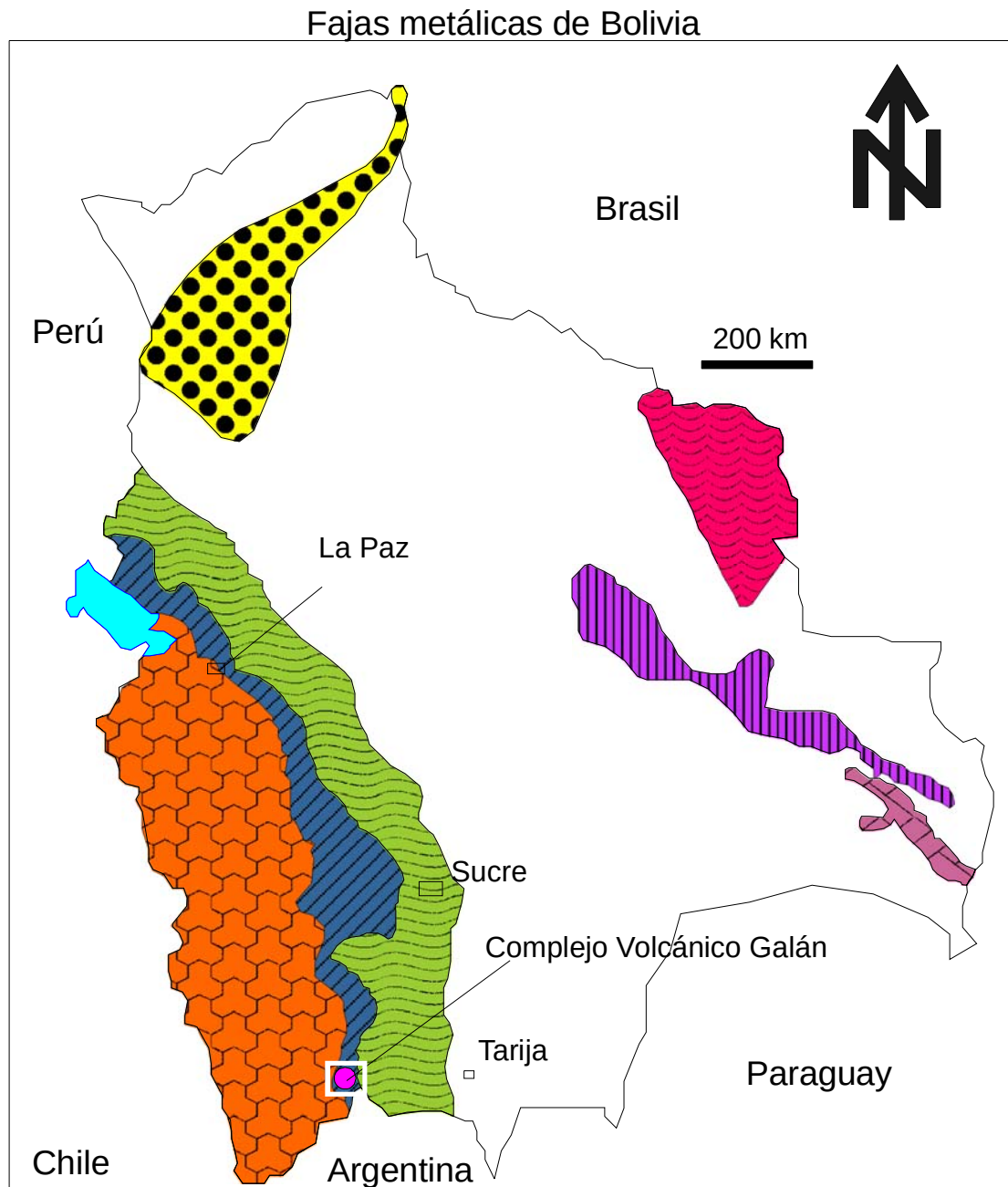
Tabla 2.1. Relación de las fajas metalogenéticas y las provincias geológicas de Bolivia.

2.7.1. Fajas metálicas relacionadas con el Escudo Precámbrico

Las fajas metálicas asociadas a esta provincia (Tabla 2.1) se encuentran relacionadas a los cinturones orogénicos de San Ignacio, Sunsás y Tucavaca que se encuentran al sureste del territorio boliviano.

La faja auro-manganesífera del Cratón de Paragua (Fig. 2.7) es de dirección NNO-SEE. Heuschmidt y Miranda (2000a) indican cuatro épocas: Proterozoico medio, Mesozoico superior, Paleógeno y Cuaternario. Las dos primeras con depósitos de filones y saddle reefs sin- a tardicinemáticos (Au-Mn) del cinturón de esquistos San Ignacio (Aprox. 1400-1280 M.a.), epizonales de San Simón (Pitfield 1983, Litherland et al., 1986; en Heuschmidt y Miranda, 2000 a). Las dos últimas épocas corresponden a depósitos secundarios.

La faja polimetálica de Sunsás tiene una dirección NO-SE (Fig. 2.7). Heuschmidt y Miranda (2000 a), mencionan épocas metalogenéticas importantes, que son la sedimentación inicial del ciclo mesoproterozoico de San Ignacio (Sedex), la



Referencias

Orógeno andino boliviano:

-  Faja polimetálica del Altiplano y la Cordillera Occidental
-  Faja estañífera
-  Faja polimetálica marginal de la Cordillera Oriental
-  Cuenca aurífera amazónica

Escudo precámbrico:

-  Faja ferro-manganesífera de Mutún-Tucavaca
-  Faja polimetálica de Sumsas
-  Faja auro-manganesífera del Cratón de Paragua

Figura 2.7. Mapa de fajas metálicas de Bolivia (Heuschmidt & Miranda, 2000 b). Las fajas corresponden al ámbito del Escudo Precámbrico y el Orógeno Andino. El Complejo Volcánico Galán (CVG) se encuentra en la parte meridional de la Faja Estañífera, asociada al magmatismo del Mioceno medio.

secuencia volcanosedimentaria (Grupo Naranjal, Adamek et al., 1986 en Heuschmidt y Miranda, 2000 a) de posible rift ensiálico, con un volcanismo bimodal predominantemente básico. Los principales depósitos minerales son los de tipo sedex Puquio Norte (Au), Miguela (Cu-Au) y Don Mario (Au).

La faja ferro-manganesífera de Mutún-Tucavaca es de dirección NO - SE (Fig. 2.7). Miranda et al., 1998 y Heuschmidt y Miranda, 2000 a, mencionan que los depósitos (parte oriental), consisten en menas sedimentarias químicas de Fe - Mn jaspilíticos del Proterozoico superior (Mutún - Urucum, Cerro Rojo, Cerro Colorado-Murciélagu, O'Connor & Shaw, 1987 en Heuschmidt y Miranda, 2000 a). En el sector noroccidental de la cuenca Tucavaca mencionan indicios epigenéticos de Zn - Pb del tipo Missisipi Valley. Estas mineralizaciones estratoligadas fueron moderadamente removilizadas por un fallamiento débil de la orogénesis Brasiliana.

2.7.2. Fajas relacionadas con el orógeno andino boliviano

Las fajas metálicas relacionadas al orógeno andino boliviano (Tabla 2.1) son las más importantes en esta región. Los depósitos minerales están relacionados a la evolución de los Andes Centrales y las fajas mejor reconocidas son la estañífera y cuprífera.

La faja polimetálica se encuentra en la parte oriental de esta región andina (Fig. 2.7) y se extiende a lo largo de la Cordillera Oriental de Bolivia, continuando en el sureste peruano y noroeste argentino. Se trata de una región auro-antimonífera y plumbo-zincífera, cuyos yacimientos más importantes son los depósitos estratoligados de oro (Yani), además de manifestaciones volcanosedimentarias, ocurrencias de mantos y vetas de cuarzo y sulfuros de hierro aurífero (sedex). Heuschmidt y Miranda, 2000 a, mencionan, más al sur, vetas marginales de cuarzo aurífero asociadas a plutones calcoalcalinos del Triásico superior-Jurásico. De edad cretácica existen depósitos de vetas asociadas a series pelíticas (Ni-Co-Bi-U, Tapacarí) y las de Fe asociadas a basaltos (Betanzos y Ravelo). Por otro lado se reconocieron concentraciones de tierras raras, uranio y sodalita, asociadas al magmatismo alcalino (Ayopaya).

Filones de Au - Sb y Pb - Ag - Zn están relacionados a la fase tectónica del Oligoceno superior a Mioceno inferior, que se encuentran en el tramo nor-central a central asociados a plutones epizonales oligo - miocenos (Illimani, Tres cruces) de la Cordillera Oriental (Serranía de Amutara) en el distrito de Lambate.

En los Andes Centrales meridionales, al sur de Potosí, se encuentra la faja auro-antimonífera (Provincia antimonífera sur boliviana, Alhfeld, 1952), cuyos depósitos principales son Caracota, Chilcobija y Sucre. También se encuentra la faja plumbo-zincífera, con sus distritos de Wara Wara, Toropalca, región de Tupiza - Villazón.

A esta faja también corresponde los depósitos secundarios (Herail et al., 1988) auríferos del Mioceno medio al reciente (distritos de Tipuani - Mapiri y Suches).

La Faja Estañífera (Schneider y Lehmann, 1977) se encuentra en la parte occidental del territorio boliviano (Fig. 2.7), y se extiende al sureste de Perú y en el extremo noroeste de Argentina. El magmatismo en ciertos casos es peraluminoso (Ericksen et al., 1990); además de diferentes edades de las rocas que las alojan con dataciones en K/Ar (Evernden et al., 1977, Grant et al., 1979) y describieron su evolución (Grant et al., 1980) Aunque los principales depósitos (cf. Llallagua) están relacionados al magmatismo (Lehmann, 1982) existen yacimientos de tipo estratoligado como el de Kellhuani (Lehmann, 1985), además contenidos de Sn en sedimentitas paleozoicas (Lehmann et al., 1988, Lehmann et al., 2000 a). La mayoría de los yacimientos minerales tienen como mena principal a la casiterita y a la wolframita, sin embargo, en general la mineralización es polimetálica y como mena se explotan depósitos de Ag (Avila-Salinas, 2000). Se diferencian tres épocas metalogenéticas: Triásico superior-Jurásico inferior (225 - 202 M.a) relacionada con batolitos (McBride et al., 1983) y stocks epizonales (Ej. Taquesi, Chojlla y Chacaltaya) cuyos principales depósitos son intra a periplutónicos asociados con W-Sn-Au-Bi-Zn-Pb-Ag-Sb (Heuschmidt y Miranda, 2000 a). Otra época se vincula a intrusivos granitoides del Oligoceno (28-23 Ma), (Ej. Illimani, Tres Cruces y Santa Vera Cruz) asociados a depósitos portadores de Sn-W-Au-Zn-Pb-Ag, (Viloco, Caracoles, Colquiri, entre otros) situados en la parte central (Alhfeld y Schneider-Scherbina, 1964). La época metalogénica significativa es la situada en la parte meridional de esta faja y corresponde al Mioceno medio; está relacionada a stocks subvolcánicos y complejo volcánicos como Oruro (Garzón, 2000), Kori Kollo (Petersen, 1998), Potosí, Chorolque, Tasna y Tatasi, cuya asociación metálica predominante es W-Bi-Au-Ag-Sn. En ciertas zonas se presenta depósitos secundarios de estaño (Playa Verde, Avicaya - Estalsa, El Rodeo, entre otros), wolframio (Tamiñani) y de oro (Chuquiaguillo).

Es a esta época y a la Faja Estañífera que corresponden los distritos mineros relacionados al Complejo Volcánico Galán.

La Faja Polimetálica del Altiplano y la Cordillera Occidental se encuentra en la parte oeste de Bolivia (Fig. 2.7). En este ambiente que se extiende en parte de Perú, Chile y Argentina se realizaron diversas investigaciones (Argandoña, 1997; USGS-GEOBOL, 1992, GEOBOL, 1993, Knepper and Simpson, 1992); además de programas geoquímicos de exploración a nivel regional (Murillo et al., 2000). En ésta faja Heuschmidt y Miranda, (2000 a) mencionan dos épocas metalogénicas, la primera corresponde al Oligoceno superior - Mioceno medio, asociada a la provincia cuprífera del Altiplano. Consisten principalmente de depósitos estratiformes sedimentarios o diagenéticos de cobre en su mayoría de menor magnitud, aunque algunos de ellos destacables (Corocoro y Chacarilla). Otra mineralización de U y Cu de menor significado está en secuencias arenosas y disseminaciones exhalativas asociadas a basaltos. La otra época de mineralización fue el Mioceno medio a superior, asociada a una actividad magmática en los Andes Centrales, importante en menas polimetálicas relacionadas a procesos volcánicos (Cunningham et al., 1991) a subvolcánicos.

Capítulo 3

GEOLOGÍA DEL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN

Capítulo 3

GEOLOGÍA DEL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN

3.1. Introducción

Este conjunto volcánico fue descrito anteriormente como un stock dacítico (Ahlfeld y Schneider – Scherbina, 1964) y en el mapa regional de la Hoja Esmoraca (Servicio Nacional de Geología y Minería, Bolivia), a escala 1:100 000, fue descrito como el Estratovolcán Azulejos (Lema y Ramos Collorana, 1997). Sin embargo, a mayor detalle este conjunto volcánico presenta características variables que inclinaron a una denominación de Complejo Volcánico Galán (CVG). El CVG está emplazado al Sur del ambiente geológico de la Cordillera Occidental, Altiplano y parte de la Cordillera Oriental de Bolivia (Fig. 2.2).

El área es de tradición minera (Ahlfeld y Schneider-Scherbina, 1964) y algunas minas han sido trabajadas desde la época colonial; incrementándose considerablemente la prospección y exploración de prospectos de metales preciosos (oro y plata, principalmente) en los últimos años. Esta región presenta características geológicas y metalogenéticas favorables para la búsqueda y exploración mineral, ya que se reconocen indicios y manifestaciones minerales de alteración hidrotermal y prospectos minerales.

3.2. Geomorfología del Complejo Volcánico Galán

El Complejo Volcánico Galán (CVG), en el ámbito regional conforma parte de la “Cordillera de Lipez” (lineamiento Lipez – Galán) de dirección NE – SO, donde se destacan además del cerro Galán, los cerros Bonete, Morocko y Lipez.

El CVG es en general de morfología cónica con una superficie de aproximadamente 150 km² y la base se encuentra a una altura promedio de 4200 m snm, mientras que su cúspide lo constituye el Cerro Galán que se encuentra en la parte central a una altura de 5347 m snm (Fig. 3.1), que marca un desnivel de aproximadamente

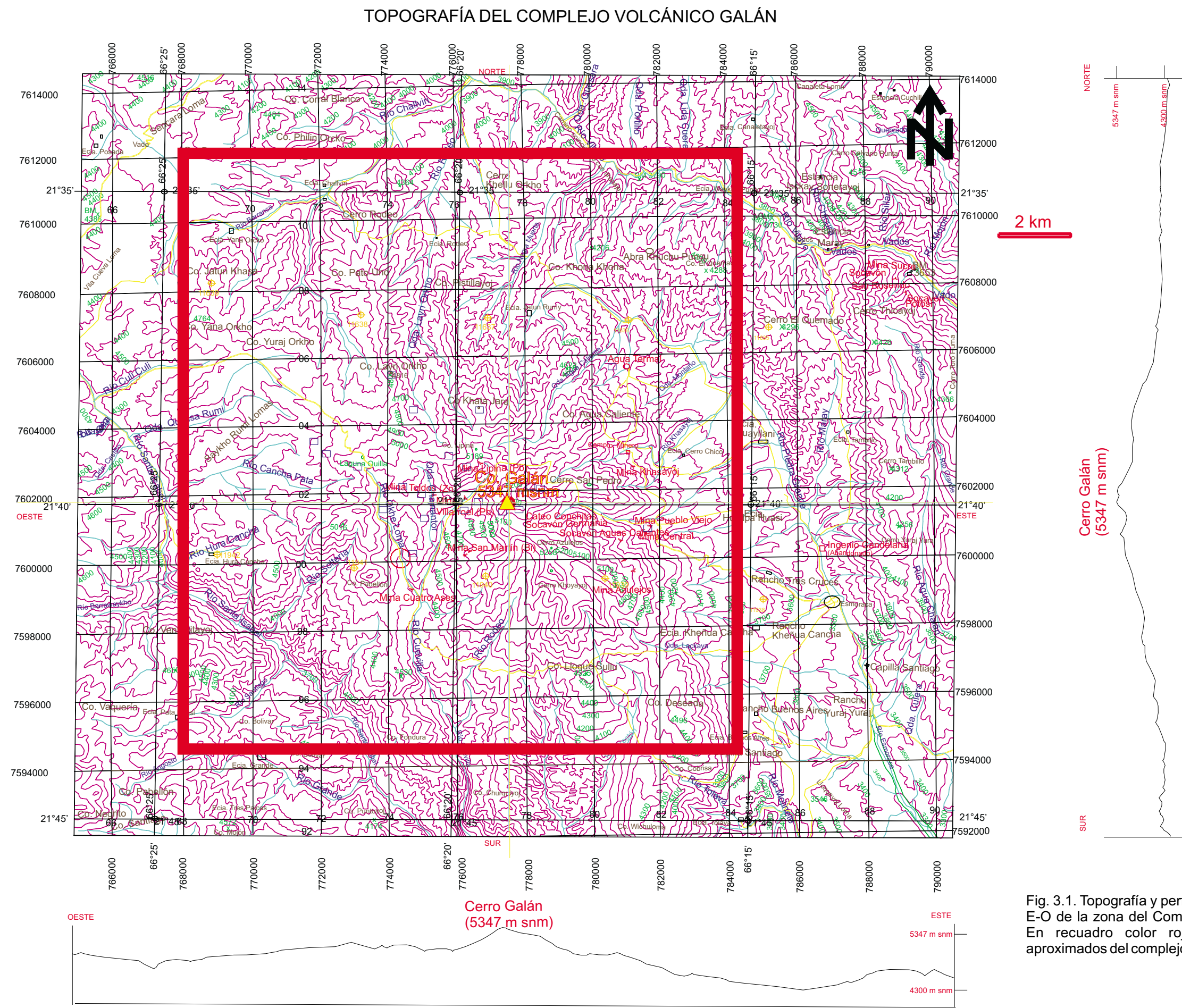


Fig. 3.1. Topografía y perfiles topográficos N-S y E-O de la zona del Complejo Volcánico Galán. En recuadro color rojo están los límites aproximados del complejo.

1200 m. Además sobresalen varios cerros conspicuos como el Cerro Colorado, San Pedro, Lipina, Khata Jara, Pabellón y Aguas Calientes (Fig. 3.1), los cuales son de pendientes elevadas hasta de 60° en algunos sectores.

Los principales agentes en la formación del terreno fueron los procesos endógenos y exógenos. Dentro de los primeros fue el volcanismo el proceso determinante en la conformación de la geomorfología, el que produjo una secuencia volcánica de un espesor alrededor de 1200 m. Las rocas volcánicas resaltan en el terreno por su mayor tenacidad y resistencia a la erosión, que conforman los cerros más altos y regionalmente junto a otras elevaciones constituyen serranías ó cerros aislados (Fig. 3.2).

Los procesos exógenos (Cortez, 1966) fueron los principales agentes que modelaron la geomorfología actual del terreno del CVG. Los principales agentes y factores corresponden a la acción hidráulica, el viento, bajas temperaturas, los tipos de roca y la escasa vegetación imperantes en la zona, los que controlaron la erosión, meteorización y dejaron depósitos coluviales en la base de las pendientes elevadas de los cerros.

El diseño de drenaje del CVG, es de tipo radial y centrífugo (Fig. 3.1 y 3.2), dominado desde la cúspide (Cerro Galán) hacia las partes bajas. El sector pertenece a la subcuenca del río Santa Isabel, Esmoraca y Viluyo, que drenan sus aguas al río San Juan del Oro (3300 m snm), el que conforma en este sector del territorio boliviano las nacientes de la Cuenca del Plata.

La glaciación es probablemente de edad Pleistocena y dejó rasgos profundos en las formas topográficas del lugar. Se presentan zonas de circos glaciares simples separados por aretes, combas glaciares y de picos afilados (horn). En los valles glaciares se encuentran estrías producidas por el arrastre del material, además de depósitos de morrenas laterales, de frente y llanuras fluvioglaciares en los diferentes ríos de la zona (Ej. Quebradas Coya Huayco y Pueblo Viejo). Las quebradas son de distribución radial (Fig. 3.2) y de tipo consecuente que fueron afectadas por procesos glaciares que fueron los principales agentes degradacionales para la denudación del CVG.

El clima es semiárido con inviernos secos, con diferencias de temperatura entre el día y la noche que oscilan aproximadamente entre 15° bajo cero hasta 20° C, aunque varía con las estaciones del año.

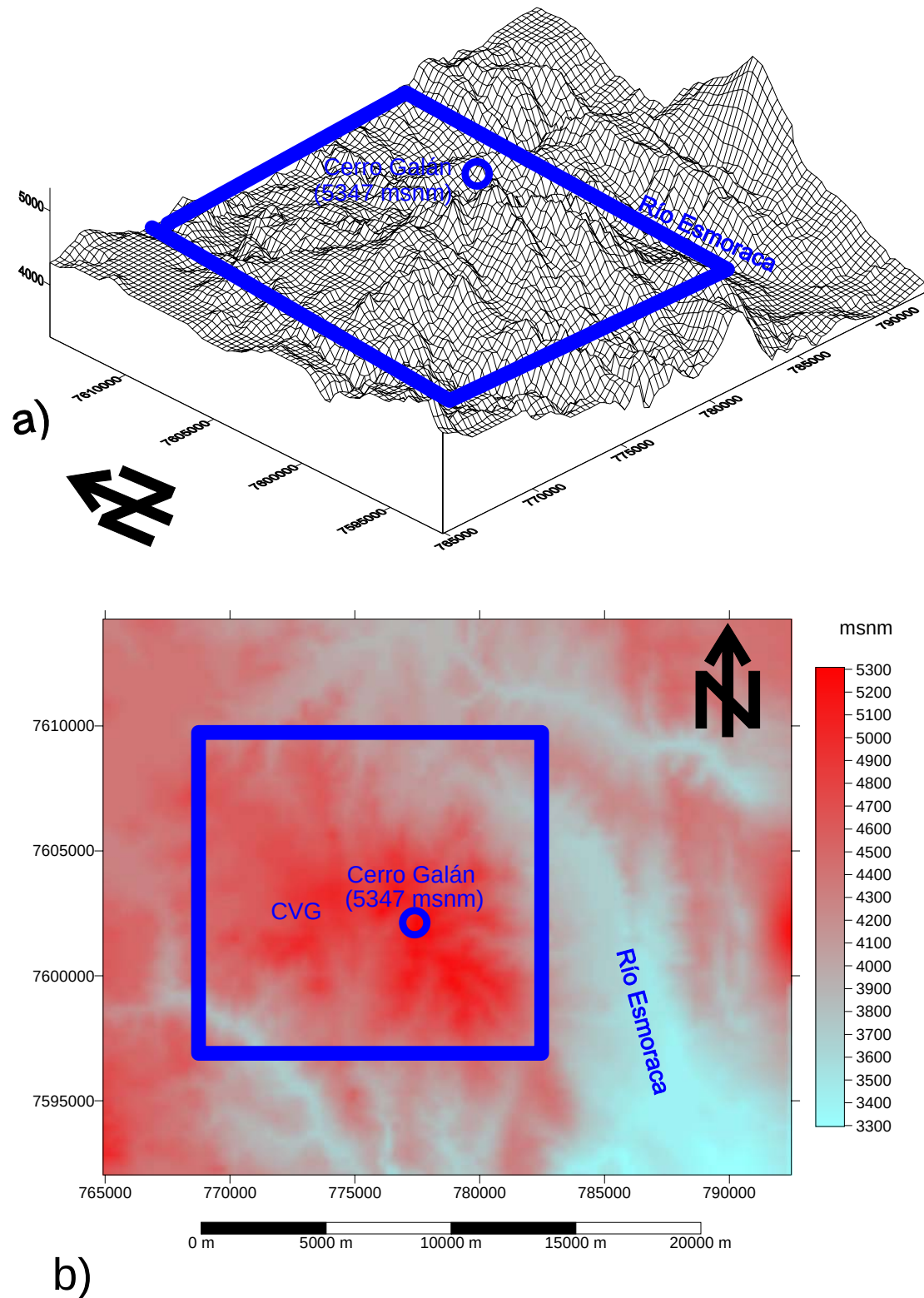


Figura 3.2. Complejo Volcánico Galán (CVG). a) Bloque diagrama. b) Topografía.

3.3. Estratigrafía del Complejo Volcánico Galán

El sustrato (Fig. 3.3 y 3.4) está compuesto por rocas del Ordovícico y Cenozoico (Paleógeno y Neógeno), mientras que el Complejo Volcánico Galán (CVG) (Fig. 3.5) corresponde a rocas del Cenozoico.

3.3.1. Paleozoico

Los afloramientos más antiguos del sustrato corresponden a la Formación Angosto de edad Ordovícica, los cuales se encuentran en la parte sureste (Fig. 3.4) y el contacto con el CVG se encuentra cubierto por depósitos cuaternarios. Esta formación está constituida por intercalaciones de areniscas y lutitas en bancos de 20 a 60 cm de espesor de un color gris verdoso a gris oscuro, de un típico ambiente turbidítico; y el rumbo de estos bancos es N-S aunque hay otras direcciones producto del fallamiento. Corresponde a una edad llanvirniana a caradociana (Muller et al, 1996, Kley et al, 1997, Lema y Ramos Collorana, 1997). En este sector el contacto con las formaciones sedimentarias y volcánicas del Cenozoico es mediante falla de dirección NS con vergencia al occidente (Fig. 3.6). Esta formación es correlacionable con la Formación Acoite del Norte Argentino.

3.3.2. Cenozoico

El sustrato de sedimentitas continentales del Cenozoico corresponde a las formaciones Potoco y San Vicente (Fig. 3.4, 3.7, 3.8 y 3.9).

La Formación Potoco (Fig. 3.4) se encuentra en varios sectores. En el sector oriental está alrededor de Pueblo Viejo (Fig. 3.7 y 3.9), el río Khasayoj; al noreste del cerro Aguas Calientes, en alrededor del agua termal y las nacientes del río Esmoraca; mientras que en ámbito regional sus afloramientos se extienden al occidente y al sur. Esta unidad está constituida por areniscas rojizas a violáceas y amarillentas, intercaladas con arcilitas rojizas, son de facies aluviales del tipo meandriforme; a esta formación se le asigna una edad del Eoceno-Oligoceno (Sempere, 1990). En el sector de la mina Pueblo Viejo y cercanías del agua termal se encuentra intruida por diques y filones capa. El contacto de la Formación Potoco es variable, debido a que localmente sobreyace en concordancia a la Formación Santa Lucia y por

Mapa geológico regional del Complejo Volcánico Galán

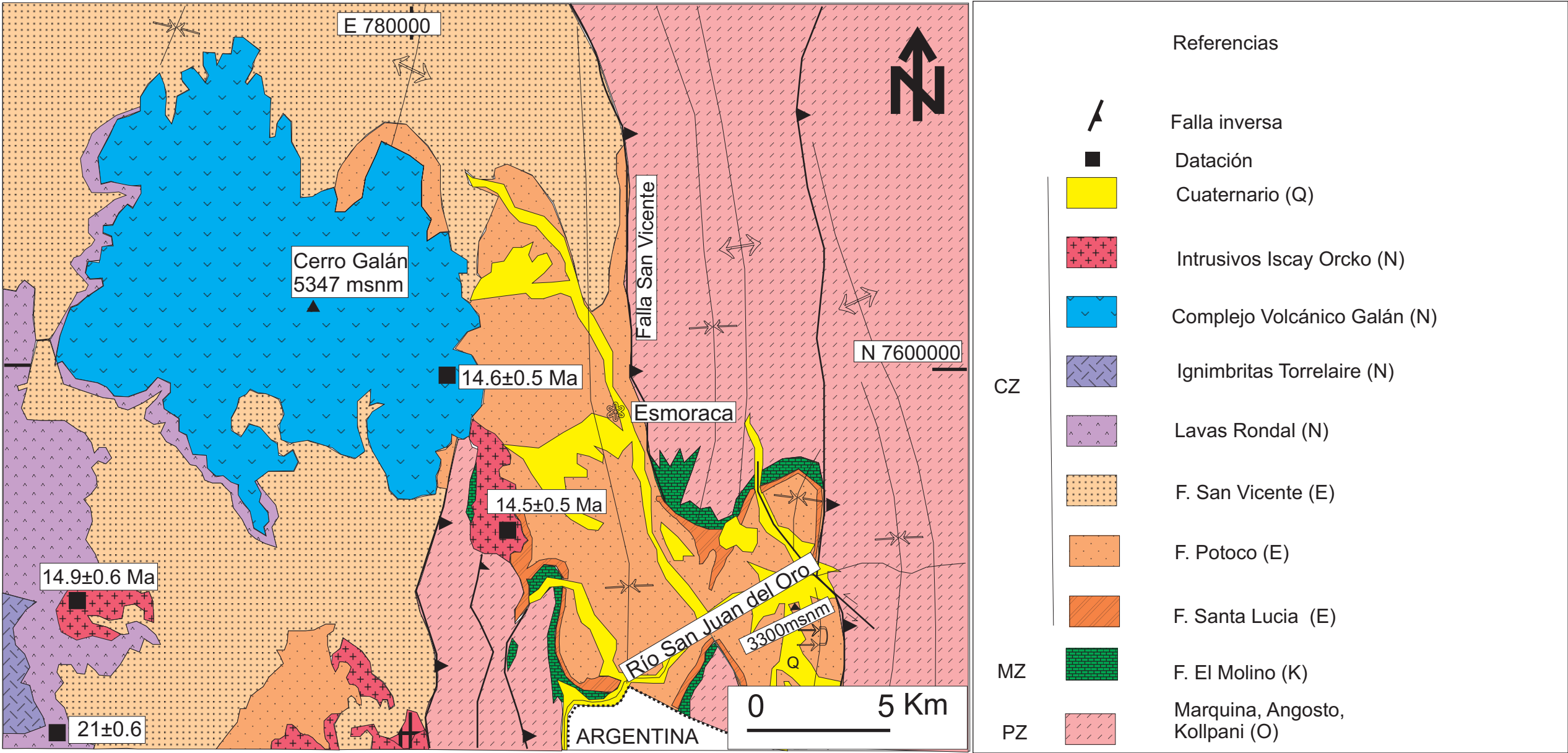


Figura 3.3. Mapa geológico regional simplificado de la zona del Complejo Volcánico Galán (Mioceno), donde afloran rocas Paleozoicas (PZ) del Ordovícico (O), Mesozoicas (MZ) del Cretácico (K) y Cenozoicas (CZ) del Paleógeno (E), Neógeno (N) y Cuaternario (Q).

Mapa geológico del Complejo Volcánico Galán

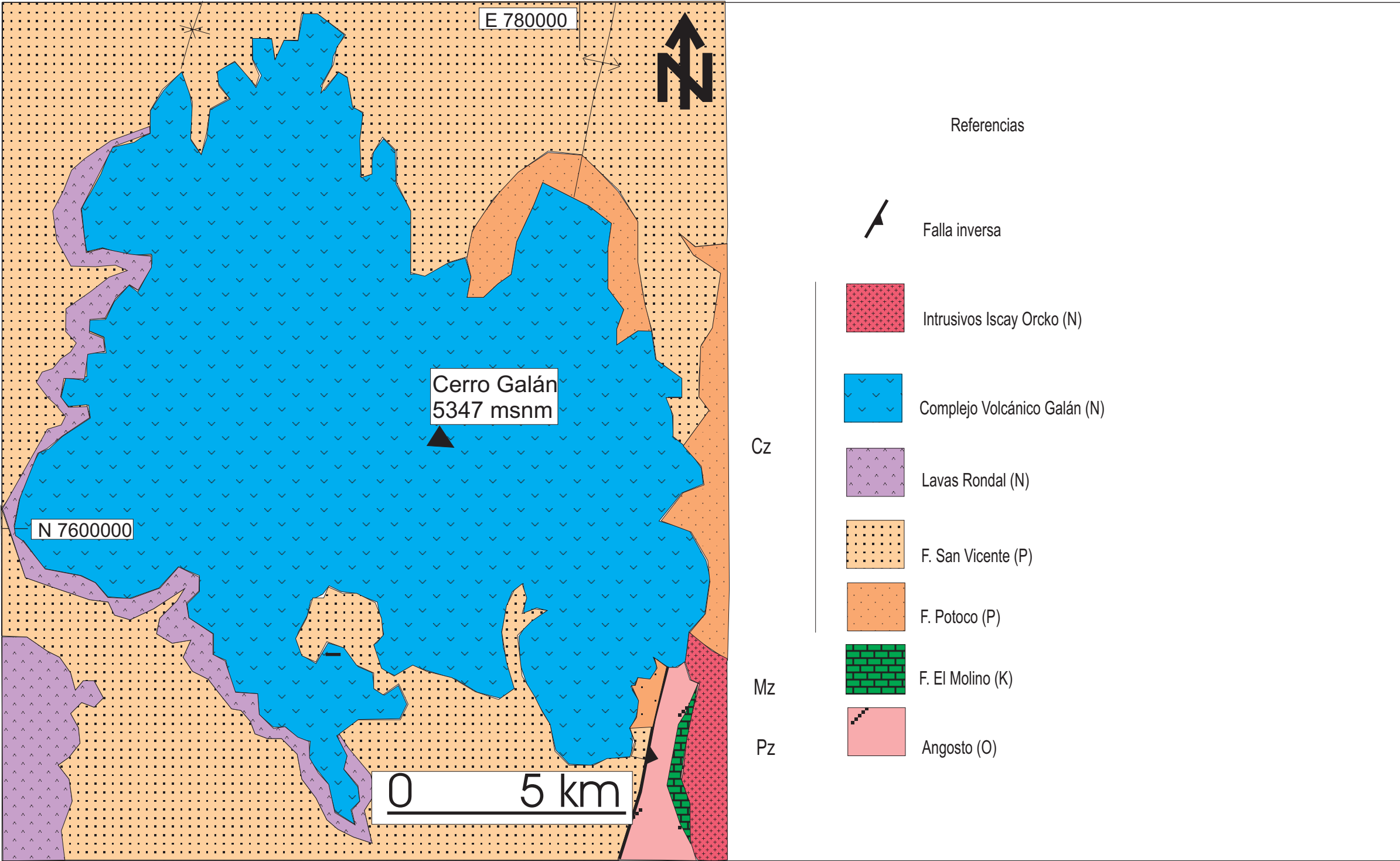


Fig. 3.4. Mapa geológico simplificado del Complejo Volcánico Galán

encima está la Formación San Vicente; mientras el contacto con sedimentitas del Ordovícico es mediante falla. Es correlacionable con la Formación Peña Colorada del noroeste argentino.

La Formación San Vicente (Fig. 3.4) es de gran desarrollo en la zona. Los afloramientos se encuentran alrededor del Complejo Volcánico Galán, en el sector Este se encuentra en el río Khasayoj, al Norte se encuentra en el río Negra Muerta, quebrada Layri Orkho y en la estancia Challviri, mientras que en el sector Sur de la zona, se encuentran en los alrededores de los ríos Santa Isabel, Cuevilla y Rodeo (Fig. 3.8). Esta formación consiste de conglomerados polimícticos clasto-portantes, rojizos a violáceos y areniscas conglomerádicas rojizas; los clastos predominantes son de areniscas y cuarcitas, mientras que en menor proporción existen otros de cuarzo. En la parte oriental, cerca al contacto con el CVG, se intercala con niveles de arcilitas rojizas y tobas dacíticas de caída, además de ignimbritas. Su edad es Oligoceno-Mioceno (Sempere, 1990) y ésta formación se correlacionaría con el miembro superior de la Formación Moreta (Coira, 1979) por la litología y secuencias sísmicas (Gangui, 1998) del noroeste argentino.

El sustrato volcánico esta formado por las lavas Rondal. Aunque el volcanismo inició su actividad intermitente asociado a las formaciones Potoco y San Vicente como se mencionó anteriormente. La Formación Rondal constituye el inicio del volcanismo principal en la zona y sus afloramientos se encuentran en la parte oeste del CVG, consisten principalmente de flujos de lavas tabulares y en cerros aislados. Son lavas de textura porfírica, gris violáceas, verdosas y gris oscuras, de composición andesítica a basáltica olivínicas y andesitas piroxénicas y biotíticas. Sus facies varían de grano fino, grueso hasta aglomerados con clastos de la misma lava. Lema y Ramos Collorana (1997) indican un espesor entre 100 a 300 m. La edad de estas rocas obtenidas por dataciones (fuera del área del CVG) es de 22.9 ± 0.9 (Kussmaul et al., 1975) Ma; 21 ± 0.6 M.a. (Fornari et al, 1989) y 21.41 ± 0.1 (Fornari et al., 1997). Este evento está interestratificado con la Formación Esmoruco (Lema y Ramos Collorana, 1997), al parecer durante su máxima actividad desarrolló un escudo que se extendió hacia el Oeste. Su centro de emisión probablemente se encuentra asociado al Estratovolcán Bonete. La formación descrita es correlacionable con las lavas Julaca, de similares características, que afloran más al oeste en la Cordillera Occidental y también con una secuencia volcanosedimentaria con lavas de composición básica de la Formación Suripujio (Baldellón, 1995).

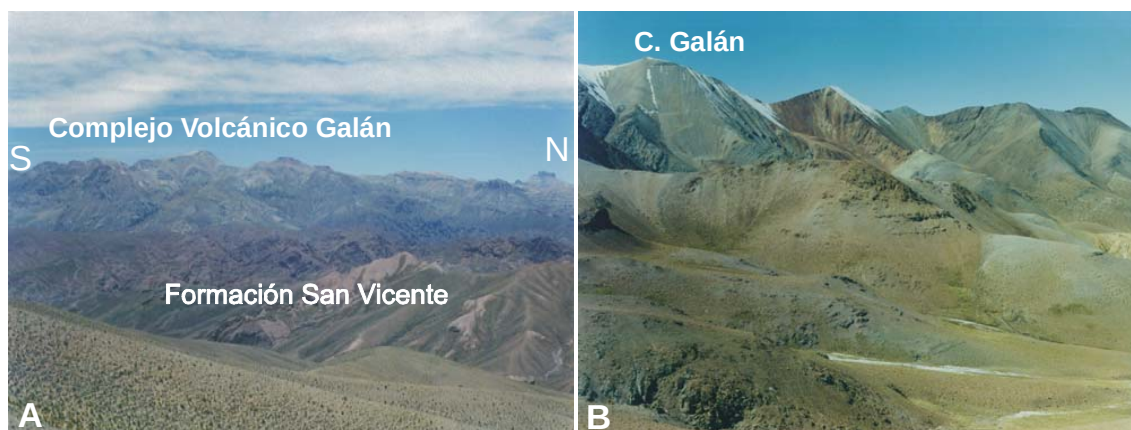


Fig. 3.5. El Complejo Volcánico Galán. A. Visto desde la parte oriental donde se resalta su topografía, respecto a la Formación San Vicente. B. Con mayor detalle se muestra el ambiente volcánico del complejo.



Fig. 3.6. Afloramiento de rocas ordovícicas en contacto de falla inversa con la Formación Potoco (Cenozoico).



Fig. 3.7. Afloramientos en el sector oriental del Ordovícico, Cenozoico y el dique de colas.



Fig. 3.8. Afloramiento del sustrato de la Formación San Vicente en el sector suroeste del CVG.



Fig. 3.9. Afloramiento del sustrato de la Formación Potoco en la parte oriental.

Por encima afloran depósitos de flujos piroclásticos, los cuales se infiere que corresponden al Complejo Volcánico Galán, sin embargo no se debe descartar que parte de ellos conformen niveles de las Tobas Torrelaire. Estas piroclastitas son de color gris blanquecino a rosado y de granulometría fina. Son depósitos de flujo de pómez, blanquecinos a rosados, con un soldamiento parcial, con líticos volcánicos con diámetro menor a 4 cm; los pómez son de un diámetro menor a 3 cm. También se intercalan depósitos de flujo de ceniza gris claros no soldados, líticos volcánicos con diámetro menor a 2 cm; los pómez son de un diámetro menor a 2 cm y un índice de aplastamiento de 2:1. Estas rocas son de composición dacítica biotítica.

3.3.3. Complejo Volcánico Galán

El Complejo Volcánico Galán (Fig. 3.3 y 3.4), consiste de un conjunto de rocas volcánicas (Fig. 3.5) que conforman un estratovolcán denudado (Estratovolcán Azulejos). En su parte inferior predominan las ignimbritas (Fig. 3.10, 3.11, 3.12 y 3.13) mientras que las lavas (Fig. 3.14, 3.15 y 3.16) forman mayormente la parte superior. Este conjunto está intruido por cuerpos subvolcánicos y domos extrusivos (Fig. 3.17 a 3.20), brechas (Fig. 3.21, 3.22 y 3.23) además de diques de dirección principalmente este – oeste y otros de dirección norte - sur (Fig. 3.24, 3.25, 3.26, 3.27). La composición de las rocas es dacítica a andesítica y la edad es del Mioceno (14.6 ± 0.5 M.a. Lema y Ramos Collorana, 1997).

3.3.3.1. Estratovolcán Azulejos

El Estratovolcán Azulejos (Lema y Ramos Collorana, 1997) constituye el cuerpo principal del complejo, en general es de forma subcircular. La estructura está constituida por depósitos de flujos piroclásticos que principalmente se encuentran en la parte inferior y por lavas gris verdosas a gris azuladas.

En la zona oriental del estratovolcán el sustrato está conformado por los conglomerados de la Formación San Vicente y las areniscas y arcillitas de la Formación Potoco (Fig. 3.9). En el sector del río Aguas Calientes la Formación San Vicente está interestratificada con un nivel de ignimbritas de alrededor de 2 m de espesor con litoclastos de lavas y matriz de ceniza. En el tope del conglomerado el contacto está en discordancia angular con otro nivel conglomerádico de un espesor

aproximado de 50 m, constituido por conglomerados con clastos más finos que se encuentra interestratificado con niveles de ignimbritas de espesor variable entre 0.50 a 0.80 m en forma discontinua.

El Complejo Volcánico Galán en el sector oriental se inició con una secuencia volcánica con niveles de ignimbritas (Fig. 3.10) que conforman la base de este complejo y se apoyan en discordancia angular sobre los conglomerados que inclinan al Oeste. Son depósitos color gris blanquecinos que están formados por una textura gruesa, en la base predominan los litoclastos (Fig. 3.11) de hasta 0.80 m (ignimbrita) de tamaño máximo 0.15 m de tamaño promedio y algunos menores a 5 cm. Los litoclastos son lavas, ignimbritas, areniscas rojizas de la Formación Potoco, areniscas ordovícicas, además de algunos litoclastos de intrusivos de textura equigranular; de formas subangulares a subredondeadas y una distribución caótica. El contenido de pómez se encuentra en menor proporción con tamaños de hasta 1 cm, mientras que la matriz consiste en una ceniza volcánica. Existe una gradación normal en esta ignimbrita, con abundantes litoclastos y de mayor tamaño en la base, mientras que hacia el tope éstos disminuyen con hasta alrededor de 0.01 a 0.02 m de diámetro.

Por encima de esta unidad y en contacto transicional, se encuentra otro nivel de ignimbrita que aflora en el mismo sector, compuesta principalmente por depósitos de flujos piroclásticos de color gris blanquecino. En general es maciza y está compuesta por pocos litoclastos (10 a 20 %) de lavas de color violáceos y marrones, algunas areniscas con diámetros menores a 2 cm, con formas subangulares a subredondeadas. El contenido de pómez es de proporción variable (10 a 15 %) y un tamaño promedio de 1 cm con un máximo de 3 cm; mientras que el índice de aplastamiento es de 2:1, que indicaría que son poco soldadas.

Sobreyacen depósitos de flujos piroclásticos con bloques y cenizas. En su base se encuentran litoclastos de lavas de 0.70 m de promedio con un tamaño máximo de 7 a 10 m; color verdoso, azulado a blanquecino, de formas tabulares, subangulares a subredondeadas. Estos niveles están enriquecidos en litoclastos, mientras que el contenido de pómez en este nivel es escaso y la matriz es de ceniza. La secuencia es estratodecreciente y presenta niveles de concentración de litoclastos de menor tamaño (10 cm) de promedio en el tope.



Fig. 3.10. Afloramientos de ignimbritas y desmontes de la mina Khasayoj. Sector oriental del cerro San Pedro.



Fig. 3.11. Afloramiento de ignimbrita con litoclastos volcánicos y sedimentarios. Sector oriental del CVG.

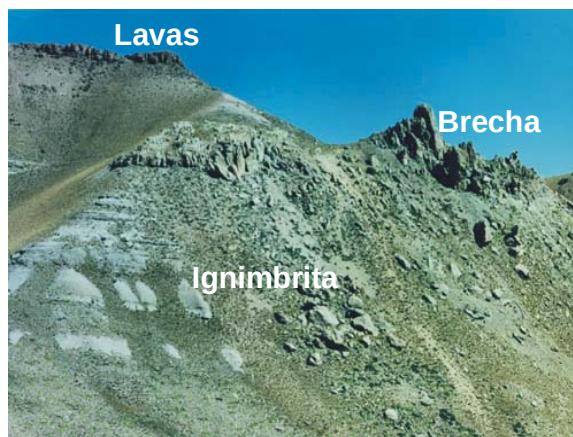


Fig. 3.12. Afloramientos de ignimbritas gris blanquecinas con una brecha y lavas en la cúspide. Sector norte.



Figura 3.13. Afloramiento de ignimbritas y el domo volcánico del Cerro Colorado. Sector central.

En la cúspide de los cerros San Pedro, Aguas Calientes y alrededores afloran lavas masivas de color gris celeste a verdoso y alguna laminación. Presentan una textura porfírica con hasta 20 % de fenocristales en una matriz microcristalina. Los fenocristales son plagioclasa, cuarzo y biotita, de forma subedral a anhedral, con un tamaño promedio de 0.5 cm y tamaño máximo de 1 cm. Estas lavas masivas están cortadas por venillas de oxidación.

En el sector occidental el sustrato está conformado por las formaciones San Vicente y Rondal. El volcanismo explosivo en este sector se inició con depósitos de flujos piroclásticos, oleadas de base marrón blanquecinas y niveles epiclásticos (areniscas tobáceas) gris verdosas y arcillitas rojizas, que afloran en la zona occidental. Consisten de varios flujos de pómez blanquecinos hasta violáceos de grano medio a grueso y soldamiento parcial.

La secuencia continúa con depósitos de flujos piroclásticos gris blanquecino a rosado, con litoclastos con un tamaño promedio de 5 cm y tamaño máximo de 10 cm y consisten de lavas rojizas a violáceas y su distribución es irregular. Mientras que los pómez son blanquecinos con tamaño promedio de 2 a 5 cm; y tamaño máximo de 0.70 m, con formas subredondeadas a angulares y un índice de aplastamiento de 2:1. La matriz es de grano medio a grueso compuesto de cuarzo, plagioclasa y biotita.

Por encima se encuentra otro nivel de depósitos de flujos piroclásticos color verdoso con pocos litoclastos de lavas y concentración de pómez de alrededor de 5 a 7 cm de forma subangular, con un índice de aplastamiento de 2:1; mientras que la matriz consiste de grano medio. Este conjunto volcánico está afectado por cuerpos subvolcánicos y domos volcánicos.

En el sector norte, el Complejo Volcánico Galán está apoyado en discordancia angular sobre las formaciones Potoco y San Vicente (Cenozoico). Consisten de varios niveles de ignimbritas gris blanquecinas (Fig. 3.12) de grano medio a grueso. En algunos sectores existe predominio de litoclastos de lavas de 1 a 2 m de espesor y el contenido de pómez es de alrededor de 5 % con un tamaño menor a 1 cm. Suprayacentes se encuentran domos y lavas, como el domo volcánico de Layri Orkho de composición dacítica. Mas al norte sobre las ignimbritas se encuentran un nivel de lavas gris oscuras (Fig. 3.12), con un rumbo general norte – sur y un buzamiento de 10 ° al oeste. Estas lavas son de un espesor aproximado de 10 m, presenta laminación de flujo de milímetros a centímetros; su textura es porfírica con

fenocristales de plagioclasa y cuarzo. Por encima se encuentran lavas gris rosadas, verdosas a violáceas, de posición subhorizontal, de alrededor de 20 m de espesor, con flujo laminar (Fig. 3.16) y una textura porfírica con fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita, de un tamaño máximo de 1 cm, además de venillas de calcita y algo de hematita. Esta secuencia volcánica está intruida por una brecha hidrotermal (Fig. 3.22 y 3.23) de unos 10 m de diámetro con bloques de hasta 1 m de forma subangular y cementados por calcita.

En el sector de Khata Jara a las ignimbritas, sobreyace un nivel de lavas gris violácea con fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita, que aflora en el cerro homónimo. Los depósitos de flujos piroclásticos se encuentran alrededor de este cerro.

En el sector sur, el sustrato consiste principalmente en la Formación San Vicente (Fig. 3.8) y en menor proporción parte de la Formación Potoco. En la base se encuentran afloramientos en los sectores de río Rodeo y alrededores, que son diferentes niveles de ignimbritas gris blanquecinas, violáceas a rosadas, con niveles enriquecidos en líticos. Los litoclastos consisten de areniscas del Ordovícico y de la Formación San Vicente, así como lavas hasta rocas intrusivas, el tamaño de estos varía desde 1 a 5 cm hasta tamaños máximos de 0.70 m. Los pómez son de tamaños menores a 5 cm, con un índice de aplastamiento de 2:1 y éste conjunto se encuentra interestratificado con niveles epiclásticos.

En las nacientes del río Rodeo se encuentra una secuencia de ignimbritas violáceas y gris blanquecinas. Los litoclastos consisten de lavas y algunas rocas intrusivas y son de tamaño promedio de 10 a 20 cm y un tamaño máximo de 0.70 m, de formas subangulares; estas ignimbritas son poco soldadas y el contenido de pómez está en menor proporción y con índice de aplastamiento de 2:1, con tamaño promedio de 1 cm.

Por encima se encuentran niveles de lava color azulado como en el cerro Khoyayoj (Fig. 3.14) y el cerro Azulejos (Fig. 3.15), con un espesor aproximado de 50 m, los cuales son de forma masiva y textura porfírica con fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita con una matriz microcristalina; además presenta brechas de la misma roca. En el sector suroeste (este del río Rodeo) aflora un conjunto de lavas masivas y en un cuerpo de morfología ovalada que abarca gran parte de los cerros; consisten en domos volcánicos color gris azulado a verdoso hasta violáceos, de



Figura 3.14. Afloramientos de lava en la quebrada y cerro Khoyayoj, con depósitos coluviales en las partes inferiores.



Figura 3.15. Afloramientos de lavas en el cerro Azulejos, con pendientes escarpadas. Sector central.

Figura 3.16. Afloramiento con mayor detalle de lava de la parte norte, es notorio el flujo laminar. En la parte central está un martillo como escala.

grano medio a grueso, de textura porfírica con fenocristales de plagioclasa, cuarzo, biotita de 1 cm de tamaño máximo y 0.5 cm de promedio.

En el sector central del Complejo Volcánico Galán, el sustrato está constituido por la Formación San Vicente, que aflora en alrededor de la mina Cuatro Ases. Por encima se encuentran depósitos de flujos piroclásticos que se encuentran en los alrededores del río Irupampa, Okheloma, Lipina y alrededor de la mina San Martín (Fig. 3.13); son de color gris blanquecino a rosado, con litoclastos de lava color verdoso a violáceo, de hasta 15 cm de diámetro y un tamaño promedio de 7 cm. El contenido de pómez es menor y alcanza hasta el 5 %, con un tamaño menor a 2 cm y un índice de aplastamiento de 2:1, que indicaría un grado de soldamiento bajo. Por encima afloran lavas en los cerros Lipina, Laguna y Azulejos; sus afloramientos en general son masivos con algunas brechas (Fig. 3.21) y algunos de ellos son de morfologías dómicas y en algunos sectores se encuentran intruidas por diques. El color de las rocas es verdoso a azulado hasta violáceo, son de grano medio a grueso y en algunos sectores hay autobrechas. La textura es porfírica con fenocristales mayoritarios de plagioclasa, cuarzo y biotita, estos son de un tamaño promedio de 0.5 cm y un tamaño máximo de 1 cm.

3.3.3.2. Domos

Los domos volcánicos en el Complejo Volcánico Galán se encuentran en la parte Norte, oriental, central y occidental (Fig. 3.17 a 3.20). En el sector Norte se encuentra el domo volcánico Layri Orkho, de color gris oscuro de alrededor de 300 a 500 m de diámetro y unos 40 m de desnivel, el cual consiste en una roca de una textura porfírica con fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita; la composición de esta roca es dacítica. Los domos volcánicos de cerro Galán, cerro Colorado (Fig. 3.17 y 3.18) y los que se encuentran en el sector del río Irupampa (Fig. 3.18 y 3.19), son rocas félsicas de composición dacítica a andesítica, con una textura masiva y los minerales que las conforman son plagioclasa, cuarzo, en menor cantidad sanidina, además de biotita.

En la zona entre el río Okhe Loma y quebrada Irupampa, se encuentran domos volcánicos de color verdoso de composición dacítica con fenocristales de cuarzo,



Fig. 3.17. Foto del domo volcánico Vicuña Muerta con ignimbritas en la base y al fondo el cerro Galán y Colorado. Sector central.



Fig. 3.18. Foto del domo volcánico con alteración hidrotermal con ignimbritas en la base y al fondo el cerro Galán y Colorado. Sector central.



Fig. 3.19. Foto del domo volcánico con flujo laminar “combado” y afloramiento de ignimbritas. Sector central.

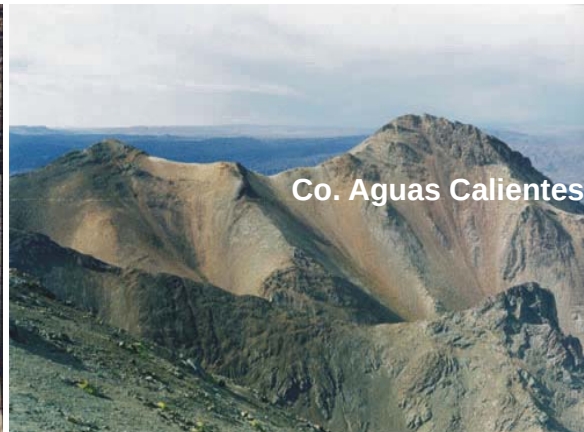


Fig. 3.20. Foto de afloramientos de domos volcánicos e ignimbritas. Una vista del cerro Aguas Calientes.

plagioclasa y biotita. En parte afloran brechas verdosas a amarillentas y gris blanquecinas, además se notan los flujos verticales y combados (Fig. 3.19) que localmente cortan las ignimbritas adyacentes.

En la mina San Martín se encuentra un domo volcánico de color verdoso de grano medio a grueso de textura porfírica, con fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita, el que afecta a depósitos de flujos piroclásticos.

Estos domos están relacionados con el ambiente volcánico por estar asociados a rocas piroclásticas, además por presentarse de forma masiva y abarcar áreas grandes de afloramientos de morfología cómica.

En el sector oriental afloran domos volcánicos alrededor del cerro San Pedro y Aguas Calientes (Fig.3.20), los cuales cortan a ignimbritas y lavas en ciertos sectores. Estos domos llevan fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita.

El stock subvolcánico de Pueblo Viejo (Ramos Collorana, 2000), aflora en los alrededores de la mina del mismo nombre (Fig. 3.9). La roca es gris clara a celeste con algún tinte verdoso, y su textura es porfírica con fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita, en una matriz microcristalina. La composición está en el rango de granodiorita a diorita biotítica. Lema y Ramos Collorana (1997), mencionan en el mapa geológico de la hoja Esmoraca (abarca parte del CVG), dataciones de stocks subvolcánicos, sobre biotita por el método K/Ar que arrojaron resultados de alrededor de 14.6 ± 0.5 M.a., por lo tanto se infiere que el de Pueblo Viejo es de edad similar.

Otros cuerpos intrusivos se encuentran en el sector sur, como en el río Cuevilla, río Rodeo, los cuales consisten en rocas de grano medio a grueso de textura porfírica, en donde se emplazan algunas vetas de cuarzo y calcita. El primero es una roca gris blanquecina y fue descrita como la unidad Isca y Orkho (Lema y Ramos Collorana, 1997), conformada por cuarzo, plagioclasa y biotita. El intrusivo del cerro Rodeo es de color verdoso y de textura porfírica, contiene un 20% de plagioclasa eudral a subedral, de tamaño máximo de 1 cm, poco cuarzo (10%) de 0.8 cm y biotita (5%) de 0.2 cm. Estos cuerpos intruyen a la Formación San Vicente e ignimbritas.

En el sector oriental parte del cerro Pabellón está conformado por una roca de grano medio a grueso de textura porfírica, color gris blanquecino; que afectó a las ignimbritas. Al norte, en el cerro Quillaoj, hay un domo volcánico de color verdoso de grano medio a grueso con fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita.



Fig. 3.21. Brechas en el Complejo Volcánico Galán. A. Afloramiento de brechas con bloques de lava de hasta 0.80 m en la parte central del CVG. B. Brecha autoclástica en un borde del cerro Colorado con bloques de lava de hasta 0.50 m.



Fig.3.22. Afloramiento de brecha hidrotermal en contacto con lavas en la parte central del CVG.



Fig.3.23. Foto con mayor detalle de la brecha hidrotermal con bloques de lava y matriz de toba y calcita.

En algunos sectores como en el abra se encuentran brechas de grano fino a medio con zonas de alteración hidrotermal. Cerca de este cerro en la parte Norte se encuentra un cuerpo subvolcánico con textura de grano medio a grueso color verdoso a azulado que corta a ignimbritas.

3.3.3.3. Diques

Los diques en el Complejo Volcánico Galán se encuentran ubicados en diferentes lugares (Fig. 3.24 a 3.27), tanto en la parte oriental como al este del Cerro Aguas Calientes (Fig. 3.24) y alrededor de las aguas termales, además de la parte central en cercanías del cerro Galán (Fig. 3.25), San Pedro (Fig. 3.26) y alrededor del cerro Lipina (Fig. 3.27); mientras que en la parte occidental están al oeste del cerro Quillaoj. Los diques son de diferentes rumbos, predominan aquellos con dirección Este – Oeste (Fig. 3.27), sin embargo algunos son de dirección Norte – Sur (Fig. 3.27); algunos diques son de dirección sinuosa (Fig. 3.24 y 3.26) en el sector central y oriental; poseen longitudes entre decenas de metros hasta 1500 m y el espesor varía desde 0.20 a 0.90 m, hasta de 5 a 7 m. Estos diques cortan a lavas, ignimbritas y domos del Complejo Volcánico Galán, como a las formaciones Potoco y San Vicente en el sector oriental (Fig. 3.24.). Los diques son rocas ácidas a intermedias de composición granodiorita, a excepción de algunas que tienen una composición diorita que se encuentran en menor proporción principalmente en la parte central y occidental.

Estas rocas félsicas son de textura porfírica, de grano medio a grueso con minerales esenciales de cuarzo, plagioclasa y ortosa, mientras que como mineral principal hay biotita, y como accesorios están circón, apatito; además como minerales de alteración hidrotermal están sericita, calcita y clorita, algo de silicificación y pirita. La matriz es microcristalina y está compuesta de cuarzo, plagioclasa, biotita y pirita. Los diques de color gris blanquecino hasta oscuro y son de textura porfírica; son rocas de grano grueso a medio y están compuestos de plagioclasa, cuarzo y biotita, en una matriz microcristalina compuesto por los mismos minerales, se estima una composición diorita cuarcífera.



Fig.3.24. Dique que corta el sustrato (Formación Potoco y San Vicente) y el Complejo Volcánico Galán. Sector oriental.



Fig.3.25. Diques en el sector de la quebrada Galán las cuales cortan a ignimbritas y lavas. En la parte central se observa zona de alteración hidrotermal. Sector central.



Fig. 3.26. Dique que corta lavas en el flanco de cerro San Pedro. Sector oriental.



Fig. 3.27. Diques de dirección este-oeste y norte-sur que cortan a ignimbritas en el sector del Abra y flanco norte del cerro Galán. Sector central.

3.3.3.4. Cuaternario

La cubierta cuaternaria consiste de depósitos glaciales, fluvioglaciales, coluviales y aluviales, que se encuentran principalmente en las partes bajas de las cumbres, valles y quebradas. Los depósitos glaciales y fluvioglaciales se encuentran en las principales quebradas como las quebradas Coyahuayco (Fig. 3.14), Pueblo Viejo y en los sectores de Lipina, consisten de morrenas de fondo y laterales, conformadas por material heterogéneo, con clastos de volcanitas principalmente, asimismo son notorias las estrías tanto en los clastos como en los afloramientos que tienen la dirección de las quebradas.

Los depósitos coluviales se encuentran en la base de las pendientes, mientras que los depósitos aluviales con poco espesor conforman los lechos de las quebradas.

3.4. Tectónica del Complejo Volcánico Galán

La tectónica regional dio lugar a estructuras de dirección Norte-Sur en la Cordillera Oriental, mientras que el Altiplano está controlada por la Cuenca de Lípez (Baby et al., 1990) y la Cordillera Occidental tiene lineamientos NNO – SSE con diferentes estructuras volcánicas (calderas, estratovolcanes, entre otros). Ramos Collorana et al., 2002 a, indican los lineamientos identificados, cuyas principales direcciones se presentan en el diagrama de rosas (Fig. 3.28) y en la tabla correspondiente. Estos diagramas revelan una tendencia general Norte-Sur, noroeste-sureste y Este-Oeste, seguida de una dirección noreste - suroeste muy subordinada.

Similar comportamiento tectónico se refleja en la zona del Complejo Volcánico Galán. La zona fue afectada por diferentes fases; como la fase Oclóyica, que afectó principalmente a rocas ordovícicas. Posteriormente en el ciclo Andino, la zona fue afectada por las fases tectónicas que produjeron la Cuenca de Lípez de tipo compresivo, limitada por la Falla San Vicente en el sector oriental y la Falla Khenayani en el sector occidental (Baby et al., 1990).

En la región del Complejo Volcánico Galán, en el sustrato de afloramientos ordovícicos tienen una dirección meridiana con ciertas modificaciones producto de la falla de dirección Norte – Sur, con vergencia al occidente que coloca en contacto con las formaciones Potoco y San Vicente en el sector sureste del CVG.

Diagrama de rosas de lineamientos en la zona del Complejo Volcánico Galán

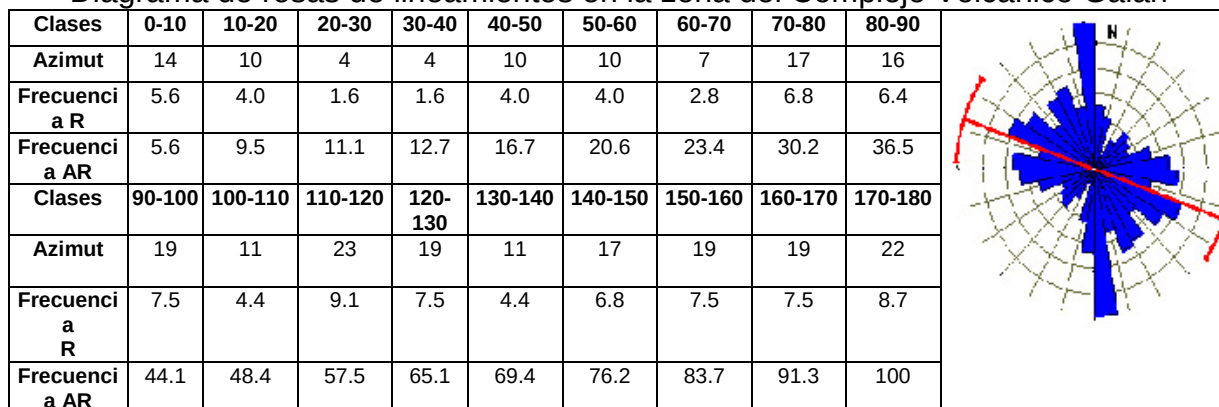


Figura 3.28 Distribución de frecuencias relativas (R) y acumuladas relativas (AR) de los lineamientos en las imágenes satelitarias y diagrama de orientaciones correspondiente, para la región de los Lipez. (Tomado de Ramos Collorana et al., 2002 a).

El plegamiento de las formaciones sedimentarias del Cenozoico (formaciones Potoco y San Vicente), que están en la Cuenca de Lipez, forma anticlinales y sinclinales amplios, los que están limitados por las fallas mencionadas (Baby et al., 1990). Mientras que la Formación Rondal está afectada por fallamiento.

El Complejo Volcánico Galán se depositó en discordancia angular sobre el sustrato sedimentario. El mapa de lineamientos del Complejo Volcánico Galán indica una dirección preferentemente NO-SE, NE-SO, E-O. Estos lineamientos son diferentes en la orientación a los del sustrato, ya que fueron ocasionados solo por el ciclo Andino.

La dirección NO – SE es coincidente con algunas fallas que se encuentran en la parte occidental. La dirección Este – Oeste, es el principal sistema de fracturamiento que corresponden a las principales vetas tanto en la zona occidental (veta Cuatro Ases) como en la zona oriental (zona de Pueblo Viejo, Central y Farellones).

3.5. Petrología del Complejo Volcánico Galán

La Cordillera Occidental Sur de Bolivia, en la cual está incluido el CVG, está conformada por un predominio del ambiente volcánico que conforman estratovolcanes y calderas. En el ámbito regional la composición de las rocas varía desde andesitas basálticas, andesitas, dacitas y riódacitas, con un contenido alto de potasio.

En este estudio se describe las características petrológicas del Complejo Volcánico Galán comenzando con sus aspectos petrográficos para continuar con su geoquímica y relaciones con los procesos metalogénicos.

3.5.1. Petrografía

La descripción petrográfica se realizó de las unidades características que conforman este complejo volcánico. Se diferencian dos grupos unos son de carácter explosivo (depósitos de flujos piroclásticos), mientras que otros son efusivos (lavas y domos), las cuales conforman el estratovolcán; además de stocks subvolcánicos y diques.

3.5.1.1. Resultados

Las litologías del Complejo Volcánico Galán, corresponden principalmente a rocas volcánicas (ignimbritas, lavas y domos) y la clasificación petrográfica es dacitas biotíticas a dacitas biotíticas – horbléndicas, con algunos casos de andesita, mientras que los diques (W-36, E del Co. Galán) y el stock subvolcánico de Pueblo Viejo (W-298, N-30) son de composición granodiorita biotítica.

La textura predominante es la porfírica (Fig. 3.31 a 3.36), a excepción de la muestra GB-20A que es de textura equigranular (Fig. 3.29). Esta textura porfírica presenta en los diferentes tipos de rocas, una relación diferente en cuanto al tamaño de los fenocristales y la matriz, en algunos casos llega a una diferencia hasta de 1 cm de fenocristal en una matriz microcristalina (Lavas, domos volcánicos e ignimbritas) y también en los diques. La proporción de los fenocristales varía entre 20 a 50 %.

Los minerales esenciales son plagioclasa, cuarzo y sanidina, mientras que la biotita es mayoritaria entre los minerales principales, sin embargo también está la hornblenda e indicios de ortopiroxeno solo en algunas muestras, mientras que como minerales accesorios están el circón, apátito, magnetita, epidoto y pirita; además como minerales de alteración están presentes la sericita, clorita (en algunos casos pennina), calcita, turmalina, pirita y cuarzo.

Las formas predominantes de los fenocristales (Fig. 3.30) son las anhedrales a subedrales (lavas, domos, stock subvolcánicos y diques) y en algunos casos se encuentran cristales rotos y doblados (cristaloclastos de las ignimbritas). La matriz es de grano fino a microcristalino con plagioclasa, cuarzo y biotita.

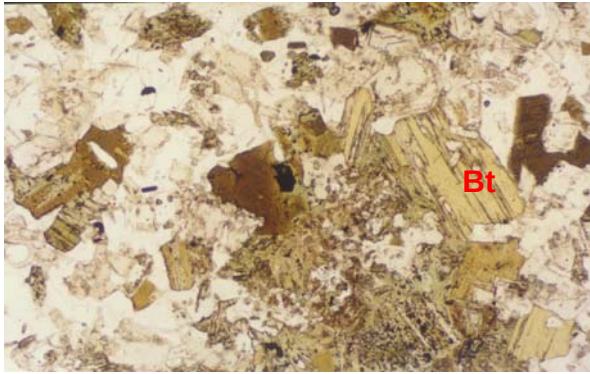


Fig.3.29. Fotomicrografía en nicols paralelos de sección delgada de la muestra GB-20 con textura granular de un litoclasto en una ignimbrita, con fenocristales de biotita, cuarzo y plagioclasea.

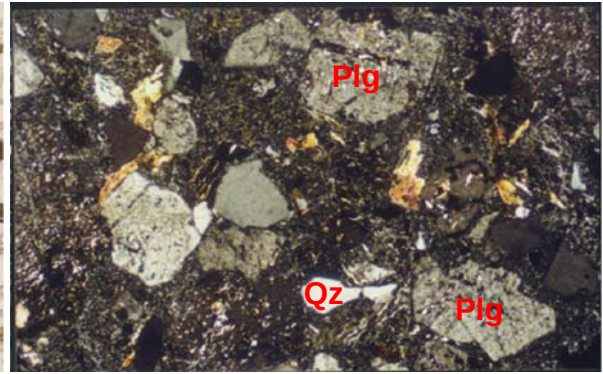


Fig.3.30. Fotomicrografía en nicols cruzados de sección delgada con textura porfírica con biotita (Bt), cuarzo (Qz) y plagioclasea (plg).

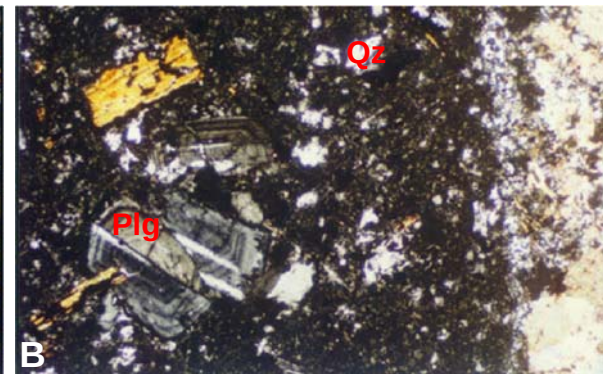
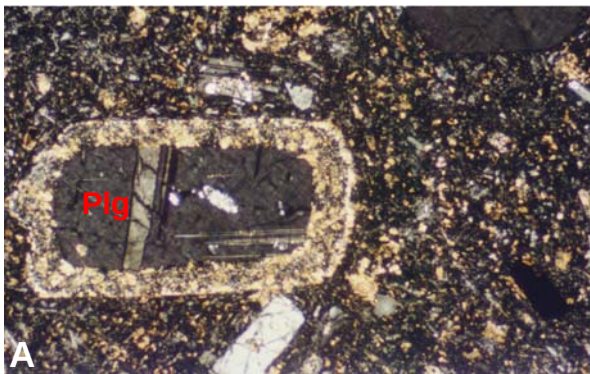


Fig.3.31. Fotomicrografía en nicols cruzados de sección delgada de roca con textura porfírica y matriz microcristalina. A. con fenocristal de plagioclasea con bordes alterados. B. Con maclas polisintéticas y zonación concéntrica.

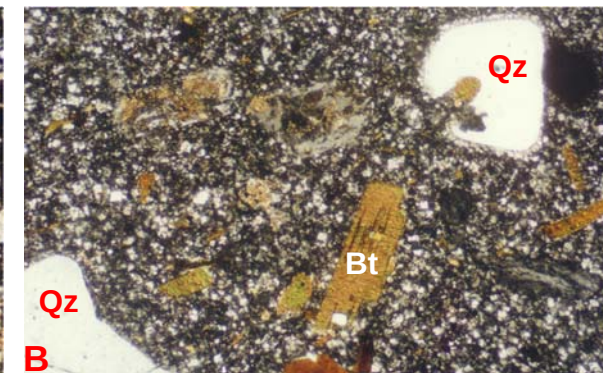
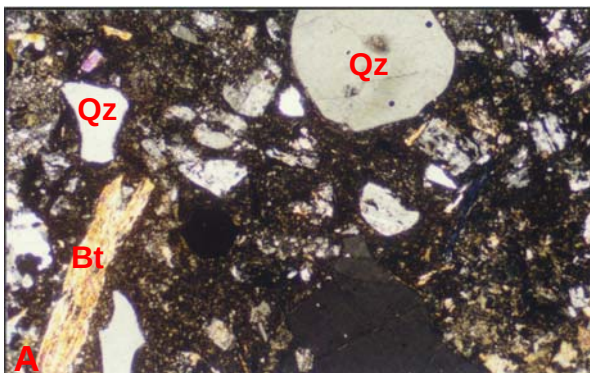


Fig.3.32. Fotomicrografía con nicols cruzados de sección delgada de roca con textura porfírica y matriz microcristalina. A. Con fenocristales de cuarzo fragmentados y biotita. B. Con fenocristales de cuarzo engolfado y borde de reacción y biotitas tabulares.

La plagioclasa es el mineral predominante con hasta 1 cm de largo y formas anhedrales a subedrales (Fig. 3.31), se presenta tanto en la matriz como en fenocristales en una proporción de 60 %. La composición va desde la albita a oligoclasa; posee maclas polisintéticas, tipo periclina y Carlsbad; además de una zonación concéntrica (Fig. 3.31). Presenta diversos grados de alteración hidrotermal de sericita a calcita, en algunos casos alcanza el 100 % del cristal.

El cuarzo está en alrededor del 20 %, se presenta como fenocristal con tamaño alrededor a 1 cm y en la matriz de tamaño mas fino. Son anhedrales a raramente subedrales (Fig. 3.32), con bordes engolfados en algunos casos y con bordes de reacción; además presenta algunas inclusiones en ciertos casos de otros minerales. La matriz está conformada por una pasta microcristalina y silicificación que afecta a los fenocristales de plagioclasa y biotita, además de la matriz.

La sanidina está en reducida proporción menor al 5 %. Tiene formas subedrales y tamaños de 0.2 cm, mientras que la macla predominante es de tipo Carlsbad y algunas están alteradas a sericita.

La biotita es de un tamaño de hasta 3 mm y está presente hasta un 10 % en proporción, son cristales tabulares con formas subedrales con inclusiones de circón, apatito y pirita. La alteración es a clorita (penina) y algunos cristales están rotos y doblados (en ignimbritas).

La horblenda (3 %) se encuentra en menor proporción que la biotita, es de coloración verdosa, se presenta en cristales tabulares y en corte basal de forma rómbica.

Los minerales accesorios son el circón de tamaños menores a 1 mm y de forma alargada, así mismo el apatito es euhedral.

La turmalina se presenta de formas alargadas y radiales, asociadas generalmente en los sectores de Pueblo Viejo y Galán (Fig. 3.33).

Entre los minerales opacos está la pirita diseminada que se encuentra en diferentes áreas, la cual se presenta en cristales cúbicos y triangulares.

La alteración es propilítica en el ámbito regional, caracterizada por la formación de clorita (Fig. 3.34) que afecta principalmente a la biotita, además de pirita; mientras que la alteración fílica (moderada a fuerte) está representada por la sericita que en algunos casos reemplaza hasta la totalidad de los fenocristales de plagioclasa y biotita, con algunas mineralizaciones débiles de calcopirita, pirita y esfalerita.

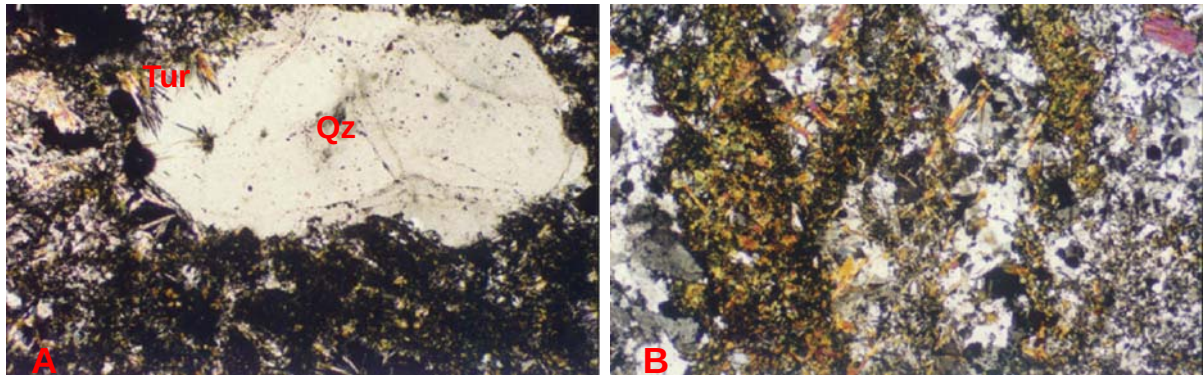


Fig.3.33. Fotomicrografía con nicols cruzados de sección delgada con textura porfírica y matriz microcristalina. A. Con turmalina acicular en los bordes de cuarzo. B. con turmalina en la matriz de la roca.

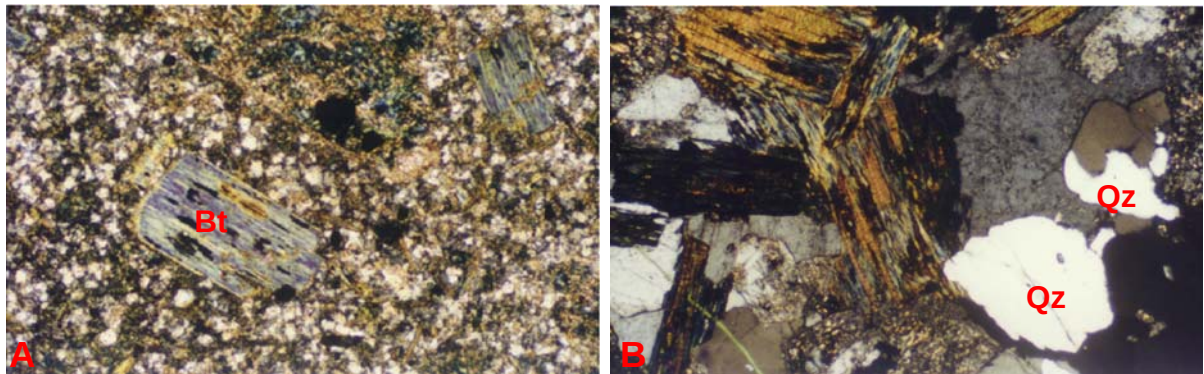


Fig.3.34. Fotomicrografía en nicols paralelos de secciones delgadas con fenocristales de biotita alteradas a clorita. A. Con matriz microcristalina. B. Con textura granular.

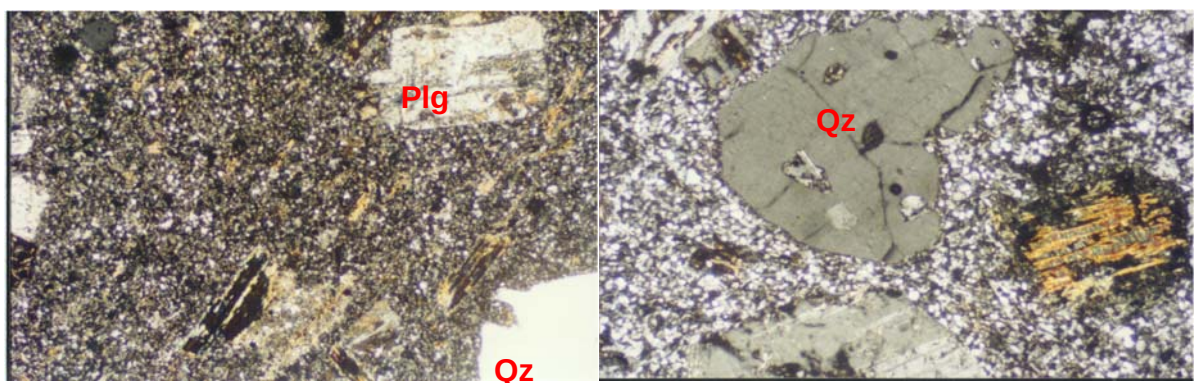


Fig.3.35. Fotomicrografía en nicols cruzados de sección delgada con textura porfírica con fenocristales de plagioclase, cuarzo y biotita.

Fig.3.36. Fotomicrografía en nicols cruzados de sección delgada con textura porfírica con fenocristales de cuarzo, plagioclase y biotita, en una matriz microcristalina.

La argilización (Fig. 3.35) y silicificación (Fig. 3.36), afectaron la matriz de la roca y algunos minerales como la biotita.

La presencia de adularia se encuentra como indicios, y fue mencionada además por otros autores (Uribe-Zeballos, 1994, Murillo et al., 1995), así mismo es importante la presencia de clorita y pirita, además de carbonatos y de turmalina.

La descripción petrográfica indica que las rocas son andesíticas a dacíticas.

3.5.2. Geoquímica de rocas

El análisis químico de las muestras sobre roca total, por elementos mayores y trazas se realizó en la Universidad de Trieste (Italia) y fueron analizadas por Enzo Piccirillo y Angelo DeMin por el método de XRF (fluorescencia de rayos X).

3.5.2.1. Resultados

Los resultados de algunos parámetros químicos obtenidos de los análisis de las 21 muestras se encuentran en la tabla 3.1.; mientras que los resultados completos se encuentran en el Anexo 1.

La nomenclatura de muestras y el tipo de roca están en la tabla 3.2., que son los parámetros para todos los diagramas en las figuras que se presentan más adelante.

Tabla 3.2. Muestras y tipo de roca y yacencia del Complejo Volcánico Galán							
n=21	Muestra	Símbolo	Tipo de roca	n=21	Muestra	Símbolo	Tipo de yacencia
1	GB-148		Lava	11	GB-18		Domo volcánico
2	GB-111		Lava	12	W-149		Domo Volcánico
3	L-32		Lava	13	GB-226		Domo Volcánico
4	W-37		Lava	14	L-26		Domo Volcánico
5	W-70		Lava	15	GB-113		Domo Volcánico
6	GB-171		Ignimbrita	16	GB-114		Xenolito (GB-113)
7	GB-19		Ignimbrita	17	SB-1		Stock Subvolcánico
8	GB-202		Ignimbrita	18	W-36		Dique
9	GB-185		Pómez	19	GB-220		Dique
10	GB-207		Pómez	20	W-50		Dique
				21	W-69		Dique

Tabla 3.2. Nomenclatura de las muestras y el tipo de roca y yacencia correspondiente a los análisis químicos del Complejo Volcánico Galán.

Tabla 3.1. Análisis químico promedio de roca total de muestras del Complejo Volcánico Galán				
n= 21	Promedio	Desviación Standard	Mínimo	Máximo
SiO ₂	63.91	3.98	55.09	68.08
TiO ₂	0.64	0.18	0.45	1.14
Al ₂ O ₃	15.06	0.77	13.14	16.73
FeO	2.49	1.01	0.83	4.42
Fe ₂ O ₃	1.46	0.77	0.31	2.62
MnO	0.07	0.05	0.02	0.21
MgO	1.91	1.16	0.65	5.82
CaO	3.34	1.52	0.33	6.87
Na ₂ O	2.08	0.62	0.15	2.96
K ₂ O	4.28	1.44	2.12	9.15
P ₂ O ₅	0.22	0.04	0.17	0.31
L.O.I.	4.20	2.23	1.56	9.93
Tot	99.66	0.20	99.37	100.11
Sc	13.39	2.42	9.25	18.52
V	91.52	35.84	54.93	185.79
Cr	106.57	69.23	46.84	313.75
Co	8.98	5.41	3.94	26.58
Ni	15.65	21.96	2.85	101.87
Cu	12.74	9.06	0.00	35.13
Zn	223.27	190.51	59.80	811.24
Ga	8.89	5.39	0.00	17.37
Rb	211.53	55.18	102.94	351.22
Sr	358.76	152.32	98.06	782.81
Y	19.11	2.75	15.67	25.29
Zr	153.52	12.24	132.66	175.40
Nb	14.00	2.76	7.95	21.54
Ba	886.31	289.20	315.00	1740.60
La	57.73	11.41	29.85	73.10
Ce	90.46	19.03	43.48	124.24
Nd	28.79	11.23	0.19	52.70
Pb	32.28	23.47	0.18	108.97
Th	18.03	3.10	10.57	23.11
U	7.31	2.04	3.30	12.48

Tabla 3.1. Resultados generales de muestras (n=21) del Complejo Volcánico Galán.

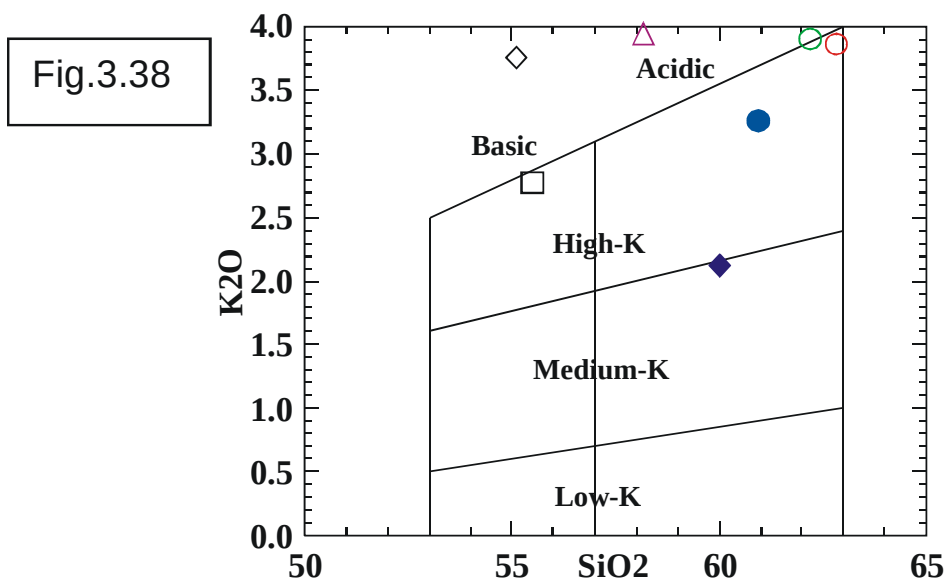
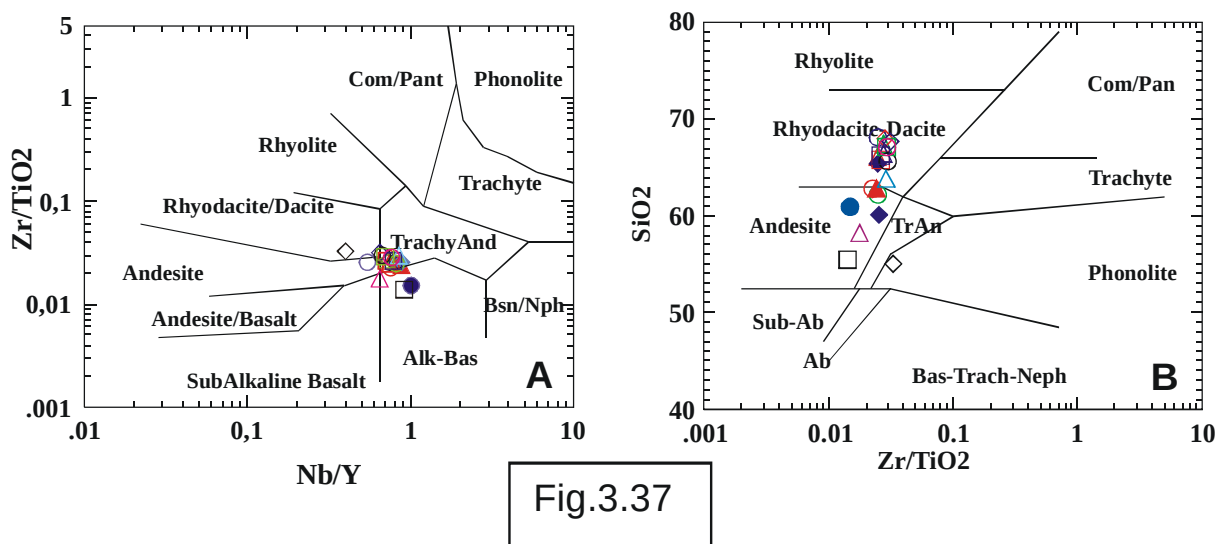
3.5.2.2. Interpretación de resultados

Los resultados de los análisis químicos ($n=21$) de las muestras del Complejo Volcánico Galán (tabla 3.1 y anexo 1); indican que el contenido de SiO_2 promedio del Complejo Volcánico Galán (63.91 %), es mas bajo que en rocas de otros distritos mineros como Llallagua (71.8 %), Chorolque (68.7 %), Cerro Rico de Potosí (72.5 %) y Oruro (69 %) (Dietrich et al., 2000), sin embargo, los resultados obtenidos son propios del ambiente regional de los Andes Centrales, y que corresponden a la serie calcoalcalina.

Los valores del LOI, en algunas muestras son elevados (4.20 promedio y 9.93 máximo), aunque en el campo las muestras fueron tomadas lo más frescas posible.

La clasificación de rocas del CVG (Fig. 3.37) se muestra en los diagramas de discriminación de Winchester and Floyd (1977). En el diagrama Nb/Y vs. Zr/TiO₂ (A) las muestras principalmente se encuentran en el campo de las traquiandesitas, riodacitas-dacitas, andesitas y basaltos; mientras que el diagrama Zr/TiO₂ vs. SiO₂ (B) es similar al diagrama de Dietrich et al., (2000) para los distritos de Llallagua, Chorolque y Cerro Rico. Se aclara que las muestras de diques en los diagramas están referidas con nombres de rocas volcánicas, sin embargo se debe entender a los equivalentes intrusivos de granodiorita (riodacita), tonalita (dacita) y diorita (andesita). El contenido de potasio en el diagrama de SiO₂ vs. K₂O de Gill (1981), indica que las rocas se encuentran en el campo de alto contenido de potasio, a excepción de algunas que están en límite entre contenido de potasio medio a alto (Fig. 3.38).

Los elementos inmóviles como el TiO₂ tiene un valor promedio de 0.64 % en peso y el Zr un promedio de 153.52 ppm (Tabla 3.1), éstos parámetros y los valores mencionados indicarían un grado de fraccionamiento moderado; y son similares a los datos de Dietrich et al. (2000) de TiO₂ (entre 0.57 a 0.67 %), Zr (entre 135 a 294 ppm) y Ta (entre 1.5 a 3 ppm) de los sectores de Llallagua, Chorolque, Cerro Rico de Potosí y Oruro. Las muestras del Complejo Volcánico Galán, en el diagrama ternario de AFM (Na₂O+K₂O vs. FeO_t vs. MgO) de Irvine & Baragar (1971) corresponden a la serie calcoalcalina (Fig. 3.39). El contenido de aluminio se representa en el diagrama de variación A/CNK-A/NK de Maniar and Piccoli (1989) donde las muestras están en el campo del límite metaluminoso y peraluminoso (Fig. 3.40), con muestras que se encuentran también alejados de éste límite.



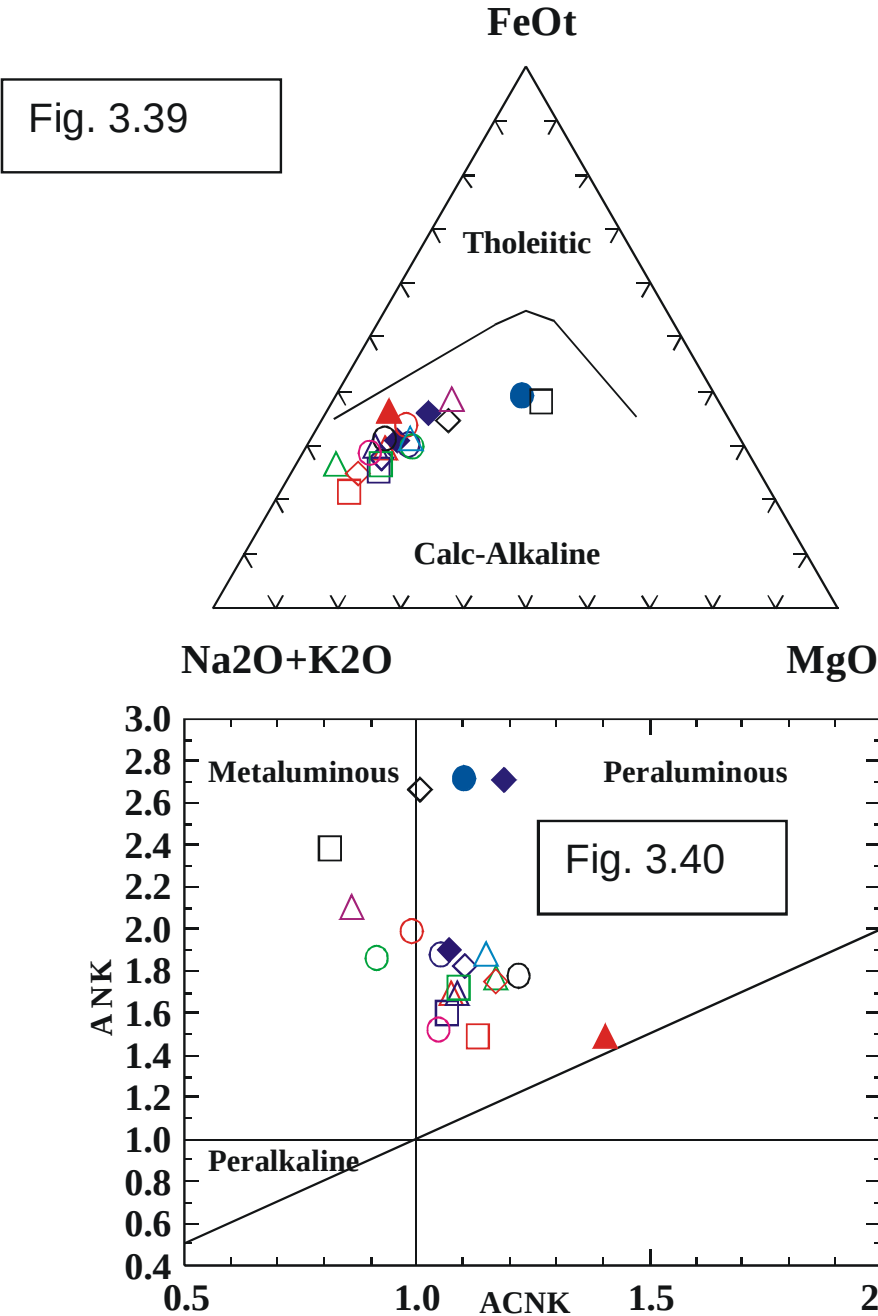
Legenda							
n=21	Muestra	Símbolo	Tipo de roca	n=21	Muestra	Símbolo	Tipo de yacencia
1	GB-148	△	Lava	11	GB-18	○	Domo Volcánico
2	GB-111	△	Lava	12	W-149	○	Domo Volcánico
3	L-32	△	Lava	13	GB-226	○	Domo Volcánico
4	W-37	△	Lava	14	L-26	○	Domo Volcánico
5	W-70	△	Lava	15	GB-113	○	Domo Volcánico
6	GB-171	◇	Ignimbrita	16	GB-114	●	Xenolito (GB-113)
7	GB-19	◇	Ignimbrita	17	SB-1	▲	Stock Subvolcánico
8	GB-202	◇	Ignimbrita	18	W-36	□	Dique
9	GB-185	◆	Pómez	19	GB-220	□	Dique
10	GB-207	◆	Pómez	20	W-50	□	Dique
				21	W-69	□	Dique

Fig.3.37. Diagramas de discriminación de Winchester and Floyd (1977) del Complejo Volcánico Galán. A. Nb/Y vs. Zr/TiO_2 . B. Zr/TiO_2 vs. SiO_2 . Las muestras están principalmente en los campos de riodacita-dacita, andesita a traquiandesita y basalto.

Fig.3.38. Diagrama del contenido de K_2O de Gill (1881), donde se observa que mayoría de las muestras son de medio a alto contenido de K.

Las muestras del Complejo Volcánico Galán, se presentan en las relaciones SiO_2 vs. óxidos mayores, que representan los Diagramas de Harker (Fig. 3.41). La relación de SiO_2 vs. óxidos de Fe (FeO y Fe_2O_3), no tienen una tendencia en la distribución y su representación es caótica, aunque tiene un cierto indicativo que podría ser de tendencia negativa. El Na_2O no tiene una buena relación, aunque la tendencia de algunas se podría inferir que tiene una relación positiva. Las relaciones de SiO_2 vs. Al_2O_3 , MgO , TiO_2 , y P_2O_5 muestran una correlación negativas, que no son marcadas, debido a que tienden a ser subhorizontales. En cuanto al comportamiento de las relaciones de SiO_2 vs. CaO y SiO_2 vs. K_2O , en el primero es notoria la relación negativa, no obstante que la muestra SB-1 (stock subvolcánico) de Pueblo Viejo, que es el valor más bajo en el contenido de CaO , esta tendencia no es continua, sino que se agrupan en un conjunto de muestras separados por espacios (impulsos). Mientras que la relación de SiO_2 vs. K_2O , tienen un contenido alto de potasio, la correlación es positiva, la mayoría tienen valores entre 2 y 5, a excepción de las muestras GB-220 (dique) y SB-1 (stock subvolcánico), estas dos últimas muestras se encuentran alejadas en relación con el conjunto de las muestras; este el caso con tendencia positiva en los óxidos mayores.

El grado de oxidación de las muestras del Complejo Volcánico Galán, está representado en el diagrama SiO_2 vs. $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$, donde se observa que las muestras se encuentran en el campo de reducido y oxidado (Fig. 3.42); en los mismos es posible indicar variaciones a débilmente reducido; moderadamente oxidado, a excepción de la muestra GB-111 (Lava) que está en el campo de fuertemente oxidado. En el diagrama de SiO_2 vs. $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO})$ de Maniar and Piccoli (1989), (Fig. 3.43), las muestras corresponden a granitos del arco continental. Se presenta diagramas de variación log-log de Rb/Sr vs. TiO_2 (Fig. 3.44) y de Sr (ppm) vs. Rb (ppm) (Fig. 3.45). En el primer diagrama existen pocos cambios en el contenido de TiO_2 , aunque levemente tendría una tendencia negativa, mientras que en el otro diagrama tiende a una correlación negativa, esta tendencia indicaría un fraccionamiento de la plagioclasa, como una cristalización fraccionada. Estos datos comparados con el diagrama de Lehmann et al. (1990) de Sr (ppm) vs. Rb (ppm) están dentro de la correlación lineal del grupo de muestras de los granitos de la Cordillera Real, que se encuentra en la parte septentrional de la Cordillera Oriental de Bolivia.



Leyenda						
n=21	Muestra	Símbolo	Tipo de roca	n=21	Muestra	Tipo de yacencia
1	GB-148	△	Lava	11	GB-18	Domo Volcánico
2	GB-111	△	Lava	12	W-149	Domo Volcánico
3	L-32	△	Lava	13	GB-226	Domo Volcánico
4	W-37	△	Lava	14	L-26	Domo Volcánico
5	W-70	△	Lava	15	GB-113	Domo Volcánico
6	GB-171	◇	Ignim brita	16	GB-114	Xenolito (GB-113)
7	GB-19	◇	Ignim brita	17	SB-1	Stock Subvolcánico
8	GB-202	◇	Ignim brita	18	W-36	Dique
9	GB-185	◆	Pómez	19	GB-220	Dique
10	GB-207	◆	Pómez	20	W-50	Dique
				21	W-69	Dique

Fig. 3.39. Diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971) del Complejo Volcánico Galán, donde se observa que todas las muestras corresponden al campo calcoalcalino.

Fig. 3.40. Diagramas de variación A/CNK-A/NK (Maniar and Piccoli, 1989), donde las muestras están en el campo metaluminoso a peraluminoso.

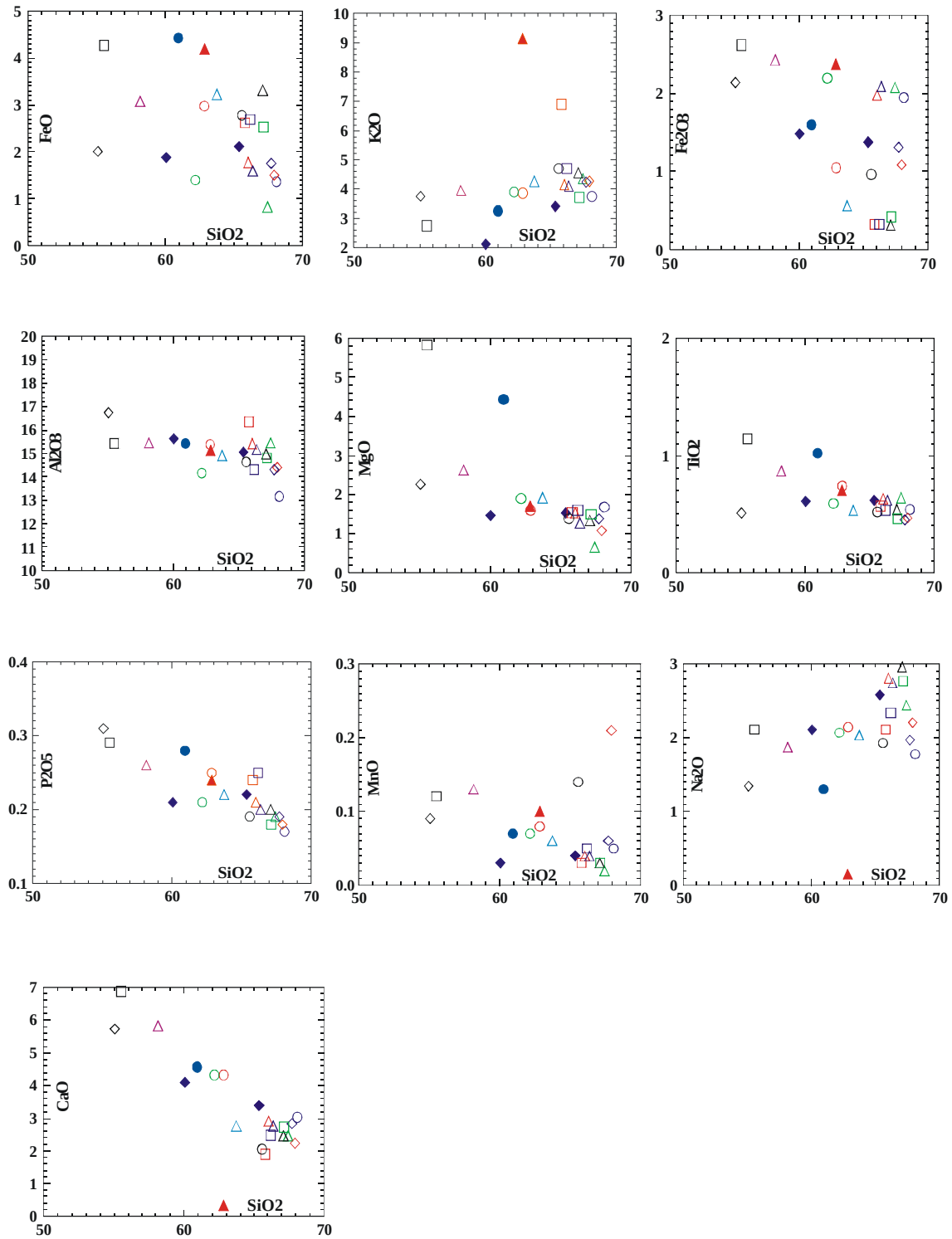


Figura 3.41. Diagramas de Harker (óxidos mayores) de las rocas del Complejo Volcánico Galán. La leyenda de las muestras es la misma que la figura anterior.

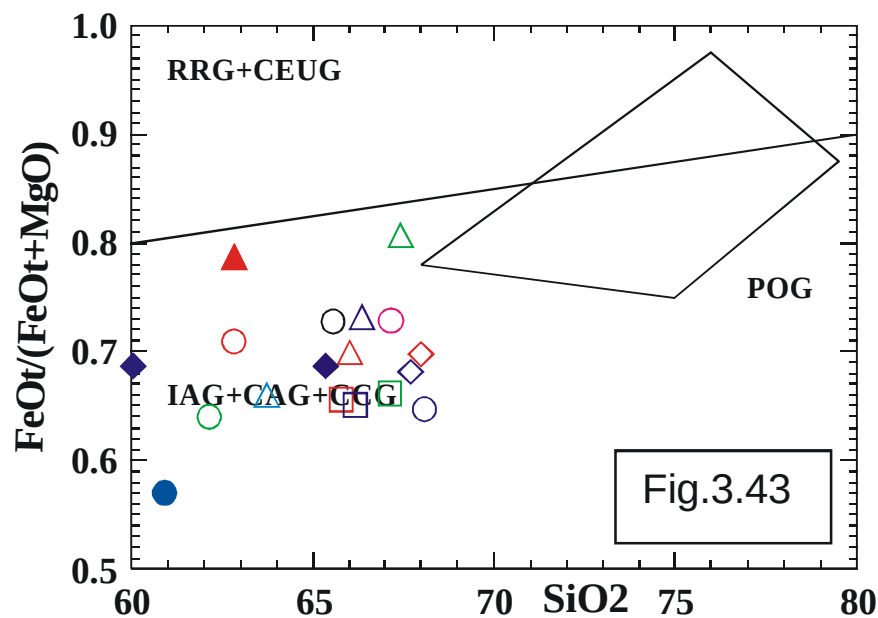
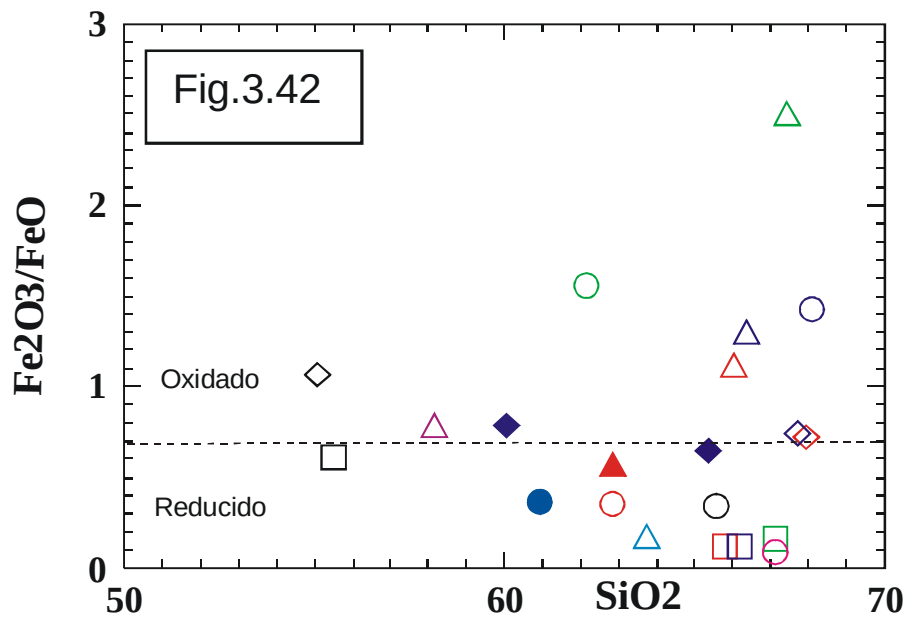
En el diagrama de discriminación tectónica Y+Nb vs. Rb y de Y vs. Nb para granitos de Pearce et al., (1984) las muestras se encuentran en el campo de granitos de arco volcánico y en granitos sincolisionales, mientras que algunas de estas muestras se encuentran en el límite (Fig. 3.46).

En el diagrama de variación log-log de Zr (ppm) vs. $(\text{Nb}/0.675)/(\text{Zr}/9.713)$ de muestras del Complejo Volcánico Galán (Fig. 3.47), se observa que estas corresponden al conjunto de muestras del Altiplano – Puna, comparado con el diagrama de Thiéblemont (1999). En concordancia con los valores de $[\text{Nb}/\text{Zr}]_N$ (relación Nb/Zr normalizado) >1 , la mayoría de las muestras se encuentran en este campo a excepción de la muestra GB-171 (ignimbrita), no obstante que en el diagrama se encuentra muy cerca al límite. Además, se representa la relación $\text{CaO}/\text{K}_2\text{O}$ vs. Na_2O en el cual se observa una dispersión de las muestras con cierta tendencia negativa, a excepción de la muestra SB-1, con valores mínimos (Fig. 3.48).

En el diagrama TiO_2 vs. Zr (Fig.3.49) los valores del CVG, son similares a los de Dietrich et al., (2000) y están en el campo de roca total de los pórfidos estañíferos. Mientras que en el diagrama TiO_2 vs. Rb/Sr (Fig. 3.50) las muestras están alrededor del promedio de la corteza superior, en comparación con los datos de Lehmann et al.,(1990).

En la figura 3.51 se muestra la distribución normalizada a Condritos de elementos traza y REE (elementos de tierras raras). Las trazas indican valores de anomalías negativas en Rb, K, Ti y Ni, mientras que tienen valores elevados de Th y U. El lantano (La) es hasta alrededor de 300 veces mayor que el condrito. Los principales resultados obtenidos del Complejo Volcánico Galán son similares comparados con los descritos por Lema y Ramos Collorana (1997) en el mapa geológico de Esmoraca, -en el cual se encuentra parte de la zona del Complejo Volcánico Galán-, estos autores indican que las rocas corresponden a traquiandesitas basálticas, traquiandesitas, andesitas y dacitas (Fig. 3.52) y a la serie calcoalcalina (Fig.3.53) rica en K, característica de volcanismo relacionado a subducción.

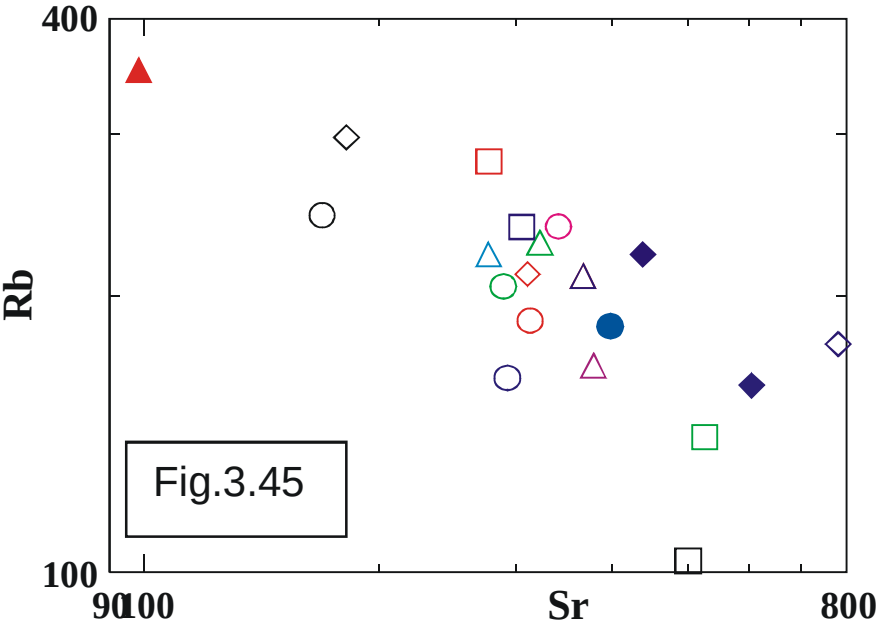
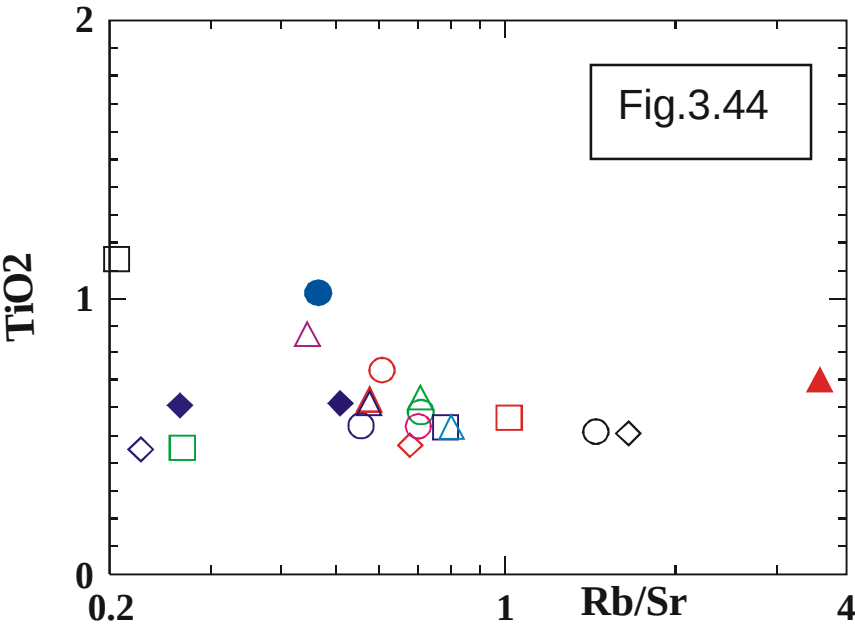
Los elementos traza y REE del CVG, comparados con los resultados de Lema y Ramos Collorana (1997) para la zona de Esmoraca (Fig. 3.54), muestran enriquecimiento de elementos de bajo potencial iónico, con picos hacia el Rb y Th y valles hacia el Ba, Nb y Sr, lo cual indica fraccionamiento de plagioclasa. Los elementos de alto potencial iónico (Sm, Ti, Y, Yb) son próximos a la unidad,



Leyenda							
n=21	Muestra	Símbolo	Tipo de roca	n=21	Muestra	Símbolo	Tipo de yacencia
1	GB-148		Lava	11	GB-18		Domo Volcánico
2	GB-111		Lava	12	W-149		Domo Volcánico
3	L-32		Lava	13	GB-226		Domo Volcánico
4	W-37		Lava	14	L-26		Domo Volcánico
5	W-70		Lava	15	GB-113		Domo Volcánico
6	GB-171		Ignim brita	16	GB-114		Xenolito (GB-113)
7	GB-19		Ignim brita	17	SB-1		Stock Subvolcánico
8	GB-202		Ignim brita	18	W-36		Dique
9	GB-185		Pómez	19	GB-220		Dique
10	GB-207		Pómez	20	W-50		Dique
				21	W-69		Dique

Fig. 3.42. Diagrama del grado de oxidación, donde se observa que las muestras se encuentran en el campo de reducido a oxidado, la muestra GB-111 (Lava) está en el campo de fuertemente oxidado.

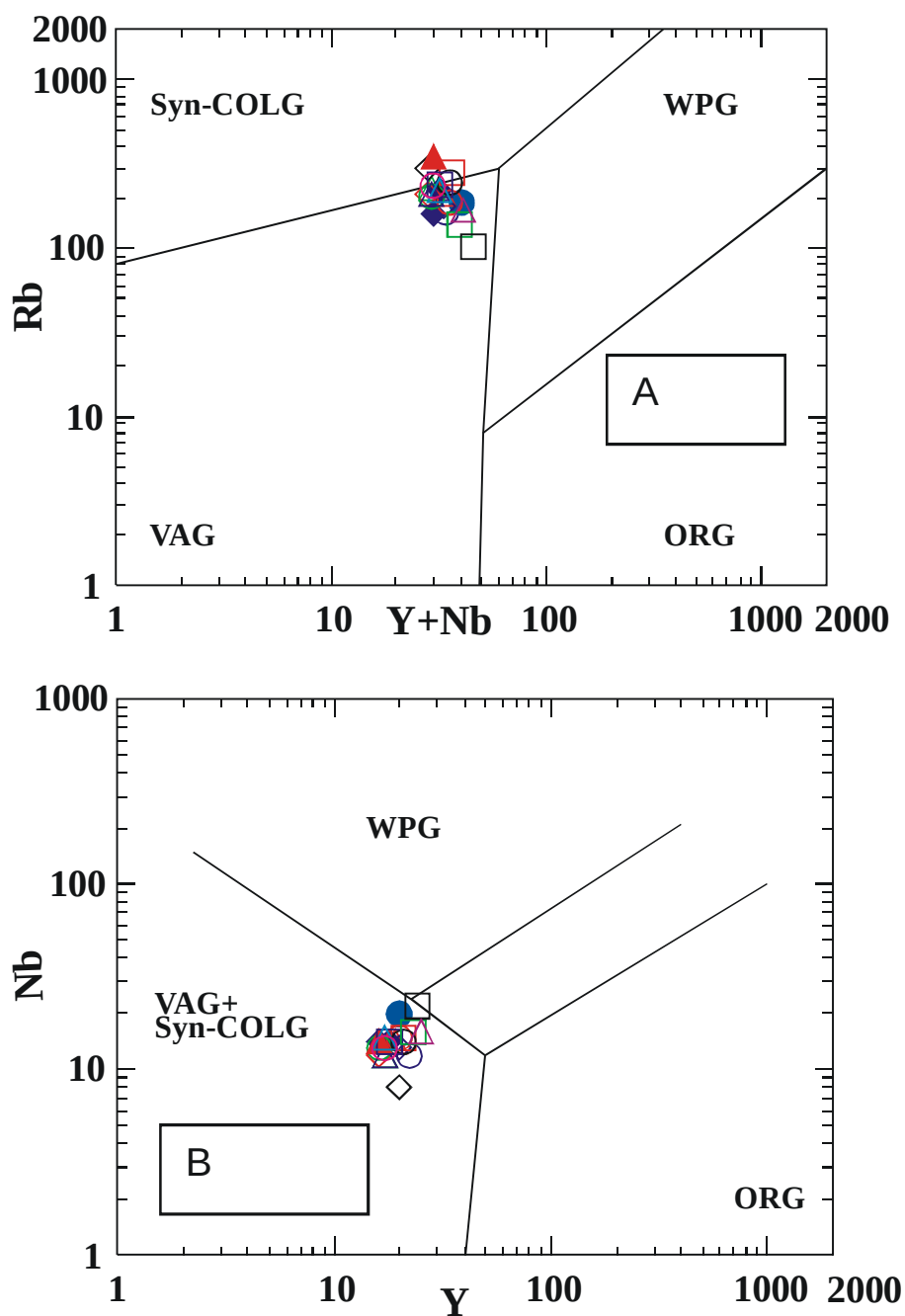
Fig. 3.43. Diagrama de $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO})$ vs. SiO_2 de Maniar and Piccoli (1989).



Legenda							
n=21	Muestra	Símbolo	Tipo de roca	n=21	Muestra	Símbolo	Tipo de yacencia
1	GB-148	△	Lava	11	GB-18	◯	Domo Volcánico
2	GB-111	△	Lava	12	W-149	◯	Domo Volcánico
3	L-32	△	Lava	13	GB-226	◯	Domo Volcánico
4	W-37	△	Lava	14	L-26	◯	Domo Volcánico
5	W-70	△	Lava	15	GB-113	◯	Domo Volcánico
6	GB-171	◇	Ignim brita	16	GB-114	●	Xenolito (GB-113)
7	GB-19	◇	Ignim brita	17	SB-1	▲	Stock Subvolcánico
8	GB-202	◇	Ignim brita	18	W-36	□	Dique
9	GB-185	◆	Pómez	19	GB-220	□	Dique
10	GB-207	◆	Pómez	20	W-50	□	Dique
				21	W-69	□	Dique

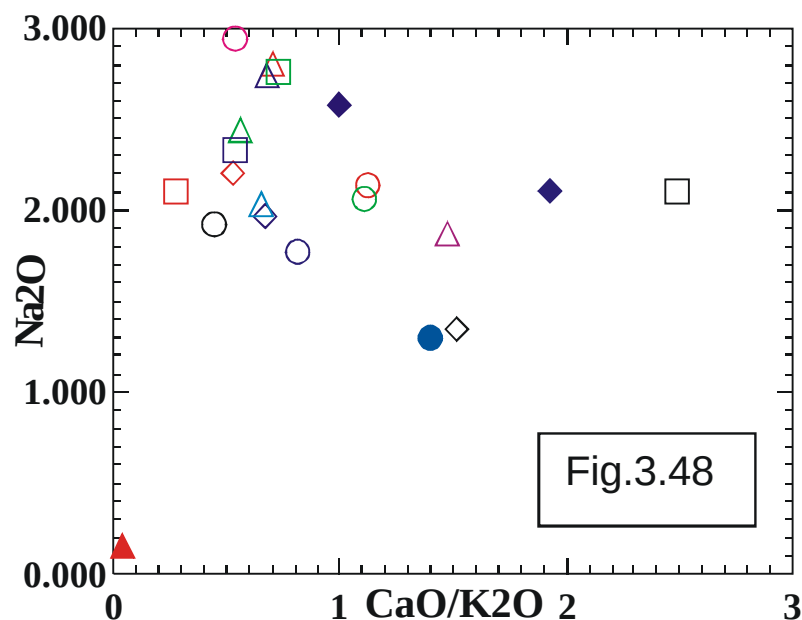
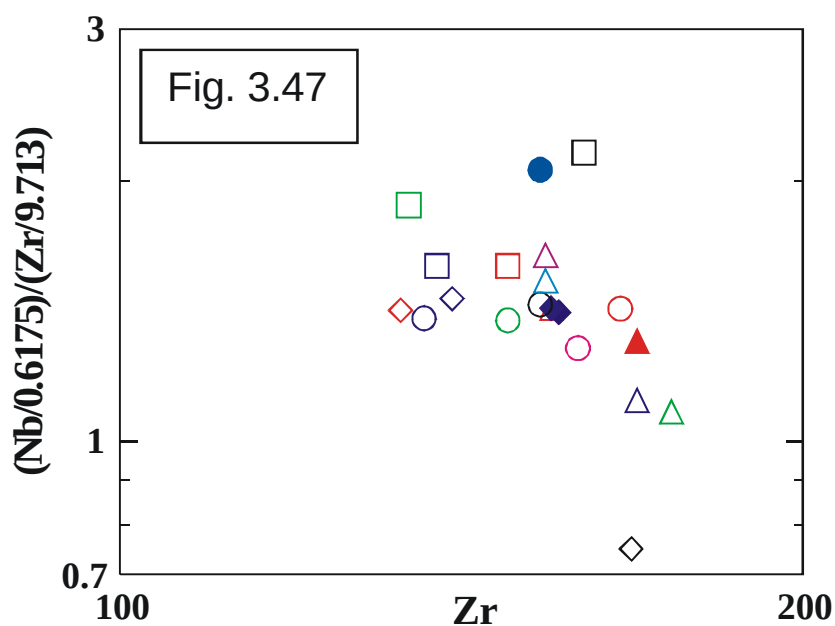
Fig. 3.44. Diagrama de TiO₂ vs. Rb/Sr (wt%) del Complejo Volcánico Galán

Fig.3.45. Diagrama de variación log-log de Rb (ppm) vs. Sr (ppm) del Complejo Volcánico Galán.



Leyenda							
n=21	Muestra	Símbolo	Tipo de roca	n=21	Muestra	Símbolo	Tipo de yacencia
1	GB-148	△	Lava	11	GB-18	○	Domo Volcánico
2	GB-111	△	Lava	12	W-149	○	Domo Volcánico
3	L-32	△	Lava	13	GB-226	○	Domo Volcánico
4	W-37	△	Lava	14	L-26	○	Domo Volcánico
5	W-70	△	Lava	15	GB-113	○	Domo Volcánico
6	GB-171	◇	Ignimbrita	16	GB-114	●	Xenolito (GB-113)
7	GB-19	◇	Ignimbrita	17	SB-1	▲	Stock Subvolcánico
8	GB-202	◇	Ignimbrita	18	W-36	□	Dique
9	GB-185	◆	Pómez	19	GB-220	□	Dique
10	GB-207	◆	Pómez	20	W-50	□	Dique
				21	W-69	□	Dique

Fig. 3.46. Diagrama de clasificación del Complejo Volcánico Galán. A. Rb vs. Y+Nb. B. Nb vs. Y (Pearce, 1984).



Leyenda							
n=21	Muestra	Símbolo	Tipo de roca	n=21	Muestra	Símbolo	Tipo de yacencia
1	GB-148	△	Lava	11	GB-18	○	Domo Volcánico
2	GB-111	△	Lava	12	W-149	○	Domo Volcánico
3	L-32	△	Lava	13	GB-226	○	Domo Volcánico
4	W-37	△	Lava	14	L-26	○	Domo Volcánico
5	W-70	△	Lava	15	GB-113	○	Domo Volcánico
6	GB-171	◇	Ignim brita	16	GB-114	●	Xenolito (GB-113)
7	GB-19	◇	Ignim brita	17	SB-1	▲	Stock Subvolcánico
8	GB-202	◇	Ignim brita	18	W-36	□	Dique
9	GB-185	◆	Pómez	19	GB-220	□	Dique
10	GB-207	◆	Pómez	20	W-50	□	Dique
				21	W-69	□	Dique

Fig. 3.47. Diagramas de variación log-log de Zr (ppm) vs. $(\text{Nb}/0.675)/(\text{Zr}/9.713)$ del Complejo Volcánico Galán.

Fig. 3.48. Diagrama de la relación Na_2O vs. $\text{CaO}/\text{K}_2\text{O}$.

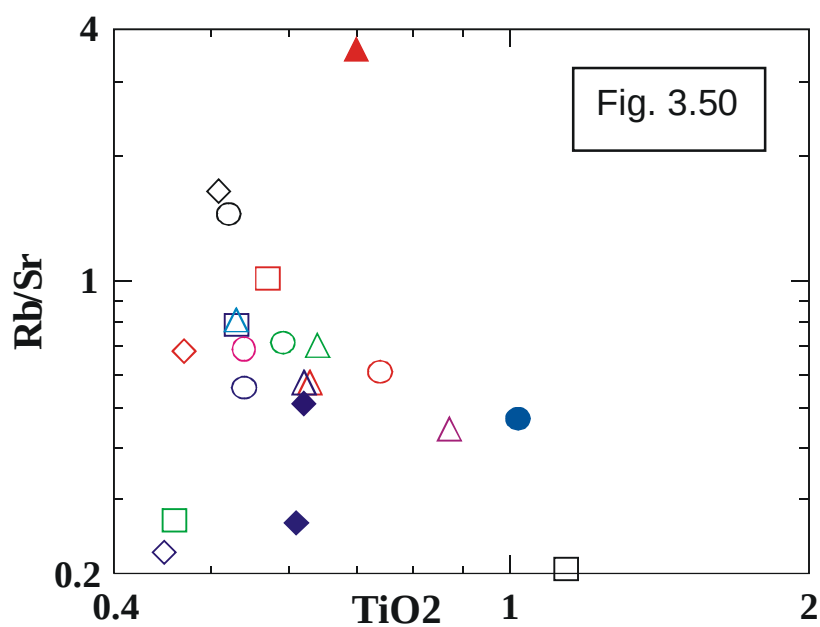
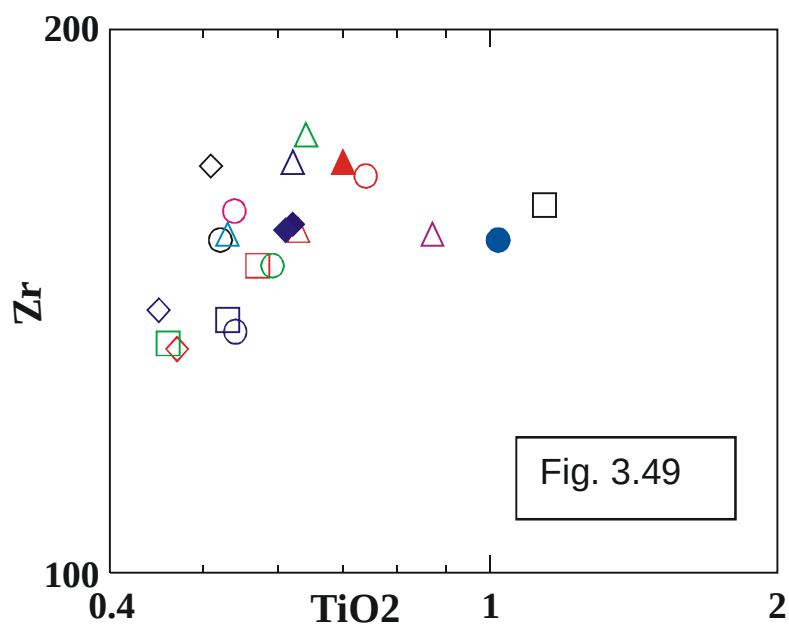
verificándose un empobrecimiento para el Ti, lo cual sugiere fraccionamiento de óxidos de Fe.

Los datos obtenidos de tierras raras de La, Ce, Nd, indican que existen variaciones, que es notorio principalmente en el Nd. Se estima que el comportamiento de REE es similar a los resultados de la zona de Esmoraca, en el cual Lema y Ramos Collorana (1997) indican una distribución enriquecida en LREE, sugestivo de bajos grados de fusión parcial o una fuente enriquecida en éstas y las rocas más ácidas tienen valores más altos de LREE con una anomalía negativa de Eu debido al fraccionamiento de plagioclasa. Las concentraciones de HREE muestran ausencia de granate en el origen (HREE 10X condritos). El proceso dominante en los estadios tempranos de los magmas fue la diferenciación magmática por fraccionamiento cristal-líquido.

3.5.3. Relación con la mineralización

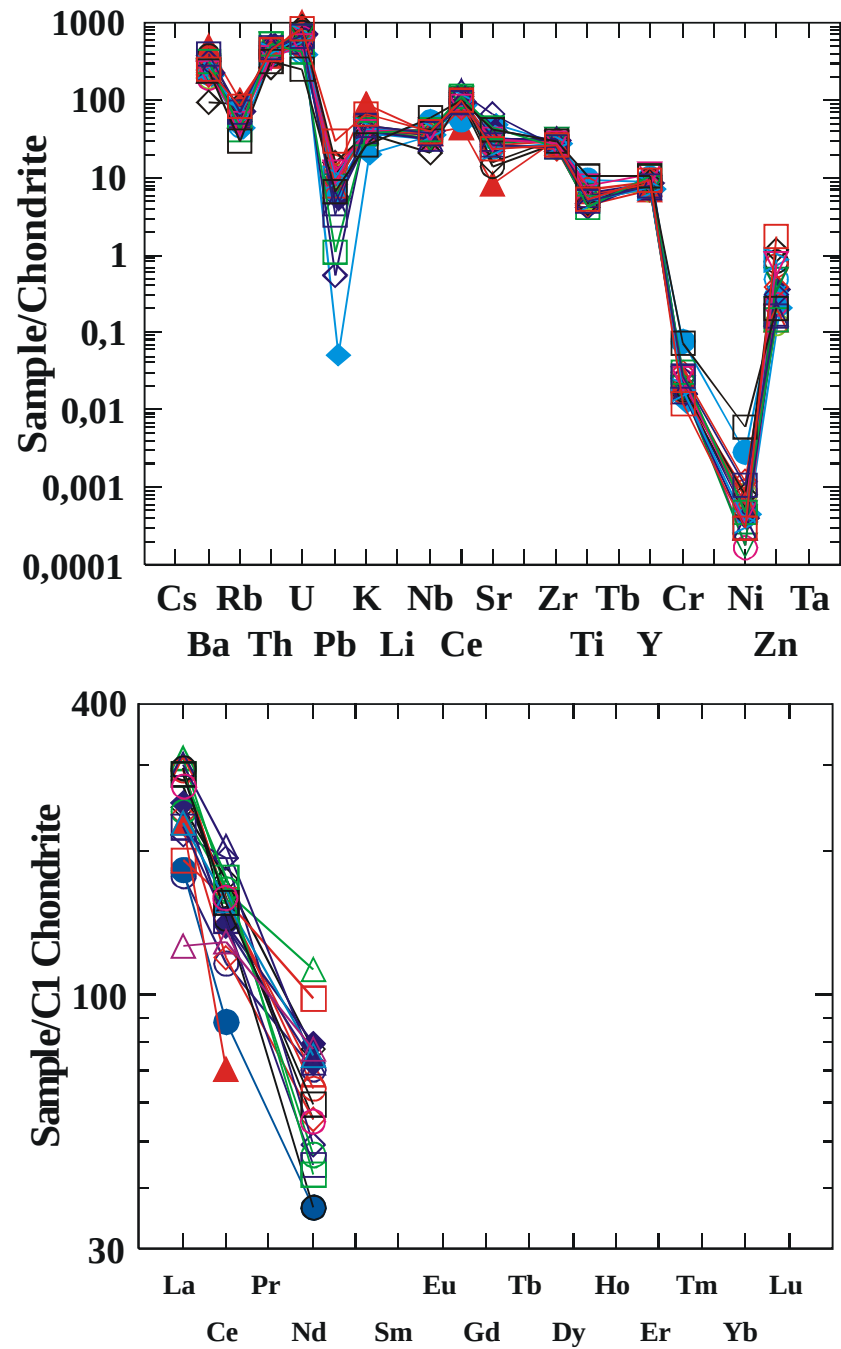
El Complejo Volcánico Galán (CVG), por afinidad geoquímica pertenece a la serie calcoalcalina (Fig. 3.39), con un alto contenido de potasio (Fig. 3.38). Estas rocas se asocian a una mineralización polimetálica que es lo que corresponde al CVG que es de una asociación metálica de W, Bi, Pb, Zn, Sn, (Ag, Au). Este tipo de mineralización es similar en varios yacimientos minerales en los Andes Centrales Bolivianos (Sn, W, Pb, Zn, Mo, Bi, Ag, Au), característica que se extiende en el extremo norte del territorio argentino en mina Pirquitas (Chayle, 1999).

El grado de oxidación del Complejo Volcánico Galán (CVG), indica que las muestras se encuentran en el campo reducido, débilmente reducido, débilmente oxidado a oxidado (Fig. 3.42), estos parámetros indican que elementos son los más importantes dentro de la misma serie magmática (cuando el grado de oxidación tiende a ser reducido existe mayor relación con mineralización aurífera); por lo tanto los resultados del CVG indican la asociación de metales W, Bi con mineralización de Au y Ag en la zona. Los resultados obtenidos comparados con otros depósitos como el de Kori Kollo (parte central de Bolivia), indican que algunas muestras se encuentran en el campo de oxidados a reducidos (Alarcón, 2000). Similares características de asociación metálica tienen el distrito de Quechisla (Ubina, Tasna, Chorolque) y otros depósitos polimetálicos en los Andes Centrales de Bolivia.



Leyenda							
n=21	Muestra	Símbolo	Tipo de roca	n=21	Muestra	Símbolo	Tipo de yacencia
1	GB-148	△	Lava	11	GB-18	○	Domo Volcánico
2	GB-111	△	Lava	12	W-149	○	Domo Volcánico
3	L-32	△	Lava	13	GB-226	○	Domo Volcánico
4	W-37	△	Lava	14	L-26	○	Domo Volcánico
5	W-70	△	Lava	15	GB-113	○	Domo Volcánico
6	GB-171	◇	Ignim brita	16	GB-114	●	Xenolito (GB-113)
7	GB-19	◇	Ignim brita	17	SB-1	▲	Stock Subvolcánico
8	GB-202	◇	Ignim brita	18	W-36	□	Dique
9	GB-185	◆	Pómez	19	GB-220	□	Dique
10	GB-207	◆	Pómez	20	W-50	□	Dique
				21	W-69	□	Dique

Fig. 3.49. Diagrama de variación log-log de TiO_2 (wt%) vs. Zr (ppm) del complejo.Fig.3.50. Diagrama de TiO_2 (wt%) vs. Rb/Sr del Complejo Volcánico Galán.



Leyenda							
n=21	Muestra	Símbolo	Tipo de roca	n=21	Muestra	Símbolo	Tipo de yacencia
1	GB-148	△	Lava	11	GB-18	○	Domo Volcánico
2	GB-111	△	Lava	12	W-149	○	Domo Volcánico
3	L-32	△	Lava	13	GB-226	○	Domo Volcánico
4	W-37	△	Lava	14	L-26	○	Domo Volcánico
5	W-70	△	Lava	15	GB-113	○	Domo Volcánico
6	GB-171	◇	Ignim brita	16	GB-114	●	Xenolito (GB-113)
7	GB-19	◇	Ignim brita	17	SB-1	▲	Stock Subvolcánico
8	GB-202	◇	Ignim brita	18	W-36	□	Dique
9	GB-185	◆	Pómez	19	GB-220	□	Dique
10	GB-207	◆	Pómez	20	W-50	□	Dique
				21	W-69	□	Dique

Fig.3.51. Diagramas de “spiderdiagram” normalizado a condrito y elementos de tierras raras normalizado a C1 condrito del Complejo Volcánico Galán, con valores bajos Pb y Ni.

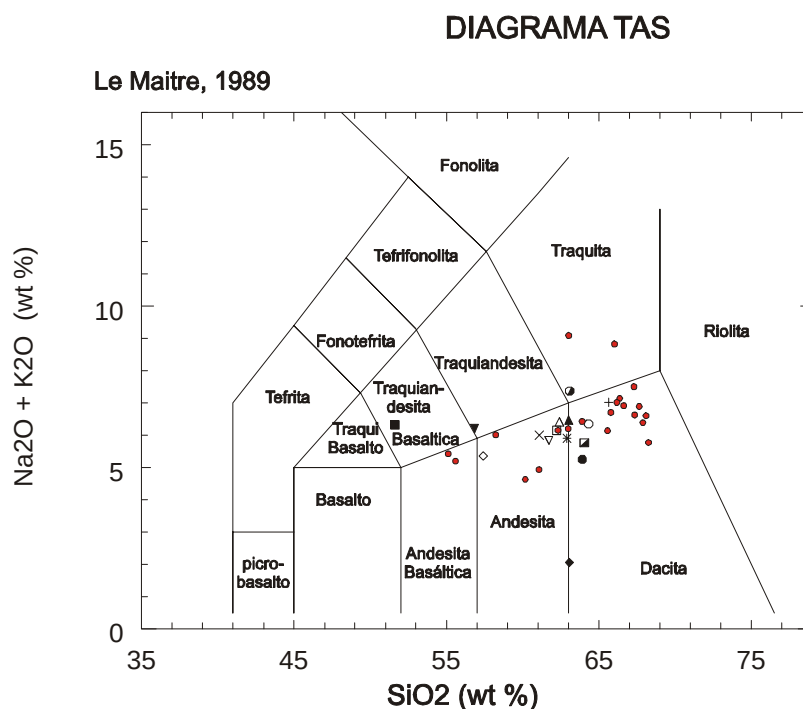


Fig.3.52. Diagrama TAS (Le Maitre, 1989) de clasificación de rocas de la región de Esmoraca (tomado de Lema y Ramos Collorana, 1997). Las muestras en círculos rojos corresponden al Complejo Volcánico Galán.

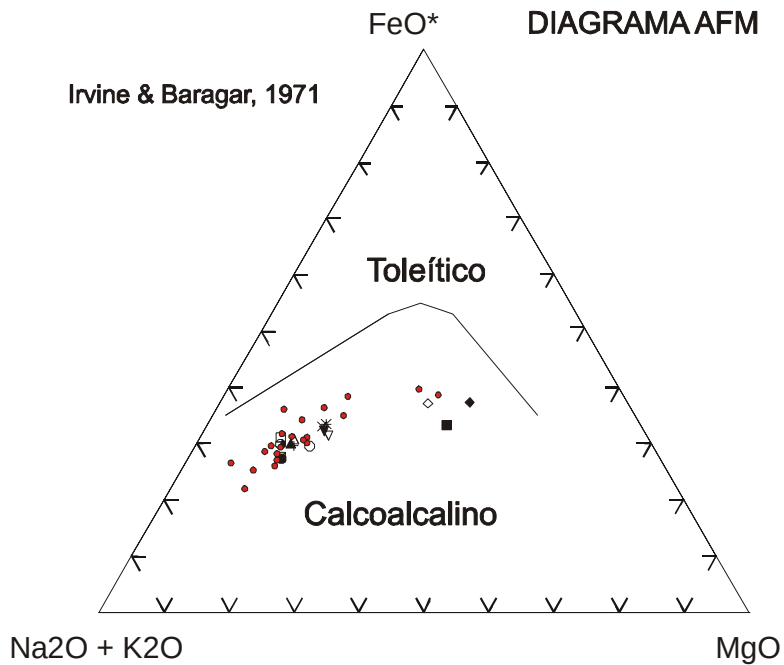


Fig.3.53. Diagrama AFM (Irvine y Baragar, 1971) de rocas de la región de Esmoraca (tomado de Lema y Ramos Collorana, 1997). Las muestras en círculo rojo son del Complejo Volcánico Galán.

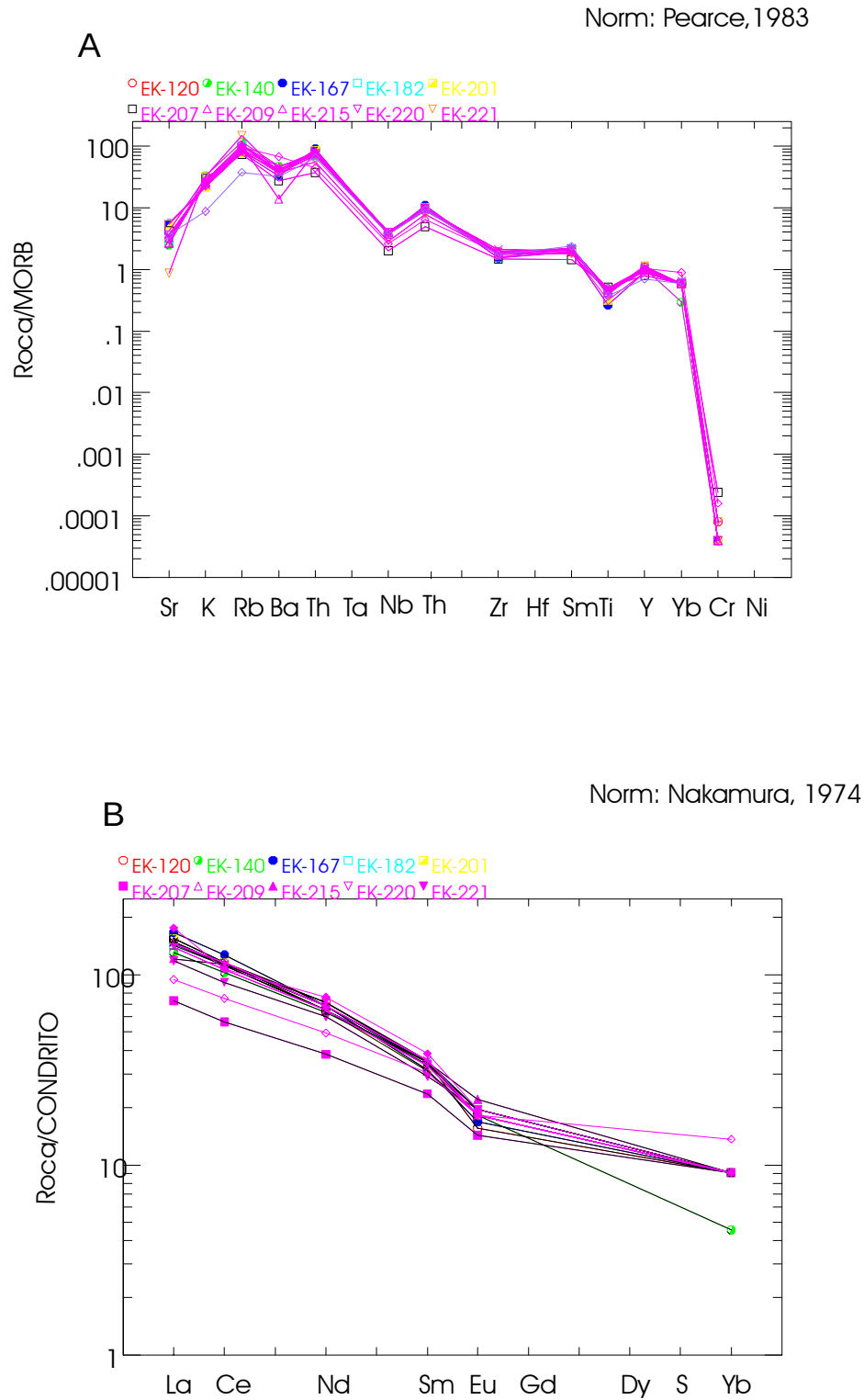


Fig.3.54. A. Diagrama “spiderdiagram” normalizado a Pearce (1983). B. Diagrama REE normalizado a Nakamura (1974) de rocas de la región de Esmoraca (tomado de Lema y Ramos Collorana, 1997).

La diferenciación magmática de las rocas indica una relación con la mineralización, porque cuanto mayor sea esta diferenciación, las condiciones para la formación de yacimientos son favorables. Este concepto aplicado a la zona de estudio indica que aunque el grado de fraccionamiento es moderado (relaciones de TiO_2 y Zr), en las muestras del Complejo Volcánico Galán existe una relación con la mineralización. Si consideramos la relación SiO_2 vs. K_2O , muestra una directa relación proporcional, es decir, que tiene una correlación positiva, con alto contenido de potasio, aunque la pendiente es menor en el diagrama de Harker de esta relación (Fig. 3.41) con algunas muestras (GB-220 y SB-1) que están por encima del conjunto. Los diagramas de variación de Harker de las relaciones TiO_2 y CaO , tienen tendencias negativas, que se manifiestan principalmente en el CaO . Estos resultados indican condiciones favorables del grado de diferenciación magmática con la mineralización de la zona que se refleja en las características de los depósitos minerales que se encuentran asociados al Complejo Volcánico Galán.

3.6. Conclusiones

El Complejo Volcánico Galán está conformado por rocas volcánicas, compuestas de lavas, ignimbritas, domos volcánicos, brechas volcánicas (este del Cerro Lipina) y brechas hidrotermales (cerro Colorado, cerro Laguna); intruidas por diques y stocks subvolcánicos que afectan tanto a rocas sedimentarias (sustrato) como a las volcanitas del complejo mismo. Las unidades que se encuentran en la base de este complejo volcánico son piroclásticas, con granulometría gruesa en la parte oriental y más fina en la parte occidental, los litoclastos de hasta 7 m de tamaño, son de lavas, ignimbritas, areniscas de las formaciones Potoco, San Vicente y algunas areniscas de edad ordovícica. En general son depósitos matriz soportados de coloración gris blanquecina a verdosa hasta violácea. Las lavas se encuentran en las cumbres de los cerros (San Pedro, Lipina, Azulejos, Aguas Calientes, Laguna y Khata Jara). Son de grano medio a grueso, de color verdoso a azulado, con una textura porfírica con fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita, mientras que el tamaño de los cristales varía hasta de 1 cm, las que están en una matriz microcristalina.

Las características petrológicas del Complejo Volcánico Galán indican una composición andesítica a dacítica-riodacítica y la textura de la roca es porfírica. Pertenecen a la serie calcoalcalina rica en potasio, asociadas con una

mineralización polimetálica y con cierta tendencia a estar relacionados a oro, lo que justifica la asociación de W, Bi, Pb, Au-Ag de la zona.

Capítulo 4

DEPÓSITOS MINERALES DEL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN

Capítulo 4

DEPÓSITOS MINERALES EN EL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN

4.1. Introducción

Diversas empresas nacionales y extranjeras, orientaron su exploración en el ambiente volcánico del suroeste de Bolivia. La zona es favorable por las manifestaciones minerales (Fig. 4.1) y la explotación de depósitos minerales como San Antonio de López (Mestizo), Escala, cerros Bonete (Lipeña) y Morokho que se realizaron en los López (Ahlfeld y Schneider-Scherbina, 1964).

Los depósitos minerales (Fig. 4.2) en el Complejo Volcánico Galán (Mioceno medio), conocido por otros autores como Esmoraca (Ludington et al., 1992 a; Miranda et al., 2000, Mérida, 1969), conforman parte de la Faja Estañífera (Ahlfeld, 1967; Ahlfeld y Schneider-Scherbina, 1964; Turneure, 1971; Sillitoe, 1976, 1987; Claire y Minaya, 1979, Lehmann et al., 1990). Esta faja se encuentra distribuida a lo largo de los Andes Centrales del territorio boliviano y se extiende en el extremo norte del territorio argentino.

La historia minera se remonta a la época colonial (Capriles, 1977; Ahlfeld y Schneider-Scherbina, 1964; Sobel, 1963, Martínez, 1961, COMIBOL, 1958), en la cual aprovecharon oro y plata del socavón Oviedo. En el periodo de la República (posterior al año 1825) se descubrió el bismuto (1880) en las secciones de Khasayoj (Manto) y Azulejos, sin embargo es Federico Thiel quien explotó en la comarca el Bismuto (1900), con una producción estimada de 300 toneladas finas hasta 1928. Esta familia (padre e hijo) explotaron posteriormente el wolframio entre los años 1893 hasta 1963 aproximadamente. Otros propietarios en este distrito fueron los Sres. Alarcón, Mendivil y Paravicini; quienes explotaron plata (desde 1907) y en la época de Paravicini se mantuvo a 450 obreros. En 1920 se hace cargo la Compañía Aramayo de Mines de Bolivia (CAMB), quienes trabajaron solo algunos avances en la veta Santa Rosa de la mina Azulejos. Mencionan que la producción fue de 500 toneladas con 50% de Bi y 30 a 250 g/t de oro entre los años 1912 y 1927. La explotación de oro aluvional (río Esmoraca) está referida por el Sr. Velásquez (Murillo, 1983) quien menciona que en el año 1920 se instaló una draga en la

DEPÓSITOS MINERALES EN EL SUROESTE DE BOLIVIA

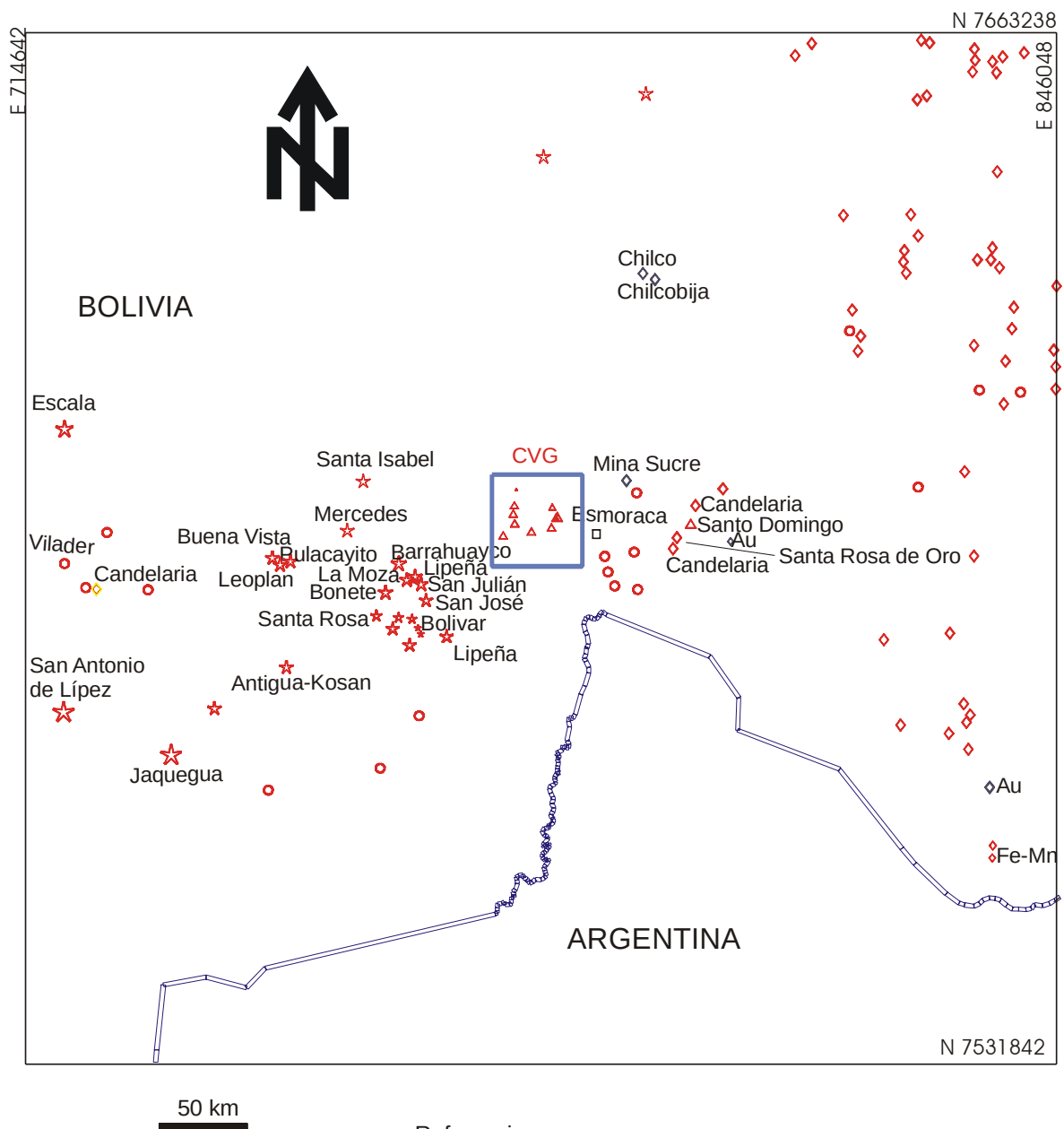


Fig. 4.1. Principales depósitos minerales en el suroeste de Bolivia. En el cuadro se muestra la ubicación de los depósitos minerales en el Complejo Volcánico Galán (CVG).

quebrada de Esmoraca que trabajó alrededor de 5 km, la cual posteriormente fue desmantelada dejando las partes en el río. Con la nacionalización de las minas (1952) las propiedades pasan a la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL) del estado boliviano y posteriormente las propiedades mineras fueron arrendadas al Sr. Guillermo Gonzáles (1953 - 1959) y Cesar Sevilla (1959 - 1962). Desde julio de 1962 hasta 1969 trabajó la Cooperativa Esmoraca Ltda. con alrededor de 60 personas entre socios y jornaleros. Posteriormente COMIBOL (1971) crea la Empresa Minera Esmoraca, con la finalidad de explotar sus concesiones. La Empresa San José de Berque (1966) arrendó de Eva Thiel (hija de Federico Thiel), la concesión con opción a compra (Cortéz, 1966), posteriormente la propiedad paso a Orlando Delgado (Baldellón y Quezada, en prensa). En el año 1971, las zonas de los sucesores de Federico Thiel, fueron alquiladas a Juan Melé Bach, quien aproximadamente recuperó 20 toneladas finas mensuales de wolframio.

Actualmente los trabajadores mineros de la mina Pueblo Viejo (Fig. 4.3), con la dirección del interventor Ing. René Medrano realizan la explotación del yacimiento mencionado.

En el Complejo Volcánico Galán (Fig. 4.4) se localizan varios depósitos minerales (Fig. 4.2), además de prospectos en los cuales las condiciones metalogénicas son favorables.

4.2. Depósitos minerales en el Complejo Volcánico Galán

Los principales depósitos minerales (Tabla 4.1 y Fig. 4.2) en el Complejo Volcánico Galán (Ramos Collorana y Fernández, 2005) se explotaron por oro, plata, bismuto (época colonial y hasta los años sesenta). En la actualidad solamente se encuentra en producción la mina de wolframio Pueblo Viejo; sin embargo están emplazadas además, varias vetas en minas abandonadas como Lipina (Pb), Azulejos (Bi, Ag, Pb), San Martín (Pb), Khasayoj (Pb, Ag), Farellones (W, Pb), Central (Bi, Pb, Ag, Au), Villarroel (Pb), Cuatro Ases (Pb) y Toldos (Zn). Además de los yacimientos mencionados, existen manifestaciones minerales de escala menor y zonas de alteración en distintas áreas de este distrito, cuya distribución y caracterización contribuirá sobre el potencial metalogenético de la región.

Mapa geológico y depósitos minerales

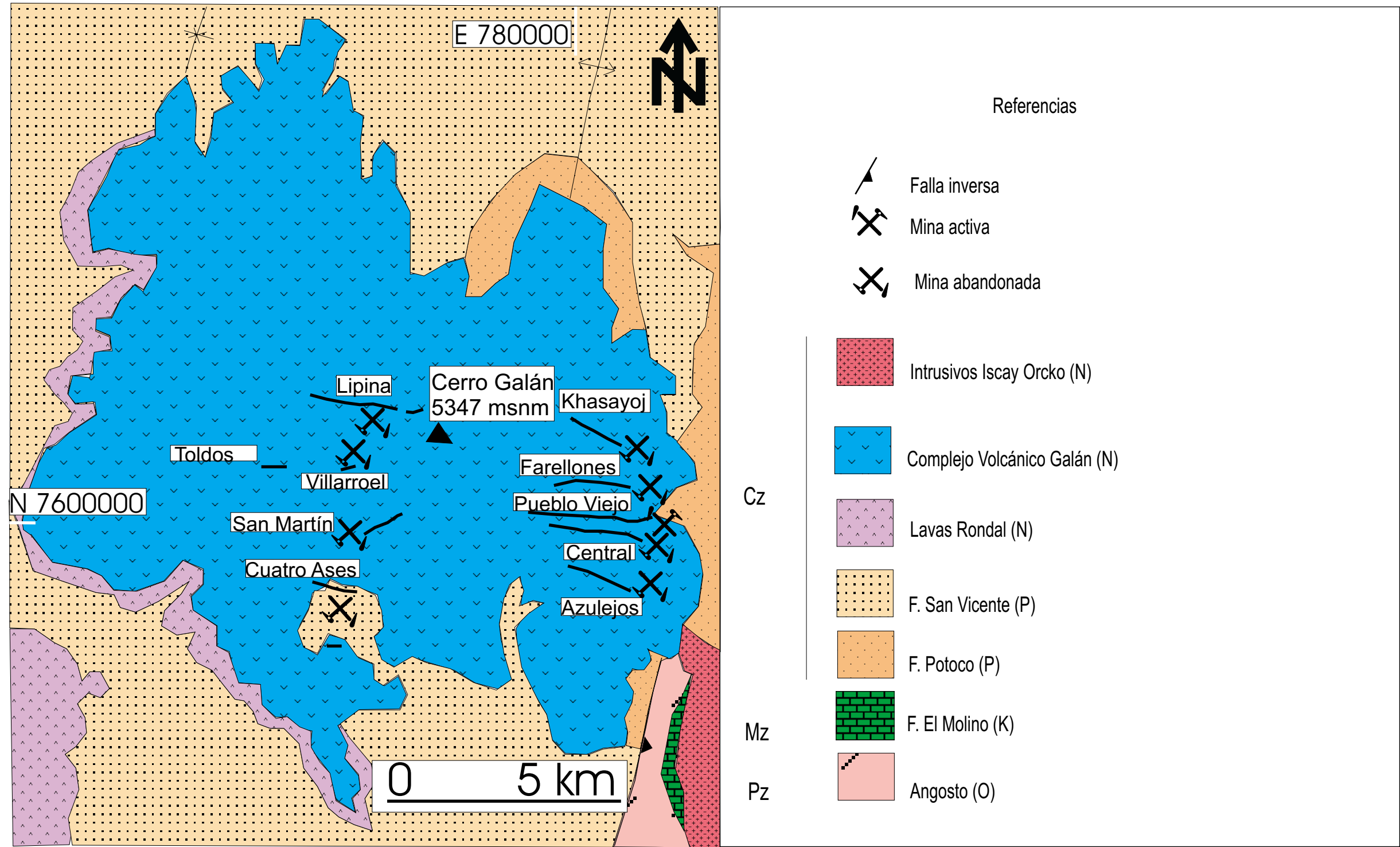


Fig.4.2 Geología y depósitos minerales en el Complejo Volcánico Galán

Tabla 4.1. Características de los principales depósitos minerales en el Complejo Volcánico Galán				
Depósitos	Mineralización	Alteración	Roca caja	Características de las vetas
Pueblo Viejo (W,Bi,Au)	Wolframita, hematita, bismutinita, esfalerita, cuarzo, pirita, calcopirita, turmalina, casiterita, calcocita, bismutita.	Turmalinización, sericitización, caolinización, silicificación.	Stock subvolcánico	Rumbo E-O y buzamiento de 70° S y N. Longitud de 1500 m y potencia variable de hasta 2 m.
Central (Bi, Pb, Ag, Au),	Calcopirita, pirita, hematita, esfalerita, bismutinita, bismutita, wolframita, casiterita, cuarzo, baritina y siderita.	Turmalinización, propilitización, sericitización, caolinización,	Stock subvolcánico	Rumbo E-O a N 60° E y buzamiento de 70° S. Longitud de 600 m y potencia de 0.50 m.
Farellones (W, Pb),	Bismutinita, especularita, pirita, arsenopirita, calcopirita, cuarzo, wolframio y óxidos de Fe	Propilitización, sericitización, argilización y oxidación	Lava	Rumbo E-O y buzamientos de 70° N. Longitud 100 m y potencia promedio de 0.20 m.
Azulejos (Bi, Ag, Pb),	Galena, pirita, calcopirita, bismutinita, esfalerita, oro, bismutita, cuarzo, siderita, malaquita y óxidos de Fe.	Propilitización, sericitización, silicificación, argilización y oxidación	Lava y domo volcánico	Rumbo E-O a N 75° O y buzamientos verticales a 85° SO. Longitud de 200 m y espesor de 0.20 m.
Khasayoj (Pb, Ag),	Bismutinita, wolframita, galena, esfalerita, calcopirita, bismuto nativo con relleno de hematita, malaquita y azurita.	Sericitización, propilitización y silicificación.	Ignimbritas y domo volcánico	Rumbo N 78° E y buzamiento de 85° SE. Longitud de 100 m y potencia de 0.80 m.
San Martín (Pb),	Bismutinita, calcopirita, wolframita, galena, esfalerita, pirita, cerusita, bismutita, malaquita y azurita	Propilitización, argilización, sericitización, silicificación y oxidación	Ignimbritas, lavas y domos	Rumbo E-O a N50° E y buzamiento vertical a 70° SE. Longitud de 600 m y espesor de 0.50 a 0.70 m
Lipina (Pb),	Galena, esfalerita, bismutina, pirita, calcopirita, cuarzo, malaquita y óxidos de Fe.	Propilitización, argilitización, Silicificación y oxidación	Ignimbritas	Rumbo E-O a N 80° E y buzamiento vertical. Longitud de 800 m y potencia de 0.70 m.
Cuatro Ases (Pb)	Pirita, calcopirita, galena, baritina, azurita y óxidos de Fe.	Argilización, propilitización	Conglomerado e ignimbritas	Rumbo E-O y buzamiento 60° a 80° N. Longitud de 500 m y espesor de 0.30 m.
Villarroel (Pb),	Pirita, galena, esfalerita y cuarzo	Propilitización, argilización y oxidación	Ignimbritas	Rumbo E-O y buzamiento 70° N. Longitud de 10 m y espesor de 0.30 m
Toldos (Zn)	Esfalerita y óxidos de Fe	Propilitización, oxidación y argilización	Ignimbritas	Rumbo E-O y buzamiento 70°-80° N. Longitud de 20 m y espesor de 0.70 m.

Tabla. 4.1. Resumen de las características sobresalientes de los principales depósitos minerales del Complejo Volcánico Galán.

4.2.1. Mina Pueblo Viejo (W, Bi, Au, Ag)

4.2.1.1. Ubicación

La mina está ubicada en el lugar denominado Pueblo Viejo, aproximadamente a 8 km al noroeste del Cantón de Esmoraca, provincia Sur Chichas del Departamento de Potosí, República de Bolivia, cerca al límite con la República Argentina. El distrito está en la parte oriental del Complejo Volcánico Galán (Fig. 4.2), a una altura alrededor de 4200 msnm en las coordenadas (UTM) N 7606090 y E 781900 (latitud de 21°40'00" y una longitud de 66°17'00").

La producción mensual estimada es alrededor de 30 a 40 toneladas y los concentrados contienen alrededor de 60 a 70 % de WO_3 . En épocas anteriores, Vedia y Cortez (1966) indicaron una producción durante la etapa de Thiel (hijo) de 10 toneladas mensuales con una ley de 65% de WO_3 , por el año 1966 la producción bajo a 2 toneladas con 67% de WO_3 . Los antecedentes anteriores (MRDS, 1993a) estiman que la Empresa minera San José de Berque LTDA (MINTEC I-P-17), cuenta con 107515 t con 1 % de WO_3 de reservas (positivas y probables).

4.2.1.2. Geología del depósito

En el área de Pueblo Viejo (Fig. 4.3) afloran areniscas y limolitas rojizas a amarillentas de la Formación Potoco, cubiertas por niveles epiclásticos, ignimbritas y además, lavas del Complejo Volcánico Galán que afloran en la parte alta de los cerros. Este conjunto se encuentra intruído por un stock subvolcánico (Fig. 4.5) de composición ácida, el cual constituye la roca encajonante de las vetas. Esta roca consiste en fenocristales de cuarzo, plagioclasa y biotita en una pasta microcristalina; así mismo es de una gran dureza por silicificación, propilitización (impregnación de pirita) y turmalinización; mientras que en las salbandas de las vetas existe caolinización y sericitización. El contacto del stock y las rocas epiclásticas se encuentra en el nivel Balderrama (Fig. 4.7); asimismo el contacto entre la Formación Potoco y el stock subvolcánico aflora en el sector norte y sur.

Geología y depósitos minerales de Pueblo Viejo, Central y Farellones

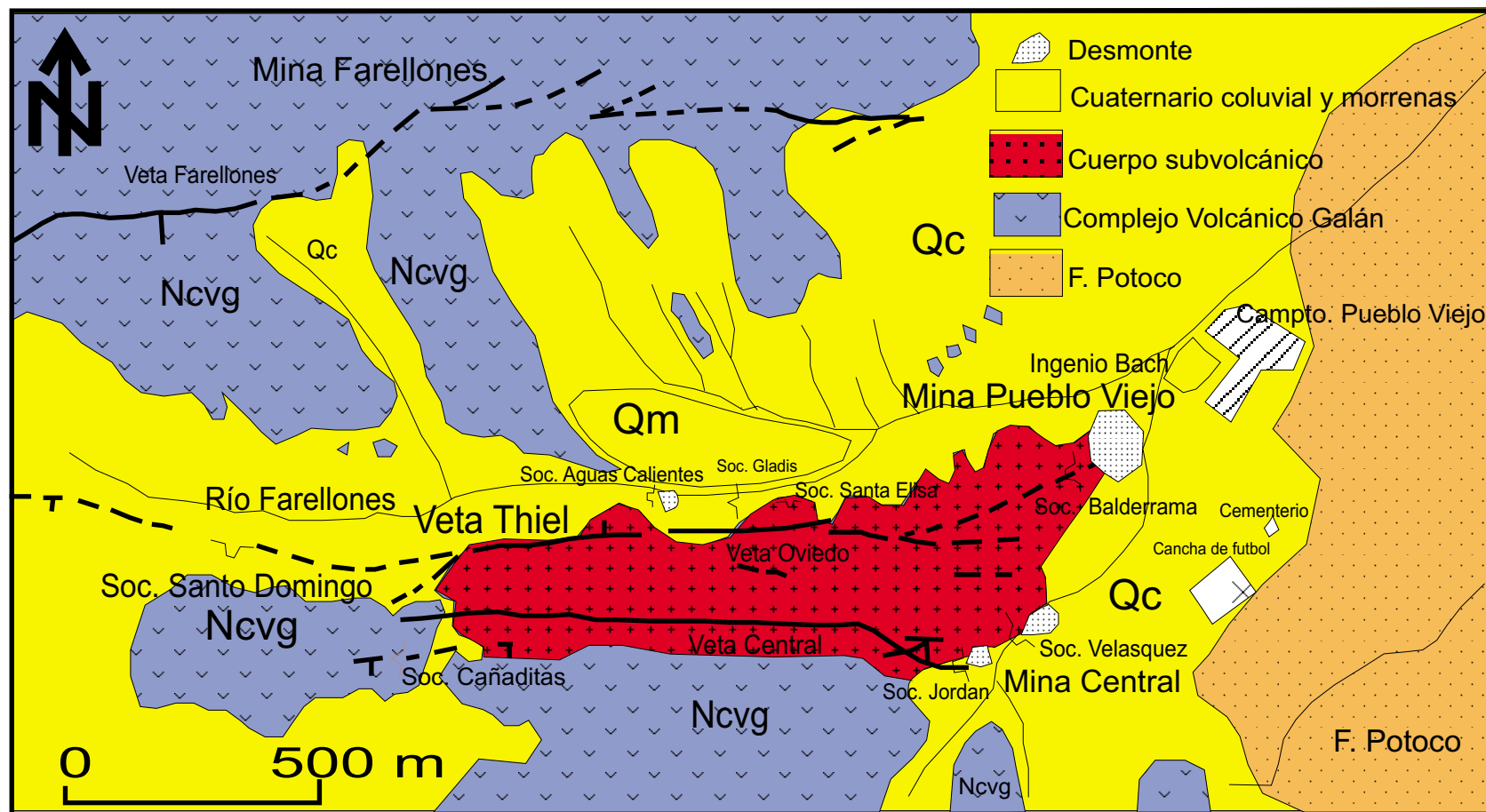


Fig. 4.3. Geología y depósitos minerales de Pueblo Viejo, Central y Farellones, ubicados en la parte oriental del complejo.



Fig. 4.4. Fotos del Complejo Volcánico Galán. A. Vista al Sur. B. Vista al Norte



Fig. 4.5. A. Foto de las minas Pueblo Viejo, Central y Azulejos . B. Foto de desmontes de la mina Pueblo Viejo.

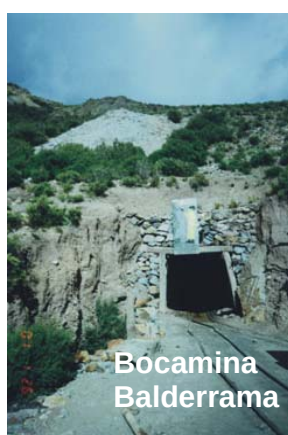


Fig. 4.6. Foto de la bocamina Balderrama de la mina Pueblo Viejo.

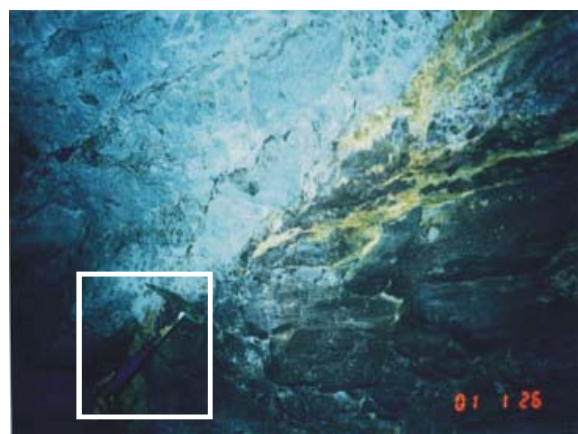


Fig. 4.7. Foto contacto del cuerpo subvolcánico en el socavón Balderrama. En cuadro martillo como escala.

4.2.1.3. Descripción del depósito

La tipología del depósito de Pueblo Viejo es vetiforme (Fig. 4.14 a 4.19). Es un yacimiento hidrotermal resultado de un enriquecimiento por relleno de fisuras.

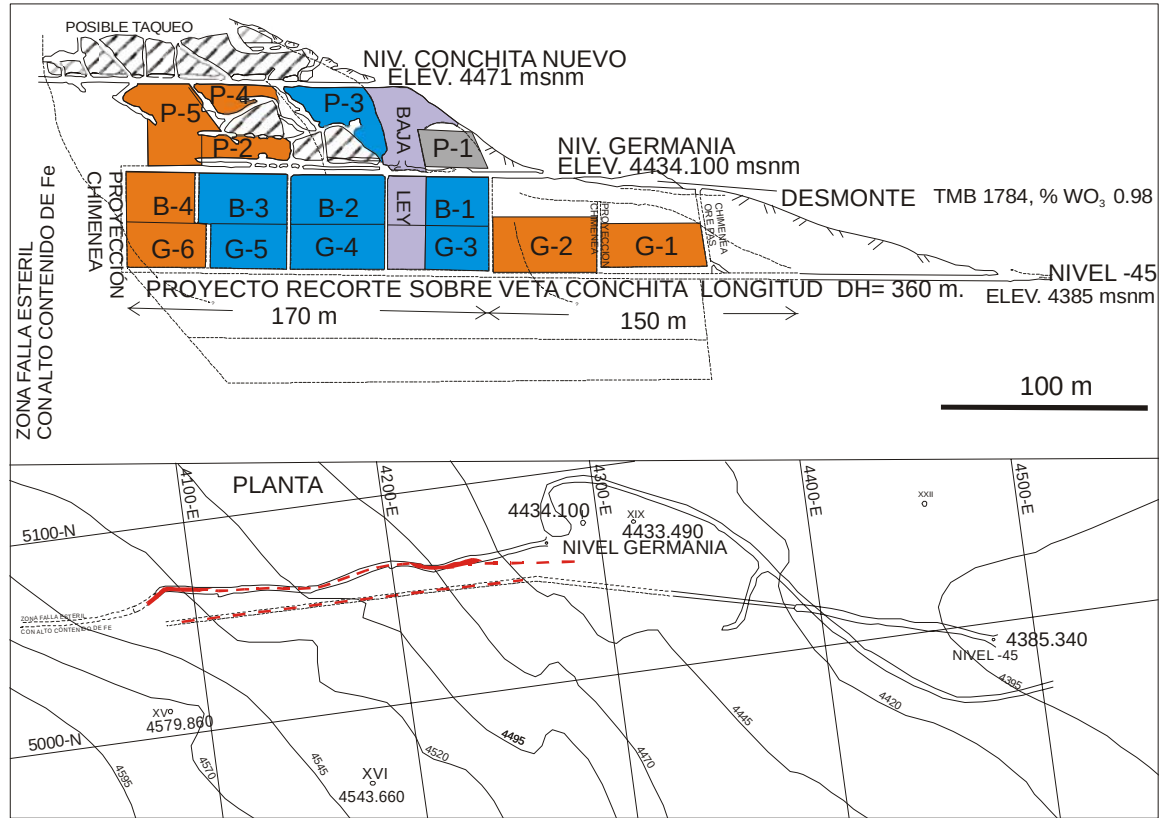
4.2.1.3.1. Sistema de vetas

La mina Pueblo Viejo está conformada por un sistema de vetas (Ramos Collorana et al., 2002 c), a las cuales se accede por distintos socavones y niveles (Mérida, 1969). Las vetas principales son Thiel, Oviedo (Fig. 4.3), Germania (Fig. 4.8 y 4.9), sección Aguas Calientes (Fig. 4.10), San Martín e Inesperada (Fig. 4.11 a 4.13), las cuales son de dirección general este - oeste a N 70° - 80° O y una potencia variable de hasta 2 m excepcionalmente, mientras que la textura varía de acuerdo a la zona desde masiva (Fig. 4.14 a 4.17), bandeada (Fig. 4.18), drúsica y brechosa (Fig. 4.19).

El sistema de vetas de la mina Pueblo Viejo tiene una extensión aproximada de 1500 m (Fig. 4.3), el afloramiento es irregular y discontinuo con una dirección variable, así como en el buzamiento tanto al sur como al norte; además las ramificaciones de la veta están desarrolladas en la parte oriental. Las características generales a lo largo de esta estructura mineralizada son particulares en cada sector. En la parte occidental se encuentra la veta Germania (Fig. 4.8 y 4.9), con una dirección predominante este - oeste y un buzamiento de 70° S, con ancho medio de la veta de 0.45 m y el ancho medio de explotación es alrededor de 1 m. La ley varía entre 0.51 a 2.53 % WO₃ (Fig. 4.8). En la sección Aguas Calientes (Fig. 4.10), el rumbo general de las vetas es N 70° O y una deformación cambia el rumbo a N 41° O; el buzamiento varía entre 30° y 86° NE. Entre estas dos secciones descriptas existe un desnivel de 200 m y una separación de 700 m. En el sector de Aguas Calientes viejo, se describen fallas con leve desplazamiento con rumbo N 10° E y buzamiento de 86° E, que están rellenas con óxidos de Fe. Además hay fracturas de dirección norte - sur, con buzamientos al este y oeste (Mérida, 1969).

La veta Thiel está ubicada en la parte central, con una dirección este - oeste y buzamiento de 65° al norte, además el ancho promedio varía de 0.40 a 0.50 m, aunque en sectores alcanza 2 m de potencia.

Fig. 4.8. PLANO Y SECCIÓN LONGITUDINAL VETA GERMANIA



Veta Germania

Tipo de bloque	Positivo (P-5)	Positivo (P-4)	Positivo (P-3)	Positivo (P-2)	Positivo (P-1)	
Nombre	G-5-95	G-4-95	G-3-95	G-2-95	G-1-95	
TMB	3573	765	846	897	1083	
% WO ₃	2.53	0.83	0.51	0.83	1.08	
Tipo de bloque	Probable (B-4)	Probable (B-3)	Probable (B-2)	Probable (B-1)		
Nombre	G-4-95	G-3-95	G-2-95	G-1-95		
TMB	2229	3083	1963	1901		
% WO ₃	1.82	0.66	0.51	0.85		
Tipo de bloque	Posible (G-6)	Posible (G-5)	Posible (G-4)	Posible (G-3)	Posible (G-2)	Posible (G-1)
Nombre	G-6-95	G-5-95	G-4-95	G-3-95	G-2-95	G-1-95
TMB	2491	2622	1835	1835	1876	4275
% WO ₃	1.46	0.55	0.51	0.77		

Fig. 4.8. Plano y sección longitudinal de la veta Germania. Se muestra los niveles de explotación, el recorte propuesto en el nivel -45, además la distribución de leyes en la sección longitudinal. En la parte inferior los datos correspondientes a los bloques.

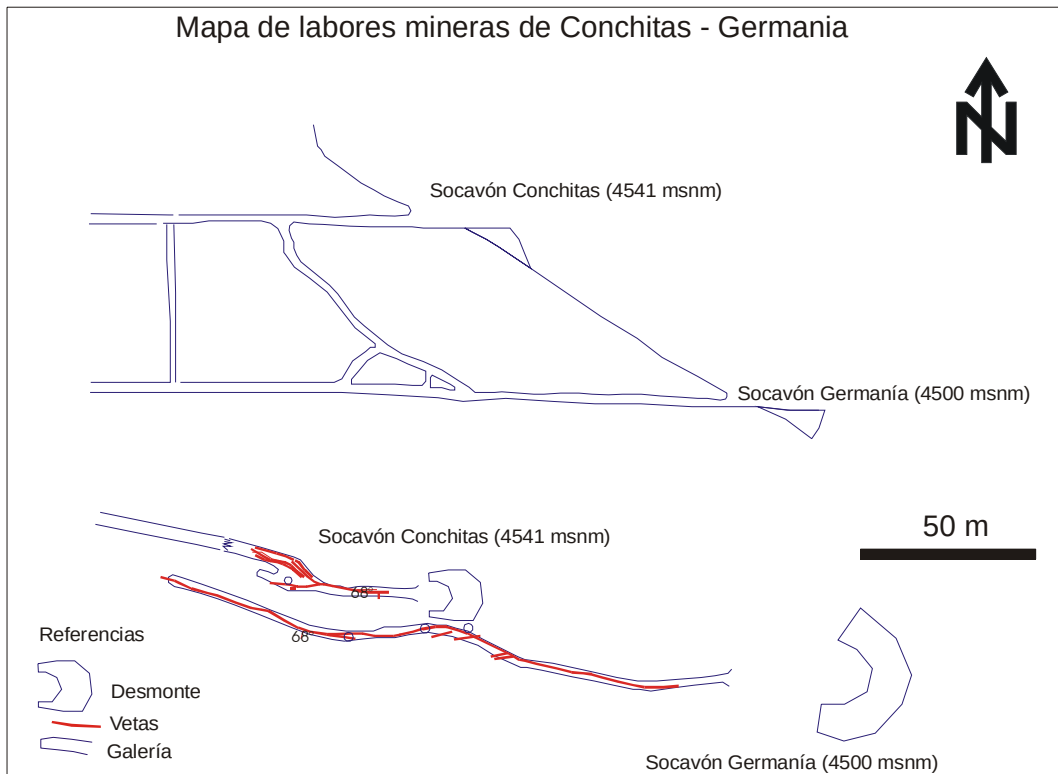


Fig. 4.9. Mapa y perfil longitudinal de la sección Conchitas - Germania de la mina Pueblo Viejo (mapa base de Vedia y Cortez, 1966).

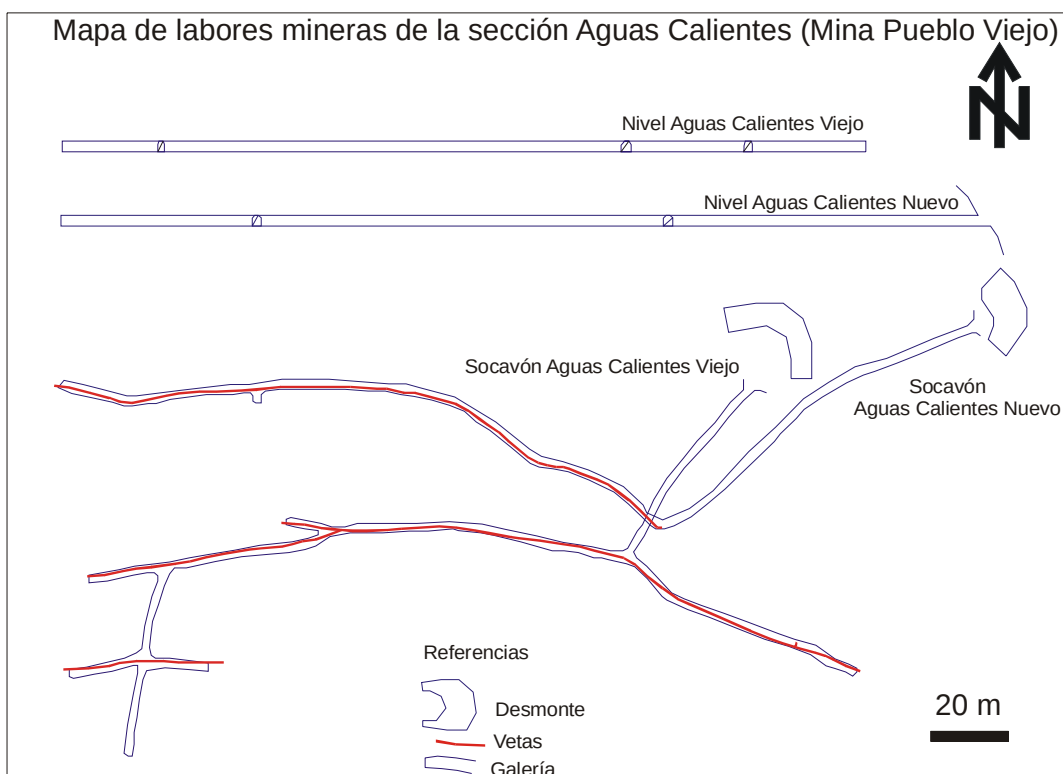


Fig. 4.10. Mapa y perfil longitudinal de la sección Aguas Calientes de la mina Pueblo Viejo (mapa base de Vedia y Cortez, 1966).

Esta es la zona mejor mineralizada de wolframita y la extensión fue reconocida en el extremo oriental en el nivel Santa Elisa.

La veta San Martín (Fig. 4. 11 y 4.12) posee un espesor máximo de 0.70 m, mientras que el ancho promedio (AMV) en los bloques de los niveles Berque y Balderrama es de 0.39 m; además el ancho medio de explotación (AM) es de 1.30 m. La dirección de la veta es este – oeste y el buzamiento de 70° S, con una textura masiva y bandeada. La ley promedio de veta es de 1.80 % de WO_3 ; la presencia de hematita aporta contenidos de Fe de 16.11 %.

La veta Inesperada (Fig. 4.11 y 4.13) posee una dirección N 95° y su buzamiento es 60° N. Esta veta continúa en los niveles superiores Berque y Santa Elisa y en los niveles inferiores. El ancho medio de la veta (AMV) de los bloques entre los niveles Berque y Balderrama es 0.39 m y el ancho medio de explotación (AM) es 1.33 m. La ley promedio de veta es de 2.25 % de WO_3 , con 12.21 % Fe debido a la presencia de hematita.

En la sección Cañaditas la veta presenta ramificaciones y el rumbo varía de S 70° O a S 75° O, con buzamientos de 88° SE y un ancho de 0.15 a 0.80 m.

Las características descritas anteriormente podrían ser similares en los niveles inferiores, por la particularidad de las vetas con relación a la ley y a los espesores mencionados en los niveles Balderrama y el nivel inferior N-30. En éste último nivel el espesor de la veta San Martín es de 0.70 m. A lo largo de toda la estructura las vetas tienen ramificaciones, que están dispuestas en fracturas y diaclasas en la roca encajonante.

4.2.1.3.2. Mineralogía

La mineralogía en la mina Pueblo Viejo es polimetálica. El mineral de mena principal es la wolframita a la que se asocian bismutina, bismutita, esfalerita; además de la presencia de pirita, calcopirita, hematita, raramente casiterita y cuarzo como mineral de ganga más abundante. La presencia de metales de Au y Ag fue determinada mediante análisis químicos.

Ludington et al., (1992 a), indican análisis de los desmontes de Pueblo Viejo de 15 ppm de Au, 1.2 % Cu, 0.9 % Bi, además de la presencia de Sn (casiterita) y W,

SECCIÓN LONGITUDINAL SAN MARTÍN- INESPERADA

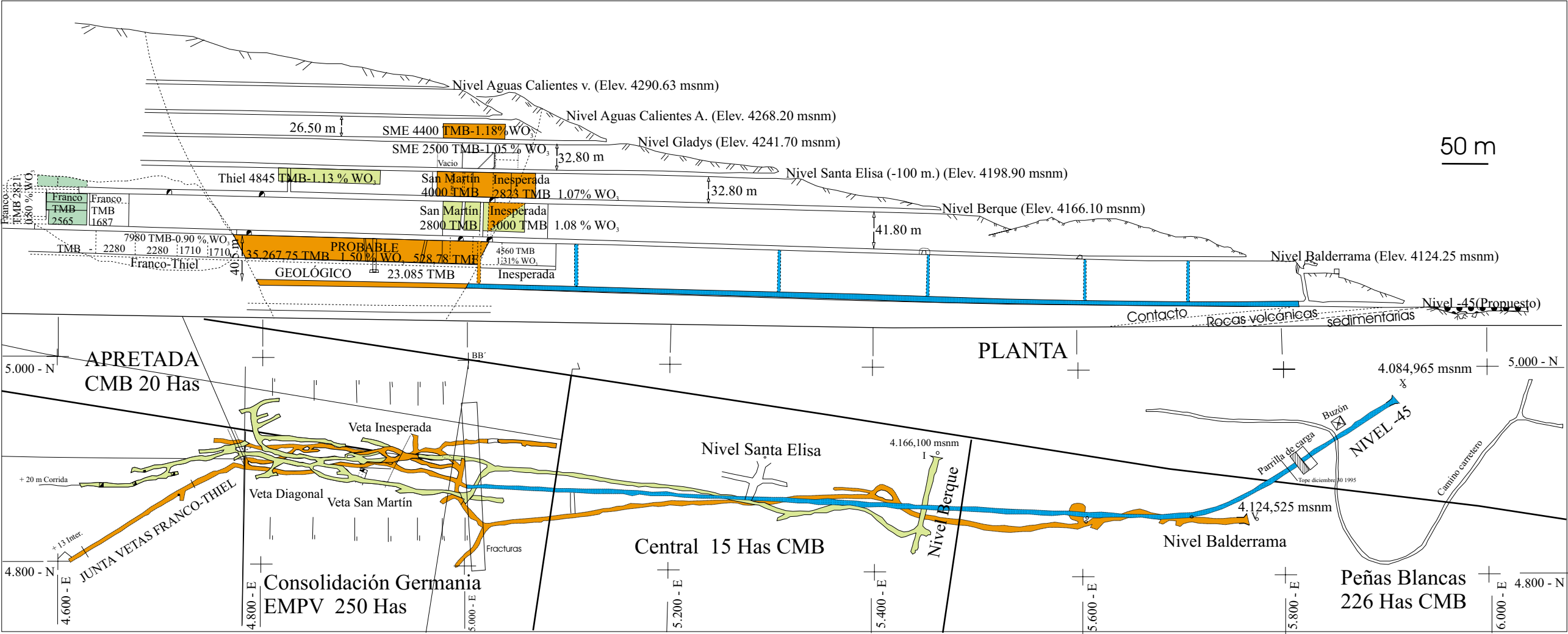


Fig. 4.11. Plano y sección longitudinal de la mina Pueblo Viejo

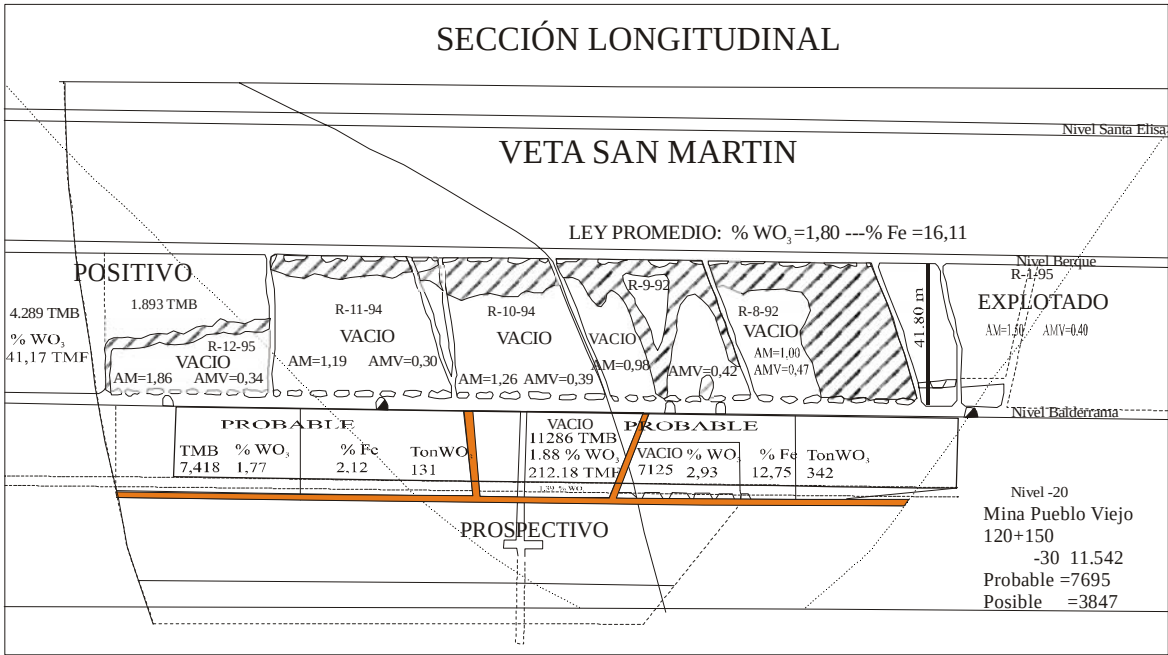


Fig. 4.12. Sección longitudinal de la veta San Martín de la mina Pueblo Viejo

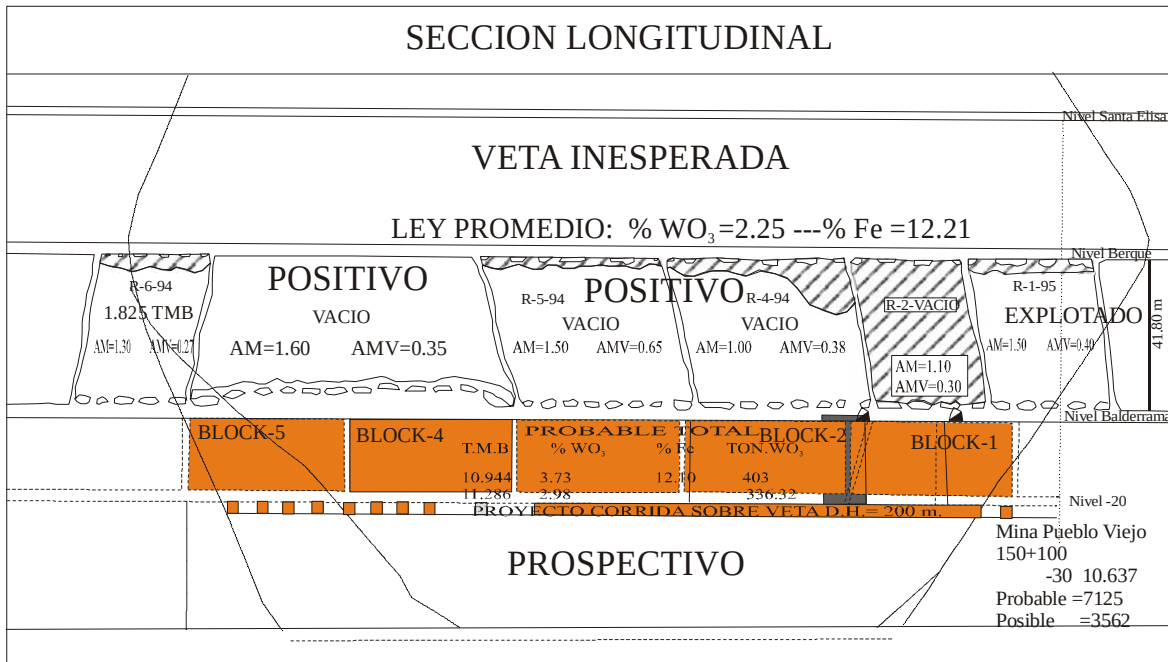


Fig. 4.13. Sección Longitudinal de la veta Inesperada de la mina Pueblo Viejo

asimismo mencionan que la composición química de la wolframita muestra relaciones de Mn : Fe : W, de 5:21:74, por lo tanto se acerca más a ferberita. La wolframita está diseminada en las vetas, en forma de cristales subedrales y granos irregulares de 100 a 200 micrones.

La sección Conchitas tiene mineralización de wolframita, limonita, pirita y cuarzo; el contenido de WO_3 en esta veta alcanza hasta 1 %.

Wieler (1971), describe que la veta Thiel tiene una zonación horizontal; en la parte oriental, posee mucha especularita, esfalerita y poca calcopirita, mientras que en el centro está la bonanza de wolframita, con una extensión estimada en 200 m para luego pasar al oeste a una mineralización de pirita, cuarzo, hematita y algo de casiterita. Esta bonanza persiste en profundidad y fue explotada en 4 niveles.

En la sección Aguas Calientes la mineralización en general es de limonita, hematita, cuarzo, pirita y wolframita. El contenido de WO_3 varía de 0.11 a 7.30 %, sin embargo el promedio en general es del 1 % de WO_3 . En esta sección existe una bonanza de wolframita en los niveles de Aguas Calientes, mientras que en los niveles inferiores el contenido de wolframio es menor a 1 %.

En la sección Cañaditas la mineralización consiste de limonita, cuarzo, pirita y wolframita. El contenido de wolframio es menor a 1 %.

En las vetas San Martín e Inesperada, en el nivel Balderrama, la mineralogía consiste en wolframita diseminada en cristales subhedrales de 2 a 3 cm, de coloración oscura, acompañada por cristales de pirita masiva y euhedral. Otro mineral común y en un porcentaje elevado es la hematita dispuesta con textura masiva. El cuarzo está en forma masiva y en pequeños cristales euhedrales rellenando cavidades.

La wolframita principalmente se encuentra en la Sección Germania, Cañaditas y Aguas Calientes, se presenta como ferberita, con 3,5 % de MnO (Banco Minero de Bolivia) que caracteriza este mineral.

Vedia y Cortez, 1966, mencionan para la veta Germania un ancho medio de 0.45 m con ley media de 3.65 % de WO_3 , mientras que para Aguas Calientes Viejo es 0.24 m con 12.75 % de WO_3 y Aguas Calientes nuevo es 0.22 m con 12.13 % de WO_3 .



Fig. 4.14. Fotos de la veta San Martín en interior mina del socavón Balderrama de la mina Pueblo Viejo.



Fig. 4.15. Fotos de la veta Inesperada en interior mina del socavón Balderrama de la mina Pueblo Viejo.



Fig. 4.16. Foto de la veta San Martín de la mina Pueblo Viejo.



Fig. 4.17. Foto de la veta San Martín en el nivel N-30 de la mina Pueblo Viejo.



Fig. 4.18. Foto de veta en la sección Germania, que muestra textura bandeada.



Fig. 4.19. Foto de veta en la sección Aguas Calientes, que muestra brecha mineralizada.

4.2.1.3.3. Alteración

La roca encajonante de la mina Pueblo Viejo, presenta alteración hidrotermal de sericitización, propilitización, turmalinización y silicificación. La primera consiste en el reemplazo de la sericita principalmente en la plagioclasa y biotita, mientras la propilitización se manifiesta por la presencia de la impregnación de piritita y clorita. Se observa la presencia de turmalina y sílice que reemplaza algunos minerales como biotita y principalmente en la matriz de la roca.

En el contacto con la roca encajonante y las vetas, se encuentran zonas de caolinización, sericitización y argilización.

Las labores mineras en la mina Pueblo Viejo, consisten en recortes y corridas a partir de bocaminas en los distintos niveles, además de chimeneas, piques y cuadros (Fig. 4.3, 4.11, 4.12, 4.13). Ramos Collorana et al., (2002 c) propusieron el desarrollo de labores mineras en la sección Germania, vetas Inesperada y San Martín, las cuales cuentan con recursos probables y prospectivos a desarrollar. La concentración de la wolframita consiste en trituración (molienda), separación de minerales (gravimétrica, flotación y magnética) y secado (horno artesanal o al sol).

4.2.1.4. Perspectivas

Por los criterios descritos anteriormente respecto a las características de las vetas (tenor, mineralogía) y el desarrollo de la mina Pueblo Viejo; se estima perspectivas favorables de exploración y explotación de este distrito.

El desarrollo del cuadro, es importante en la exploración de las vetas en los niveles inferiores hasta el nivel N-30, porque corrobora la continuidad de la veta San Martín, la cual se desarrolló hasta en 10 m de corrida, con un espesor constante del orden de 0.70 m. La mineralogía de estas es similar, aunque la proporción de cuarzo es mayor, sin embargo, con relación a las leyes de los niveles superiores (probables) de las vetas San Martín e Inesperada desde 1.77 % hasta 3.73 % WO_3 , indican que la mineralización podría ser similar. Estas perspectivas favorables de las vetas requerirían la prosecución de labores mineras mediante la continuidad del cuadro o de niveles inferiores.

Las características mencionadas indican que las vetas de la mina Pueblo Viejo muestran una tendencia de continuar en niveles inferiores, se estima por lo menos

hasta el nivel N-45; aunque se deberá corroborar esta situación a medida que avance la explotación. El desnivel total estimado de las vetas es de alrededor de 600 m, con relación a los depósitos minerales en el área, sin embargo es posible inferir mineralización en vetas en las partes elevadas del CVG. Las vetas de Pueblo Viejo están en la parte inferior de éste desnivel.

4.2.2. Mina Central (Bi, Cu, Au, Ag)

4.2.2.1. Ubicación

La mina Central se encuentra ubicada al S de la anterior (Fig. 4.2 y 4.3), a una altura de 4200 a 4300 msnm; las actividades mineras actualmente están abandonadas (MRDS, 1993 b).

La producción de Bismuto fue de 35 a 50 quintales por mes (qq/mes, 1 qq = 46 kg) con una ley de 50 % Bi, la cual disminuyó hasta 8 qq/mes (Rocha et al., 1962). El Banco Minero de Bolivia indica 37.7 % Bi, 4.1 g/t Ag y 20 g/t Au. La Cooperativa Esmoraca Ltda. (García y Ricaldi, 1970) tuvo una producción entre enero a octubre de 11.260 t de concentrado de Cu, de los cuales se han obtenido 2.433 t finas de Cu, 14.5 kg de Ag, 522.3 g de Au y 0.029 t finas Bi; mientras que del concentrado de 0.602 t de Bi se obtuvo una producción de 3.2 kg de Ag, 17.9 g de Au y 0.287 t finas de Bi.

4.2.2.2. Geología del depósito

El sector (Fig. 4.22 a 4.25) se encuentra en el borde sur de la quebrada Pueblo Viejo (Milluni), con una pendiente moderada. Está conformada por sedimentitas continentales (Fig. 4.3) de la Formación Potoco (Paleógeno), que consiste de arcillitas y areniscas rojizas las cuales en la parte oriental conforman un anticlinal volcado, cuyo eje tiene una dirección norte - sur. Este conjunto está intruido por el stock subvolcánico Pueblo Viejo (Fig. 4.23 y 4.24) de color verdoso a amarillento, de grano medio a grueso con fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita, además de una matriz fina. La tectónica se caracteriza por la presencia de fracturas, diaclasas y fallas locales con rechazos de 1 a 2 m. La dirección predominante de ellas es norte – sur, con buzamientos de 65° a 80° al E.

Mapa topográfico y de vetas de la mina Central

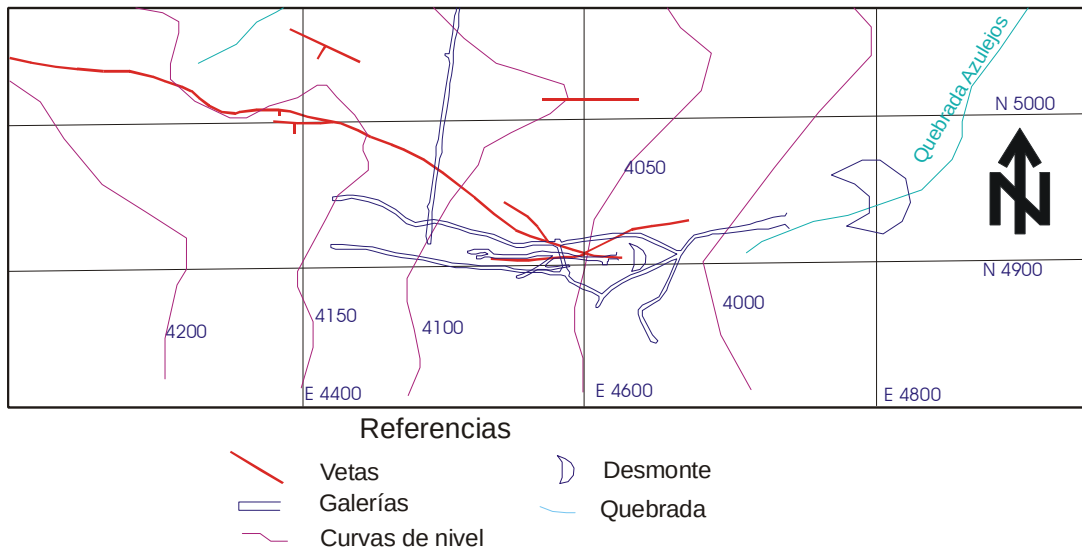


Fig.4.20. Mapa de afloramientos de las vetas de la mina Central, compilado de Ricaldi (1970), Wieler (1971) y Soruco (1972).

Plano y sección longitudinal de vetas de la mina

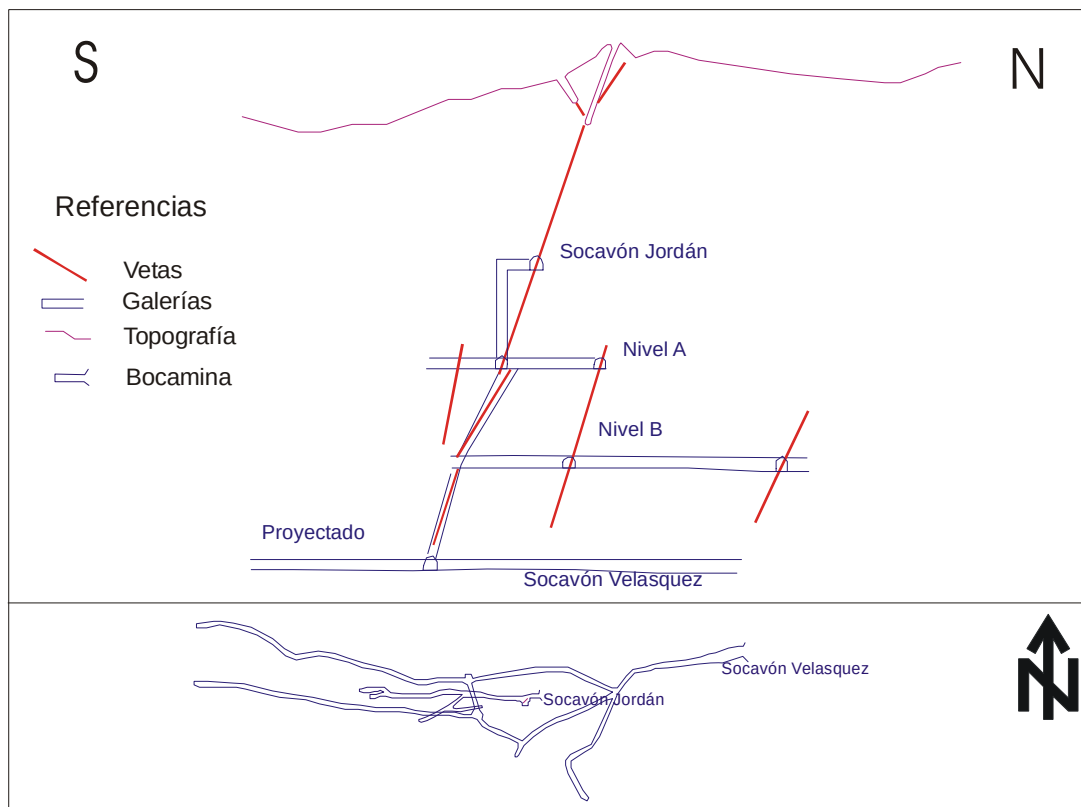


Fig.4.21. Mapa en planta y sección longitudinal transversal de las vetas de la mina Central; compilado de Ricaldi (1970), Wieler (1971) y Soruco (1972).

4.2.2.3. Descripción del depósito

La tipología de la mina Central es vetiforme y la mineralización está emplazada en el stock subvolcánico de Pueblo Viejo.

4.2.2.3.1. Descripción de las vetas

En la mina Central afloran dos vetas principales, las cuales se interceptan formando un ángulo aproximado de 20° (Fig. 4.20); mientras que en interior mina (Fig. 4.21) además fueron descritas otras dos vetas; las cuales en general fueron denominadas 1,2,3 y 4; asimismo la veta Oviedo en algunos informes esta descrita como pertenecientes a esta mina (Rocha et al., 1962; Sobel, 1963). Las vetas son lentiformes y muy irregulares; tienen una dirección este - oeste a $N 60^\circ - 70^\circ E$ y los buzamientos son de 60° a 85° al S; además existen otros delgados ramos de dirección NS con buzamiento al E.

La veta 1 es la mas importante, tiene un rumbo este - oeste y buzamiento de $85^\circ S$, en una longitud de 130 m y una potencia entre 0.10 a 0.20 m. La veta 2 tiene un rumbo este – oeste y un buzamiento de 70° a $75^\circ S$, mientras que el espesor es de 5 a 15 cm, con una longitud de 75 m y se encuentra trabajada desde el nivel Velásquez hasta superficie. La veta 3 (nivel Jordán) tiene un rumbo este – oeste con buzamiento de 75° a $80^\circ S$ y una potencia de 3 a 8 cm, con una longitud de 60 m. Estas vetas presentan pequeñas fallas de dirección NS y buzamientos hacia el oeste que ocasionan ligeros cambios en el rumbo y pequeños desplazamientos.

La veta Oviedo es de dirección este – oeste a $N 80^\circ O$ y un buzamiento de 75° al norte. El ancho de la veta varía de 0.30 a 0.60 m y una longitud de 80 m aproximadamente.

4.2.2.3.2. Mineralogía

La mineralogía de las vetas descritas (1,2,3 y 4) anteriormente son de características similares y en general consisten de calcopirita, pirita, hematita, esfalerita, bismutinita, bismutita; mientras que la ganga es principalmente cuarzo, baritina, siderita y caolinita. Los metales presentes en esta mina son Bi, W, Sn, Au, Pb, Zn y Ag.

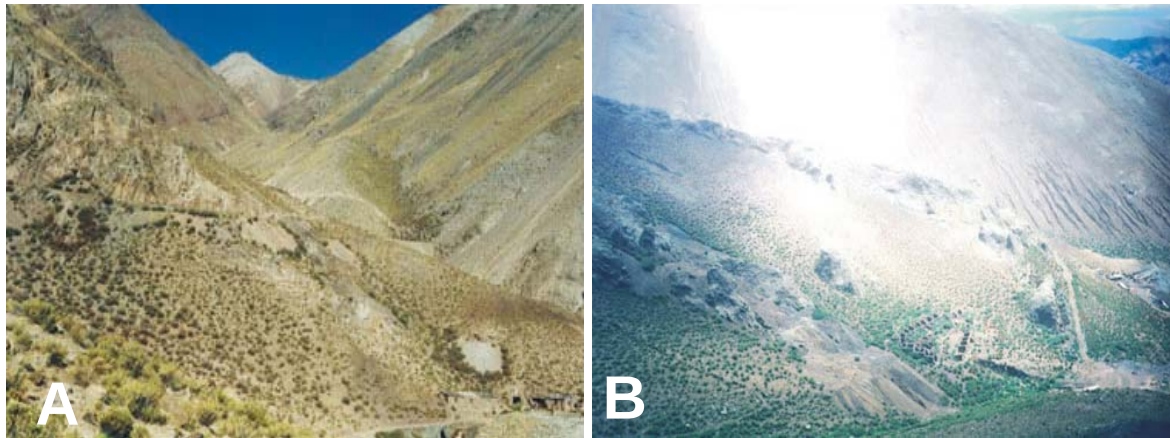


Fig. 4.22. Fotos de la mina Central. A. Sector oriental y parte de la mina Pueblo Viejo. B. Afloramientos y desmonte de la mina.



Fig. 4.23. Foto contacto del cuerpo subvolcánico con la Formación Potoco.



Fig. 4.24. Foto del afloramiento del cuerpo subvolcánico en la zona de la mina Central.



Fig. 4.25. Foto de la mina y desmonte de la mina Central.

El contenido de Au oscila entre 0.10 a 0.30 g/t, sin embargo en esta sección (Veta Oviedo), Anderson (1942) indica contenidos de 200 y 240 g/t.

La veta Oviedo esta constituida por esfalerita, calcopirita, pirita, especularita, cobre nativo. Sobel (1963) menciona en la parte oeste resultados de ensayos promedio de 0.9 % Cu, 3.6 g/t Au, mientras en la parte este tiene 4.1 % Cu, 20.4 g/t Au y 0.002 % Ag. Sin embargo existen dos muestras de vetas emplazadas en sedimentitas que expresan 14.5% Cu y 40 g/t Au. Martínez (1961) indica para el Socavón Oviedo, un ancho promedio de 0.57 m con contenidos promedio de 0.22 % Bi, 0.01 % Ag, 1.76 % Cu, 0.65 % WO₃, 37.32 % Fe, 0.20 % Sn e indicios de Au; mientras que en la veta San Francisco alcanza 0.32 m de ancho con 0.64 % Bi, 0.004 % Ag y 0.26 % Sn.

Las labores mineras actualmente se encuentran abandonadas. Los trabajos fueron desarrollados mediante los niveles Velásquez (inferior) y Jordán (superior), además de algunos subniveles.

4.2.3. Mina Farellones (W, Bi, Au, Ag)

La mina Farellones (Fig. 4.2 y Fig.4.3) se encuentra en la parte oriental del Complejo Volcánico Galán, entre 4450 a 4600 msnm. Su acceso es dificultoso debido a que la pendiente sur del cerro Rupascayoj es alrededor de 65° donde solo hay sendas y no existe infraestructura caminera. La producción no es conocida, sin embargo se estima que fue escasa con respecto a los trabajos mineros y las escombreras.

4.2.3.1. Geología del depósito

La geomorfología de este sector consiste de una serranía de dirección este-oeste, conformada por los cerros San Pedro y Rupascayoj, los cuales son de pendientes elevadas (Fig. 4.27) principalmente en el sector sur hacia la quebrada de Pueblo Viejo (Milluni), mientras que en el sector norte es de menor pendiente. Los afloramientos en el área de la mina consisten de ignimbritas y lavas. Las primeras se encuentran en la parte inferior del cerro, son gris blanquecinas con litoclastos y pómez en la misma proporción de un tamaño promedio de 1 a 5 cm de diámetro; por encima se encuentran niveles epiclásticos con estratificación laminar. Las lavas se encuentran en la cúspide del cerro, son de grano medio a grueso de color verdoso a azulado, con fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita en una matriz fina.

Mapa de afloramientos de vetas y labores mineras en la mina Farellones

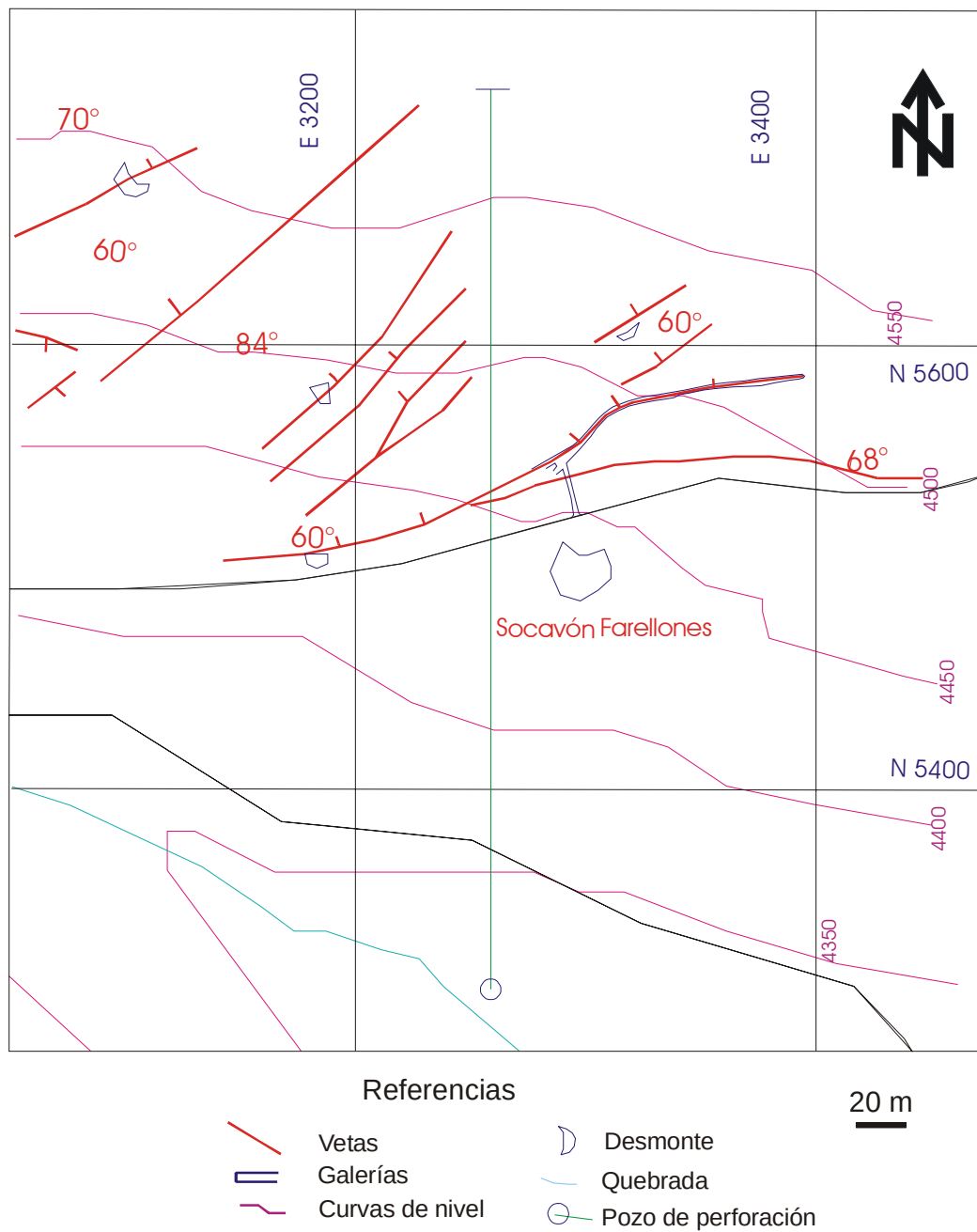


Fig. 4.26. Mapa de afloramientos de vetas y labores mineras en el sector occidental de la mina Farellones (mapa base de Soruco-Vilte en Soruco, 1972).

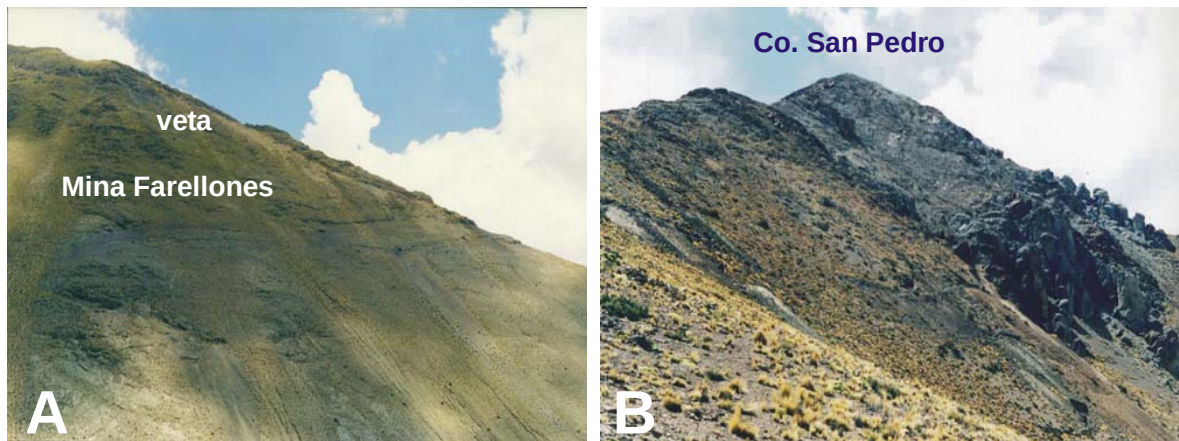


Fig. 4.27. Fotos de la mina Farellones en el sector oriental. A. Sector sur. B. Sector norte con vista de desmontes.



Fig. 4.28. A. Foto de la bocamina en el sector norte. B. Afloramiento de la veta alterada en la parte norte de la mina Farellones.

Las principales fracturas son de dirección general este-oeste y algunas con una dirección norte-sur.

4.2.3.2. Descripción del depósito

La tipología de esta mina es vetiforme. Los afloramientos de las vetas (Fig. 4.26 y 4.28) tienen una dirección general este – oeste a noreste – suroeste y buzamientos que varían de 60° a 84° N. La potencia promedio es de 0.10 a 0.15 m, aunque existen espesores de hasta 0.70 m; mientras que la longitud alcanza hasta 100 m.

4.2.3.2.1. Mineralogía

La mineralogía de las vetas en superficie consiste en óxidos de Fe, cuarzo con argilización en las salbandas. Los minerales presentes en niveles inferiores son la bismutinita, especularita, pirita, arsenopirita, hematita, calcopirita y wolframio.

Los resultados de análisis químicos obtenidos de la veta (GB-3) y la salbanda (GB-4) muestran contenidos de Bi (46 – 192 ppm), WO_3 (41 – 99 ppm), Ag (17 – 44 ppm), Au (28.4 – 20.9 ppm), además de contenidos de As, Cu, Pb, Zn, Sb, Mn, Fe y Sn.

La alteración hidrotermal regional consiste de propilitización, que afectó principalmente a las rocas de caja, mientras que la oxidación y argilización están asociadas alrededor de las vetas. Anderson (1942) menciona un espesor promedio de 0.16 m con 0.25 % Sn, 0.50% WO_3 y 0.16 % Bi.

El reconocimiento de superficie muestra la apertura de piques sobre las vetas, además de recortes desde las bocaminas, de reducida extensión y corridas sobre las vetas (Fig. 4.26).

4.2.4. Mina Azulejos (Bi, Au, Ag)

La mina Azulejos (Fig. 4.29 a 4.35) es un depósito polimetálico (Bi, Au, Ag); se localiza en la parte oriental del Complejo Volcánico Galán (Fig. 4.2) a una altura de 4700 a 4800 m snm. Actualmente la mina se encuentra abandonada y los trabajos mineros se desarrollaron en el sureste del cerro Azulejos (5258 m snm). La producción fue de hasta 50 quintales/mes de Bi con una ley de 50%.

Mina Azulejos

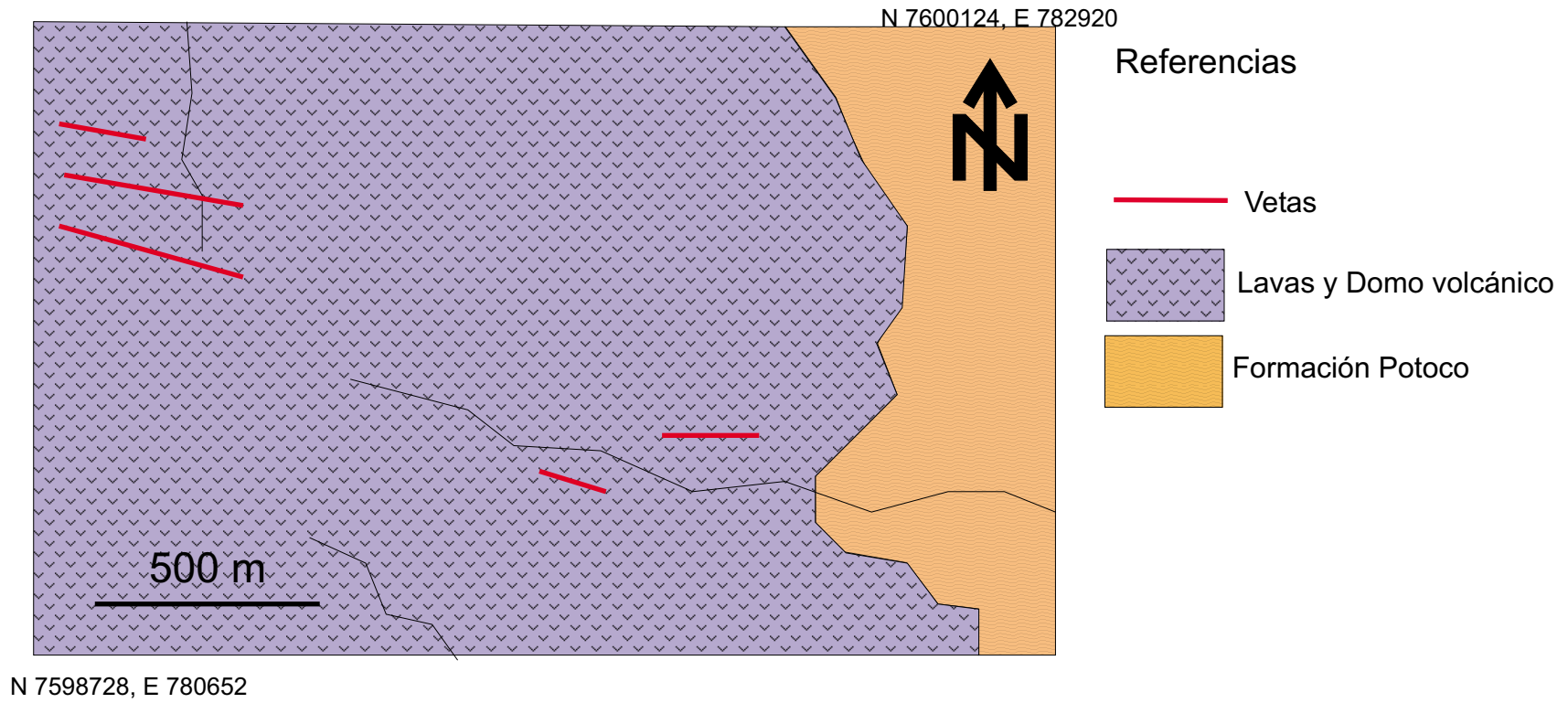


Fig. 4.29. Esquema geológico de la mina Azulejos

4.2.4.1. Geología del depósito

La geomorfología consiste de una serranía de dirección noroeste – sureste, conformada por cerros con pendientes elevadas (Fig. 4.33 y 4.34). El valle de la mina (Fig. 4.32) es de dirección noreste y las quebradas confluyen al río Esmoraca. El sector (Fig. 4.29) está conformado por lavas y domo volcánico de coloración verdosa a azulada, de grano medio a grueso y en la parte oriental está el sustrato de la Formación Potoco. La textura de las lavas es porfírica y los fenocristales son menores a 1 cm, representados por plagioclasa, biotita y cuarzo en una matriz de grano fino. La roca es maciza y se encuentra sericitizada y silicificada. Las rocas están fracturadas, diaclasadas y en la zona existen lineamientos de dirección NO-SE. En interior mina, existen fallas locales de dirección NS, con un buzamiento de 65 a 80° al E y rechazos de 1 a 2 m (Ricaldi, 1970).

4.2.4.2. Descripción del depósito

El depósito es de tipo vetiforme (Fig. 4.29) y las vetas (Fig. 4.35) están emplazadas en lavas y en el domo volcánico. Las alteraciones hidrotermales no presentan anomalías significativas de color. Los contactos entre las vetas y la roca encajonante son definidos e irregulares y las salbandas están silicificadas.

Las vetas afloran en la pendiente noreste del cerro (Fig. 4.30), y son de dirección general NO – SE y buzamientos desde verticales a 60° a 85° al S; mientras que la longitud aproximada es de 300 m y los espesores están entre 0.10 a 0.20 m. El desnivel de las vetas entre el afloramiento y el nivel inferior es alrededor de 100 m. Sin embargo, en el sector occidental se encuentra la zona de Peñas Blancas donde afloran otras vetas que podrían corresponder al mismo sistema. Existen otros delgados ramos de dirección NS con buzamiento al E.

La alteración (argilización y oxidación) está asociada a las vetas, mientras que la silicificación y la propilitización afectan a la roca encajonante.

Las principales vetas de la mina Azulejos son San Pedro, Santa Rosa, Mojinete y Paravicini (Fig. 4.31).

La veta San Pedro tiene un rumbo NO-SE con un buzamiento de 80° SO y una potencia de 0.10 a 0.15 m, con una longitud estimada de 160 m; está

Mapa topográfico y de vetas de la mina Azulejos

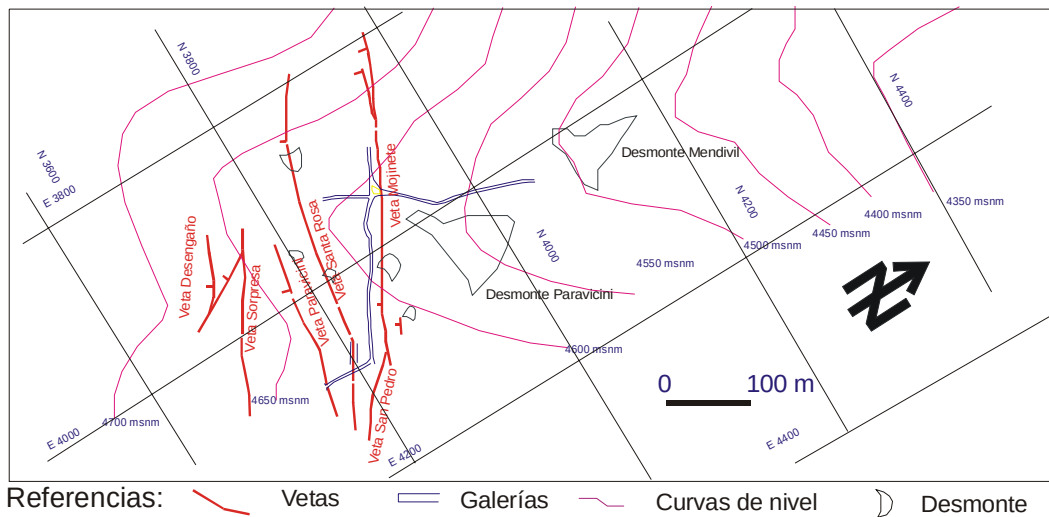


Fig. 4.30. Mapa de afloramiento de las vetas de mina Azulejos (mapa base de Soruco-Vilte en Soruco, 1972).

Mapa de vetas de la mina Azulejos

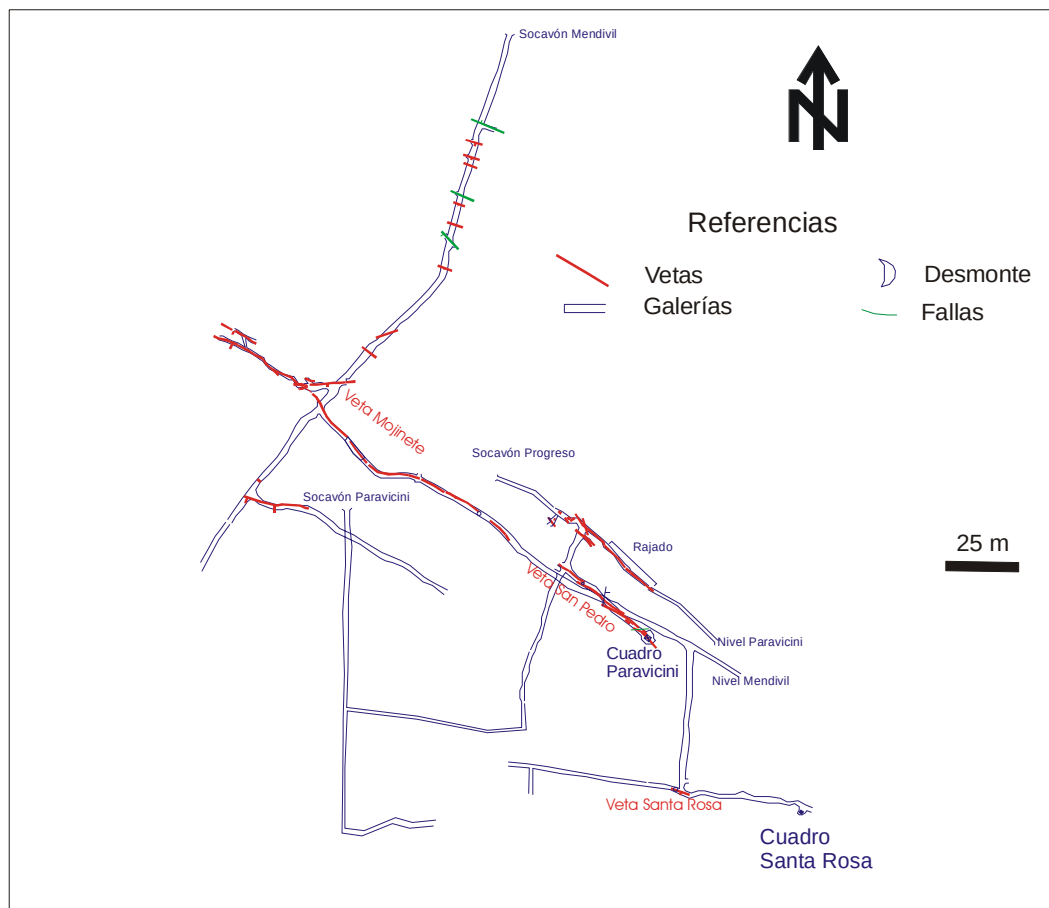


Fig. 4.31. Mapa de vetas de mina Azulejos (mapa base Ricaldi, 1970).

afectada por pequeñas fracturas y fallas transversales que produjeron desplazamientos.

La veta Mojinete probablemente corresponde a la veta San Pedro, pero está desplazada hacia el norte por una falla local de rumbo NE - SO. El rumbo de la veta es noroeste-sureste y el buzamiento es de 80° a 83° S, mientras que la potencia es de 0.10 a 0.15 m y la longitud en el nivel Mendivil es de 170 m.

La veta Paravicini tiene un rumbo promedio de N 75° O y un buzamiento de 68° S, con un espesor de 0.10 m y una longitud de alrededor de 200 m.

La veta Santa Rosa tiene una dirección este - oeste y un buzamiento de 75° S; su longitud es de alrededor de 200 m y un ancho de 0.10 m con un contenido de Bi de 1.5 %.

4.2.4.2.1. Mineralogía

Los minerales de menas son: Bismutinita, bismutita, galena, mientras que la ganga predominantemente consiste de hematita, pirita, calcopirita. En las salbandas existe caolinización, sericitización y propilitización. Los resultados de análisis químicos muestran contenidos importantes de Bi, Pb, Zn, WO₃, Sn, Au y Ag. Sobel (1963) indica que en la veta San Pedro (6 muestras) promediaron 3.6 % Bi, 4.9 g/t Au, y 0.005 % Ag en 24 cm de ancho medio de veta; aunque una muestra arrojó 14.5 % Bi y 21 g/t Au.

La veta Mojinete consiste de galena argentífera, calcopirita, pirita, esfalerita, bismutina, hematita y cuarzo. Las salbandas de las vetas están silicificadas, lo que se manifiesta en la fuerte dureza. Los metales presentes son el Pb, Bi, Ag y Au.

La veta San Pedro esta constituida por bismutina, galena argentífera, pirita en ganga de cuarzo, siderita y calcita con salbandas silicificadas, mientras que en la zona de oxidación existe bismutina, malaquita, hematita y limonita. La distribución de Bi, Ag y Au no es regular.

La veta Santa Rosa tiene alto contenido de bismuto, que está acompañado por hematita, limonita y caolinita. En el sector de Peña Blanca tiene indicios de Bi y Ag.

Las labores mineras se desarrollaron a partir de los niveles Mendivil y Paravicini. Se desarrollaron corridas y recortes, además de subniveles, piques y cuadros mediante los cuales se ha realizado la explotación.



Fig. 4.32. Foto de la mina Azulejos. En la parte inferior el desmonte de dique de colas de Pueblo Viejo.



Fig. 4.33. Vista panorámica del cerro Azulejos.



Fig. 4.34. Foto del afloramientos de ignimbritas y lavas (parte superior) del cerro Azulejos.



Fig. 4.35. Foto de vetas emplazadas en lavas en el área de mina Azulejos.

En el sector sureste de la mina Azulejos, sobre la quebrada; se encuentra el depósito de Peñas Blancas que está alrededor de 4500 m s.n.m. Los afloramientos consisten de lavas azuladas a verdosas de grano medio a grueso con fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita. El tamaño de éstos varía alrededor de 1 cm, sin embargo existen fenocristales de cuarzo de hasta 5 cm. En Peñas Blancas la tipología del depósito es vetiforme y son de dirección NO-SE con un buzamiento vertical, mientras que el espesor promedio alcanza 10 cm y se extiende en forma discontinua hasta el sector de mina Azulejos. La veta está fracturada, con óxidos de Fe y caolinizada. La mena principal es galena acompañada por pirita, malaquita y azurita. La Corporación Minera de Bolivia (1972) indica valores bajos en Cu menores a 0.50 % y en Bi los valores son bajos. En este sector el principal socavón es Peñas Blancas, ubicado sobre una estructura de dirección NO – SE y reconocida de 83 m (Soruco, 1972), este autor indica que la veta no es correlacionable con las vetas de Azulejos. En el área se encuentran otros piques pequeños y socavones sin mucha importancia ubicados sobre estructuras débiles que en superficie presentan alto contenido de especularita, cuyas potencias varían entre 3 a 5 cm.

4.2.5. Mina Khasayoj (Pb, Zn, Bi, Au, Ag)

La mina Khasayoj (Fig. 4.36 a 4.40) es conocida también como la sección El Manto. Se encuentra al NE del Cerro San Pedro – Rupascayoj, a una altura aproximada de 4400 m s.n.m. Esta mina no cuenta con datos de producción, sin embargo por referencias de comunicación personal (trabajadores de Mina Pueblo Viejo) se trabajó por Bi. Se estima que los trabajos fueron importantes por los desmontes de la zona.

4.2.5.1. Geología del depósito

La mina Khasayoj se encuentra en una pendiente de alrededor 45°, con quebradas de dirección noreste y este – oeste los que confluyen al río Esmoraca.

En el área (Fig. 4.36) afloran ignimbritas (Fig. 4.37 a 4.40) blanquecinas con litoclastos y pómez en similar proporción. Los cristaloclastos son de plagioclasa, cuarzo y biotita, de un tamaño entre 2 y 5 mm y una matriz tobácea. Los litoclastos

Mina Khasayoj

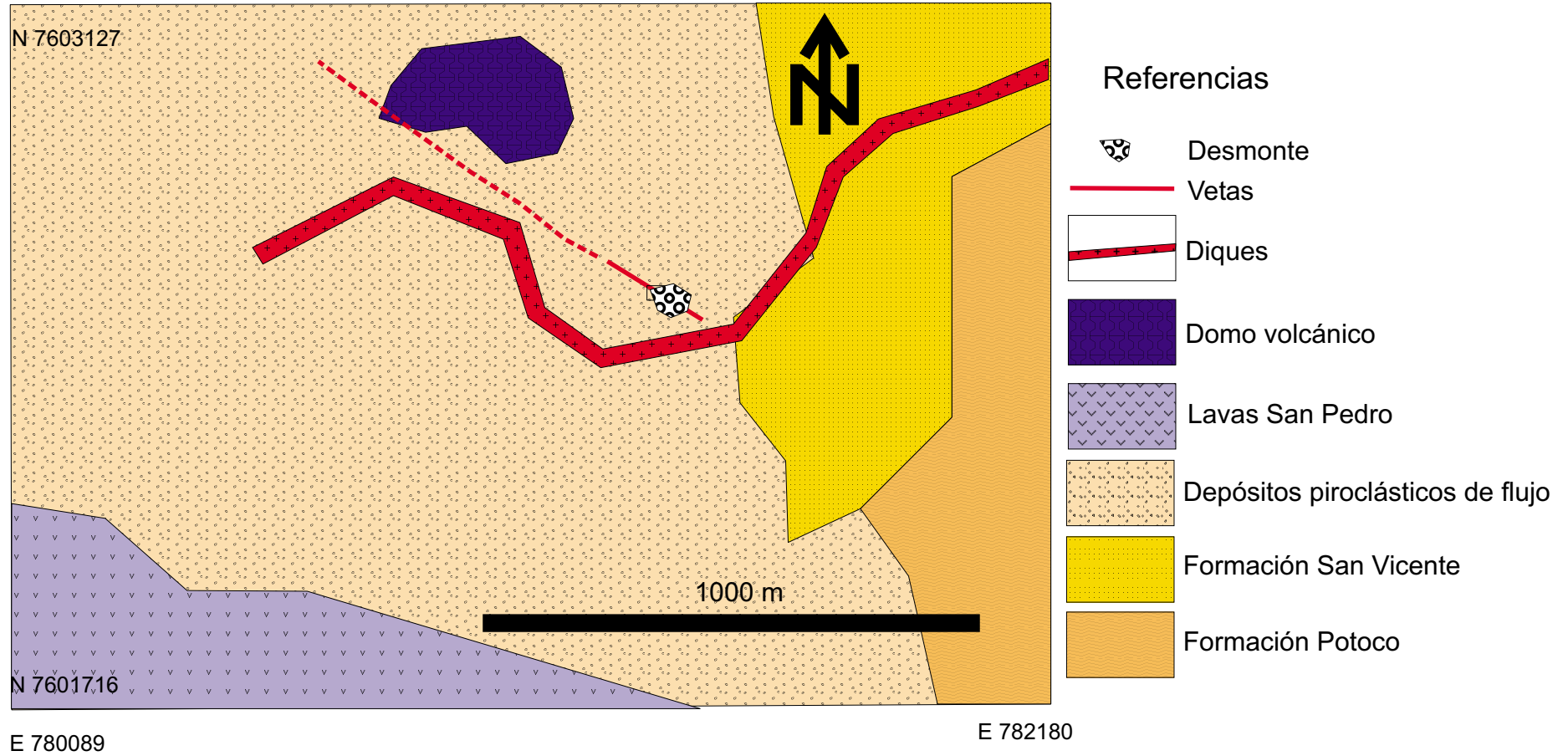


Fig. 4.36. Esquema geológico de la mina Khasayoj

de mayor proporción son lavas y escasas areniscas, con tamaños de 1 a 5 cm y formas subangulares. Los pómez son de un índice de aplastamiento de 2:1.

Este conjunto volcánico está cortado por diques de dirección general este –oeste. En la parte sur está el dique principal que corta a la secuencia ignimbrítica como a sedimentitas de la Formación Potoco y San Vicente. Tiene una longitud aproximada de 3 km con dirección variable y un espesor de 2 m; consiste de una roca blanquecina a verdosa con grano medio a grueso, compuesto de plagioclasa, cuarzo y biotita, de composición granodiorítica. En el sector norte aflora un domo volcánico que suprayace a la ignimbrita. Tiene una coloración verdosa y es de grano medio a grueso; mientras que los fenocristales consisten en plagioclasa, cuarzo y biotita hasta de 0.5 cm en una matriz de grano fino.

4.2.5.2. Descripción del depósito

La tipología de este depósito mineral es vetiforme. Las vetas se encuentran emplazadas en las ignimbritas y el domo volcánico.

4.2.5.2.1. Descripción de las vetas

La mina Khasayoj consiste de una veta (Fig. 4.40) principal de rumbo general N 78° E y un buzamiento promedio de 85° S. La longitud de esta estructura es de alrededor de 100 m, con un espesor promedio de 0.70 m. El afloramiento de las vetas es una zona de oxidación de alrededor de 0.80 m de ancho y en la parte occidental se ramifica en varias vetillas de hasta 0.10 m. En general la veta es masiva y bandeada. La mayor parte de la veta se encuentra cubierta por material cuaternario (Fig. 4.39).

4.2.5.2.2. Mineralogía

En superficie se presentan óxidos de Fe y cuarzo, mientras que las muestras de interior mina y de las escombreras contienen galena, esfalerita, calcopirita, bismuto nativo con relleno de hematita, malaquita y azurita. Además mediante análisis químicos se determinó la presencia de Au y Ag.



Fig. 4.37. Foto de la geología y desmontes en la mina Khasayoj.



Fig. 4.38. Fotos de la veta que esta encajonada en la ignimbrita en la mina Khasayoj. En la parte inferior el desmonte.



Fig. 4.39. Fotos de la veta que esta cubierto por material cuaternario en la mina Khasayoj.

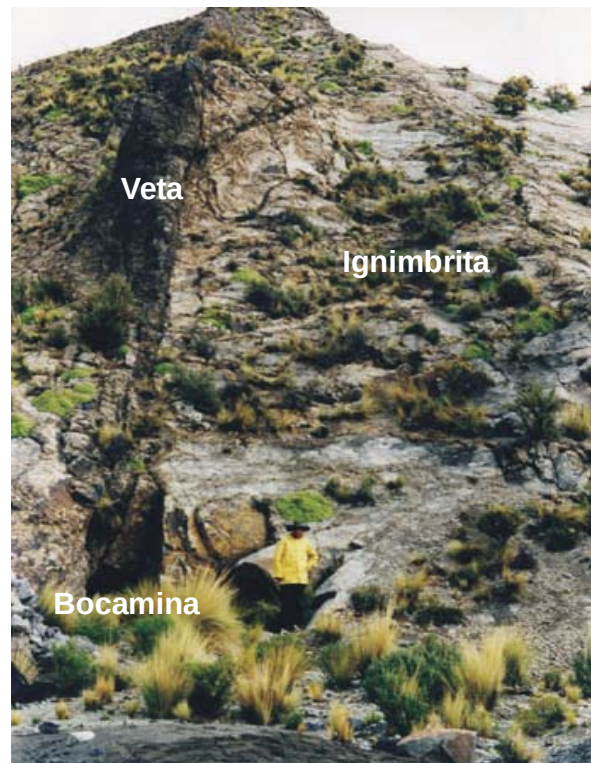


Fig. 4.40. Fotos del afloramiento de la veta en la mina Khasayoj. En la parte inferior la bocamina.

La alteración hidrotermal regional es propilitización, sericitización, además localmente existe silicificación.

4.2.6. Mina San Martín (Pb, Bi, Au, Ag)

La mina San Martín (Fig. 4.41 a 4.46) se encuentra ubicada al suroeste del cerro Galán (Fig. 4.2), a una altura de 4800 m snm, alrededor de las coordenadas UTM de N 7600200 y E 776250. La producción no cuenta con registros anteriores, sin embargo, por el tamaño de las escombreras (Fig. 4.44) el desarrollo de los trabajos mineros sobre la explotación de plomo y bismuto fueron moderados.

4.2.6.1. Geología del depósito

La mina San Martín (Fig. 4.43) se encuentra en la ladera occidental de una serranía de dirección noreste – suroeste. La zona es de relieve ondulado y una pendiente al occidente, además de valles de dirección este – oeste.

La litología dominante es una ignimbrita (Fig. 4.41 y 4.42) de color gris blanquecino, y varía de verdosos a violáceos con cristaloclastos, litoclastos y pómez. Por encima se disponen afloramientos de lavas verdosas de grano medio a grueso con plagioclasa, cuarzo y biotita. Esta secuencia está intruida por cuerpos volcánicos de color blanquecino a verdoso, de grano medio a grueso con fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita.

4.2.6.2. Descripción del depósito

La tipología de la mina San Martín corresponde a una mineralización vetiforme (Fig. 4.42); sin embargo los resultados químicos obtenidos de análisis de la roca de caja presentan valores interesantes en contenidos de oro, plata, plomo y zinc de una posible mineralización diseminada.

4.2.6.2.1. Descripción de las vetas

Las vetas en la mina San Martín son de dirección general este – oeste, con un buzamiento vertical. Son dos sistemas de vetas separados alrededor de 300 m que

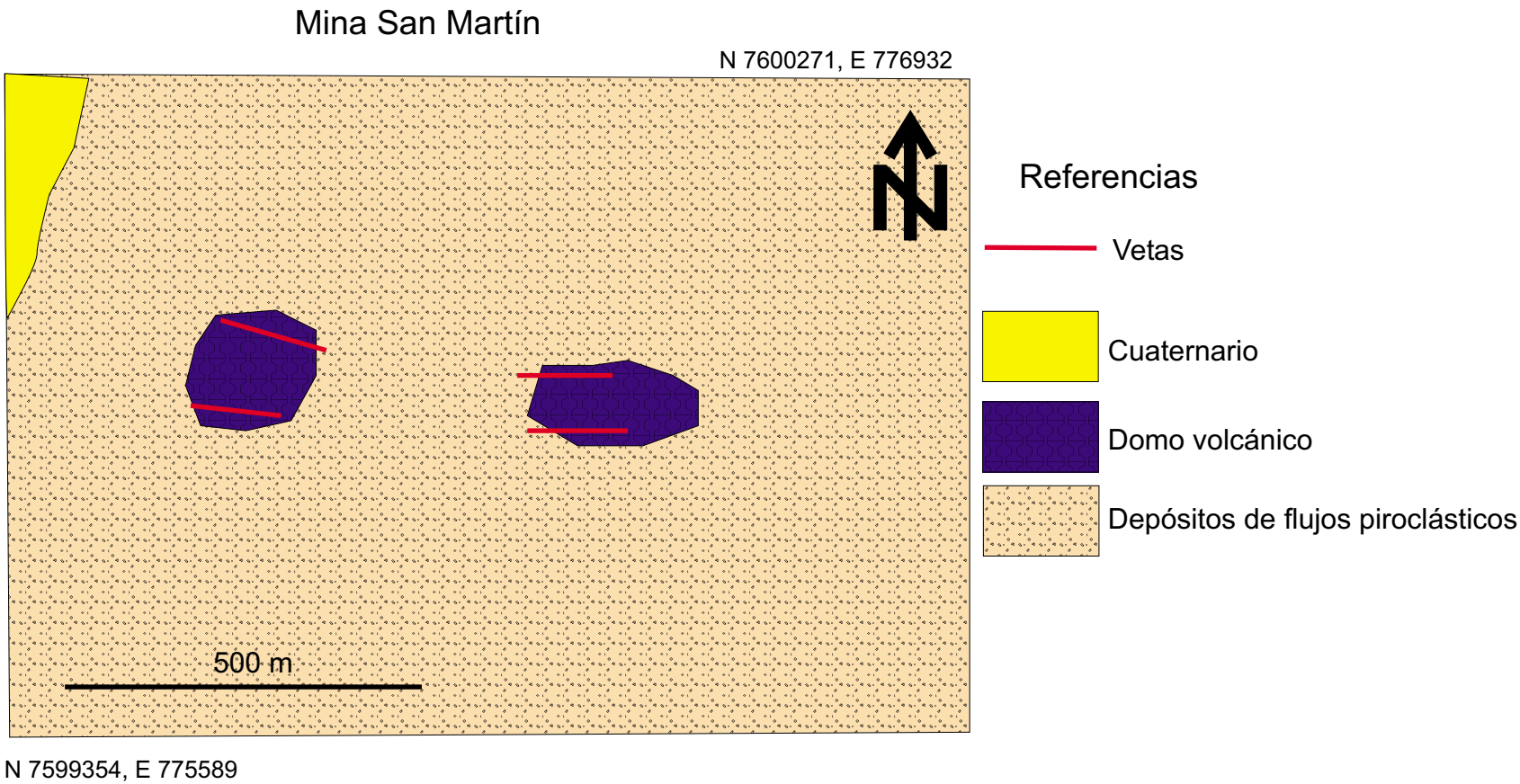


Fig. 4.41. Esquema geológico de la mina San Martín

MAPA GEOLÓGICO DE LA MINA SAN MARTÍN

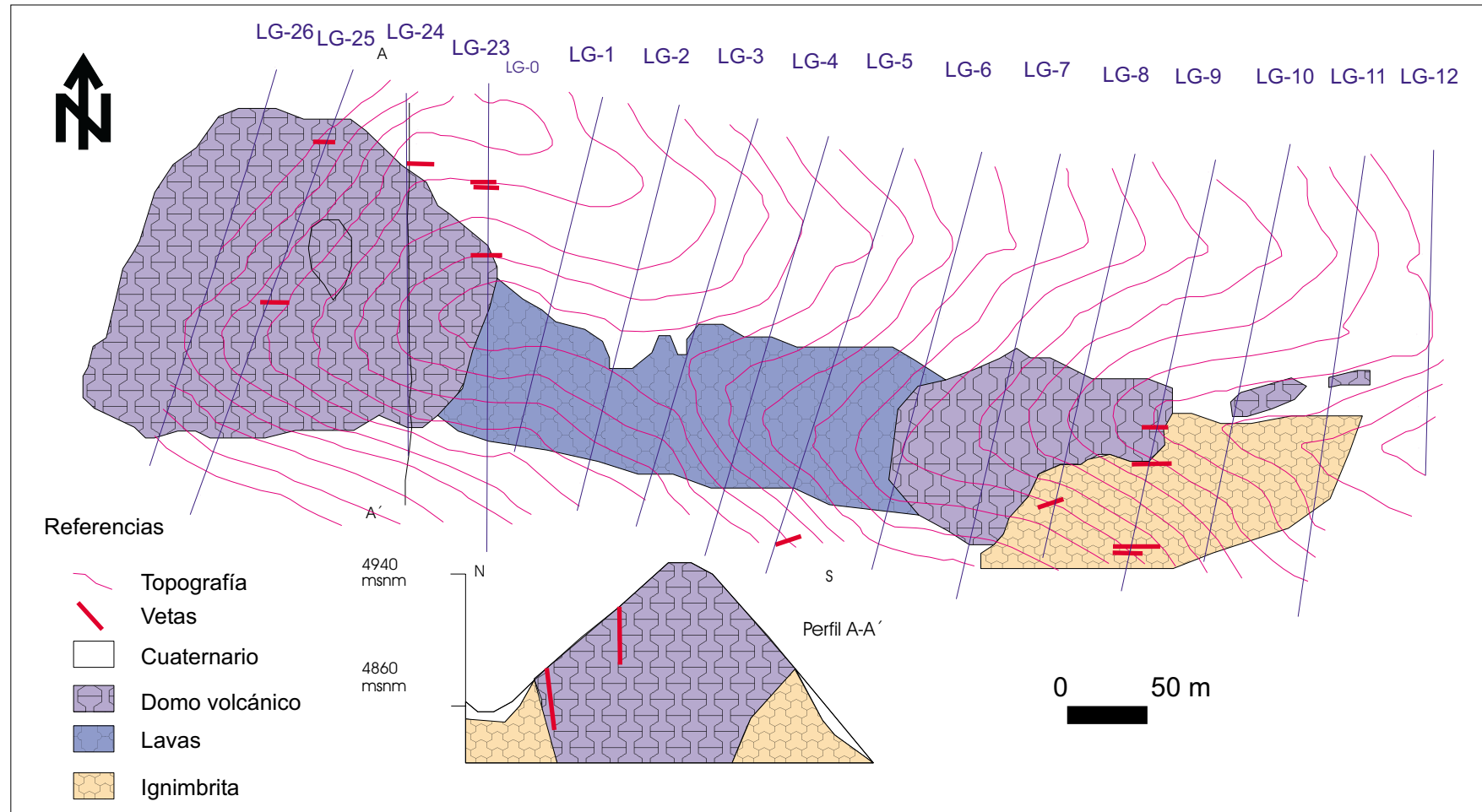


Fig.4.42. Mapa geológico de la mina San Martín (modificado de Uribe-Zeballos, 1994)

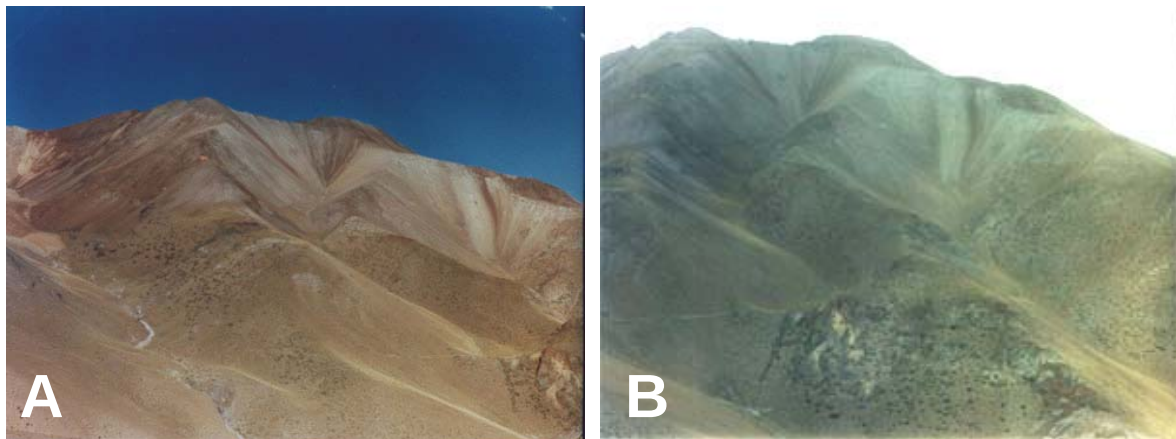


Fig. 4.43. Fotos de la mina San Martín. A. Relieve en la zona. B. Desmontes y labores mineras en la parte inferior.



Fig. 4.44. Foto de afloramientos de rocas y desmonte de la mina San Martín.



Fig. 4.45. Foto de afloramientos de ignimbrita y el domo volcánico en la parte sur de la mina.



Fig. 4.46. Foto vista al E. Desmonte de la mina.

afloran discontinuamente en una longitud del orden de 600 m, con espesores de 0.50 a 0.70 m. La roca encajonante consiste en cuerpos volcánicos, ignimbritas y lavas. En las Figs. 4.45 y 4.46 se muestran afloramientos de ignimbritas, domo volcánico, vetas y desmontes de la mina.

4.2.6.2.2. Mineralogía

La mineralogía consiste en esfalerita, galena, bismutina, calcopirita, pirita, wolframita, bismutita, cerusita, malaquita y azurita.

Los resultados geoquímicos de estructuras mineralizadas indican contenidos de Cu que alcanzan hasta 920 g/t, mientras que para Au los valores son menores a 1 g/t. La Ag está hasta 520 g/t, los cuales se correlacionan positivamente con los valores de Pb mayores hasta los 4000 g/t, el As hasta 740 ppm, mientras que el Mo alcanza a 7 ppm.

La alteración principal consiste de propilitización, sericitización, silicificación y oxidación. La primera está caracterizada por cuarzo, clorita, illita, sericita y calcita, mientras que la sericitización afectó a las plagioclasas y la silicificación se manifiesta en la matriz de la roca, asimismo la oxidación está asociada a las vetas.

4.2.7. Mina Lipina (Pb)

4.2.7.1. Ubicación

La mina Lipina (Fig. 4.47 a 4.51) se encuentra ubicada al suroeste del cerro homónimo a una altura de 4950 m s.n.m. El desarrollo de los trabajos mineros se encuentra en la ladera oriental.

4.2.7.2. Geología del depósito

La mina Lipina se localiza en un cerro de dirección noreste - suroeste, cuya cúspide tiene 5100 msnm, con pendientes aproximadas de hasta 60° en los flancos (Fig. 4.48 y 4.49).

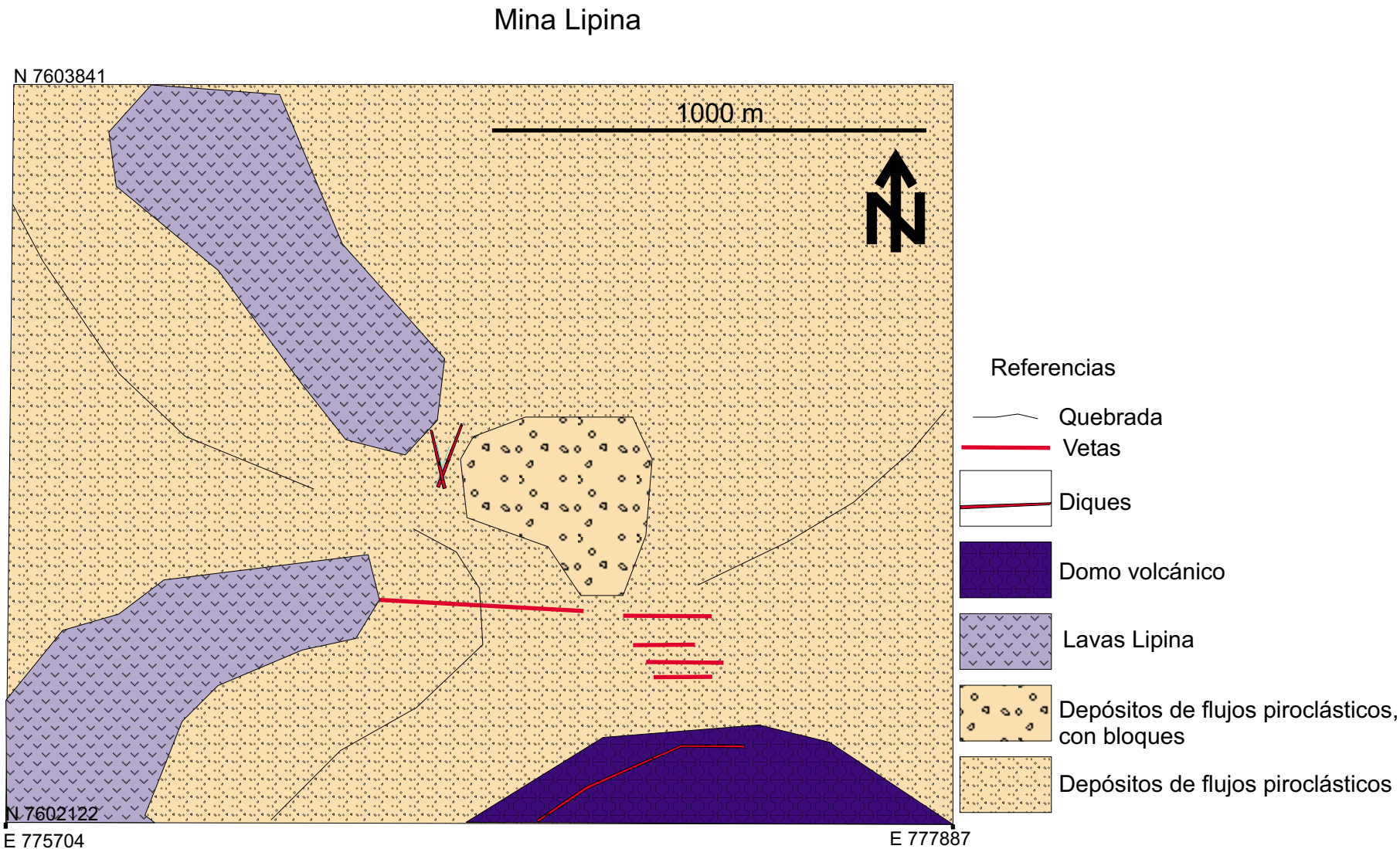


Fig. 4.47. Esquema geológico de la mina Lipina

Una ignimbrita (Fig. 4.47 y 4.48) gris blanquecina se encuentra en la parte inferior, con predominio de litoclastos, escaso pómez y una matriz de grano medio a fino. Los litoclastos son de lavas de 10 cm de diámetro como promedio y de 20 cm como máximo; mientras que los cristaloclastos son plagioclasa, cuarzo y biotita.

Por encima se encuentran lavas verdosas de composición dacítica con textura porfírica de grano medio a grueso con plagioclasa, cuarzo y biotita. La roca es similar en el cerro Lipina, con alteración argílica y zonas de oxidación en las inmediaciones del depósito. En este sector se encuentran diques de dirección norte – sur, con una longitud aproximada de 40 m y un espesor de 0.70 m.

Las alteraciones presentes son la propilitización en el ámbito regional, mientras que la argilización y oxidación están en el contacto de las ignimbritas y lavas.

La zona presenta fracturas y diaclasas verticales de dirección este – oeste.

4.2.7.3. Descripción del depósito

La mineralización es de tipología vetiforme (Fig. 4.47 y 4.48). Las vetas son definidas y los afloramientos están oxidados.

La veta es vertical con rumbo este – oeste a N 80°. La longitud aproximada es de 500 m, sin embargo el afloramiento de la veta es discontinuo y se extiende en el sector oriental hasta el abra (Fig. 4.50 y 4.51), donde se ramifica en diferentes vetas oxidadas. La potencia media de la veta varía de 0.04 a 0.15 m, aunque el espesor en la bocamina es de 0.70 a 0.80 m; mientras que el desnivel hasta el afloramiento se estima en 100 m. En la salbanda hay argilización y oxidación.

4.2.7.3.1. Mineralogía

El mineral principal es galena, acompañada por esfalerita, bismutinita, pirita, cuarzo, calcopirita, malaquita y óxidos de Fe.

Se tomaron muestras de tipo orientativo de las estructuras mineralizadas, zonas adyacentes y desmontes. El resultado más elevado en Cu es 0.16 %, el Au es de 4.8 g/t y la Ag alcanza hasta 824 g/t con un valor promedio de 60 g/t. Estos resultados sugieren un potencial de plomo, cobre asociado a plata y oro.



Fig. 4.48. Foto de afloramientos de ignimbritas, lavas y desmontes de la mina Lipina.

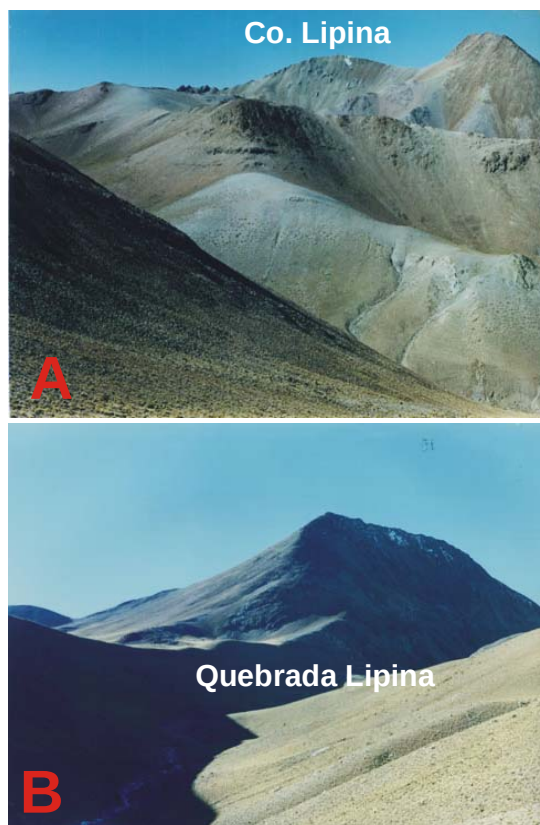


Fig. 4.49. Foto de vistas alrededores de la mina Lipina. A. Sector norte. B. Sector sur.



Fig. 4.50. Foto de las vetas en el sector del abra en la mina Lipina.



Fig. 4.51. Foto del afloramiento de veta en la parte occidental.

4.2.7.3.2. Alteración

La alteración hidrotermal regional consiste de propilitización, mientras que en la veta existe argilización, oxidación y silicificación que se hallan restringidas a las paredes de la misma, siendo predominante la argilización. Hacia la parte norte del prospecto se hallan pequeños halos de alteración que afectan principalmente a los depósitos de flujos piroclásticos.

4.2.8. Mina Cuatro Ases (Pb, Cu, Bi, Au, Ag)

4.2.8.1. Ubicación

La mina Cuatro Ases (Fig. 4.52 a 4.56) se encuentra ubicada en el sector del río Okhe Loma y la confluencia de la quebrada de mina Lipina, alrededor de las coordenadas UTM de N 7599100 y E 774900, a una altura de 4400 m snm. La mina no cuenta con registros de producción, sin embargo por los trabajos mineros se estima una producción reducida.

4.2.8.2. Geología del depósito

La zona es de relieve irregular con quebradas de dirección norte – sur, además de quebradas secundarias este - oeste. La litología consiste de conglomerados (Fig. 4.53) correspondientes a la Formación San Vicente (Paleógeno), con clastos predominantemente de cuarcitas, areniscas, lutitas y cuarzo, provenientes de afloramientos ordovícicos. El diámetro de los clastos es de alrededor de 0.10 a 0.20 m y la morfología predominante es subangular. Por encima se encuentra una secuencia piroclástica (Fig. 4.55 y 4.56) de color blanquecino a violáceo de grano medio con una estratificación laminar, además de litoclastos de lavas. En la zona existen diques de dirección este – oeste que cortan principalmente a la secuencia volcánica.

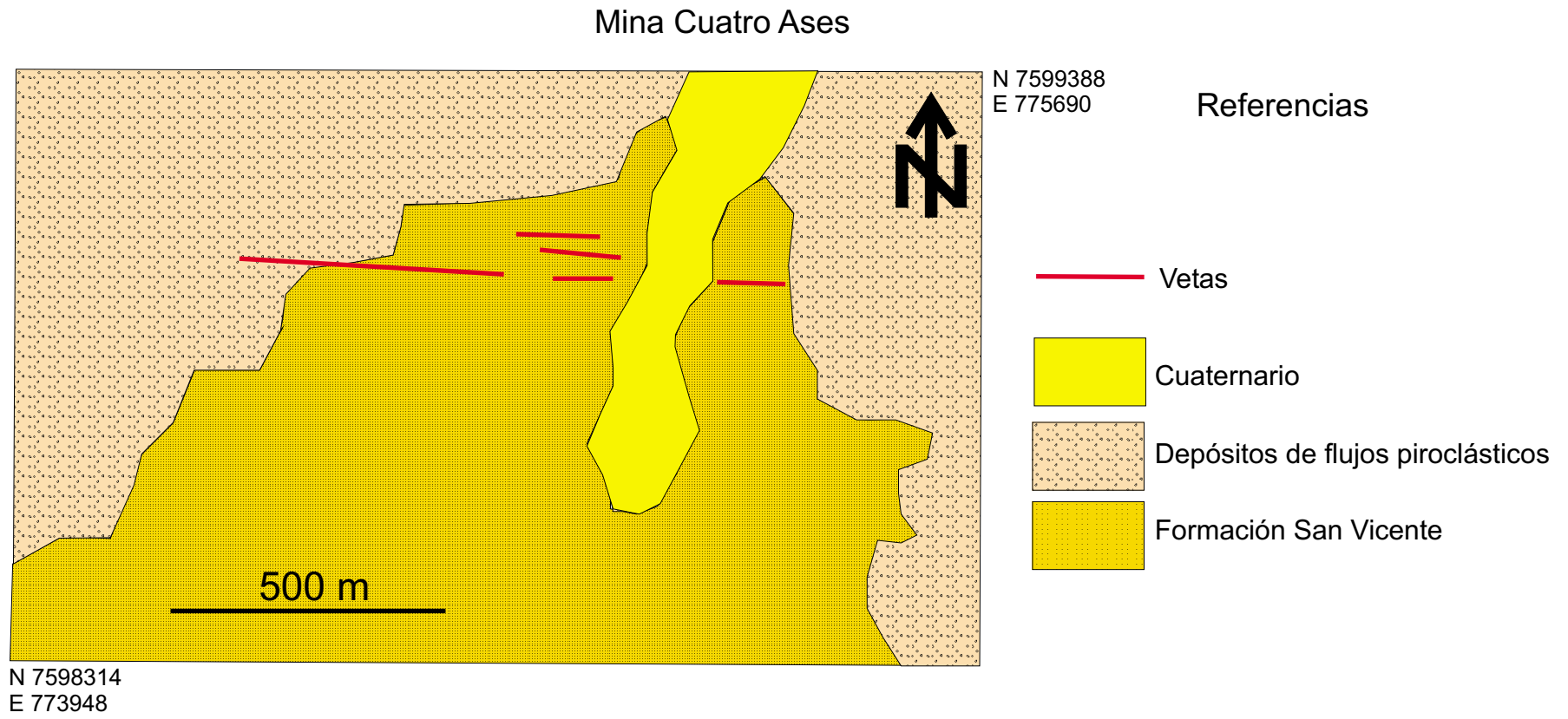


Fig. 4.52. Esquema geológico de la mina Cuatro Ases



Fig. 4.53. Foto de afloramientos del conglomerado (Formación San Vicente) e ignimbritas en las partes adyacentes.



Fig. 4.54. Foto del Co. Pabellón. En la parte inferior está la mina Cuatro Ases.



Fig. 4.55. Foto de la veta en la mina Cuatro Ases encajonadas en depósitos piroclásticos.



Fig. 4.56. Foto del afloramiento de veta en la parte occidental.

4.2.8.3. Descripción del depósito

La tipología de la mina Cuatro Ases es vetiforme (Fig. 4.52). Las vetas están encajonadas tanto en los conglomerados de la Formación San Vicente (Fig. 4.53) como en las secuencias piroclásticas (Fig. 4.55). La dirección de las vetas en general es este - oeste, con un buzamiento de 60° a 80° N, aunque algunas vetas son verticales. Se extienden por alrededor de 500 m, con un espesor de 0.30 m como promedio, debido a que en el sector central las ramificaciones son de 0.10 a 0.20 m, mientras que en otros sectores, principalmente en la zona oeste, alcanzan hasta 0.70 a 0.80 m y como máximo hasta de 1.5 m de espesor. Se estima un desnivel de 20 a 30 m desde el afloramiento superior hasta la quebrada. En el sector occidental, la veta es masiva y con textura bandeada encajonada en ignimbrita.

4.2.8.3.1. Mineralogía

Las vetas de Cuatro Ases son de galena, pirita, calcopirita, azurita, óxidos de Fe y baritina. En las vetas y desmontes se mencionan valores máximos de hasta 6 g/t de Au, 4 % de Cu y 695 ppm de Ag.

4.2.8.3.2. Alteración

La alteración esta restringida a las vetas, y corresponde a argilización, propilitización y argilización.

4.2.9. Mina Villarroel (Pb, Zn)

La mina Villarroel (Fig. 4.57 a 4.61) se encuentra en el río de la mina Lipina (Fig. 4.61), alrededor de las coordenadas UTM de N 7602000 y E 776300. No hay referencias de producción, sin embargo, se estima que fue mínima por las labores mineras y los desmontes que son pequeños (Fig. 4.58).

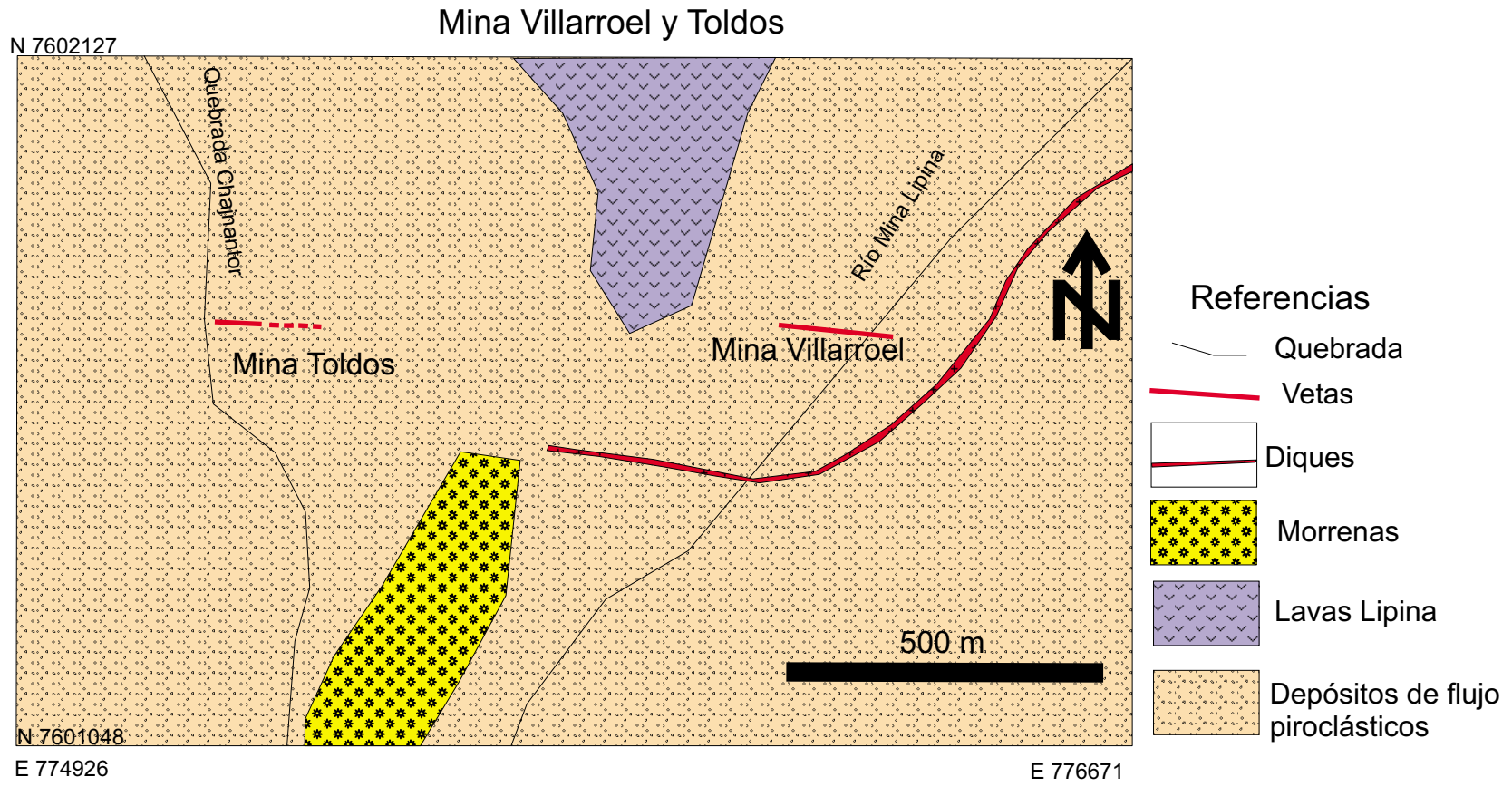


Fig. 4.57. Esquema geológico de la mina Villarroel y Toldos



Fig. 4.58. Foto de afloramientos de ignimbritas, diques, lavas y desmante en la zona de la mina Villarroel.



Fig. 4.59. Foto de una veta encajonada en ignimbritas



Fig. 4.60. Foto del afloramiento de dique en la zona de la mina Villarroel.



Fig. 4.61. Foto de la mina Villarroel, que está ubicada en la quebrada Lipina.

4.2.9.1. Geología del depósito

Los trabajos mineros están en el valle de mina Lipina en una superficie ondulada a plana. La litología consiste de afloramientos de ignimbritas (Fig. 4.58) de color blanquecino a violáceo con litoclastos, clastos juveniles y cristaloclastos; los primeros son de 10 cm de diámetro promedio y predominantemente son de lavas; existen escasos pómez, mientras que los cristaloclastos son de plagioclasa, cuarzo y biotita. Esta secuencia piroclástica en el sector está cortada por diques (Fig. 4.60) de dirección general este – oeste.

4.2.9.2. Descripción del depósito

La tipología de esta mina es vetiforme y las mineralizaciones se alojan en las ignimbritas (Fig. 4.59).

Las vetas son de dirección este – oeste con un buzamiento 70° al norte, y una extensión de afloramiento aproximada de 5 a 10 m con espesores de 0.15 a 0.30 m. La salbanda muestra argilización y oxidación.

Los minerales principales son galena, pirita, esfalerita y cuarzo; y la alteración hidrotermal es argílica con oxidación sobreimpuesta.

Las labores mineras se encuentran abandonadas y el desarrollo consta de un recorte de aproximadamente 10 m, mientras en el sector este solo hay algunos afloramientos de las vetas (Fig. 4.59). La concentración se realizó de manera artesanal, debido a que en la zona solo existen vestigios de una canchamina y además desmontes pequeños.

4.2.10. Mina Toldos (Zn)

La mina Toldos (Fig. 4.57) está ubicada en el sector occidental del CVG (Fig. 4.2), a una altura aproximada de 4725 m snm. Las coordenadas UTM son alrededor de N 7602020 y E 775363. No se cuenta con datos de producción, sin embargo, el desmonte cerca de la bocamina es pequeño, por lo tanto se estima que la producción fue escasa.



Fig. 4.62. Foto del afloramiento de la mina Toldos.



Fig. 4.63. Foto de la mina Toldos en la quebrada.



Fig. 4.64. Foto del desmonte de Toldos.



Fig. 4.65. Foto de la bocamina y la veta de la mina Toldos.

4.2.10.1. Geología del depósito

La geomorfología de este sector es plana (Fig. 4.62) y cortada por el valle de la quebrada Chajnantor (Fig. 4.63) que tiene una dirección norte - sur. La litología consiste principalmente de ignimbritas (Fig. 4.64) de coloración blanquecina a rosada, compuesta por litoclastos, cristaloclastos y escasos pómez. Los primeros corresponden a lavas de 5 cm de tamaño promedio, mientras que los segundos son cristales de plagioclasa, cuarzo y biotita. Esta secuencia volcánica en el sector occidental está cortada por diques de dirección este – oeste, además de algunos domos volcánicos. Los depósitos cuaternarios cubren el área principalmente al oeste de la quebrada Chajnantor.

4.2.10.2. Descripción del depósito

La mina Toldos es de tipología vetiforme (Fig. 4.65) y la roca encajonante es una ignimbrita. Consiste de una veta de dirección este – oeste, con un buzamiento de 80° al norte; con un espesor de 0.70 m y se estima una longitud en dirección oriental en alrededor de 20 m. La salbanda contiene zonas de oxidación de 0.20 m, notoria en la bocamina.

La mineralogía consiste principalmente en esfalerita, pirita y hematita y la alteración responde a propilitización, oxidación y argilización en las salbandas.

Las labores mineras actualmente se encuentran abandonadas. La bocamina está sobre la misma veta en el borde oriental de la quebrada Chajnantor y el desarrollo es con dirección oriental donde se extiende hasta 5 m de longitud. En cercanías al socavón se encuentran pequeños desmontes de alrededor de 2 a 10 m², donde se encuentra una canchamina.

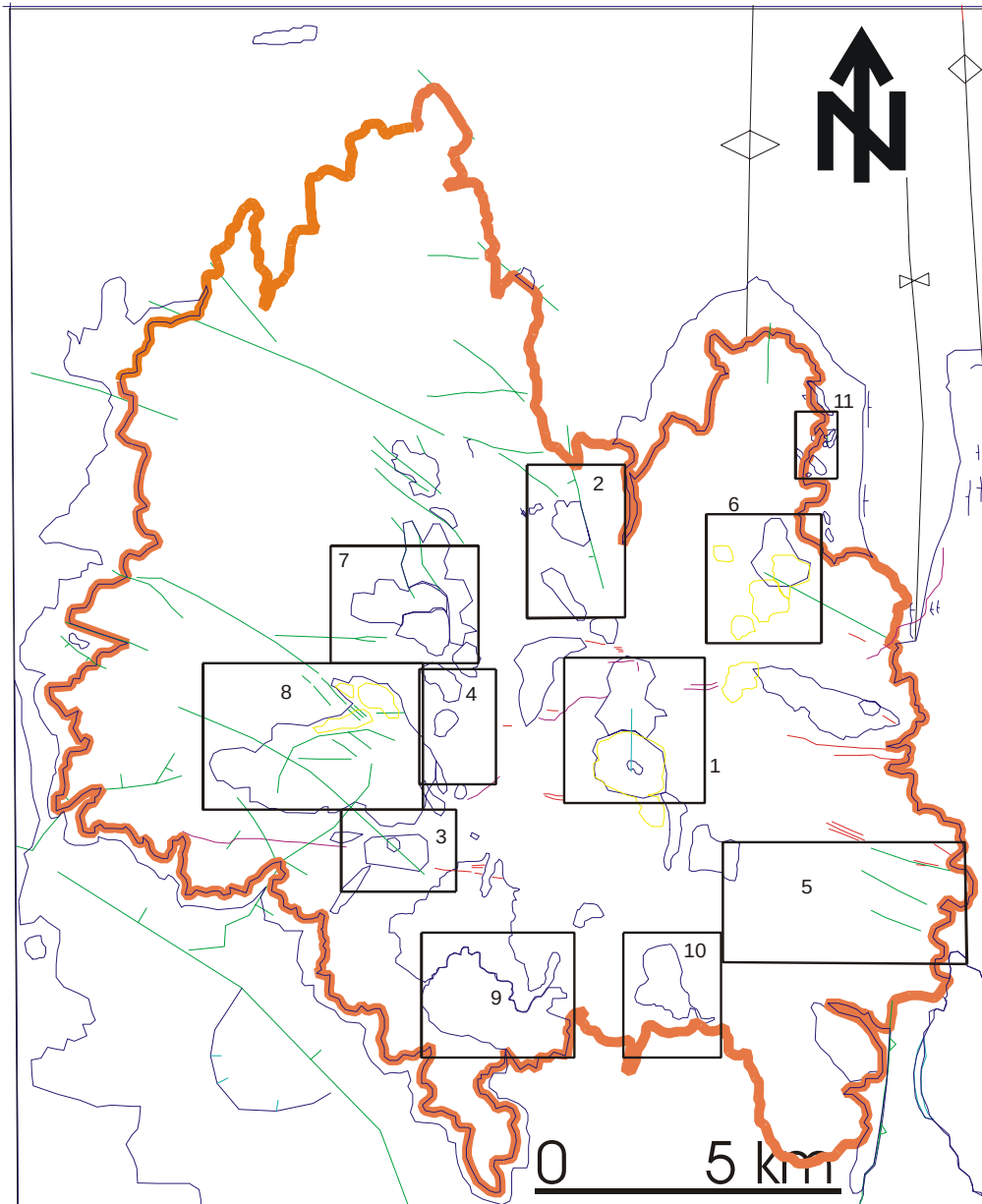
Por las características de la veta, el ancho y el alto contenido de esfalerita es conveniente continuar con el desarrollo de la corrida de la veta, para la explotación de la veta. Por lo tanto las perspectivas de exploración de este sector son favorables por los aspectos geológicos mencionados.

4.3. Prospectos en el Complejo Volcánico Galán (CVG)

En el Complejo Volcánico Galán existen zonas favorables (prospectos) para la prospección (Fig. 4.66).

En la parte central están el cerro Galán – cerro Colorado, por las características geológicas (domos volcánicos, brechas hidrotermales y diques) y la presencia de mineralización diseminada en la roca, además de alteraciones hidrotermales. En el sector norte los sectores interesantes son el cerro Khata Jara, además de algunas manifestaciones minerales como al norte del cerro Aguas Calientes, cerro Lípina, cerro Layri Orkho. En el sector occidental los principales prospectos se encuentran en alrededor del cerro Pabellón, río Okhe Loma (Irupampa). En el sector sur las principales zonas corresponden al cerro Khoyayoj, cerro Lloque Sullu y el río Rodeo. El prospecto cerro Galán – Colorado (1, Fig. 4.66) se encuentra en la parte central de la zona. Ambos cerros (Fig. 4.68 y 4.69) son de morfología cónica y están conformados por un domo volcánico de coloración verdosa y blanquecina. En el borde norte del Colorado se encuentra una brecha con clastos monogénicos, mientras que en su cúspide aflora una brecha hidrotermal, con mineralización de pirita diseminada. En el cerro Galán principalmente se encuentra el domo de grano medio a grueso compuesto de plagioclasa, cuarzo y biotita, además de flujos piroclásticos que afloran en las partes altas y de diques de dirección general norte – sur. Ambos corresponden a rocas de composición dacítica. En el ámbito local se distingue lineamientos de dirección este – oeste, noroeste – sureste y noreste – suroeste, además de fracturas y diaclasas con predominio de las mismas direcciones. Presentan una alteración de tipo fílica y propilítica; la primera caracterizada por cuarzo, sericita, pirita y turmalina, mientras que la segunda presenta una asociación de clorita, sericita y pirita. Los sulfuros (pirita y esfalerita) están diseminados y en vetillas. Uribe-Zeballos (1994) menciona trazas de oro nativo intercrecida con hematita y goethita sobre pirita y calcopirita (Co. Colorado). La geoquímica orientativa indica valores de hasta 800 g/t de Cu; 2.5 g/t de Au, 30 g/t de Ag, 3200 g/t de Pb, 50 ppm As y 24 ppm Mo.

Principales prospectos en el Complejo Volcánico Galán



Referencias

1. Co. Galán-Colorado
2. Co. Khata Jara
3. Co. Pabellón
4. Río Okhe Loma
5. Co. Khoyayoj
6. Co. Aguas Calientes
7. Co. Laguna
8. Co. Quillaoj
9. Co. Cuevilla
10. Co. Laguna Seca
11. Aguas Termales

- Fallas-lineamientos
- Alteraciones
- Vetas
- Límite del CVG

Fig. 4.66. Ubicación de los principales prospectos mineros en el Complejo Volcánico Galán(CVG).

El prospecto cerro Khata Jara (2, Fig. 4.66) está en la zona norte, conformada por rocas piroclásticas y lavas (Fig. 4.67). Las rocas son de composición dacítica y están compuestas por plagioclasa, cuarzo, sericita, clorita, además de trazas de piritita, calcopiritita y esfalerita. Hay zonas de alteración hidrotermal caracterizada por argilización intermedia. Una falla de dirección norte –sur, con buzamiento al oeste afecta a las rocas piroclásticas. Uribe-Zeballos (1994), indica valores de hasta 0.01 ppm Au; 34 g/t de Ag, 52 ppm Cu, 19000 ppm de Zn, 880 ppm de Pb, 100 ppm As, 7 ppm Mo y 43 ppm Sb.

En el sector occidental como prospectos se encuentran el cerro Pabellón (3, Fig. 4.66) y el río Okhe Loma (4, Fig. 4.66). El primero consiste de cuerpos dacíticos de edad Miocena superior de dirección norte sur que intruyen brechas piroclásticas (flujos de ceniza andesíticas poco soldadas). En esta roca se hospedan algunas estructuras mineralizadas con direcciones preferenciales N 60° - 90°; con asociación de esfalerita, galena, cuarzo, carbonatos y óxidos de Fe. Las alteraciones hidrotermales caracterizadas por una argilización de características intermedias con presencia de arcillas se hallan restringidas a los bordes de la intrusión sur de 0.2 km². La intrusión se halla fracturada y con pequeños stockworks de óxidos de Fe y sulfuros. La geoquímica orientativa arrojó valores de hasta 4 ppm Mo, 80 ppm Sb, 100 ppm As, 25662 ppm Zn, 800 ppm Pb, 250 ppm Cu, 0.03 g/t Au y 28 g/t Ag.

El prospecto Okhe Loma (Irupampa, Uribe-Zeballos, 1994) está constituido por rocas piroclásticas con predominancia de litoclastos, intruidas por cuerpos volcánicos dacíticos y andesíticos. Hacia el norte los flujos piroclásticos se hallan cubiertos por lavas dacíticas, inclinadas hacia el norte a causa del emplazamiento de un cuerpo volcánico dacítico debilmente alterado. En la zona existen zonas de alteración hidrotermal de alrededor de 300 m² con alteración propilítica (cuarzo, plagioclasa, clorita, además de piritita y hematita). Uribe-Zeballos (1994) menciona un máximo de 1104 g/t Au, 1720 ppm Cu, 11000 ppm Zn, 6000 ppm Pb, 180 ppm As y 18 ppm Mo. En el sector sur las principales zonas de prospección (Fig. 4.66) son el cerro Khoyayoj, río Rodeo y río Cuevilla. En el sector del cerro Khoyayoj (5, Fig. 4.66) afloran rocas piroclásticas blanquecinas, lavas y domos volcánicos, donde se encuentran emplazadas vetas y zonas de alteración hidrotermal, las primeras de alrededor de 0.50 m de potencia y longitud estimada de hasta 100 m con dirección noroeste – sureste a ONO – SSE, rellenas con sílice y óxidos de Fe. En este sector se mencionan la manifestación mineral de Coyahuayco (Cortez, 1966), que



Fig. 4.67. Foto del Co. Khata Jara con afloramientos de lavas e ignimbritas.



Fig. 4.68. Foto de afloramientos del Co. Galán y Colorado.

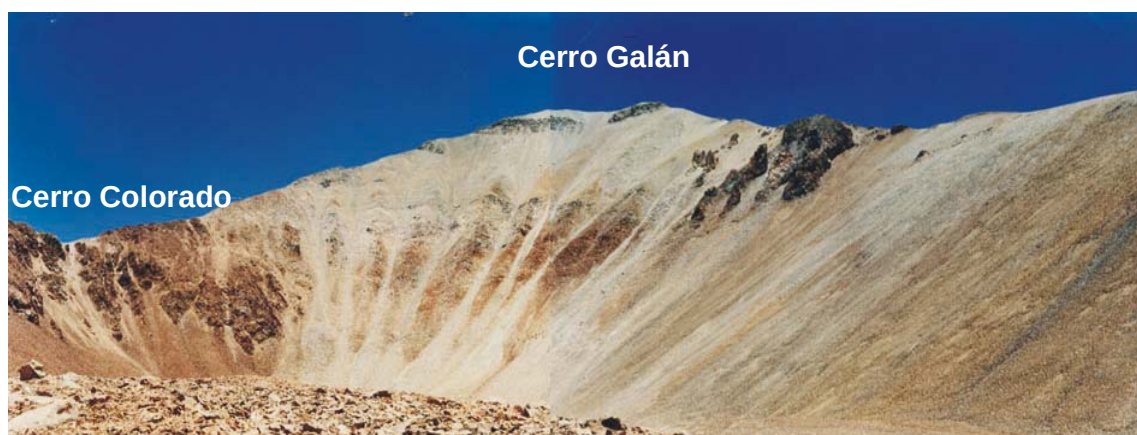


Fig. 4.69. Foto a mayor detalle del Co. Galán con afloramientos de lavas e ignimbritas.

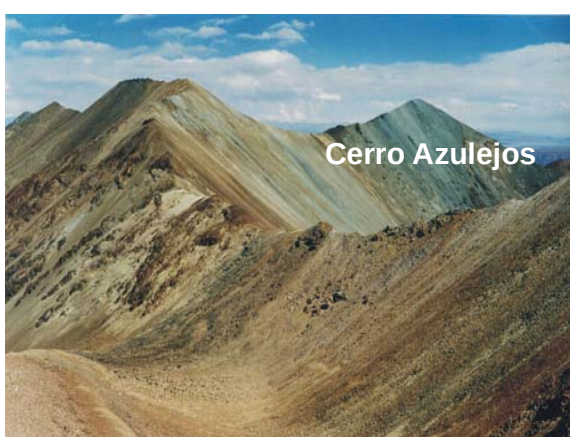


Fig. 4.70. Foto del Co. Azulejos con afloramientos de lavas.



Fig. 4.71. Foto del Co. Aguas Calientes con afloramientos de lavas. En primer plano ignimbritas.

corresponde a San José de Berque, donde indica la presencia de una veta con contenidos de bismuto, hematita, oro y plata. Las alteraciones en el sector de Coyahuayco están restringidas a las zonas adyacentes de las vetas. En el sector del río Rodeo (10, Fig. 4.66) aflora un cuerpo volcánico de grano medio a grueso de coloración blanquecina, compuesto de fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita. En él se emplazaron vetillas de óxidos de Fe y calcita; en las primeras son de 0.5 cm con una longitud de hasta 10 m, mientras que la calcita consisten de cristales intercrecidos hacia el interior; el espesor de las vetas es de 5 a 10 cm y con una longitud variable hasta 15 m. En la parte sur del río Cueva (9, Fig. 4.66) se encuentra un cuerpo subvolcánico en donde se emplazaron vetillas de óxidos de Fe y cuarzo de dirección predominante este – oeste de 0.10 m de espesor promedio. En el sector oriental los principales prospectos se encuentran en los alrededores del cerro Aguas Calientes (6, Fig. 4.66, 4.71) con zonas de alteración hidrotermal (propilitización y argilización) y vetas tanto en las ignimbritas como en lavas, en diferentes lugares. Así mismo en cercanías del río Esmoraca (Ramos Collorana et al., 2001b), existen depósitos minerales de oro secundario.

4.4. Exploración

La exploración consiste en diferentes muestreos de distintos afloramientos de rocas y de vetas, mientras que en interior mina se desarrollaron principalmente por galerías (recortes o corridas), que se realizan en trabajos actuales (Pueblo Viejo) ó fueron realizadas en las minas abandonadas.

Se citan resultados de algunas perforaciones a diamantina realizadas en el sector de Central - Pueblo Viejo – Farellones realizadas por COMIBOL (1972), ya que estos brindan una información adicional importante para el análisis metalogénico.

4.4.1. Pozos a diamantina

Soruco, 1972 menciona la realización de un pozo (TC-1), el cual fue ejecutado por la Corporación Minera de Bolivia (12/1971 – 4/1972). El pozo TC-1 (Tabla 4.2 y Fig. 4.72) se encuentra en las coordenadas locales N 5190, E 4616, con un rumbo de S 7° O e inclinación de -15°, con una longitud planificada de 350 m y con el objetivo de cortar las vetas Thiel 1 y 2. Los principales resultados obtenidos fueron:

Tabla 4.2. Pozo TC-1 Quebrada Milluni – Mina Central (COMIBOL, 1972)								
Geología	Distancia (m)	Ensayes						
		% Sn	% Ag	% Zn	% Cu	% WO ₃	% Bi	g/t Au
Se cortó una estructura de 12.5 cm con cuarzo, calcopirita, siderita, especularita, hematita, wolframita?. Vetilla tipo brechoide.	58	0.17	0.0013	0.012	1.60	0	0.012	6.6
Se corto una estructura con 40.5 cm con cuarzo, calcopirita, siderita, especularita, hematita, esfalerita. (Corresponde a la veta Thiel). Vetilla tipo brechoide.	70	0.17	0.0009	0.031	0.37	0	0.006	0.50
Se corto una estructura de 35.5 cm con cuarzo, especularita, hematita, esfalerita. Vetilla tipo brechoide.	74.5	0.18	0.0067	0.0175	0.66	0	0.16	2.0
Se corto una estructura de 8 cm con esfalerita, calcopirita, siderita, hematita (corresponde a la Veta Uno).	309	-	-	Sin datos	-	-	-	-
Se cortó una zona fracturada caolinizada, (corresponde a la veta Dos).	345	-	-	Sin datos	-	-	-	-

Según Arias (1973) éste pozo se encuentra en la zona entre el contacto entre la dacita y las areniscas terciarias, en su curso se atravesó algunos sectores de brecha, cuyos xenolitos estaban compuestos principalmente por clastos angulares de areniscas, Se cortaron diversas vetas cuya descripción se encuentra en la tabla 4.2.

El Pozo 2 (TLD-2) se encuentra entre las zonas de Esmoraca –Farellones, en las coordenadas (locales) N 5520, E 3240, con una dirección N 2° 30' E y una inclinación de + 2°, con la finalidad de cortar la veta Farellones y el reconocimiento del sector.

Arias, 1973; indica que el sector mas interesante se encuentra entre los tramos de 38.1 a 43.6 y 51.8 a 54.5 m, en el que se observa una parte diseminada de vetillas de piritita, calcopirita y ocasionalmente turmalina. Los afloramientos en superficie de estos sistemas no pudieron ser observados en razón de que el área está cubierta de material suelto, lo que hace imposible su localización así como su visualización; el referido sector correspondería a la prolongación occidental de una estructura aflorante hacia al este.

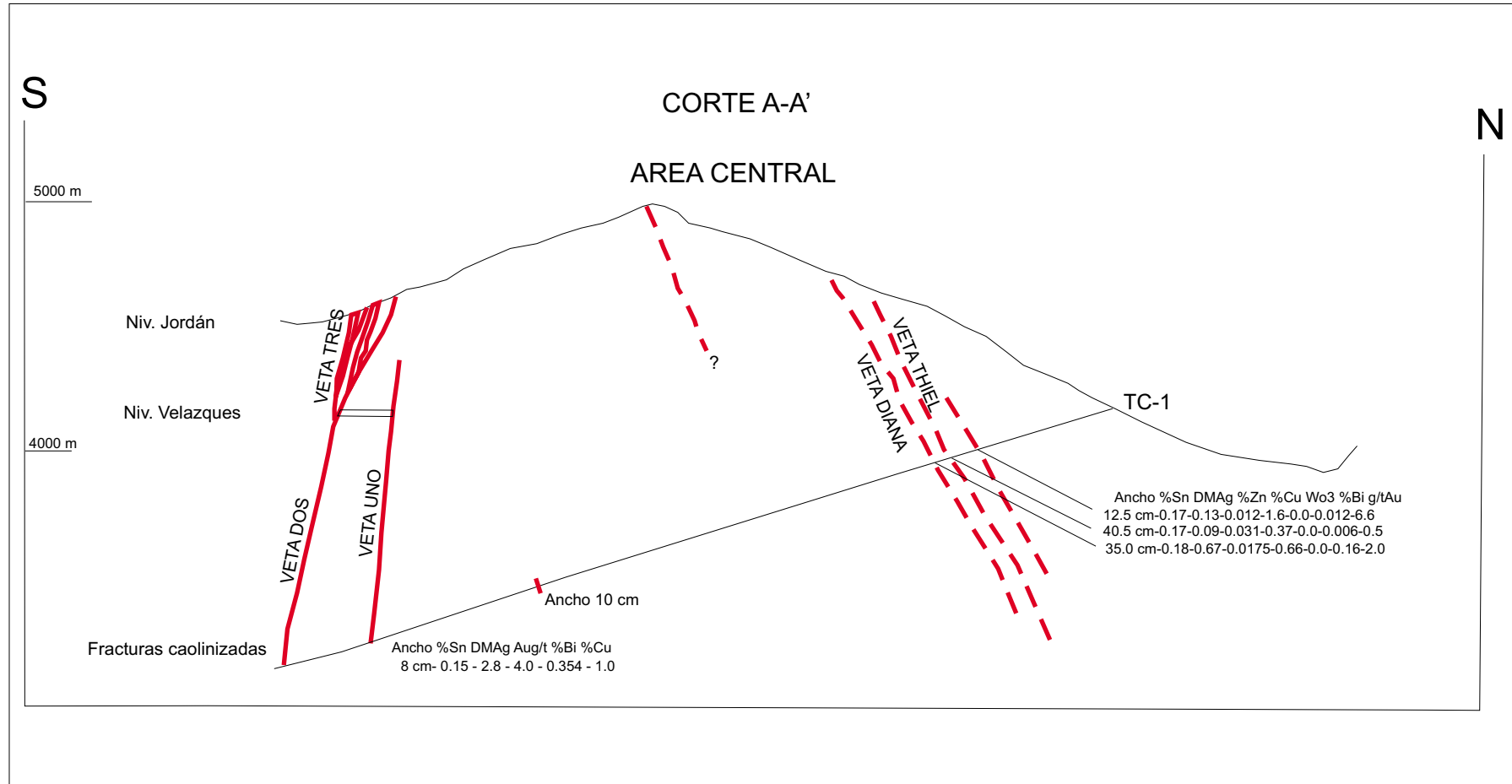


Fig.4.72. Corte A-A' del área Central (Modificado de Soruco y Vilte, en Soruco, 1972).

Tabla 4.3. Pozo 2 (TLD-2) Esmoraca – Farellones (COMIBOL, 1972)								
Geología: Estructuras cortadas	Distan cia (m)	Ensayes						
		% Sn	% Ag	% Cu	% Sb	% Bi	% WO3	g/t Au
Dacita alterada. Presencia repetida de vetillas de pirita, calcopirita y ocasionalmente turmalina, el carácter estructural del sector, es del tipo brechoso. Por la cobertura de material suelto en su superficie no es posible observar su afloramiento.	38.1 a 43.6	0	0.5	0	0.0	0.00	0	0.0
		0.60	0	0.37	0.12	0.00	0	0
		0	0	0.15	0.05	0.00	0	0
		0	0	0.62	0.05	0.00	0	0
		0	0	0.05	0.00	0.00	0	0
		0	0	0.05	0.05	0.00	0	0
		0	0	0.67	0.00	0.00	0	0
		0	3.0	2.40	0.00	0.00	0	1.0
		0	0	0.65	0.05	0.05	0	0
		0	0	0.17	0.00	0.00	0	0
		0	0	0.19	0.00	0.00	0	0
		0	0	0.14	0.00	0.00	0	0
		0	2.0	0.35	0.10	0.00	0	0
		0	0	0.10	0.00	0.00	0	0
Presencia de venillas de pirita	50.3 a 51	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0.44	0	0	0	0
		0	0	0.18	0	0	0	0
Dacita alterada, de coloración verdosa. Presencia de vetillas de pirita, calcopirita y ocasionalmente turmalina y cuarzo.	51.8 a 54.5	0	0	0.12	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0.07	0.06	0	0
		0	0	0	0	0.04	0	0
		0	0	0.06	0	0	0	0
		0	0	0.17	0.04	0	0	0
		0	0	0	0.15	0.05	0	0
		0	0	0	0.12	0.04	0	0
		0	0	0.08	0.10	0.05	0	0
Veta de especularita, limonita, cuarzo, con un ancho aproximado de 24 cm, la estructura presenta una zona de oxidación bastante conspicua de aspecto vesicular, en si constituye un tramo en el que se puede notar u efecto de fuerte lixiviación. El taladro por tal circunstancia atravesó la referida veta en su sector lixiviado. Significando por tanto que se infiere una buena expectativa de la estructura a niveles mas profundos, razón por la cual será necesario efectuar un taladro de diamantina con la finalidad de reconocimiento de la referida veta en el sector de enriquecimiento supergénico.	A 125	0.47	0.10	0.10	0.07	0.04	0.08	0.00
Zona alterada, caolinizada por efecto de la circulación por soluciones ácidas, se observa idénticas características también en el tramo comprendido entre 244.1 a 244.4 m	242.6 a 243.2	-	-	-	-	-	-	-
Sector de fracturas sin ningún tipo de relleno mineral, localizado sobre la proyección de veta Farellones a nivel del taladro.	263.3 a 266.7	-	-	-	-	-	-	-
Dacita sin efecto de alteración. Vetilla de pirita de 5 pulgadas correspondiente a una estructura con afloramiento exterior.	371.9	0.00	0.05	0.00	0.19	0.00	0.00	1.0
		0.00	0.05	0.00	0.08	0.00	0.00	1.0

4.5. Zonación

La distribución de los depósitos marca una zonación lateral (Fig. 4.73) por la presencia de minerales de alta temperatura como wolframita, turmalina e indicios de casiterita (Pueblo Viejo), y minerales de menor temperatura como galena (San Martín, Lipina) y esfalerita (Toldos) (Ramos Collorana y Fernández, 2005). Es probable además la ocurrencia de pulsos de mineralización sobreimpuesta marcando un telescopado (“telescoping”) para los yacimientos del Complejo Volcánico Galán, debido a la presencia de minerales de alta y baja temperatura en los mismos. La zonación vertical es posible debido a que los depósitos asociados a alta temperatura se encuentran principalmente en las partes bajas (mina Pueblo Viejo) y no existe evidencias de éste tipo de mineralización en las partes altas.

La alteración hidrotermal también es coincidente con esta zonación, debido a que la turmalinización está restringida a la parte central (Fig. 4.73) y en las partes adyacentes existe propilitización.

La zonación lateral evidenciada en los depósitos del Complejo Volcánico Galán (CVG) es similar a la propuesta por Sugaki et al., (1988) para las minas Tasna (particularmente en la zona Belén Sn-W-Bi), Avicaya – Bolívar y Chocaya – Animas. Estos autores mencionan una zonación lateral decreciente con elevados valores de temperatura en inclusiones fluidas en la zona Sn-W-Bi y su disminución hacia la zona Ag-Pb-Zn.

La turmalinización es común en distritos mineros de la Faja Estañífera, como los descritos en Llallagua, Cerro Rico de Potosí y Chorolque (Lehmann et al., 2000 a, 2000 b)

4.6. Paragénesis

La paragénesis en el Complejo Volcánico Galán está en relación con la distribución de los principales depósitos minerales en la zona. El esquema general de la

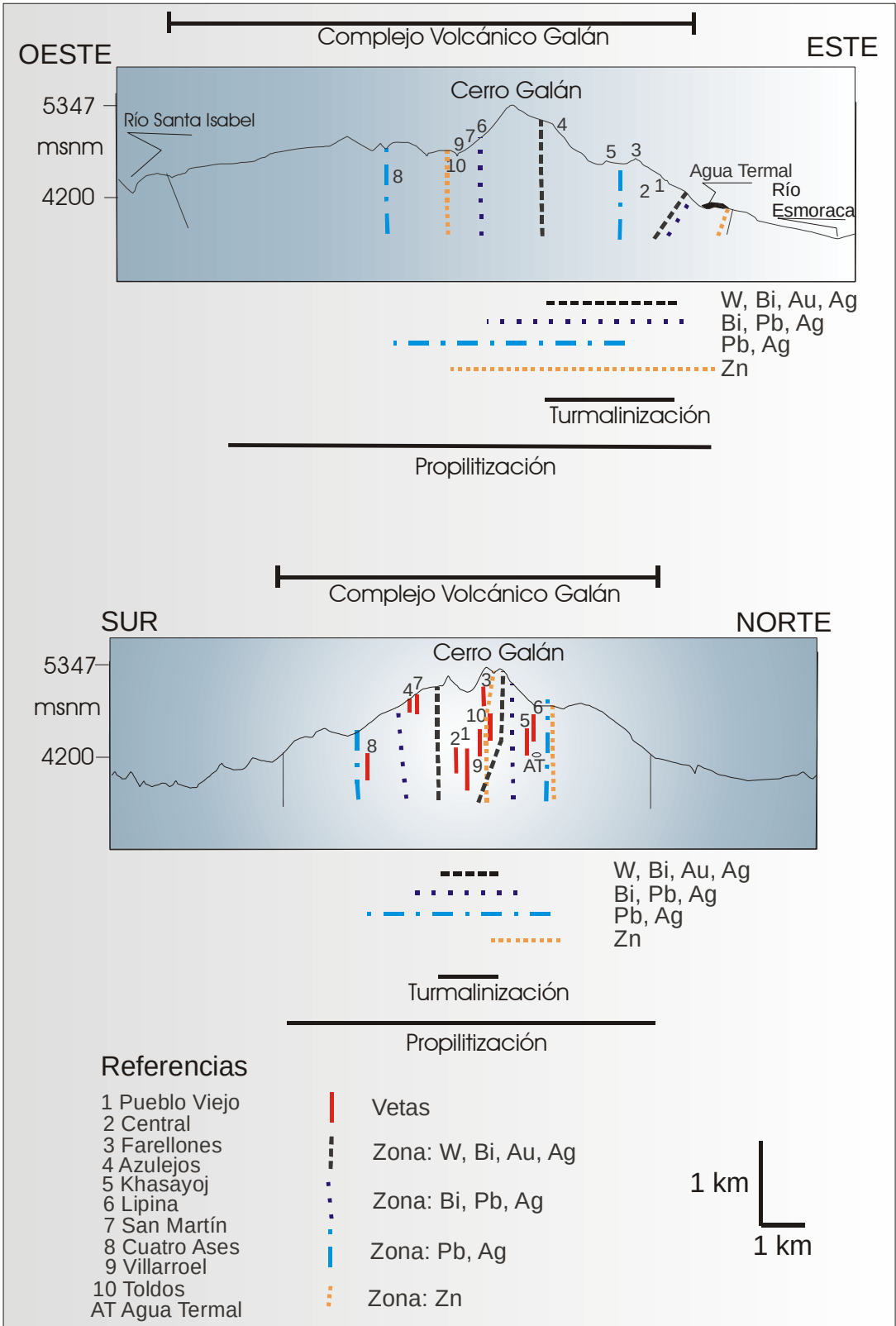


Fig. 4.73. Esquema de zonación lateral en el Complejo Volcánico Galán. Se muestra en los perfiles N-S y E-O, con minerales de alta temperatura como wolframio y turmalina en la parte central y minerales de baja temperatura como galena y esfalerita en las partes externas.

paragénesis es que se inició con una etapa probablemente de alteración de la roca encajonante que fue afectada por silificación y turmalinización, además de contenidos de pirita. La primera etapa de mineralización correspondería a minerales de alta temperatura como wolframita y turmalina, a ésta etapa correspondería la presencia e indicios de casiterita.

La siguiente etapa es la mineralización de bismutina y bismuto nativo. Posteriormente continuaría la mineralización con predominio de sulfuros como pirita, calcopirita, esfalerita y galena. En la etapa final existen vetillas de cuarzo que cortan las vetas preexistentes.

Esta secuencia descrita en dos etapas principales es probablemente el resultado de una depositación sucesiva, simultánea y sobreimpuesta, que marca una complejidad por la mineralización polimetálica que existe en el distrito.

4.7. Perspectivas de exploración

Las perspectivas de exploración son favorables con relación a los criterios expuestos respecto a las características de las mineralizaciones.

Los depósitos minerales principalmente son de tipo vetiforme, por lo tanto se requiere la prosecución de los trabajos de Pueblo Viejo con desarrollo de cuadros para profundizar y verificar el comportamiento y la continuidad de las vetas en el sustrato del complejo.

Existe indicios de la presencia de minerales en la roca encajonante como pirita (Fig. 4.82) y esfalerita (Fig. 4.83) y oro en el cerro Colorado (Uribe-Zeballos, 1994), los cuales son indicativos de probable mineralización diseminada en algunos sectores del complejo.

La presencia de aguas termales y sus depósitos (Fig. 4.84 y 4.85) son criterios de exploración en la búsqueda de yacimientos minerales.

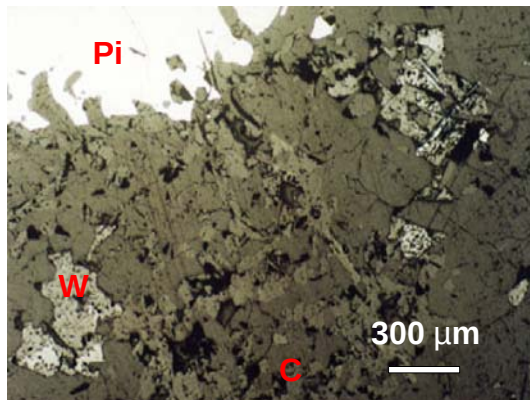


Fig.4.74. Fotomicrografía con luz reflejada de sección pulida. Se muestra wolframita (W), pirita (Pi) y cuarzo (C).

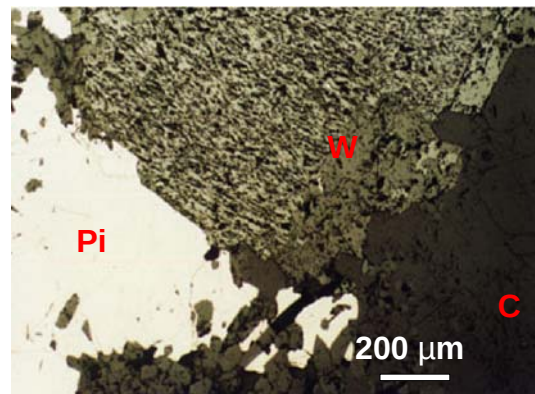


Fig.4.75. Fotomicrografía con luz reflejada de sección pulida. Se muestra wolframita (W), pirita (Pi) y cuarzo (C).

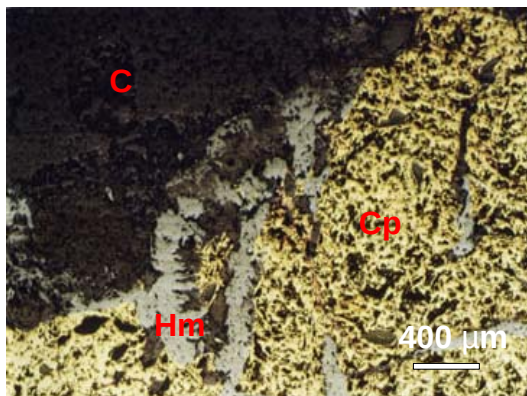


Fig.4.76. Fotomicrografía con luz reflejada de sección pulida. Se muestra calcopirita (Cp) con hematita (Hm) y cuarzo (C).

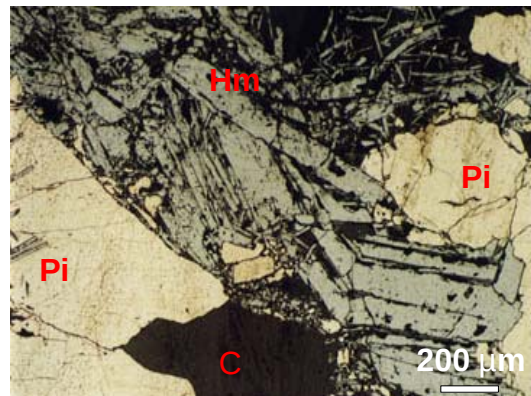


Fig.4.77. Fotomicrografía con luz reflejada de sección pulida. Se muestra pirita (Pi), hematita (Hm) y cuarzo (C).

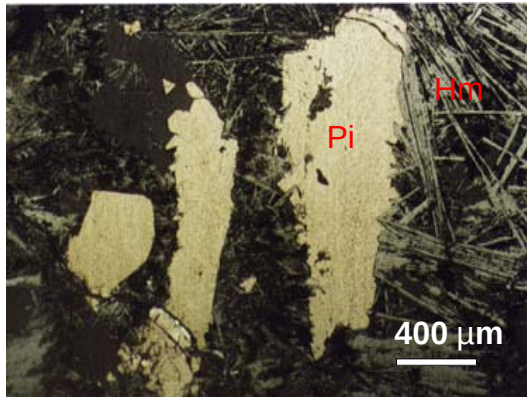


Fig.4.78. Fotomicrografía con luz reflejada de sección pulida. Se muestra pirita (Pi) y hematita (Hm).

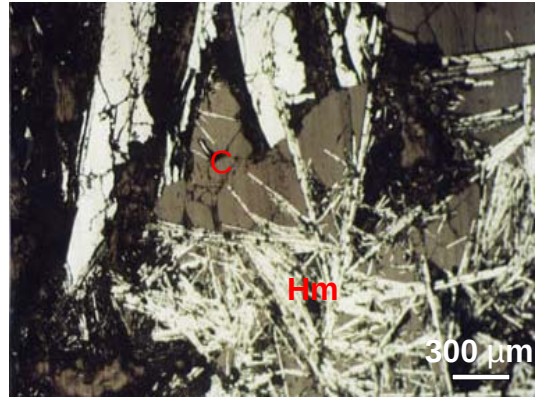


Fig.4.79. Fotomicrografía con luz reflejada de sección pulida. Se muestra hematita (Hm) y cuarzo (C).

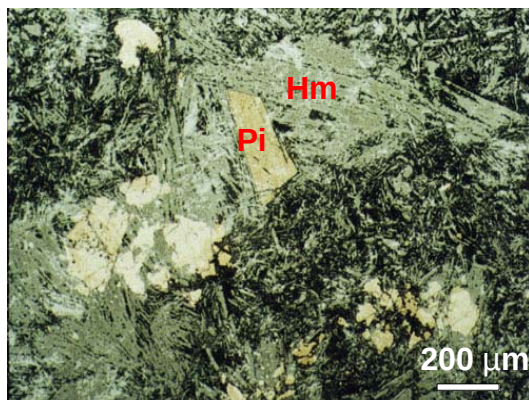


Fig.4.80. Fotomicrografía con luz reflejada de sección pulida. Se muestra pirita (Pi) y hematita (Hm).

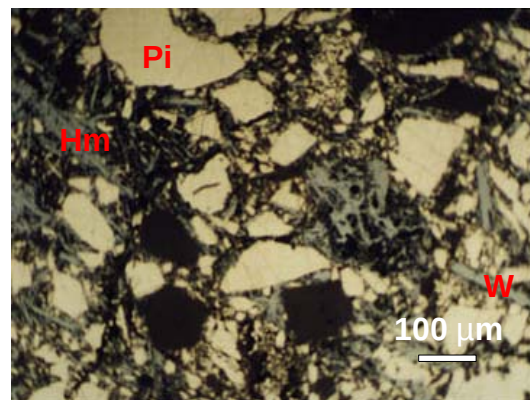


Fig.4.81. Fotomicrografía con luz reflejada de sección pulida. Se muestra pirita (Pi), hematita (Hm) y wolframita (W).

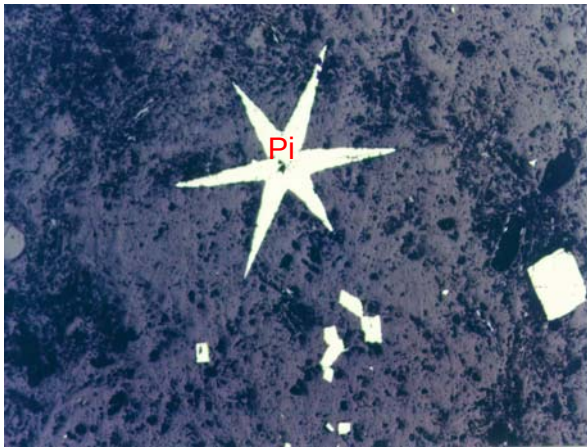


Fig. 4.82. Fotomicrografía de sección pulida donde se muestra pirita con textura radial diseminada en la roca.

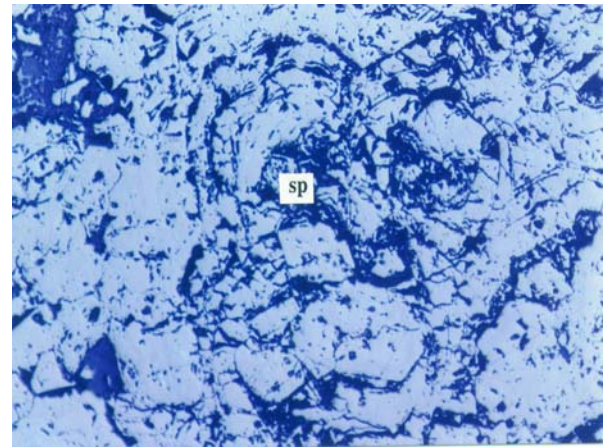


Fig. 4.83. Fotomicrografía de sección pulida donde se muestra esfalerita con textura concéntrica diseminada en la roca.

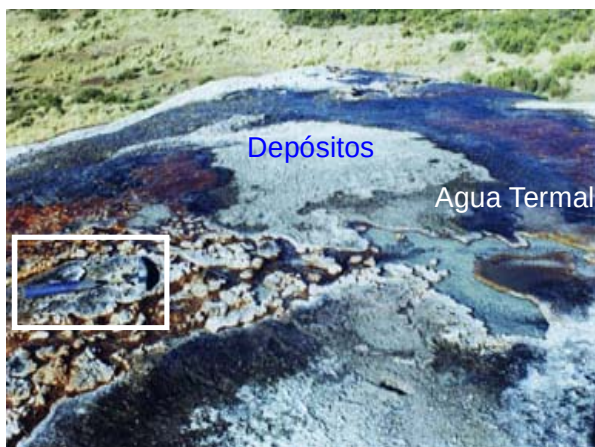


Fig. 4.84. Foto de afloramientos de depósitos de agua termal. En recuadro martillo como escala.

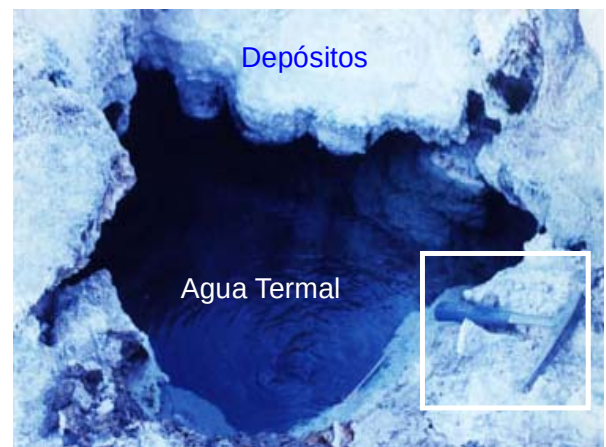


Fig. 4.85. Foto de afloramientos de depósitos de agua termal.

4.8. Conclusiones

Los depósitos minerales están asociados al ambiente subvolcánico - volcánico que generó el Complejo Volcánico Galán de edad Miocena ya que las vetas están alojadas en intrusiones de stocks subvolcánicos, domos volcánicos, lavas, ignimbritas y brechas volcánicas correspondientes a este complejo.

Los depósitos minerales corresponden principalmente a una tipología vetiforme, aunque en algunos sectores hay indicios de mineralización de tipo diseminada. La dirección predominante de las vetas es este – oeste, con inclinaciones variables desde verticales hasta 40° a 60° tanto al sur como al norte. La longitud de veta máxima registrada es de 1500 m y un desnivel en profundidad de hasta 200 m con una potencia promedio de 0.60 m hasta un máximo de 2 m. La textura en las diferentes vetas son masivas, bandeadas y brechosas.

La mineralogía de las vetas es de tipo polimetálico. La mena principal es la wolframita (Pueblo Viejo), bismutina (Azulejos, Central), galena (San Martín, Lipina, Villarroel, Cuatro Ases), esfalerita (Toldos), sin embargo en la mayoría de los depósitos descritos, aparte de los minerales mencionados existe pirita, calcopirita, bismutita y cuarzo. La asociación metálica de estos depósitos corresponde a W-Bi-Pb-Sn $\pm$ Au y Ag.

La composición mineral de los diferentes depósitos del Complejo Volcánico Galán, indica una zonación lateral, con la presencia de minerales de alta temperatura como wolframita, turmalina e indicios de casiterita (mina Pueblo Viejo), mientras que en sectores adyacentes están presentes minerales de menor temperatura como galena (San Martín, Lipina) y esfalerita (Toldos), asimismo hay una zonación vertical debido a que los depósitos de Pueblo Viejo y Central se encuentran restringidos a la parte baja del complejo.

En el Complejo Volcánico Galán, se encuentran otros depósitos minerales abandonados, con características similares a las descritas, con vetas de tipo polimetálico asociado con metales preciosos Au-Ag (Ramos Collorana et al., 2001a), con interesantes perspectivas de exploración, que están relacionados a la evolución de esta estructura volcánica.

Capítulo 5.

GEOQUÍMICA Y ALTERACIONES HIDROTERMALES DEL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN

CAPÍTULO 5

GEOQUÍMICA Y ALTERACIONES HIDROTERMALES EN EL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN

5.1. Introducción

Las diversas zonas de alteración hidrotermal, de extensiones variables, presentes en el Complejo Volcánico Galán (CVG) impulsaron la realización de un estudio geoquímico del tipo prospectivo. Esta es una metodología frecuentemente usada para la búsqueda de yacimientos minerales y en muchos casos ha demostrado su utilidad (Cruzat, 1984, Foster, 1993). De acuerdo a los alcances y posibilidades de realización de este trabajo de Tesis Doctoral se ha efectuado un muestreo geoquímico de tipo orientativo para determinar el comportamiento y la distribución de los elementos trazas.

5.2. Muestras y resultados

Las muestras obtenidas, en general consisten tanto de vetas como de zonas de alteración hidrotermal (AH). Fueron tomadas en superficie y su peso varió entre 1 y 2 kg en ambos casos. Los muestreos en las vetas fueron transversales a su rumbo mientras que los de zonas de AH (propilitización, sericitización, silicificación, argilización), representan zonas de 2 m hasta 20 metros cuadrados.

Los resultados obtenidos de los análisis respectivos se presentan en el anexo 2 y la ubicación de las muestras está en la Fig. 5.1. Los laboratorios utilizados fueron Activation Laboratories (Act Labs) de Canadá y Acme Analytical Laboratories.

Para el tratamiento estadístico se tomó en cuenta la asociación metálica de los depósitos minerales presentes en la zona de estudio, por lo tanto se estableció utilizar los siguientes elementos: Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Sb, As, Mn, Mo, Bi, W, Fe y Ba. En el análisis de los resultados se encuentran incluidos los datos de Uribe-Zeballos (1994) acerca de la zona.

Ubicación de muestras en el Complejo Volcánico Galán

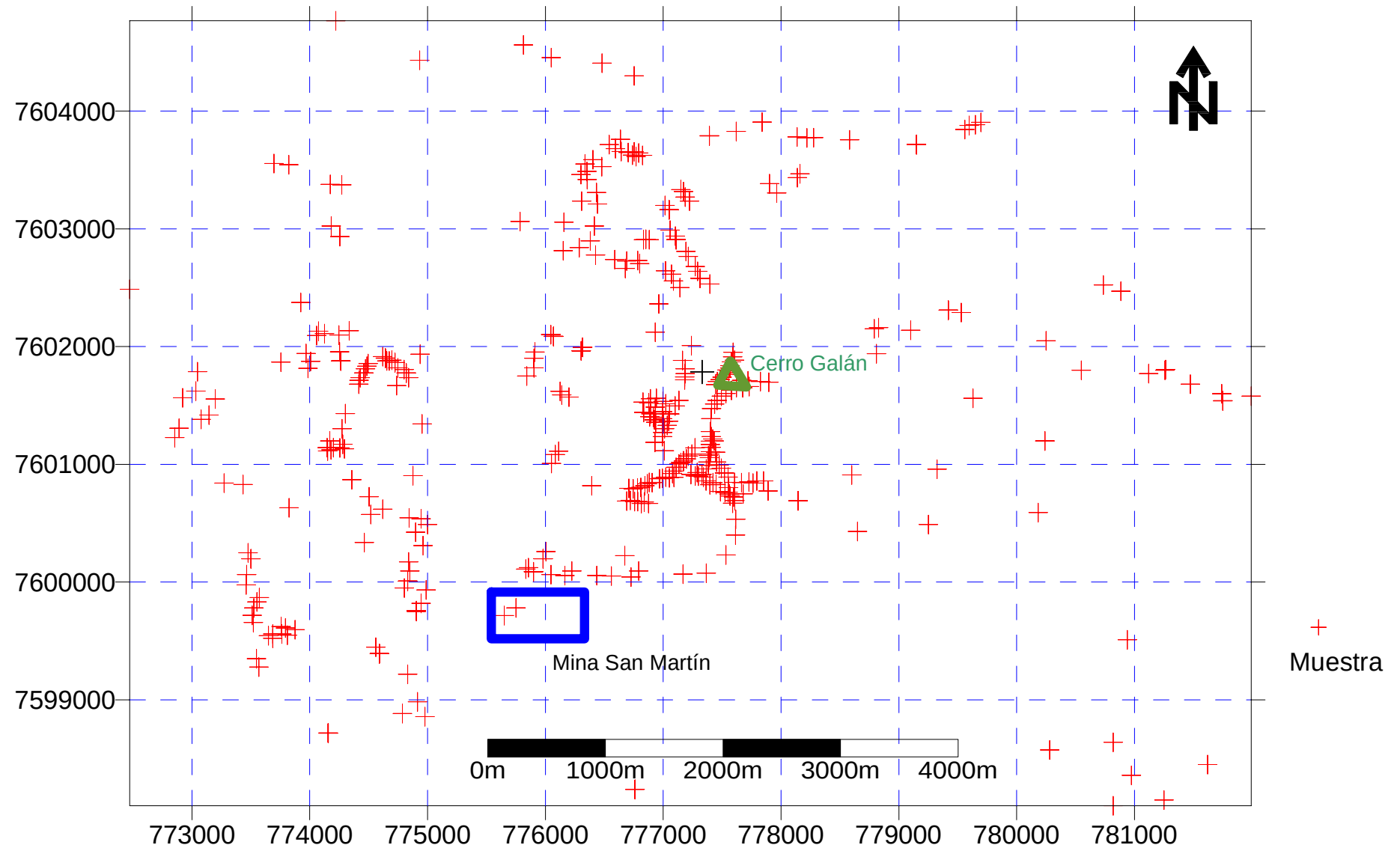


Fig. 5.1. Ubicación general (rocas y vetas) de las muestras en el Complejo Volcánico Galán.
En recuadro está marcado la mina San Martín y en triángulo el cerro Galán (5347 m snm)

5.3. Geoquímica

Los resultados fueron separados en dos grupos, unos corresponden a muestras de zonas de alteración hidrotermal, mientras que los otros son de vetas y/o zonas mineralizadas, ya que corresponden a 2 poblaciones diferentes.

El conjunto de los datos fue sujeto de un tratamiento estadístico, de los cuales se obtuvieron los principales parámetros de cada una de las poblaciones.

5.3.1. Metodología

Se realizó un análisis general de los datos de las muestras y para el tratamiento de aquellos datos que son menores al límite de detección se siguió el criterio de Grunsky (1991) tomándose la mitad de ese valor. Posteriormente se realizaron tablas, diagramas rectangulares (“box-whiskers”), coeficientes de correlación y diagramas de dispersión con escala logarítmica (log-log) y análisis de componentes principales para zonas de alteración hidrotermal, vetas y zonas mineralizadas y la mina San Martín. Cuando el conjunto de datos muestra que no tiene una distribución normal, se realizó una transformación de los datos a logaritmos naturales (Ln), como el que proponen Jaboyedoff et al., (1984).

Otro aspecto a tener en cuenta son los valores excepcionales o altos que son considerados extremos o escapados (“outliers”), que son datos que sobresalen del conjunto; para todos los casos fue tomado el percentil 95 (Grunsky, 1991). Estos valores extremos no fueron tomados en cuenta para determinar el fondo geoquímico (“background”) que es un valor promedio regional, además del umbral (“threshold”) y las anomalías.

Con el procedimiento mencionado se realizó el tratamiento de 13 variables que son los contenidos de Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Sb, As, Mn, Mo, Bi, W, Fe y Ba.

Para la obtención de los parámetros geoquímicos se siguió los criterios de Grunsky (1991), por lo tanto se considera el fondo geoquímico (percentil 50), umbral geoquímico (percentil 95) y anomalías geoquímicas por encima de éste último parámetro. La anomalía se toma en cuenta como datos puntuales o múltiples (incluye relación espacial).

5.3.2. Geoquímica de alteración hidrotermal

Las principales alteraciones en el ámbito regional corresponden a propilitización y sericitización, además de turmalinización y silicificación. La propilitización está caracterizada por la presencia de clorita y piritita en menor proporción; además Murillo et al., (1995) mencionan la presencia de albita y epidoto esparcidos. La sericitización afectó principalmente a la plagioclasa y biotita, mientras que la turmalinización y la silicificación afecta a la matriz de las rocas.

5.3.2.1. Resultados

El número de muestras, valores máximos y mínimos de los elementos citados están en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Datos de rocas y/o zonas de alteración													
	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Sb	As	Mn	Mo	Bi	W	Fe	Ba
n muestras	297	297	297	297	297	297	297	297	297	47	47	47	47
Mínimo	0.001	0.05	0.50	2.50	6.00	1.50	1.00	1.00	0.05	1.50	1.00	1.1	23.00
Máximo	20.9	824	6230	15000	175000	420	88000	96000	24	1404	99	13	2506

Tabla 5.1. Datos de zonas de alteración hidrotermal del Complejo Volcánico Galán. Los mismos son expresados en ppm; a excepción del Fe (%).

Los tenores de cada elemento varían y su distribución se muestra en mapas geoquímicos (Fig. 5.2 a 5.14). El oro tiene valores elevados en la parte oriental (Fig. 5.2), como el bismuto (Fig. 5.3) y el wolframio (Fig. 5.4) aunque varían los tenores y los lugares de mayor concentración. La distribución de Ag (Fig. 5.5), Pb (Fig. 5.6) y Zn (Fig. 5.7) se manifiesta en sectores de la parte oriental, central y occidental respectivamente. El cobre (Fig. 5.8) se distribuye en la mayor parte del área, aunque la mayor concentración está en la parte oriental; mientras que el As (Fig. 5.9) y Mo (Fig. 5.10) se concentran más en la parte central. La distribución del Sb (Fig. 5.11) es en los sectores central y suroeste; mientras que el manganeso (Fig. 5.12) tiene valores mayores en la parte occidental y el Fe (Fig. 5.13) expresado en % está en la parte oriental. Asimismo el Ba (Fig. 5.14) se distribuye en la parte oriental y noreste del sector.

La distribución de los datos, expresados en diagramas rectangulares de los elementos mencionados muestra que cuando los datos no están transformados

tienen una asimetría positiva, principalmente el Zn, As, Mn y parcialmente el Cu y Pb. Cuando se realiza la transformación a logaritmos naturales la distribución es más normal en la mayoría de los elementos, aunque en menor proporción en el Au, Sb, Mo, Bi, W y Fe. Cuando no se toma en cuenta los valores extremos (altos) y los datos no están transformados se mantiene la asimetría positiva principalmente de Mn, Pb, Zn, Ba, y en menor medida el Cu y As. Los parámetros de distribución mejoran cuando se eliminan los valores extremos (“outliers”) y se transforman los datos a logaritmos naturales (Ln), la distribución de los datos mejora en todos los elementos (Fig. 5.15), aunque es menos notorio en el Sb, Bi y W.

En el diagrama de probabilidad normal (Fig. 5.16) se muestra una tendencia a una distribución normal, aunque en algunos elementos como Sb, As, Bi, Ba es menor. Asimismo se ha realizado la prueba de bondad de Kolmogorov-Smirnov (Tabla 5.2) que muestra que algunos valores obtenidos son mayores al crítico con alfa 0.10 principalmente en el Au, Sb, Mo y Bi. Estos resultados indican una tendencia a la normalidad.

Los parámetros estadísticos de los datos de alteración hidrotermal se muestran en la Tabla 5.3. Respecto a las medias y medianas los resultados obtenidos son similares en la mayoría de los casos, con ciertas variaciones en el Sb, As, Au, y en menor proporción en Ba y Mn (Tabla 5.3); entonces esta variación menor de los resultados de medidas centrales corrobora una tendencia en la distribución normal de los elementos.

Tabla 5.2. Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) de AH													
	AU	AG	CU	PB	ZN	SB	AS	MN	MO	BI	W	FE	BA
Kolmogorov-Smirnov stat	0.200	0.11	0.08	0.06	0.05	0.31	0.20	0.11	0.25	0.30	0.28	0.14	0.17
Critical K-S stat, alpha=.10	0.072	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.18	0.18	0.18	0.18
Critical K-S stat, alpha=.05	0.080	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.20	0.20	0.20	0.20
Critical K-S stat, alpha=.01	0.096	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.24	0.24	0.24	0.24

Tabla 5.2. La prueba es con datos transformados a logaritmos naturales (Ln) y sin extremos. Los valores críticos K-S son con alfa 0.10, 0.05 y 0.01.

Los resultados del fondo y umbral geoquímico (Tabla 5.3) muestran datos elevados en Pb, Zn, Mn, Ba; moderados en As, Cu, Sb; y bajos en Mo, Bi, W, Ag y Au. Los mapas geoquímicos y estos datos son coincidentes con la asociación polimetálica y la mineralización presente en el CVG.

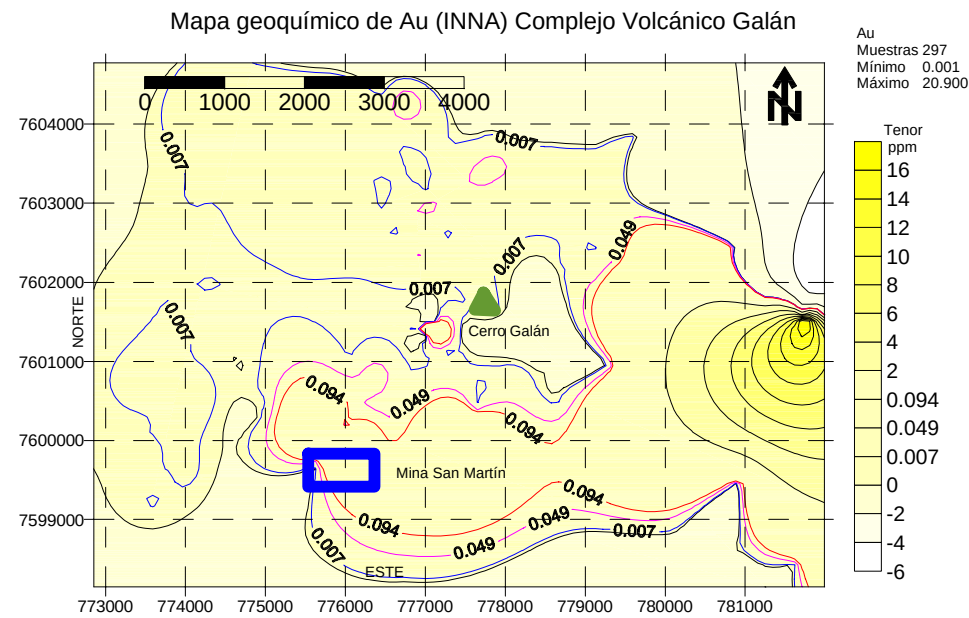


Figura 5.2. Distribución de oro (Au ppm) en zonas de alteración hidrotermal.

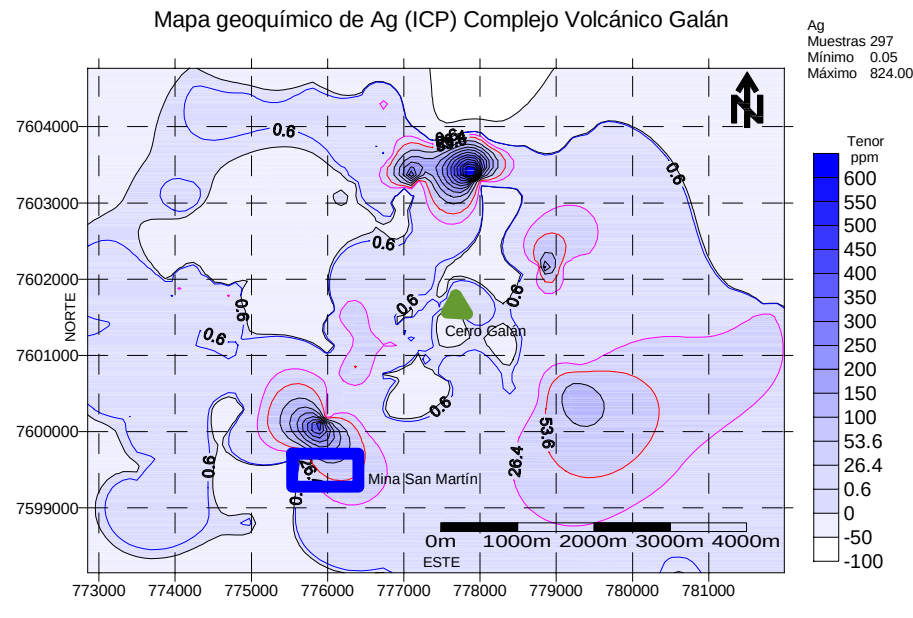


Figura 5.5. Distribución de plata (Ag ppm) en zonas de alteración hidrotermal.

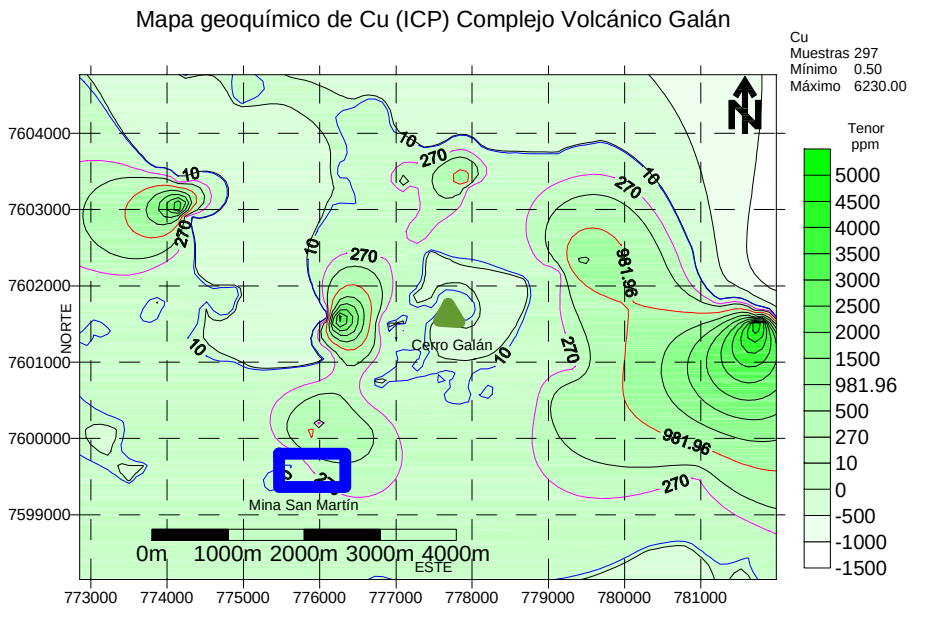


Figura 5.8. Distribución de cobre (Cu ppm) de zonas de alteración hidrotermal.

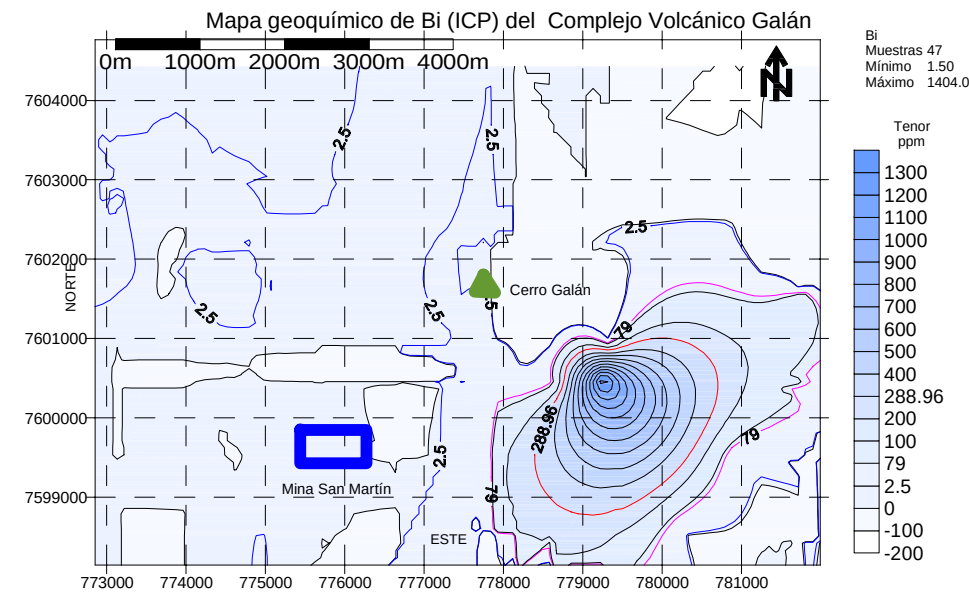


Figura 5.3. Distribución de bismuto (Bi ppm) en zonas de alteración hidrotermal.

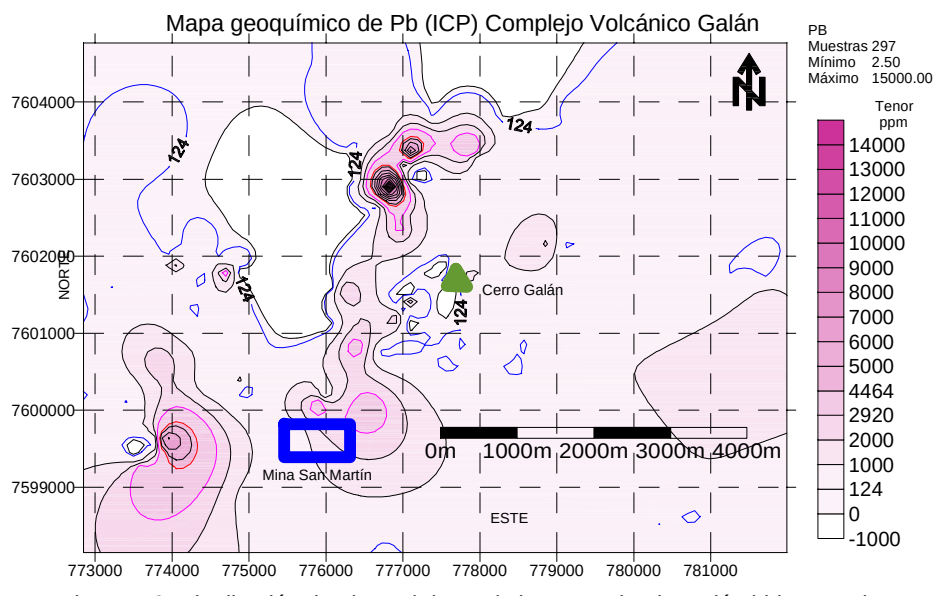


Figura 5.6. Distribución de plomo (Pb ppm) de zonas de alteración hidrotermal.

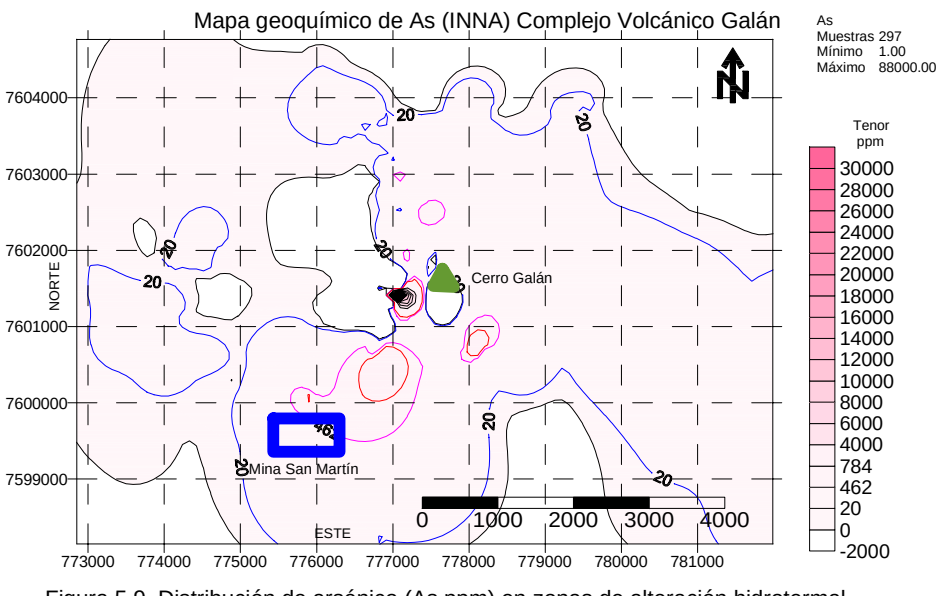


Figura 5.9. Distribución de arsénico (As ppm) en zonas de alteración hidrotermal.

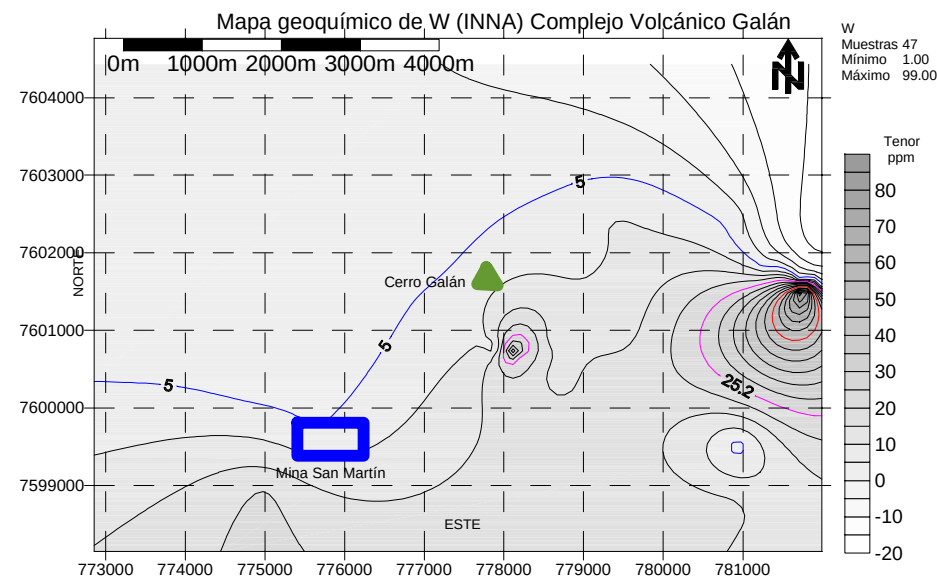


Figura 5.4. Distribución de wolframio (W ppm) en zonas de alteración hidrotermal.

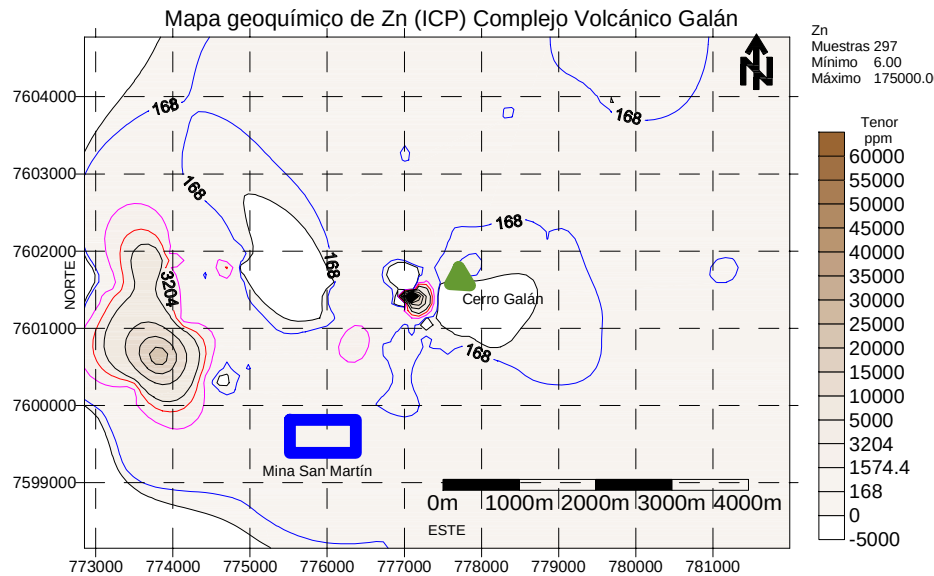


Figura 5.7. Distribución de zinc (Zn ppm) en zonas de alteración hidrotermal.

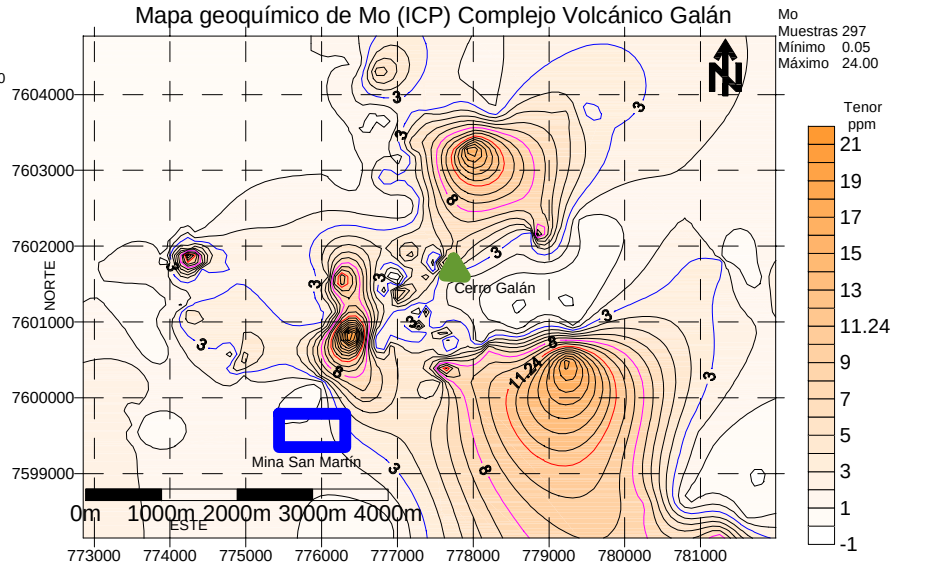


Figura 5.10. Distribución de molibdeno (Mo ppm) en zonas de alteración hidrotermal.

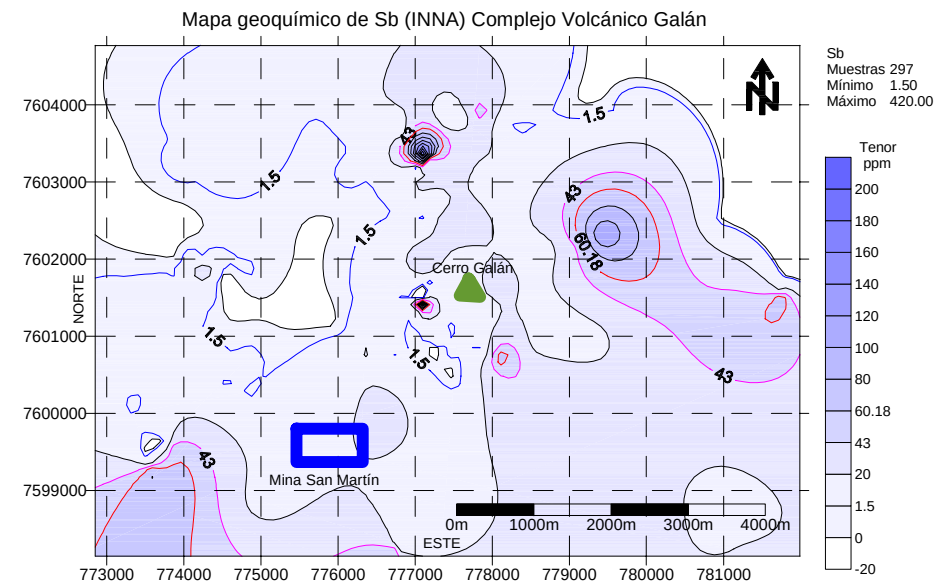


Figura 5.11. Distribución de antimonio (Sb ppm) en zonas de alteración hidrotermal.

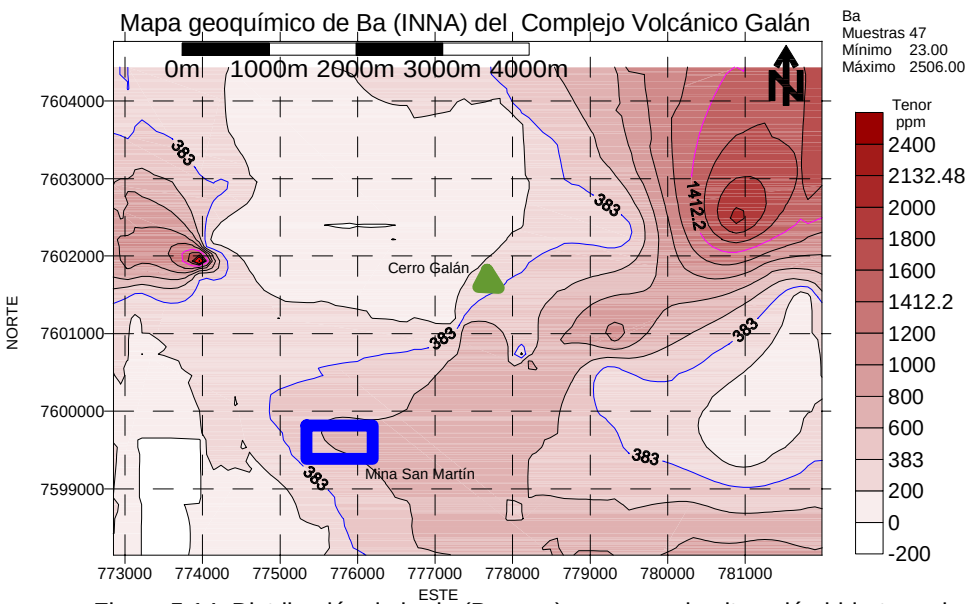


Figura 5.14. Distribución de bario (Ba ppm) en zonas de alteración hidrotermal.

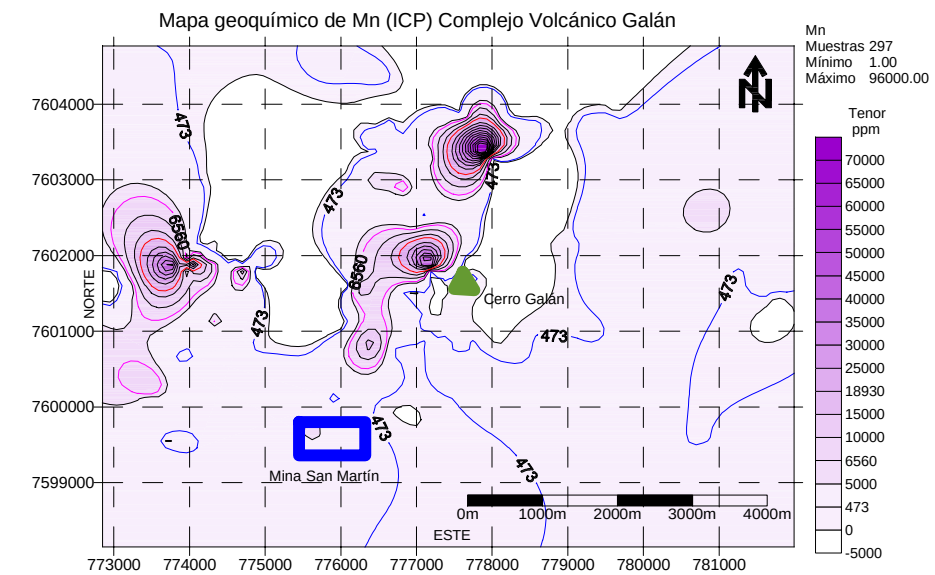


Figura 5.12. Distribución de manganeso (Mn ppm) en zonas de alteración hidrotermal.

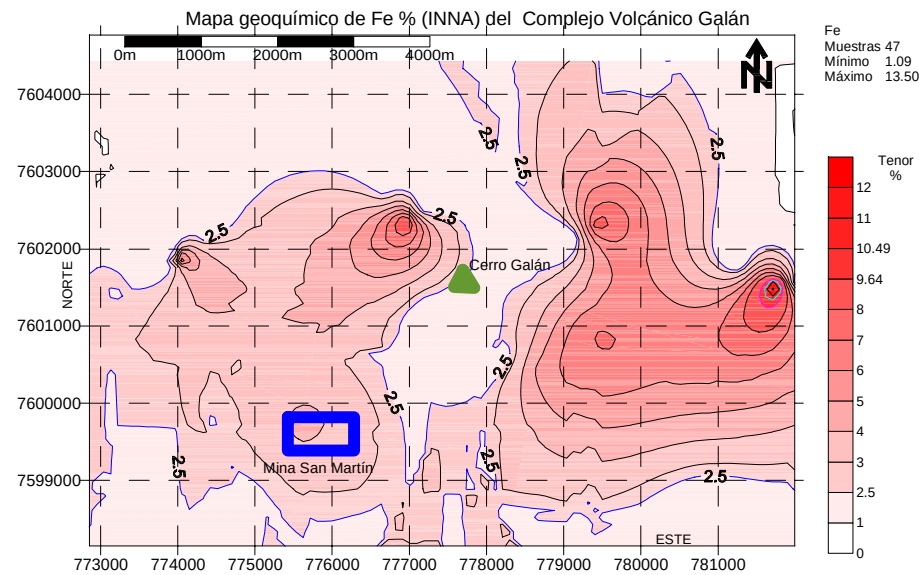


Figura 5.13. Distribución de hierro (Fe %) en rzonas de alteración hidrotermal.

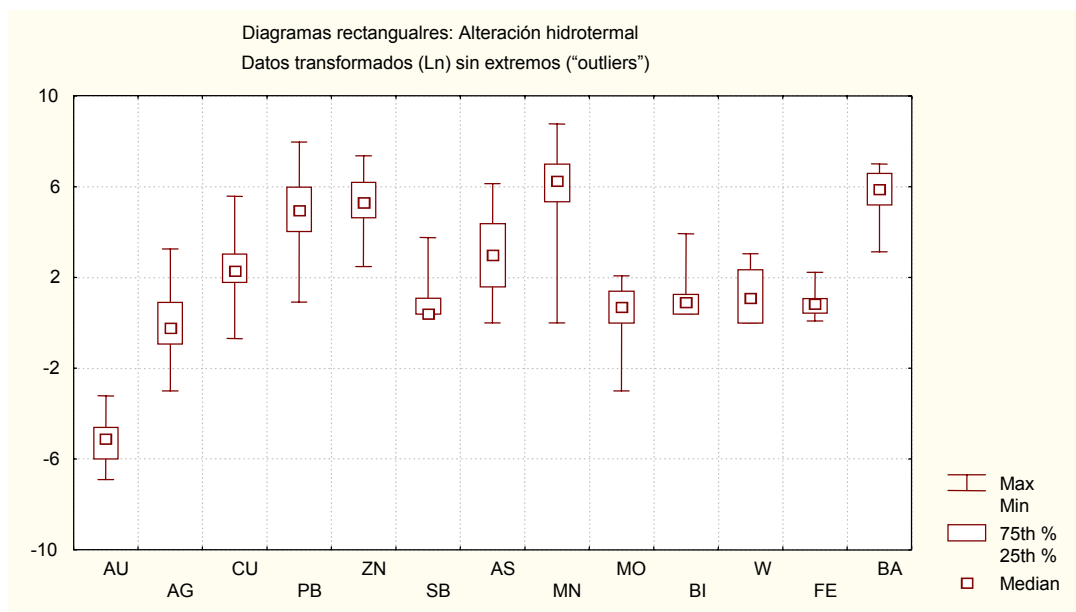


Fig. 5.15. Diagrama rectangulares ("Box – Whiskers") de zonas de alteración hidrotermal del Complejo Volcánico Galán. Los datos están transformados a logaritmos naturales y no se toman en cuenta los extremos.

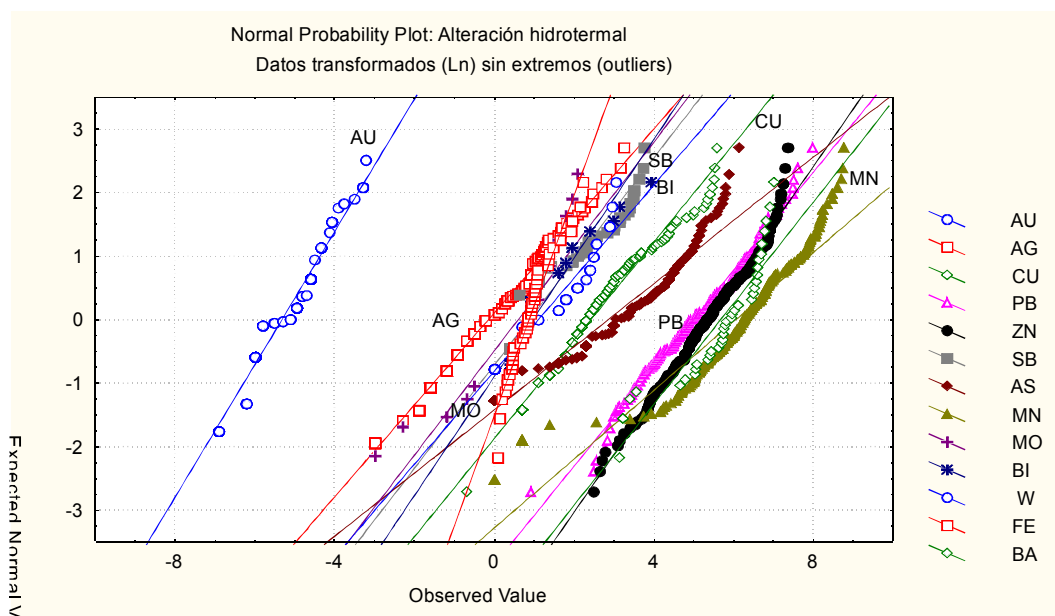


Figura 5.16. Diagrama de probabilidad normal de zonas con alteración hidrotermal del Complejo Volcánico Galán, donde se muestra que los datos transformados a logaritmo natural (Ln) y sin extremos tienden a una distribución normal.

Las anomalías geoquímicas (todos los valores superiores al umbral) (Fig. 5.2 a 5.14) indican las zonas más propicias para desarrollar trabajos a mayor detalle.

Tabla 5.3. Resumen de los resultados estadísticos de zonas de alteración hidrotermal Complejo Volcánico Galán													
	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Sb	As	Mn	Mo	Bi	W	Fe	Ba
Media	0.006	0.59	11.09	120.29	160.10	2.92	13.40	335.49	1.89	2.76	3.22	2.4	291.2
Mediana	0.007	0.60	10.00	116.00	160.00	1.50	20.00	424.96	3.00	2.50	3.00	2.3	356.8
Varianza	2.041	12.6	3.65	5.58	4.128	2.49	45.029	18.861	3.75	2.07	3.71	1.3	3.6
Desv. Standard	2.327	4.92	3.12	3.71	3.289	2.60	7.037	5.550	3.15	2.35	3.14	1.7	3.1
Asimetría	0.888	1.00	1.80	1.16	0.82	4.02	0.89	0.25	0.19	5.61	1.22	2.1	0.3
Curtosis	0.525	0.45	1.56	0.51	0.63	2.27	0.27	13.96	13.7	15.53	0.19	1.2	1.4
Fondo	0.007	0.60	10.00	116.00	160.00	1.50	20.00	425	3.00	2.50	3.00	2.3	357
Umbral	0.017	8.08	94.00	998	1098	28	258	3391	6.00	18	18	7	897

Tabla 5.3. Resultados de parámetros estadísticos de zonas de alteración hidrotermal del Complejo Volcánico Galán. En el cálculo del fondo y el umbral geoquímico los datos fueron transformados a logaritmo natural y no se tomaron en cuenta los extremos. Los datos están expresados en ppm a excepción del Fe (%).

En la Tabla 5.4 se presentan los coeficientes de correlación con datos transformados a logaritmos naturales (Ln) y sin los valores extremos. Son de alta correlación el Sb - W, Ag - Pb, W - Ag, Cu-Fe, Ag-Bi, Cu-Pb y Pb-Zn, mientras tienen una moderada correlación el Au-Bi, Ag-Cu, Ag-Zn, Cu-Ba, As-W, Mn-Mo, Mn-Fe y W-Ba. Existe baja correlación en Au-Ag, Au-Zn, Au-As, Au-Mn, Ag-Sb; Ag-As, Cu-Sb, Pb-As, Pb-Sb, Pb-Mn, Zn-Mn y Zn-Mo. Los demás coeficientes de correlación (< 0.155) no son significativos (Tabla 5.4), debido a que son menores al valor crítico. Los valores significativos de los coeficientes de correlación se indican en la Tabla 5.4, para el nivel 5 % y 1 % para $n = 282$ y $n = 44$ obtenidos de la interpolación de la tabla que se muestra en Merodio (1985).

En los diagramas de dispersión múltiple (Fig. 5.17) se muestra la interrelación de elementos de X-Y (X un elemento con Y en elementos múltiples), que brindan una relación entre los metales.

Los resultados de análisis de componentes principales (ACP) de rocas indican que los primeros 4 componentes corresponden al 73% de la varianza total (Tabla 5.5). En el factor 1 (CP1) la mayoría de los elementos son de signo positivo a excepción del Pb y Zn que son de signo negativo, sin embargo son de mayor carga el As, W, Ag, Sb, Ba y Bi. En el factor 2 (CP2) las mayores cargas corresponden al Zn y Pb

Tabla 5.4. Coeficientes de correlación de Pearson de alteración hidrotermal (con valores Ln y sin extremos)

	AU	AG	CU	PB	ZN	SB	AS	MN	MO	BI	W	FE	BA
AU	1.000												
AG	-0.172	1.000											
CU	0.003	0.452	1.000										
PB	-0.141	0.626	0.536	1.000									
ZN	-0.224	0.328	0.415	0.519	1.000								
SB	-0.005	0.262	0.249	0.224	0.072	1.000							
AS	0.178	0.287	0.039	0.202	-0.027	0.132	1.000						
MN	-0.189	0.043	0.020	0.221	0.247	-0.029	0.100	1.000					
MO	0.075	-0.081	-0.094	0.007	-0.276	-0.025	0.152	0.456	1.000				
BI	0.427	0.550	0.265	0.161	-0.255	0.361	0.380	-0.322	0.175	1.000			
W	0.109	0.603	-0.017	-0.029	-0.377	0.684	0.426	-0.094	0.070	0.330	1.000		
FE	0.092	0.144	0.615	0.460	0.364	0.105	0.141	0.487	-0.260	0.172	0.105	1.000	
BA	-0.104	0.171	-0.415	-0.303	-0.056	0.329	0.252	0.109	0.134	0.104	0.388	-0.119	1.000

Valores críticos (Merodio, 1985) de "r": Au a Mo (n=282) $R_{\alpha 5\%}=0.118$, $R_{\alpha 1\%}=0.155$

Bi a Ba (n=44) $R_{\alpha 5\%}=0.296$, $R_{\alpha 1\%}=0.385$

Tabla 5.4. Coeficientes de correlación de Pearson de alteración hidrotermal. En negrita están los valores significativos con relación a los valores críticos. Correlación alta (>0.5), moderada (0.3 - 0.5) y baja (0.3 - 0.155).

que son de signo negativo, mientras que el factor 3 (CP3) la mayor carga corresponde al Au, Bi, Cu. En la Fig. 5.18 se muestra un diagrama en 3D de los 3 componentes principales con rotación normalizada, donde se observa la asociación polimetálica del complejo W, Bi, Pb, Zn, Ag, Au. Es posible interpretar que existe asociación metálica W, Bi, Ag y Cu con relación a Pb y Zn predominante, aunque en cada uno de ellos se encuentran indicios de ambos en cada asociación, provocada por la zonación metálica.

5.3.3. Geoquímica de vetas y/o zonas mineralizadas

El número de muestras es de 124 para el Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Sb, As, Mn, Mo y de 32 para Bi, W, Fe y Ba. Los valores máximos y mínimos se citan en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6. Datos de vetas y/o zonas mineralizadas													
	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Sb	As	Mn	Mo	Bi	W	Fe	Ba
n muestras	124	124	124	124	124	124	124	124	124	32	32	32	32
Mínimo	0.001	0.05	3.00	10.00	14.00	1.50	1.00	60.00	0.50	1.50	1.00	0.3	6.00
Máximo	35.00	1250	29000	60800	175000	1500	32900	98000	78	3622	288	30	1824

Tabla 5.6. Datos de los elementos de número de muestras, mínimo y máximo de vetas y/o zonas mineralizadas del Complejo Volcánico Galán. El valor mínimo y máximo esta expresado en ppm para el Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Sb, As, Mn, Mo, Bi y Ba; mientras que el contenido de Fe es en %.



Fig. 5.17. Diagramas de dispersión múltiple con escala log-log de alteración hidrotermal del Complejo Volcánico Galán.

Tabla 5.5. Componentes principales: Alteración hidrotermal				
Factor Loadings (Varimax normalized)				
Extraction: Principal components				
(Marked loadings are > .700000)				
	Eigenvector			
	Factor	Factor	Factor	Factor
	1	2	3	4
AU	0.0964	-0.0387	0.8089	-0.2164
AG	0.7147	0.0469	0.3694	0.2406
CU	0.0645	-0.5067	0.6692	0.1035
PB	-0.0504	-0.8001	0.3367	0.0557
ZN	-0.2827	-0.8309	-0.1322	-0.0498
SB	0.7714	0.0349	0.0363	0.3159
AS	0.7885	-0.1018	0.2469	-0.1177
MN	0.0121	-0.7724	-0.4764	-0.0577
MO	0.1897	0.0903	-0.0743	0.8808
BI	0.4535	0.1277	0.6367	0.0964
W	0.7872	0.2459	0.0674	0.1595
FE	0.0180	-0.7894	0.1890	-0.1310
BA	0.6926	0.0913	-0.4329	-0.2990
Eigenvalor	3.797	2.947	1.738	1.051
% varianza total	29.206	22.673	13.366	8.085
%varianza acumul.	29.206	51.879	65.244	73.329

Tabla 5.5. Análisis de componentes principales (ACP) de alteración hidrotermal del CVG.

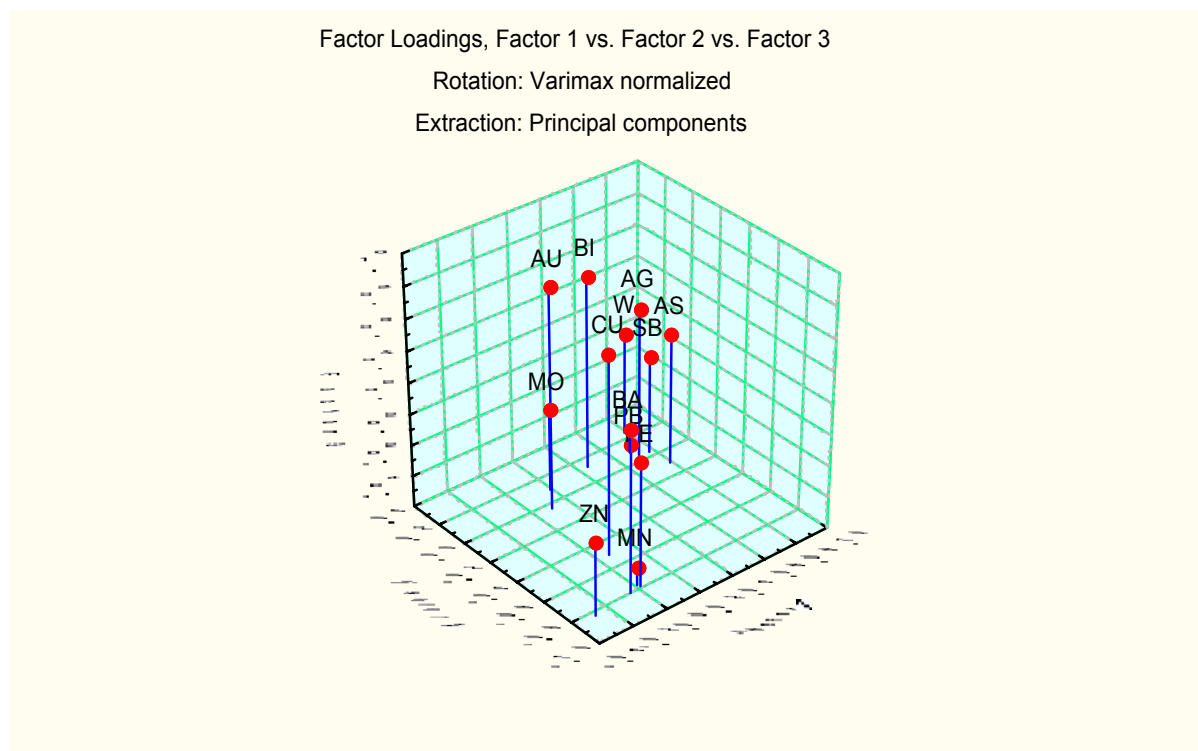


Fig. 5.18. Diagrama de dispersión en 3D de los componentes principales ("factor loadings") 1, 2 y 3, de alteración hidrotermal del CVG.

Los muestreos fueron realizados mayoritariamente en afloramientos de vetas, los cuales están constituidos en general de óxidos de Fe y cuarzo.

5.3.3.1. Resultados

La distribución de cada elemento de las vetas y/o zonas mineralizadas se muestra en mapas geoquímicos (Fig. 5.19 a 5.31). El oro (Fig. 5.19) contiene valores mayores en la parte central y oriental; mientras que el bismuto (Fig. 5.20) y wolframio (Fig. 5.21) son de similar distribución en la parte oriental. La plata (Fig. 5.22) tiene valores elevados en la parte occidental y noreste; mientras que el plomo (Fig. 5.23) y el zinc (Fig. 5.24) tienen zonas con alto contenido en la parte central. El cobre (Fig. 5.25) tiene como áreas sobresalientes la parte central, suroeste y oriental, mientras que el arsénico (Fig. 5.26) y molibdeno (Fig. 5.27) arrojaron valores elevados en la parte central y noreste. El antimonio (Fig. 5.28) tiene sectores con datos altos en la parte noreste, suroeste y occidental; mientras que el manganeso (Fig. 5.29) es de una distribución caótica, con valores altos en la parte central. El hierro (Fig. 5.30) es sobresaliente en la parte oriental. El bario (Fig. 5.31) muestra valores importantes en la parte occidental.

En los diagramas rectangulares ("Box – Whiskers") de las vetas del Complejo Volcánico Galán (Fig. 5.32), se muestra los datos transformados a logaritmos naturales y sin extremos, por lo que la distribución de los elementos tiende a ser normal, aunque es menos notorio en Sb, Bi y Mo. Sin embargo, cuando los datos no están transformados son de asimetría positiva, que es notorio en el Zn, Mn, Pb, As y Cu.

En el diagrama de probabilidad normal (Fig. 5.33) se muestra datos transformados a logaritmos naturales (Ln) y sin extremos; donde la distribución de los elementos tiende a ser normal, con excepciones para algunos elementos como el Au. La prueba de bondad de Kolmogorov-Smirnov (tabla 5.7) muestra que los valores obtenidos son menores al valor crítico con alfa 0.10 en Ag, Cu, Pb, Zn, As, Mn, W, Fe y Ba, que indican una tendencia a una distribución normal; mientras que los valores son mayores en Mo, Sb, Au y Bi, aunque los mismos se acercan al valor crítico.

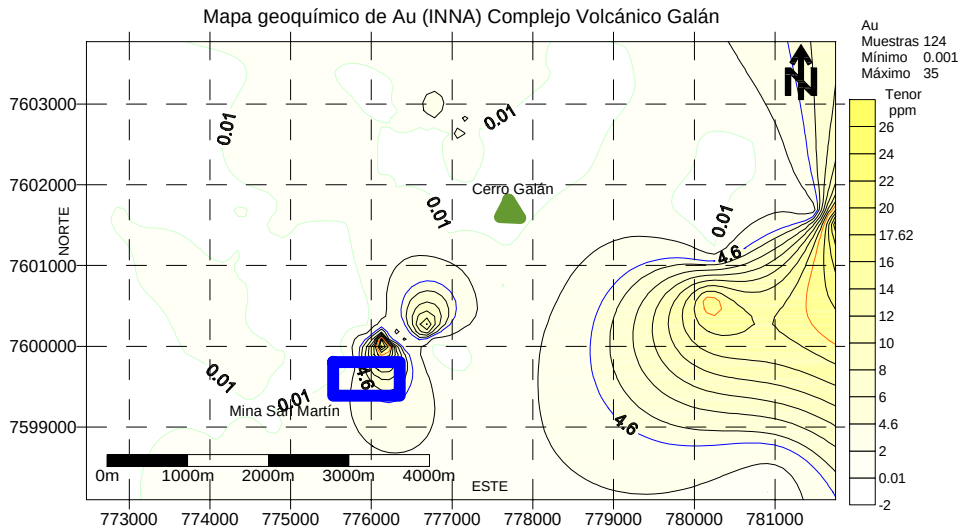


Figura 5.19. Distribución de oro (Au ppm) en vetas y/o zonas mineralizadas.

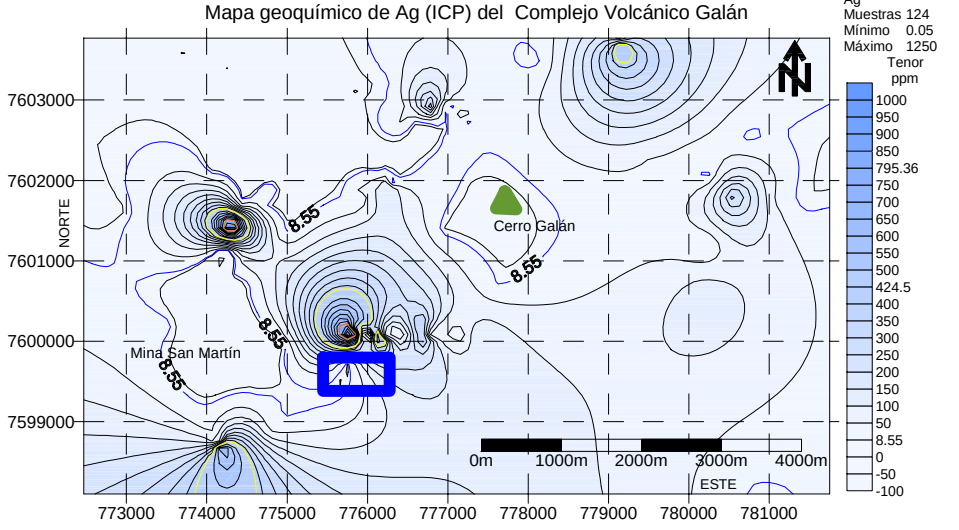


Figura 5.22. Distribución de plata (Ag ppm) de vetas y/o zonas mineralizadas.

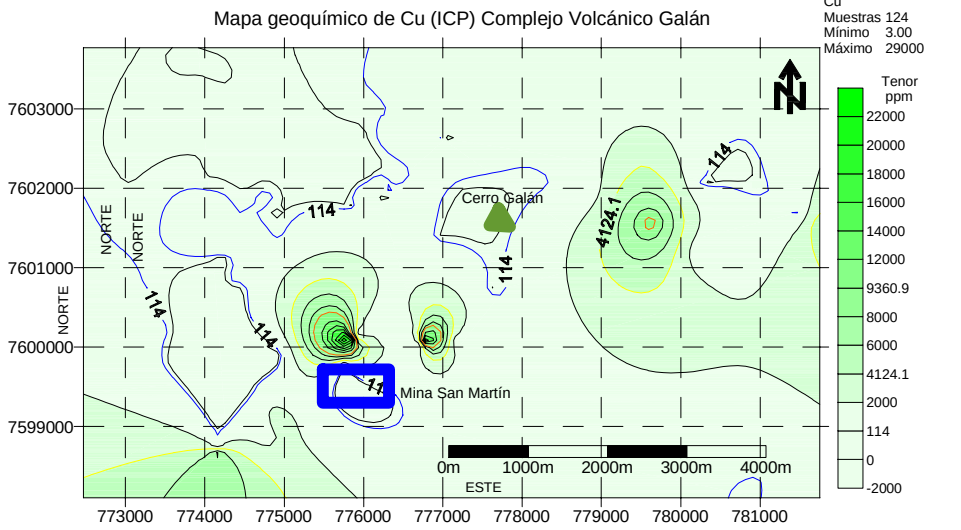


Figura 5.25. Distribución de cobre (Cu ppm) de vetas y/o zonas mineralizadas.

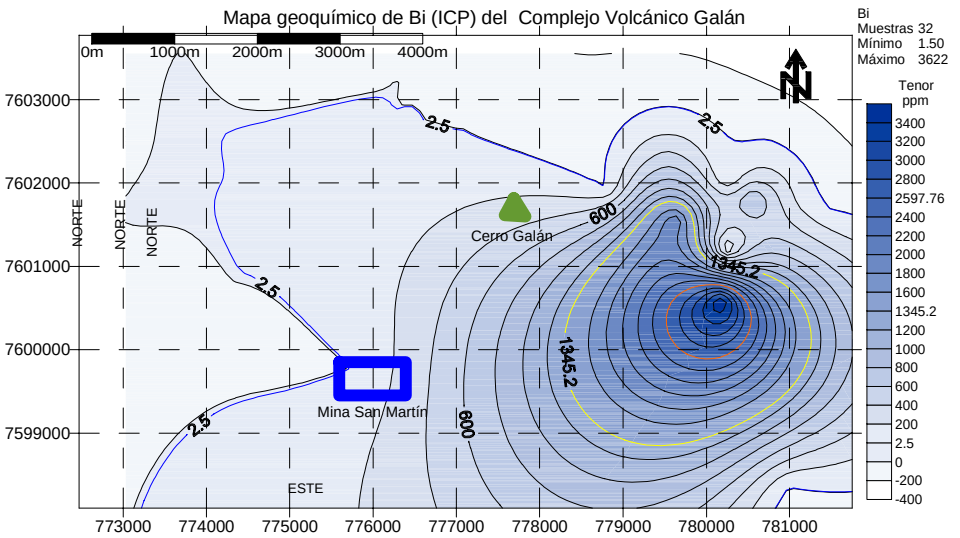


Figura 5.20. Distribución de bismuto (Bi ppm) de vetas y/o zonas mineralizadas.

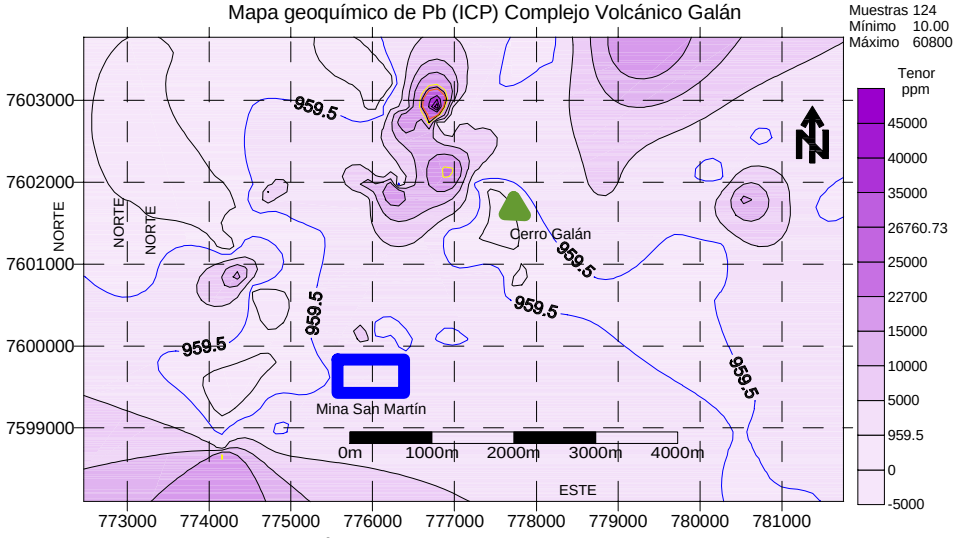


Figura 5.23. Distribución de plomo (Pb ppm) de vetas y/o zonas mineralizadas.

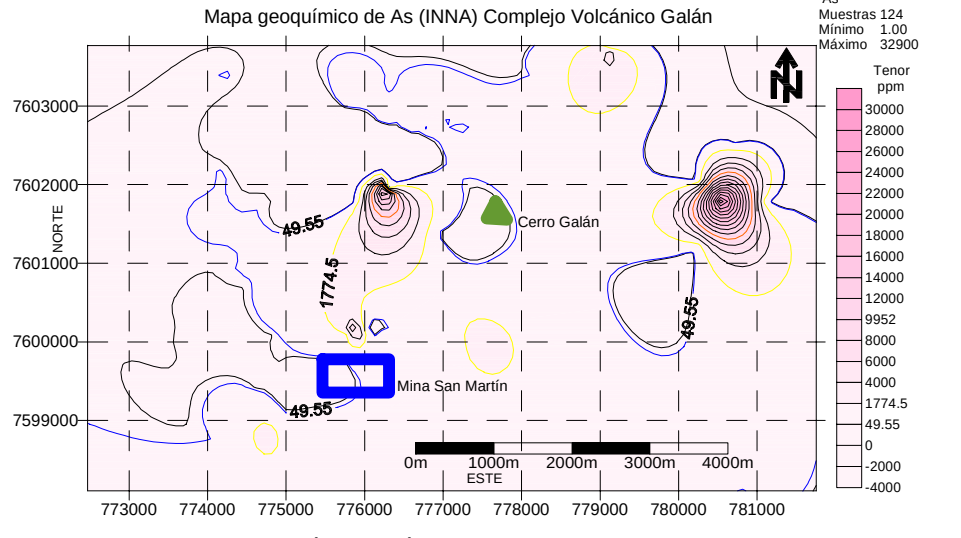


Figura 5.26. Distribución de arsénico (As ppm) de vetas y/o zonas mineralizadas.

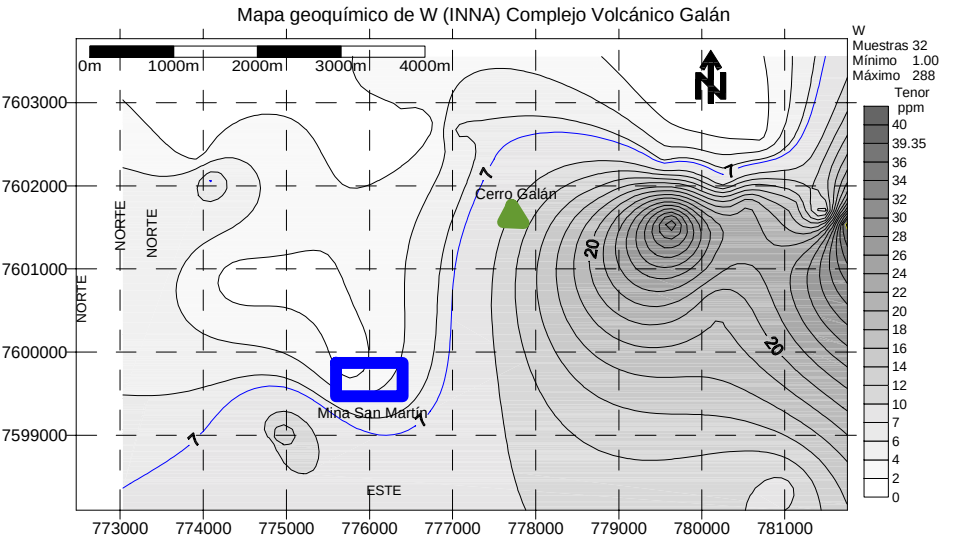


Figura 5.21. Distribución de wolframio (W ppm) de vetas y/o zonas mineralizadas.

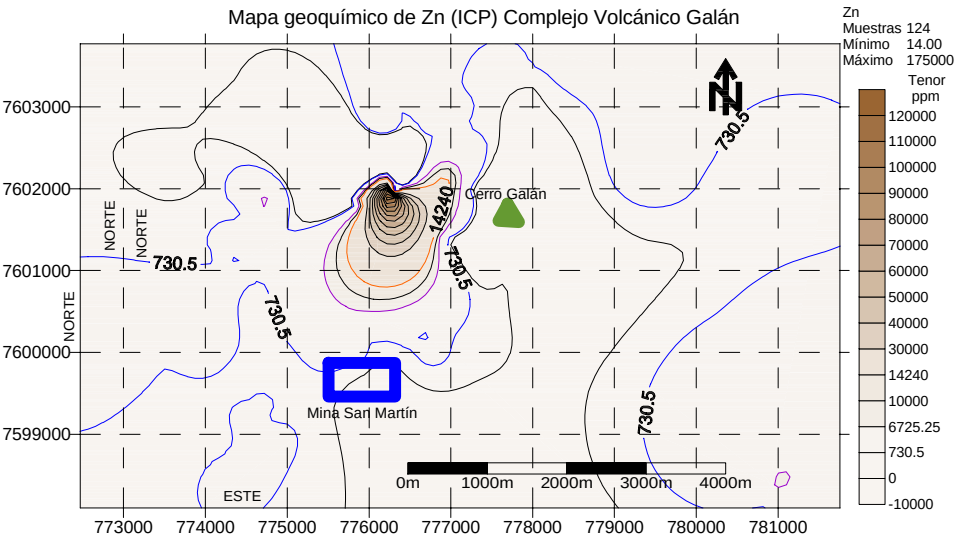


Figura 5.24. Distribución de zinc (Zn ppm) de vetas y/o zonas mineralizadas.

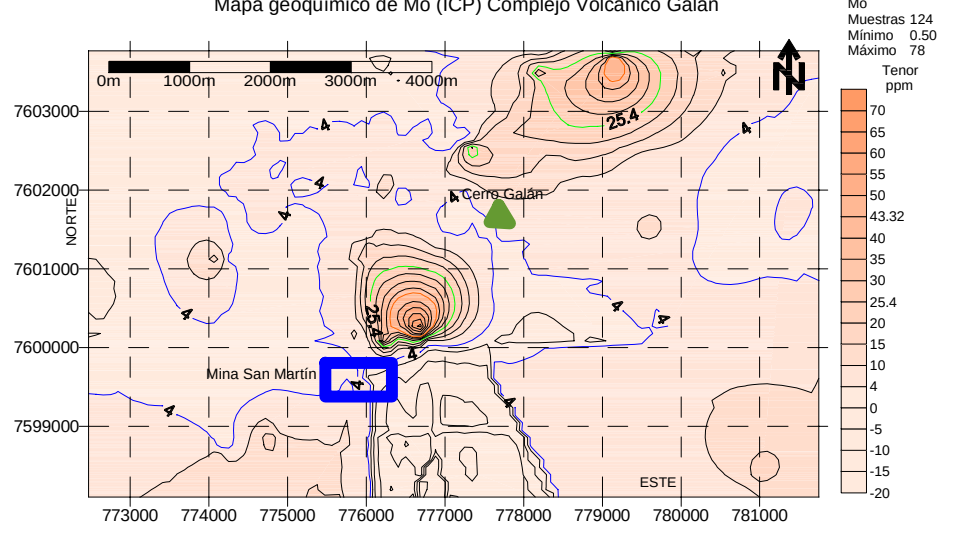


Figura 5.27. Distribución de molibdeno (Mo ppm) de vetas y/o zonas mineralizadas.

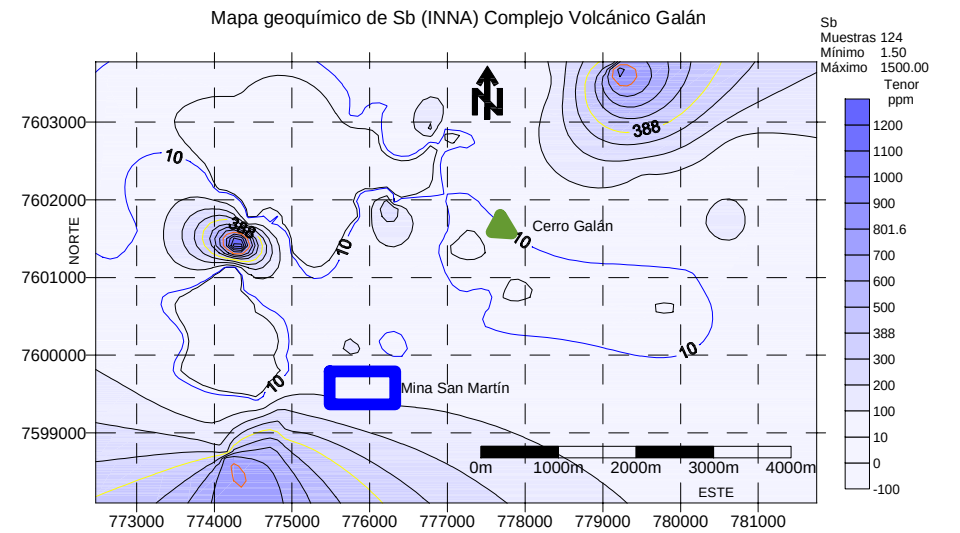


Figura 5.28. Distribución de antimonio (Sb ppm) de vetas y/o zonas mineralizadas.

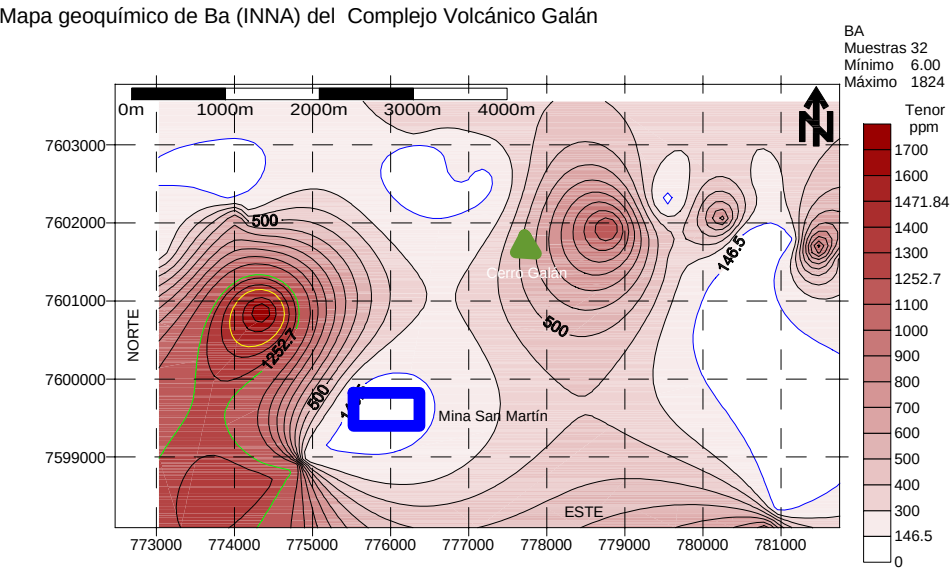


Figura 5.31. Distribución de bario (Ba ppm) de vetas y/o zonas mineralizadas.

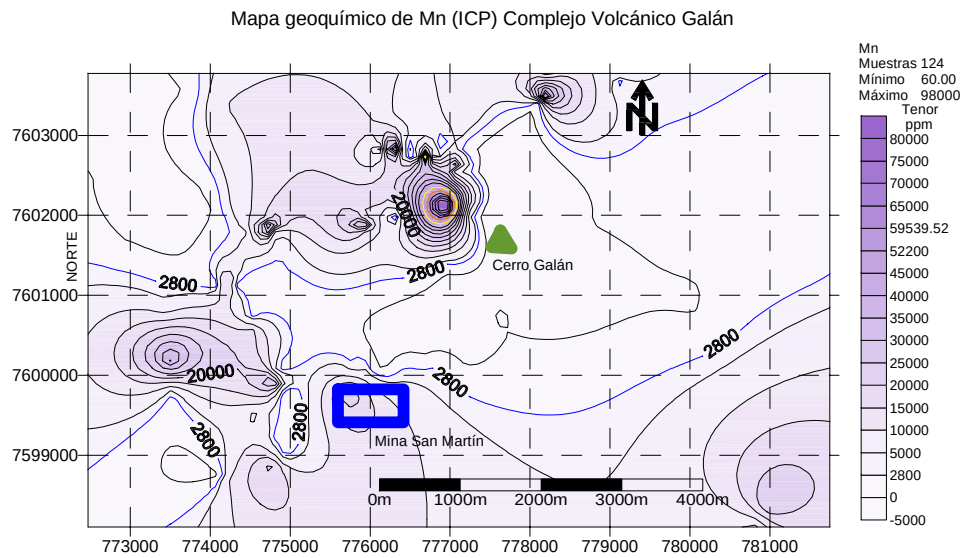


Figura 5.29. Distribución de manganeso (Mn ppm) de vetas y/o zonas mineralizadas.

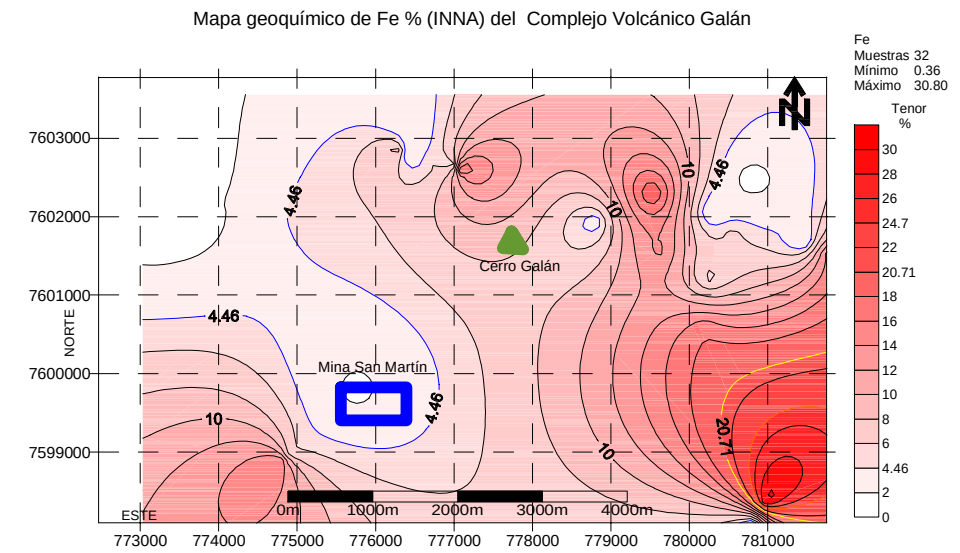


Figura 5.30. Distribución de hierro (Fe %) de vetas y/o zonas mineralizadas.

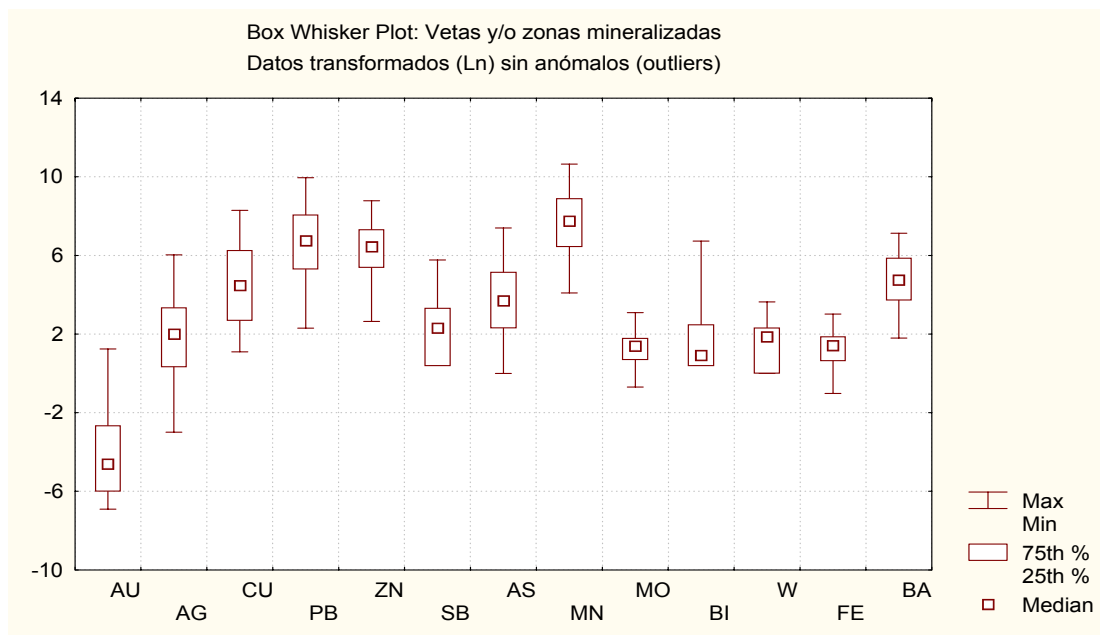


Figura 5.32. Diagramas rectangulares (“Box-Whiskers”) de vetas y/o zonas mineralizadas del Complejo Volcánico Galán, con datos transformados a logaritmos naturales y sin valores extremos.

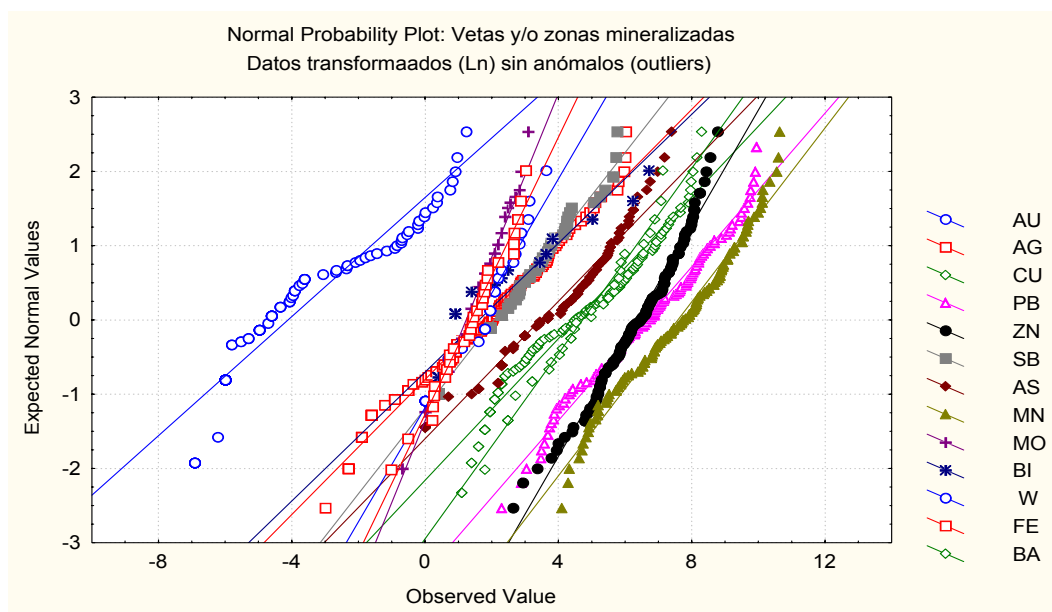


Figura 5.33. Diagrama de probabilidad normal de vetas y/o zonas de mineralización del Complejo Volcánico Galán. En general, los datos transformados (Ln) sin valores extremos tienden a una distribución normal.

Tabla 5.7. Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov (vetas)													
	AU	AG	CU	PB	ZN	SB	AS	MN	MO	BI	W	FE	BA
Kolmogorov-Smirnov stat	0.16	0.06	0.09	0.06	0.08	0.18	0.10	0.07	0.12	0.30	0.18	0.10	0.10
Critical K-S stat,alpha=.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.22	0.22	0.22	0.22
Critical K-S stat,alpha=.05	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.24	0.24	0.24	0.24
Critical K-S stat,alpha=.01	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.29	0.29	0.29	0.29

Tabla 5.7. Resultados de la prueba de bondad de vetas del complejo, con datos transformados a logaritmos naturales (Ln) y sin extremos. Los valores críticos K-S son con alfa ("alpha") 0.10, 0.05 y 0.01.

Los resultados estadísticos (Tabla 5.8) de vetas y/o zonas mineralizadas muestran que las medias y medianas son similares cuando los datos son transformados a logaritmos naturales (Ln) y no son tomados en cuenta los valores extremos; que corroboran una tendencia en la distribución normal.

El fondo y el umbral geoquímico de las muestras de vetas se indican en la tabla 5.8. En este análisis se muestra que los tenores elevados en las vetas y/o zonas mineralizadas son de Ba, Cu, Zn, Pb y Mn; seguidos de Sb, Ag, Bi y As; además de W, Mo, Au y Fe (17 %). Respecto a la mineralización en el CVG, brinda criterios de exploración para W, Pb, Zn; Bi, Au y Ag. Las anomalías geoquímicas (todos los valores superiores al umbral) de los elementos estudiados guarda relación con los depósitos minerales en éste distrito.

Tabla 5.8. Resumen de los resultados estadísticos de vetas y/o zonas mineralizadas del Complejo Volcánico Galán													
	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Sb	As	Mn	Mo	Bi	W	Fe	Ba
Media	0.017	5.87	93.10	749.8	581.8	8.5	32.8	1973.4	3.4	5.6	4.8	3.9	113.5
Mediana	0.010	7.40	88.00	859.9	640.0	10.0	40.0	2319.9	4.0	2.5	6.5	4.1	116.5
Varianza	168.8	103.	60.68	35.5	4.9	11.5	61.7	16.2	2.1	30.7	3.8	2.8	10.2
Desv. Standard	9.6	8.62	7.59	6.6	3.5	4.7	7.6	5.3	2.3	6.4	3.2	2.8	4.6
Asimetría	2.37	0.86	1.10	0.9	0.6	1.5	0.7	0.8	0.8	4.3	0.8	0.7	0.8
Curtosis	0.63	0.55	0.30	0.4	0.9	0.4	0.4	0.4	0.7	3.4	0.3	0.7	0.4
Fondo	0.010	7.40	88.00	860.0	640.0	10.0	40.0	2320.0	4.0	2.5	6.4	4.1	116.5
Umbral	1.429	170	2713	16230	3366	164	548	24843	13	294	22	17	1095

Tabla 5.8. Resultados de algunos parámetros estadísticos de vetas y/o zonas mineralizadas del Complejo Volcánico Galán. En la determinación del fondo y el umbral geoquímico los datos fueron transformados a logaritmo natural y no se tomaron en cuenta los extremos.

Tabla 5.9. Coeficiente de correlación de Pearson de vetas y/o zonas con mineralización (con valores Ln y sin extremos)													
	AU	AG	CU	PB	ZN	SB	AS	MN	MO	BI	W	FE	BA
AU	1.000												
AG	0.564	1.000											
CU	0.557	0.801	1.000										
PB	0.476	0.739	0.651	1.000									
ZN	0.110	0.282	0.290	0.517	1.000								
SB	0.383	0.560	0.513	0.444	0.151	1.000							
AS	0.309	0.563	0.441	0.348	0.021	0.508	1.000						
MN	-0.250	-0.095	-0.127	0.158	0.651	-0.101	-0.195	1.000					
MO	0.265	0.427	0.370	0.368	0.234	0.199	0.430	0.010	1.000				
BI	0.621	0.683	0.571	0.383	0.111	0.626	0.259	-0.190	0.051	1.000			
W	0.185	0.341	0.237	-0.053	-0.226	0.228	0.361	-0.152	0.351	0.472	1.000		
FE	0.597	0.723	0.744	0.529	0.462	0.478	0.728	0.107	0.384	0.580	0.391	1.000	
BA	-0.371	-0.316	-0.404	-0.499	-0.163	-0.169	-0.191	-0.009	0.089	-0.269	0.384	-0.217	1.000

Valores críticos (Merodio, 1985) de "r": Au a Mo n=117 $R_{\alpha 5\%}=0.182$, $R_{\alpha 1\%}=0.238$;
Bi a Ba n=30 $R_{\alpha 5\%}=0.349$, $R_{\alpha 1\%}=0.449$

Tabla 5.9. Coeficientes de correlación de Pearson de vetas del complejo. En negrita se encuentran los valores significativos.

Los coeficientes de correlación de los elementos mencionados (Tabla 5.9), muestran que tienen correlación alta (>0.7) es en Ag-Cu, Ag-Pb, Ag-Fe, Cu-Fe y As-Fe. La correlación moderada (0.4-0.7) es en Au-Ag, Au-Cu, Au-Pb, Au-Bi, Au-Fe, Ag-As, Ag-Sb, Ag-Mo, Ag-Bi, Cu-Pb, Cu-Sb, Cu-As, Cu - Bi, Cu - Ba, Pb-Zn, Pb-Sb, Pb-Fe, Pb-Ba, Zn-Mn, Zn-Fe, Sb-As, Sb-Bi, Sb-Fe, As-Mo, Bi-W y Bi-Fe. La correlación es baja (0.238-0.4) en Au-Sb, Au-As, Ag-Zn, Cu-Zn, Cu-Mo, Pb-As y Pb-Mo. Los demás coeficientes de correlación están por debajo del valor crítico obtenido de la tabla en Merodio (1985) y por lo tanto no son significativos.

El diagrama de dispersión X-Y con escala log-log (Fig. 5.34) con todos los datos incluidos y sin transformar, muestra la interrelación entre los elementos. En el eje X está un elemento y en el eje Y todos los demás elementos.

Los resultados de análisis de componentes principales (ACP) de vetas indican que los primeros 3 componentes corresponden al 77% de la varianza total (Tabla 5.10). En el factor 1 (CP1) la mayoría de los elementos son de signo positivo a excepción del Mn y Ba que son de signo negativo, sin embargo los de mayor carga son el Cu, Ag, Au, Fe, Sb, As, Pb y Bi. En el factor 2 (CP2) las mayores cargas de signo positivo corresponden al Ba, W y Mo, mientras que el factor 3 (CP3) la mayor carga corresponde al Mn y Zn.

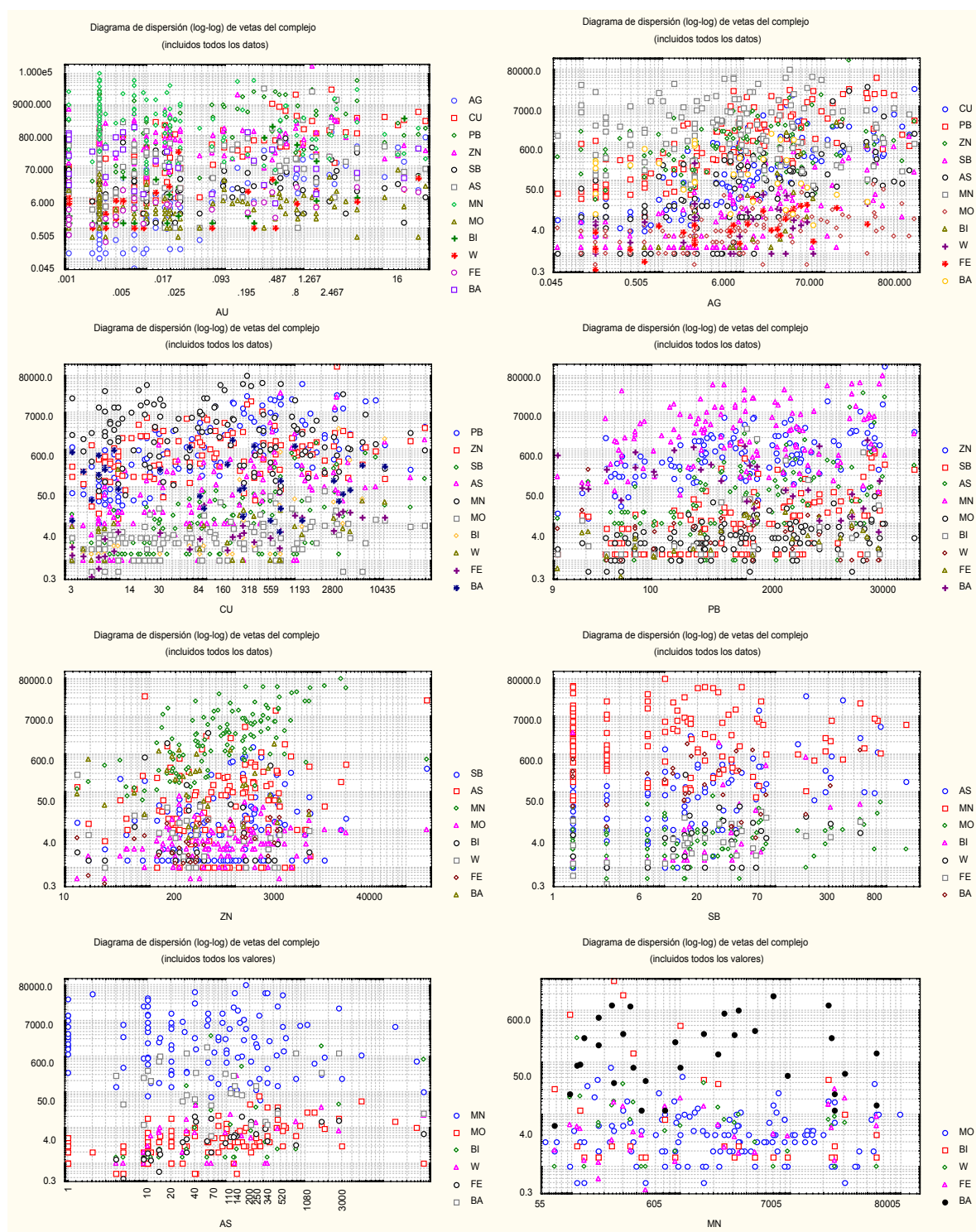


Fig. 5.34. Diagramas de dispersión con escala log-log de muestras de vetas del Complejo Volcánico Galán.

Tabla 5.10.Análisis de componentes principales: Vetas			
Factor Loadings (Varimax normalized)			
Extraction: Principal components			
(Marked loadings are > .700000)			
	Eigenvector		
	Factor	Factor	Factor
	1	2	3
AU	0.8533	-0.2214	-0.0877
AG	0.8645	0.2377	0.0784
CU	0.9100	0.0633	0.0659
PB	0.7290	-0.2829	0.3772
ZN	0.3781	-0.0369	0.8300
SB	0.7760	0.3094	0.1369
AS	0.7750	0.2452	0.1283
MN	-0.1310	-0.1146	0.8822
MO	0.4290	0.7084	-0.0628
BI	0.7170	0.1564	-0.2651
W	0.4084	0.8001	-0.1735
FE	0.8097	0.1425	0.3655
BA	-0.3690	0.8421	-0.0199
Eigenval	6.148	2.412	1.451
% varianza total	47.294	18.556	11.162
% varianza acumul	47.294	65.851	77.013

Tabla 5.10. Tabla del análisis de componentes principales (ACP) de vetas y/o zonas mineralizadas del complejo.

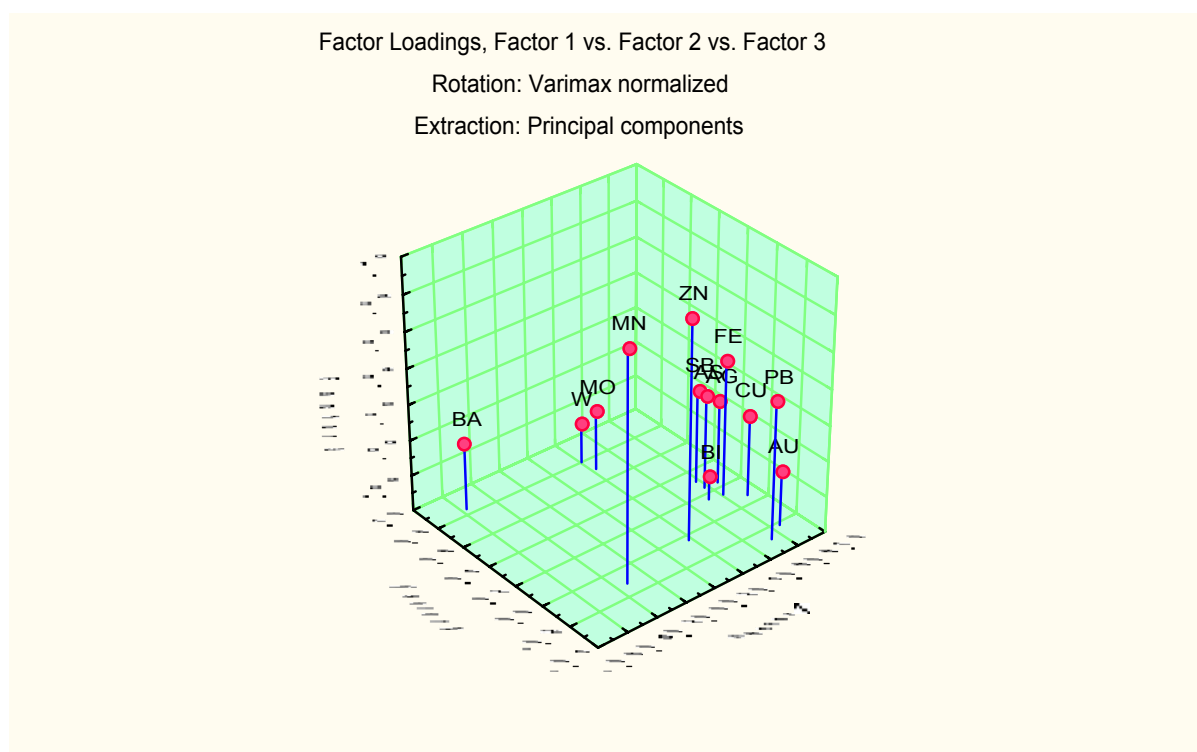


Fig. 5.35. Diagrama de dispersión en 3D de los componentes principales ("factor loadings") 1,2 y 3, de vetas y/o zonas mineralizadas del CVG.

En la Fig. 5.35 se muestra un diagrama en 3D de los tres primeros componentes principales con rotación normalizada, donde se observa la asociación polimetálica del complejo W, Bi, Pb, Zn, Ag, Au.

5.3.4. Geoquímica de la mina San Martín

La mina San Martín está ubicada en la parte occidental de la zona de estudio. Por las características geológicas y la mineralización (vetas polimetálicas donde se explotó el Pb), además de los resultados de la geoquímica orientativa, se decidió continuar con la etapa de seguimiento geoquímico. Para la interpretación geoquímica se utilizaron los datos de Uribe-Zeballos (1994).

Los datos consisten de 13 líneas geoquímicas con una separación entre ellas de 50 m aproximadamente y los elementos estudiados son Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Sb, As y Mo (Tabla 5.11).

Las vetas principales corresponden a dos sistemas, en general de dirección este – oeste, de espesor variable desde 20 a 70 cm, con extensión aproximada de 600 m, que afloran discontinuamente. La roca encajonante consiste de cuerpos volcánicos y piroclastitas. La mineralización consiste de galena, esfalerita, bismutina, bismita, limonita, pirita, indicios de oro y plata; mientras que la ganga predominante es cuarzo.

Los desmontes están poco desarrollados y la mina actualmente se encuentra abandonada. El muestreo fue realizado tanto en la roca encajonante y los afloramientos de las vetas.

Tabla 5.11. Datos de la mina San Martín								
	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Sb	As	Mo
n muestras	171	171	171	171	171	171	171	171
Mínimo	0.0025	0.05	2.00	6.00	130.00	1.50	1.00	1.00
Máximo	11.20	912.00	2800.00	4000.00	2400.00	180.00	4100.00	32.00

Tabla 5.11. Resumen geoquímico de la mina San Martín. El valor mínimo y máximo esta expresado en ppm para el Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Sb, As, Mn, Mo, Bi y Ba; mientras que el contenido de Fe es en %.

5.3.4.1. Resultados

La distribución de Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Sb, As y Mo en la mina San Martín se encuentran en mapas geoquímicos (Fig. 5.36 a 5.43). El oro (Fig. 5.36) contiene los sectores importantes en la parte norte y sur del área de San Martín; mientras los sectores importantes de plata (Fig. 5.37) están en la parte noroccidental. El cobre (Fig. 5.38) tiene como áreas sobresalientes la parte noroccidental y la parte sur, mientras que el plomo (Fig. 5.39) tiene valores altos en la parte norte y el zinc (Fig. 5.40) tienen datos elevados en la porción occidental y oriental. El antimonio (Fig. 5.41) se concentra mayormente en el sur, mientras que el arsénico (Fig. 5.42) y el molibdeno (Fig. 5.43) arrojaron tenores elevados en la parte norte. En general, el oro, cobre y el zinc tienen una distribución parecida, mientras que la plata, plomo, arsénico y molibdeno tienen un comportamiento similar entre sí y el antimonio corresponde a una distribución aleatoria.

En la Fig. 5.44 de diagramas rectangulares (“box – whiskers”), muestra que con datos transformados ($\ln$) y sin extremos, la distribución de los elementos mejora en todos los elementos, aunque mantienen la asimetría positiva en Au, Ag, Sb y As.

La transformación a logaritmos naturales y sin los valores extremos de los datos anteriores son semejantes a una distribución normal (Fig. 5.45), por lo tanto el cálculo de los parámetros de la media, mediana, fondo y umbral geoquímico, se realizaron con estos datos. La prueba de bondad de Kolmogorov-Smirnov de la mina San Martín (Tabla 5.12) muestra que los valores de Cu, Pb y Zn son menores al valor crítico (alfa 0.10); mientras que los valores mayores son en Au, Ag, Sb, As y Mo.

Tabla 5.12. Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov (Mina San Martín)								
	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Sb	As	Mo
Kolmogorov-Smirnov stat	0.151	0.169	0.089	0.088	0.051	0.304	0.433	0.244
Critical K-S stat, alpha=.10	0.095	0.095	0.094	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095
Critical K-S stat, alpha=.05	0.106	0.105	0.105	0.106	0.106	0.105	0.105	0.105
Critical K-S stat, alpha=.01	0.127	0.126	0.126	0.127	0.127	0.126	0.126	0.126

Tabla 5.12. Resultados de la prueba de bondad de la mina San Martín. Los datos son sobre datos transformados a logaritmos naturales ($\ln$) y sin extremos. Los valores críticos K-S son con alpha 0.10, 0.05 y 0.01.

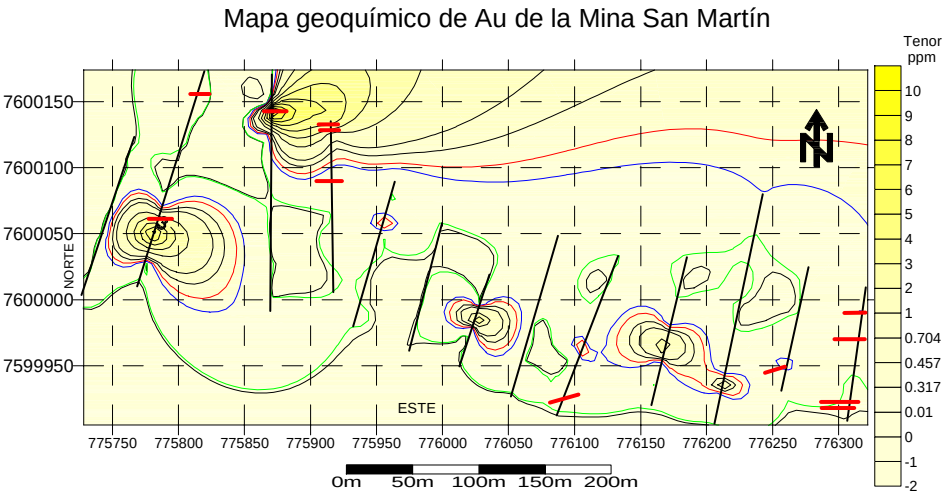


Figura 5.36. Distribución de oro (Au ppm) en la mina San Martín

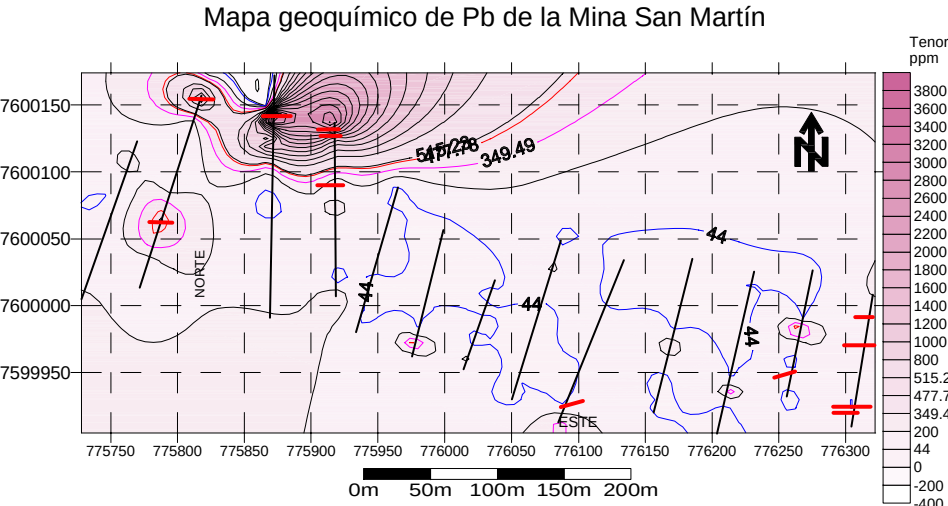


Figura 5.39. Distribución de plomo (Pb ppm) en la mina San Martín.

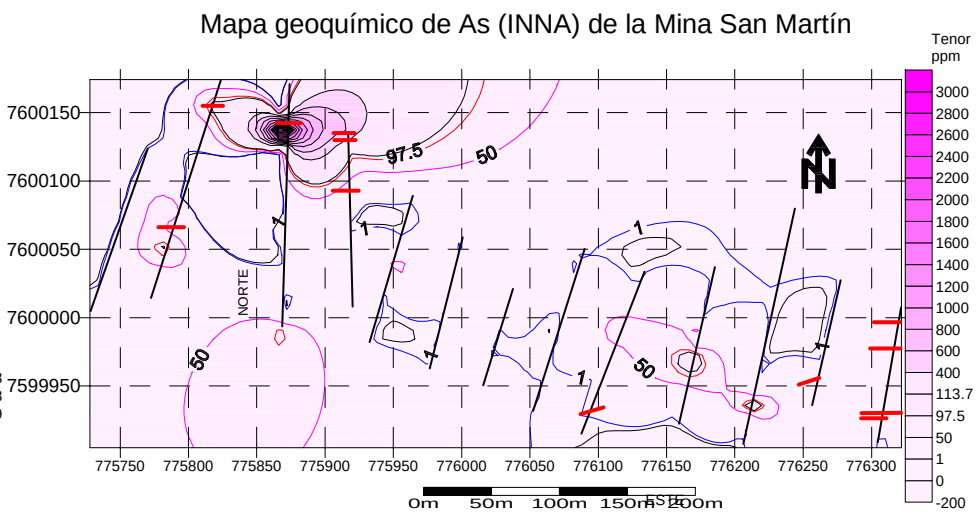


Figura 5.42. Distribución de arsénico (As ppm) en la mina San Martín.

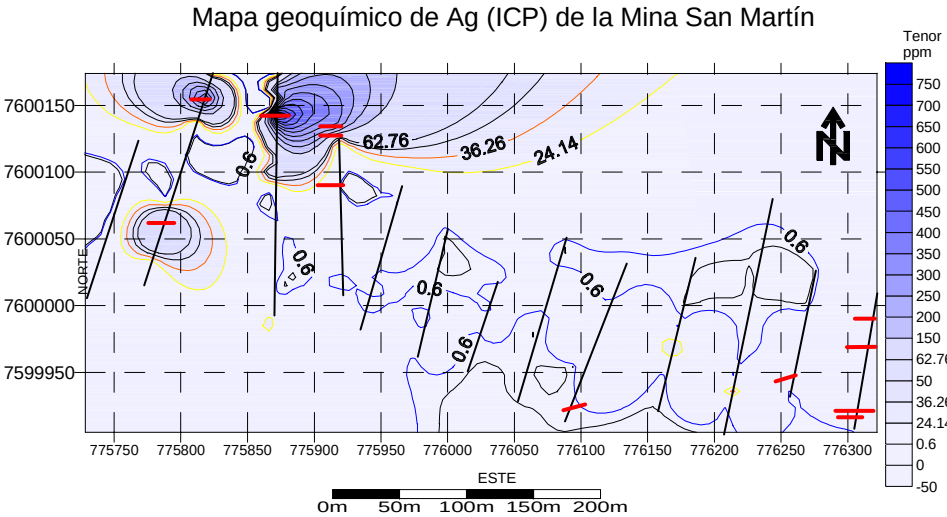


Figura 5.37. Distribución de plata (Ag ppm) en la mina San Martín.

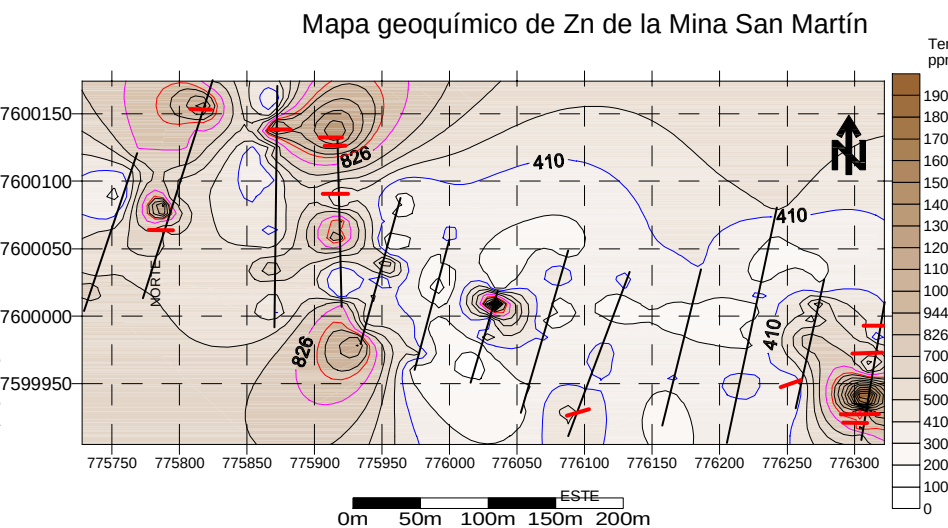


Figura 5.40. Distribución de zinc (Zn ppm) en la mina San Martín

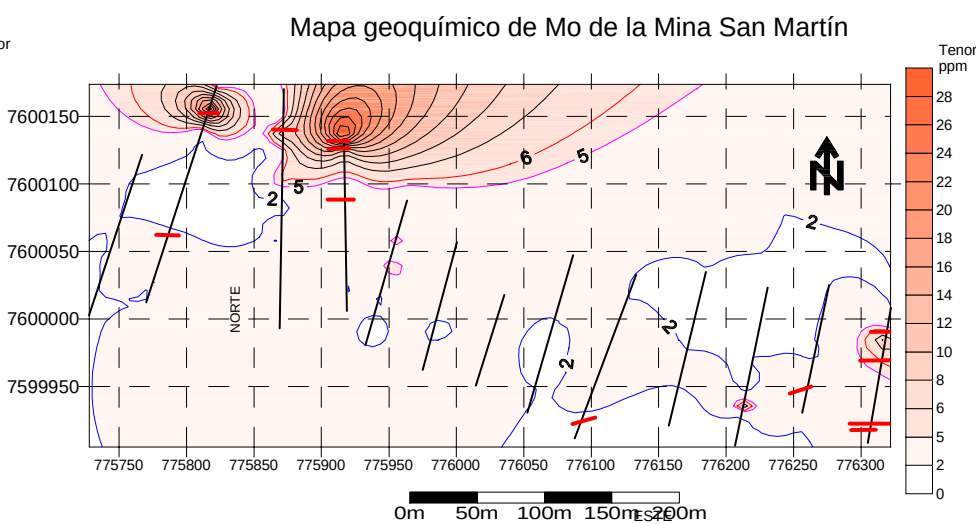


Figura 5.43. Distribución de molibdeno (Mo ppm) en la mina San Martín.

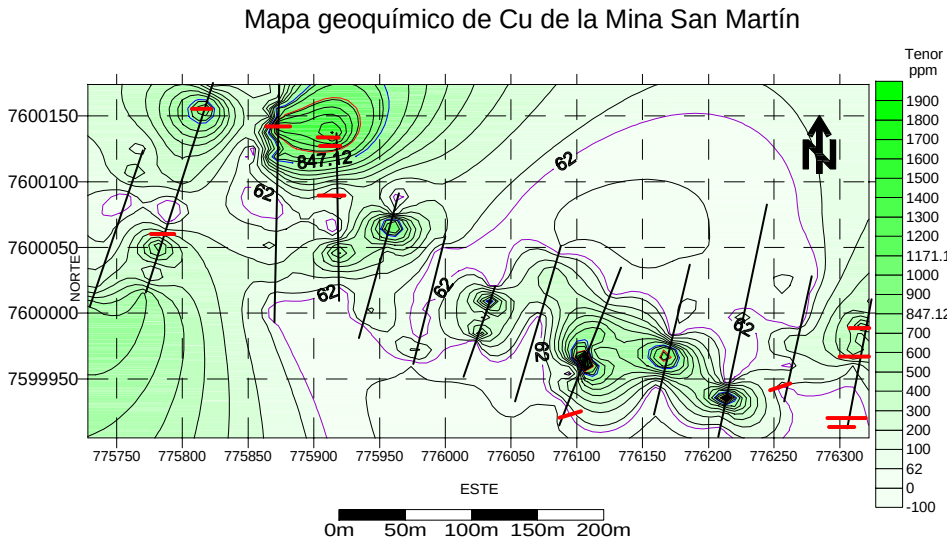


Figura 5.38. Distribución de cobre (Cu ppm) en la mina San Martín.

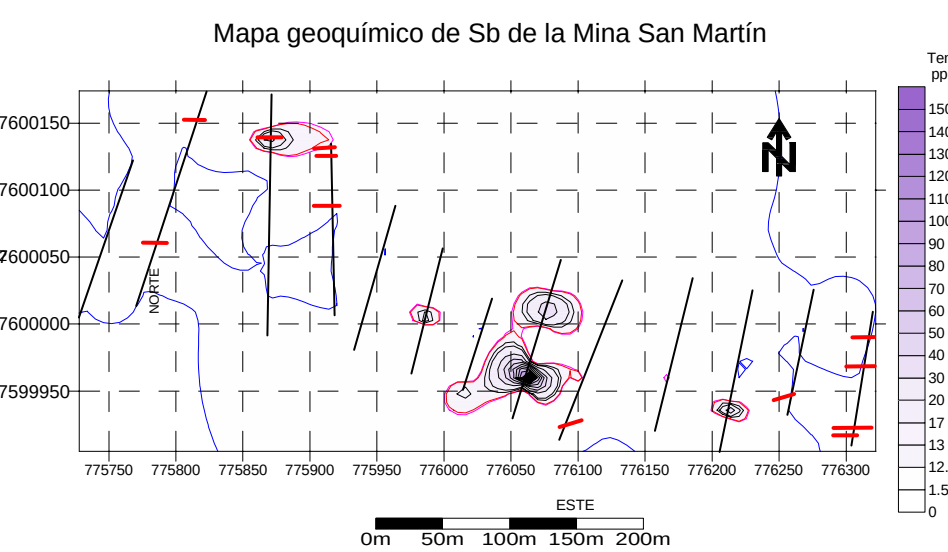
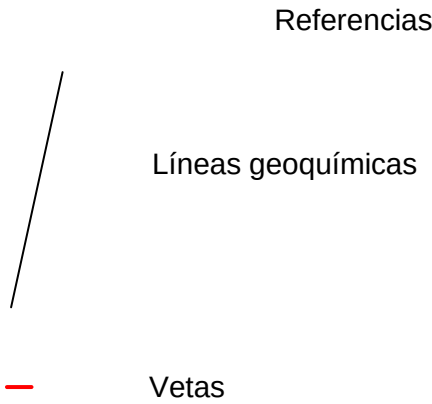


Figura 5.41. Distribución de antimonio (Sb ppm) en la mina San Martín.



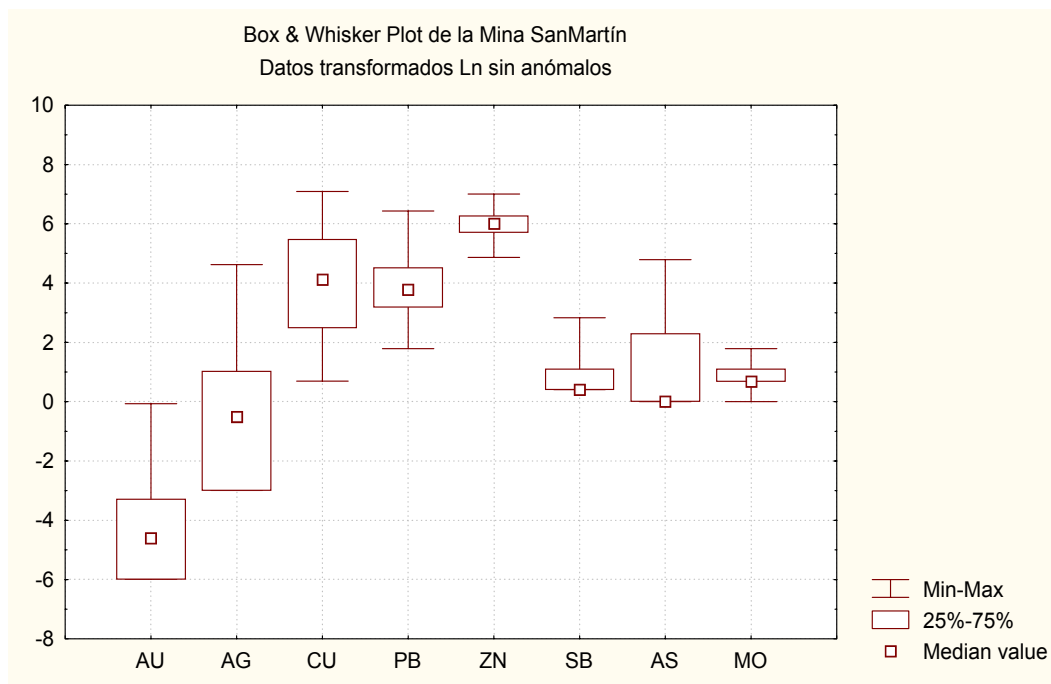


Figura 5.44. Diagrama rectangulares (“Box – Whiskers”) de la mina San Martín, donde se muestra la asimetría de los elementos descritos.

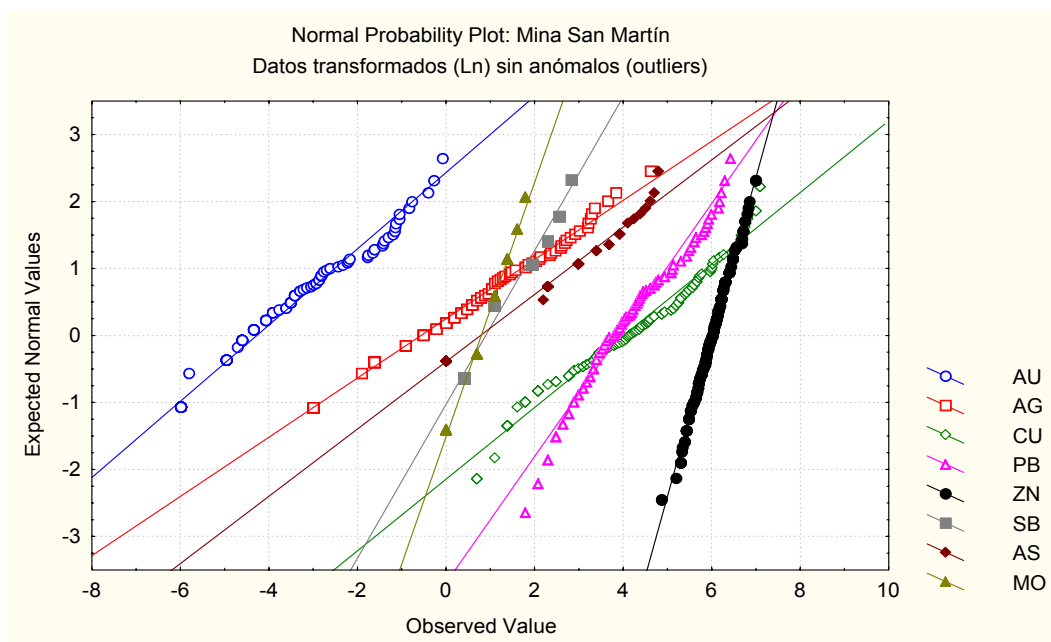


Figura 5.45. Diagrama de probabilidad normal de la mina San Martín, donde se muestra los datos transformados (Ln) tienden a tener una distribución normal.

El resumen de los resultados estadísticos obtenidos de la mina San Martín se muestran en la Tabla 5.13; las medias y las medianas son similares, con excepción de Cu, Pb, Sb, As y Mo que tienen algunas diferencias, no obstante se acercan mas a una distribución normal.

El fondo y umbral geoquímico (Tabla 5.13) obtenido de la mina San Martín; muestra valores elevados en Cu, Pb y Zn; además de As, Sb y Mo; asociado a metales preciosos (Au-Ag). Estos datos son coincidentes con su mena (Pb), vetas y su asociación polimetálica

Tabla 5.13. Resumen de los resultados estadísticos de la mina San Martín								
	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Sb	As	Mo
Media	0.0148	0.61	55.53	50.20	407.48	2.58	2.53	2.24
Mediana	0.0100	0.60	61.99	43.99	409.94	1.50	1.00	2.00
Varianza	12.74	71.38	25.56	2.91	1.18	1.63	9.33	1.25
Desv. Standard	4.9283	7.89	6.05	2.81	1.51	2.02	4.45	1.60
Asimetría	1.9367	1.39	0.89	1.59	1.05	3.21	3.34	0.94
Curtosis	0.6466	0.43	0.34	0.64	1.02	1.30	0.93	0.75
Fondo	0.0100	0.60	62.00	44.00	410.00	1.50	1.00	2.00
Umbral	0.3168	24.14	847.12	349.49	826.00	12.50	50.00	5.00

Tabla 5.13. Resultados de algunos parámetros estadísticos de la mina San Martín. En el cálculo del fondo y el umbral geoquímico los datos fueron transformados a logaritmo natural y no se tomaron en cuenta los extremos.

Se obtuvieron resultados de coeficientes de correlación de los elementos mencionados, que se presentan en la Tabla 5.14, con datos transformados a logaritmo natural y sin extremos. Esta tabla (mina San Martín) indica que son de alta (>0.7) correlación la Ag-Pb y Ag-Cu, mientras es moderada la correlación de Au-Ag; Au-Pb, Ag-Zn, Ag-Mo, Ag-As, Cu-Pb, Cu-Zn, Cu-As, Cu-Mo, Pb-Zn, Pb-As y As-Pb. La correlación es baja entre Au-Cu, Au-As, Au-Mo y Pb-Mo. Los demás coeficientes de correlación no son significativos y están por debajo del valor crítico (Merodio, 1985). Sin embargo los valores de coeficientes de correlación varían cuando los datos son transformados a logaritmos naturales y cuando los valores anómalos son eliminados.

Los resultados obtenidos de los datos geoquímicos de Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Sb, As y Mo de la mina San Martín, muestran una relación con la mineralización de esta área. Tiene mayores tenores en los elementos de Zn, Pb, Cu y Ag; además de indicios importantes en Sb, As, Mo y Au.

En la Fig. 5.46 se muestran diagramas de dispersión múltiple entre un elemento (X) y otros (Y), con escala log-log y datos no transformados; las cuales indican la relación entre ellas.

Tabla 5.14. Coeficiente de correlación de Pearson de la mina San Martín (con valores Ln y sin extremos)								
	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Sb	As	Mo
Au	1.000							
Ag	0.465	1.000						
Cu	0.355	0.657	1.000					
Pb	0.452	0.785	0.489	1.000				
Zn	0.147	0.518	0.426	0.492	1.000			
Sb	-0.002	-0.035	-0.003	0.026	-0.036	1.000		
As	0.385	0.417	0.412	0.480	0.072	0.174	1.000	
Mo	0.334	0.458	0.472	0.390	0.058	0.062	0.418	1.000

Valores críticos (Merodio, 1985) de "r": n=163 $R_{\alpha 5\%}=0.154$, $R_{\alpha 1\%}=0.202$

Tabla 5.14. Coeficientes de correlación de Pearson de la mina San Martín. Los valores significativos con relación a los valores críticos están en negrita.

Los resultados de análisis de componentes principales (ACP) de la mina San Martín indican que los primeros 2 componentes corresponden al 61% de la varianza total (Tabla 5.15). En el factor 1 (CP1) la mayoría de los elementos son de signo positivo, sin embargo son de mayor carga son el As y Mo seguido de Au, Ag, Cu y Pb; mientras que tienen valores bajos el Zn y Sb. En el factor 2 (CP2) la mayor carga es de signo positivo y corresponden Zn, seguido de Ag, Pb y de Sb con signo negativo. En la Fig. 5.47 se muestra un diagrama en 2D de los componentes principales con rotación normalizada, donde se observa la asociación polimetálica de San Martín asociado a Pb-Ag-Cu- Au-Mo-As y menor Zn y Sb en el factor 1 y una asociación con menor contenido de Sb en el factor 2.

5.4. Interpretación geoquímica

La prospección geoquímica del Complejo Volcánico Galán, fue realizada con la metodología de la litogeoquímica, a través de muestras de rocas y/o zonas de alteración y de vetas. Ramos Collorana et al., (2001 a), mencionan resultados preliminares donde la mayoría de las muestras de zonas de alteración y rocas poseen tenores bajos con valores máximos (salbandas de algunas vetas) de 21 ppm

Au y 148 ppm Ag. En la vetas se obtuvieron valores máximos de 28 ppm de Au y 328 ppm de Ag, con indicios de correlación positiva. Sin embargo en las vetas las concentraciones de oro son aleatorias, existen solamente algunos valores destacables en ciertos sectores como en Farellones y Ramaditas; así mismo en la veta Oviedo de la mina Central (68 ppm Au, Sobel, 1963 y 240 ppm Au, Anderson, 1942).

Los resultados obtenidos de la prospección geoquímica sobre alteración hidrotermal, vetas y los más detallados de la mina San Martín (Tabla 5.16), indican para algunos sectores (ver mapas geoquímicos) concentraciones elevadas de los metales.

Los resultados sobre zonas de alteración hidrotermal (Tabla 5.1 a 5.5) y su distribución (Fig. 5.2 a 5.14) muestran que esos sectores deberían considerarse para realizar trabajos de mayor detalle. Aunque el muestreo es de tipo aleatorio los datos mencionados indican una relación con los depósitos minerales y la asociación metálica de la zona con una de las mayores concentraciones de Au, Bi y W en la parte oriental, Pb en la parte central y Zn en la parte occidental.

La prospección de vetas en el CVG, indica la relación de los resultados obtenidos (Tabla 5.6 a 5.10) y la distribución de los metales (Fig. 5.19 a 5.31) con la ubicación de los principales depósitos minerales. Estos datos corroboran la tipología polimetálica y su asociación de W, Bi, Pb, Zn, Au, Ag que es una característica en el Complejo Volcánico Galán.

Los resultados de la mina San Martín (Tablas 5.11-5.15 y Fig. 5.36 a 5.43) indican una relación de la distribución polimetálica de los elementos con su mineralización de galena, esfalerita y la asociación con Au y Ag; que muestra el potencial en ésta zona.

Una comparación de la relación umbral / fondo de alteración hidrotermal, vetas y la mina San Martín se presenta en la Fig. 5.48. Esta relación indica cuantas veces es mayor uno respecto al otro. La relación en vetas sobresale en Au y Bi, seguido de Ag, Cu, Pb, Zn, Sb, As, Mn y W. En mina San Martín es mayor en As; mientras que en la alteración hidrotermal es menor.



Fig. 5.46. Diagramas de dispersión escala log-log de datos de la mina San Martín.

Tabla 5.15. Análisis de componentes principales: mina San Martín		
Factor Loadings (Varimax normalized)		
Extraction: Principal components		
(Marked loadings are > .700000) Eigenvector		
	Eigenvectores	
	Factor	Factor
	1	2
AU	0.6565	0.1440
AG	0.6505	0.6343
CU	0.5978	0.4548
PB	0.5988	0.6075
ZN	0.1056	0.8299
SB	0.1343	-0.6215
AS	0.8025	-0.0507
MO	0.7652	-0.0764
Eigenval	3.568	1.343
% varianza total	44.598	16.790
% varianza acumul	44.598	61.388

Tabla 5.15. Análisis de componentes principales (ACP) de la mina San Martín.

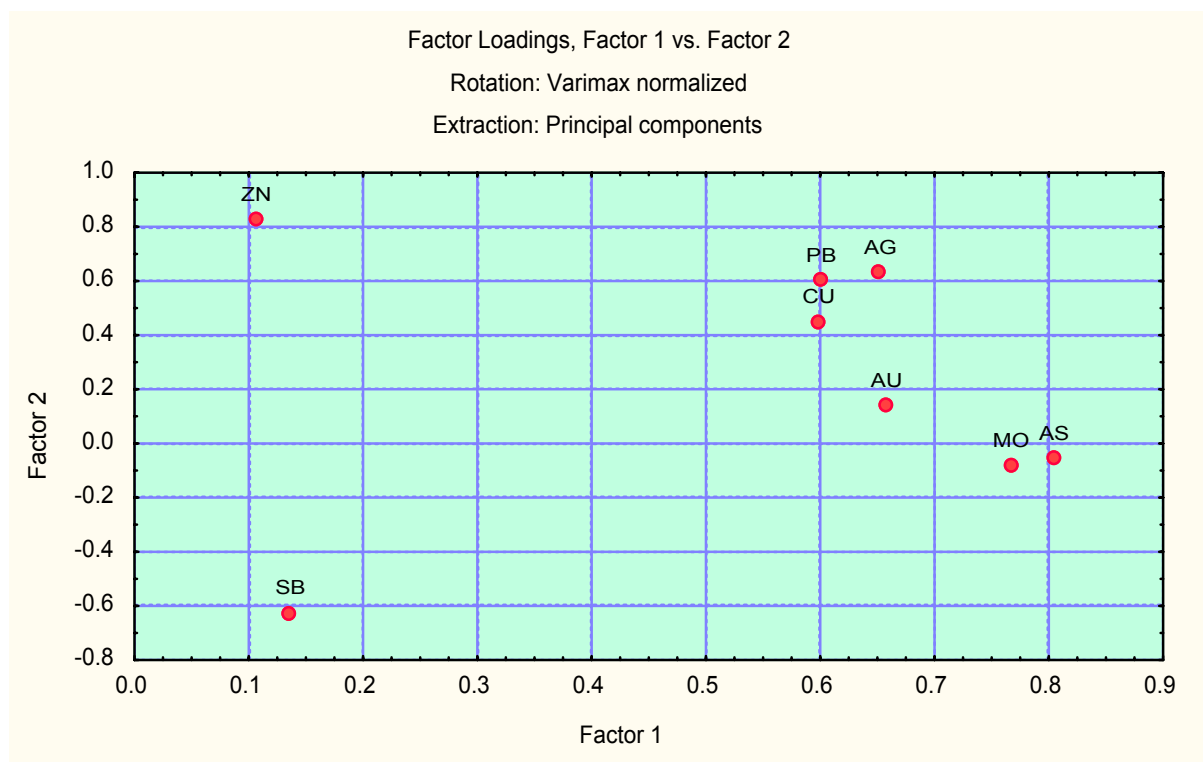


Fig. 5.47. Diagrama de dispersión en 2D de los componentes principales ("factor loadings") 1 y 2 de la mina San Martín.

Tabla. 5.16. Resumen de fondo y umbral geoquímico de rocas, vetas y la mina San Martín en el Complejo Volcánico Galán

		Au ppm	Ag ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Sb ppm	As ppm	Mn ppm	Mo ppm	Bi ppm	W ppm	Fe %	Ba ppm
Rocas	Fondo	0.007	0.60	10	116	160	1.5	20	425	3	2.5	3	2.3	357
Rocas	Umbral	0.017	8.08	94	998	1098	28.5	258	3391	6	18.3	18	7	897
Vetas	Fondo	0.010	7.4	88	860	640	10	40	2320	4	2.5	6.48	4.16	117
Vetas	Umbral	1.429	171	2713	16231	3366	164	548	24843	13	294	22	17	1095
San Martín	Fondo	0.010	0.60	62	44	410	1.5	1		2				
San Martín	Umbral	0.317	24	847	350	826	12	50		5				

Tabla 5.16. Resultados del fondo y umbral geoquímicos de alteración hidrotermal, vetas y la mina San Martín, donde es notorio los valores altos en las vetas.

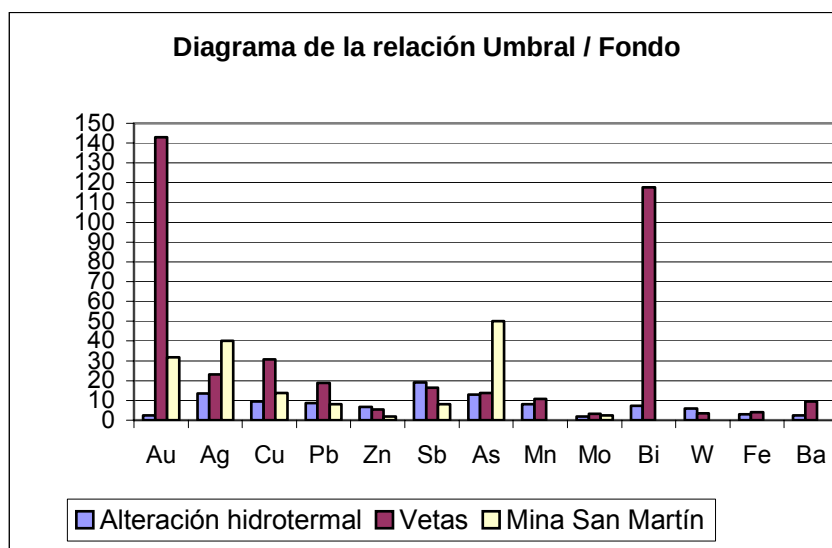


Fig. 5.48. Comparación de la relación del fondo y umbral en alteración hidrotermal, vetas y la mina San Martín del Complejo Volcánico Galán.

5.5. Análisis geoquímico regional

La asociación de anomalías geoquímicas y depósitos minerales, en el ámbito regional se encuentran relacionadas con las fajas metalogenéticas del territorio boliviano, es decir, la Faja Polimetálica (depósitos: Bonete, Bolivar, Buena Vista y San Antonio de Lípez) del Altiplano y Cordillera Occidental en el oeste, Faja

Estañífera (donde esta incluida el Complejo Volcánico Galán) en la parte central y la Faja auroantimonífera de la Cordillera Oriental en el este.

En el Complejo Volcánico Galán hay alto contenido de wolframio, corroborada por la explotación de la mina Pueblo Viejo y una asociación polimetálica de W,Bi,Pb,Zn,Au,Ag. Estas características son similares a depósitos de la Faja Estañífera. En sedimentos de drenaje, López (1998) menciona hasta 80 ppb de Au y 5 ppm de Ag y contenidos elevados en W. Este mismo autor indica contenidos hasta 500 ppb de Au de oro en roca y/o veta para el área del CVG.

En sedimentos de drenaje de la zona de San Pablo de López, también López (1998) menciona contenidos altos en Sb y Au en la Cordillera Oriental.

Asimismo, Chávez y Oliveira (1998) mencionan valores máximos de rocas de hasta 5 ppm de Au y 150 ppm de Ag; mientras en sondajes exploratorios indican valores de 2.04 g/t de Au y 162.5 g/t Ag (Area Cerro Morocko). Los mismos autores mencionan valores máximos en rocas de hasta 120 ppb de Au y 200 ppm de Ag, además en sondajes mencionan hasta 716 g/t de Ag (Cerro Bonete). Estos valores geoquímicos y mineralizaciones primarias en volcanitas, regionalmente corresponderían al ambiente volcánico del arco magmático Cenozoico, donde además se encuentran el Cerro López (Machu Socavón y Mesa de Plata), Jaquegua y Buena Vista.

5.6. Conclusiones

El estudio geoquímico del Complejo Volcánico Galán, ha permitido obtener datos cuantitativos de los parámetros geoquímicos (fondo y umbral geoquímico). Los datos indican que las vetas polimetálicas (W, Bi, Pb, Au, Ag), poseen mayores tenores de los elementos estudiados que en las zonas de alteración hidrotermal (propilítica, sericitica y argílica) y como en el área de la mina San Martín.

La distribución geoquímica de los elementos indica las zonas favorables de mineralización, y demuestra que en el sector oriental del CVG existe mayor contenido en Au, Bi, W, tanto en las zonas de alteración hidrotermal como en vetas; mientras que el Zn está en mayores concentraciones en la parte occidental.

La asociación polimetálica de Au – Ag – W – Bi – Pb – Zn es característica del Complejo Volcánico Galán, donde existe mineralización de wolframio (mina Pueblo

Viejo) asociada con minerales de Bi, Au y Ag (mina Central, Azulejos), y además mineralización de Pb (mina San Martín, Lipina, Villarroel, Cuatro Ases) y Zn (Toldos). Los parámetros geoquímicos de vetas de tipo polimetálico y alteración hidrotermal, en el Complejo Volcánico Galán, muestran indicios favorables para posibles mineralizaciones.

Capítulo 6.

INCLUSIONES FLUIDAS DEL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN

CAPITULO 6

INCLUSIONES FLUIDAS DEL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN

6.1. Introducción

El estudio de inclusiones fluidas (IF) permite definir ciertos parámetros físico – químicos de los fluidos mineralizantes y a partir de allí interpretar las condiciones de precipitación, además del origen de los minerales de mena y ganga. Esta técnica fue utilizada en principio por Sorby (1858), y luego por Roedder (1971, 1979, 1984), quien sentó las bases modernas de estos estudios; además de muchos investigadores que continuaron con esta temática. Las inclusiones fluidas son porciones de fluidos que fueron atrapados en los minerales durante la formación continua del mineral ó de fluidos posteriores que circularon a través de ellas. Fuzikawa (1996), destaca la importancia del estudio para determinar las condiciones físico-químicas reinantes durante la cristalización o recristalización del mineral que la contiene. Un inconveniente para su estudio puede ser el tamaño de las IF, debido a que poseen diferentes dimensiones, desde aquellas que se pueden observar a simple vista hasta pocos micrones. Son excepciones aquellas muestras con inclusiones observables a simple vista (Hein, 1998); normalmente, para las mediciones de microtermometría se utilizan alrededor de 50 μm .

Estudios anteriores de inclusiones fluidas de yacimientos minerales del territorio boliviano, fueron descritos desde la década del 70, así se puede mencionar los trabajos de Kelly and Turneure (1970), Grant et al., (1977) y Sugaki et al., (1988); que mencionan resultados sobre depósitos de la Faja Estañífera y Sur Lípez. Entre los varios trabajos realizados por investigadores bolivianos existen diversos estudios realizados sobre diferentes depósitos minerales de Bolivia (Alarcón et al., 1996 y 1998).

Aquí se presentan los resultados de las inclusiones fluidas de minerales que conforman los depósitos del Complejo Volcánico Galán, tema que no ha sido abordado en ninguna investigación previa de la zona.

6.2. Estudio de inclusiones fluidas

La preparación de muestras y el estudio de las inclusiones fluidas se realizaron en el Instituto de Recursos Minerales (INREMI) de la Universidad Nacional de La Plata. La microtermometría fue efectuada en una platina LINKAM THMS 600, que tiene rangos -196 a 600°C , con una máxima resolución de 0.1°C , la cual está incorporada a un microscopio Nikon.

Los minerales utilizados en este estudio fueron principalmente cuarzo, además de baritina, calcita y esfalerita (Fig. 6.1).

6.2.1. Microtermometría

La microtermometría consiste en la obtención de medidas de enfriamiento y calentamiento de las inclusiones fluidas, en las cuales se obtienen medidas de punto eutectico, punto de fusión, punto de disolución que determinan la salinidad en % en peso equivalente a NaCl; además de la temperatura de homogeneización ($^{\circ}\text{C}$).

Las características generales de las muestras seleccionadas del Complejo Volcánico Galán se resumen en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Muestras de inclusiones fluidas del Complejo Volcánico Galán				
Muestra	Ubicación	Mineral	Depósito mineral ó prospecto	Asociación metálica
N-30	Pueblo Viejo	Cuarzo	Pueblo Viejo	W, (Bi, Au-Ag)
PV-1	Pueblo Viejo	Cuarzo	Pueblo Viejo	W, (Bi, Au-Ag)
SB-1	Pueblo Viejo	Cuarzo	Pueblo Viejo	W, (Bi, Au-Ag)
W-298	Pueblo Viejo	Cuarzo	Pueblo Viejo	W, (Bi, Au-Ag)
GB-34	Co Andacaba	Cuarzo	Cerro Andacaba	W, (Bi, Au-Ag)
KHA-1	Sector Manto	Cuarzo	Khasayoj	Pb
T-1	Qda. Irupampa	Esfalerita	Toldos	Zn, Fe
CA-1	Qda. Okhe Loma	Baritina	Cuatro Ases	Cu, Fe
W-269	Suroeste CVG	Cuarzo	Suroeste	C, Pi
W-306	Qda. Coyahuayco	Calcita	Coyahuayco	Ca, Fe

Tabla 6.1. Nomenclatura y ubicación de las muestras de inclusiones fluidas en el Complejo Volcánico Galán.

Las muestras que corresponden a la mina Pueblo Viejo, son del nivel inferior (N-30) y el nivel Balderrama (W-298, PV-1 y SB-1).

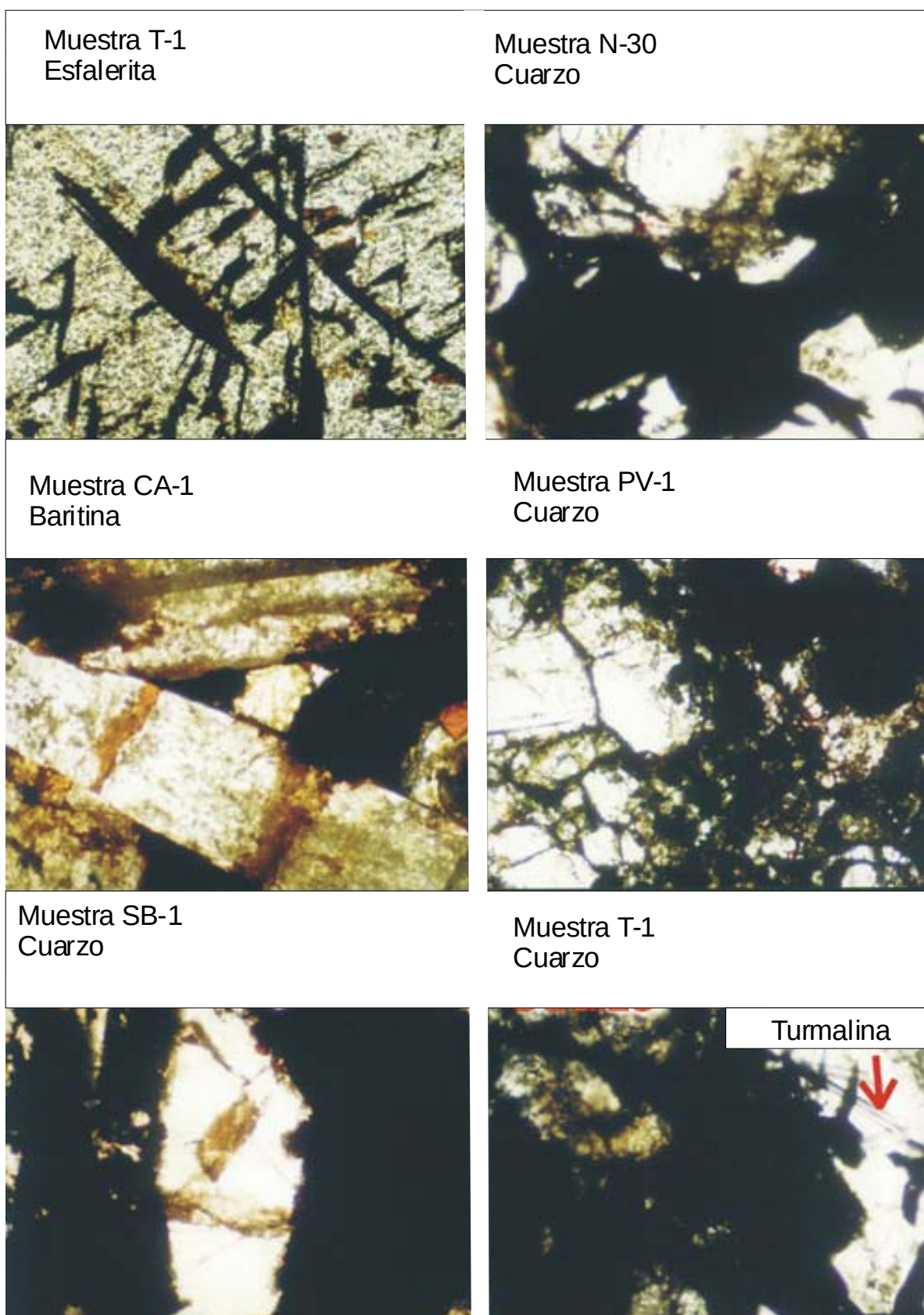


Fig. 6.1. Fotomicrografía de minerales utilizados en el estudio de inclusiones fluidas del Complejo Volcánico Galán.

Las demás muestras principalmente corresponden a vetas de cuarzo (GB-34, KHA-1 y W-269), además de vetas de esfalerita (T-1). En la mina Cuatro Ases la baritina (CA-1), corresponde al contacto entre la roca encajante y la veta. Asimismo la muestra W-306 es de una veta de calcita.

6.3. Petrografía

La descripción petrográfica de las inclusiones fluidas comprende el tamaño y fases presentes, además de una clasificación temporal en inclusiones primarias, pseudosecundarias y secundarias.

Las muestras estudiadas fueron clasificadas de acuerdo a las fases presentes a temperatura ambiente y a la clasificación temporal. Las inclusiones fluidas se diferencian en los siguientes tipos principales:

Tipo L-V: Son inclusiones bifásicas ($L > V$) que predominan en la mayoría de las muestras, las cuales tienen formas ovaladas como en N-30 (Fig. 6.2 y 6.3) y alargadas como en SB-1 (Fig. 6.4. y 6.5.). En éste tipo de inclusiones la burbuja de gas ocupa $<30\%$ del volumen total (Tipo I de Lang & Baker, 2001), aunque existen algunos casos (GB-34) (Fig. 6.6 y 6.7) donde llegan a $<45\%$; mientras que excepcionalmente (CA-1) alcanzan el 80% del volumen (Fig. 6.8), por lo tanto son enriquecidas en la fase vapor (Tipo II de Lang & Baker, 2001).

Tipo L-V-S: Este tipo de inclusiones son trifásicas ($L > V > S$), donde las fases predominantes son el líquido, gas y sólido como en la muestra N-30 (Fig. 6.3), GB-34 (Fig. 6.7), SB-1 (Fig. 6.5) y T-1 (Fig. 6.9). Estas corresponden al tipo III de Lang & Baker (2001).

Tipo monofásicas: Estas inclusiones están en menor proporción y poseen formas regulares.

La clasificación temporal de las inclusiones fue realizada siguiendo la descripción de Roedder (1984). Las IF se distribuyen en diferentes sectores, algunas veces están alineadas (secundarias), mientras que en otras se encuentran aisladas (primarias). Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 6.2.

Las muestras estudiadas contienen los dos tipos principales de inclusiones fluidas (L-V y L-V-S). Mayoritariamente corresponden al tipo L-V que están entre 60 y 95 % en proporción respecto al otro tipo de inclusiones L-V-S (Tabla 6.2); en algunos casos (CA-1) predomina la fase vapor sobre la líquida (V-L).

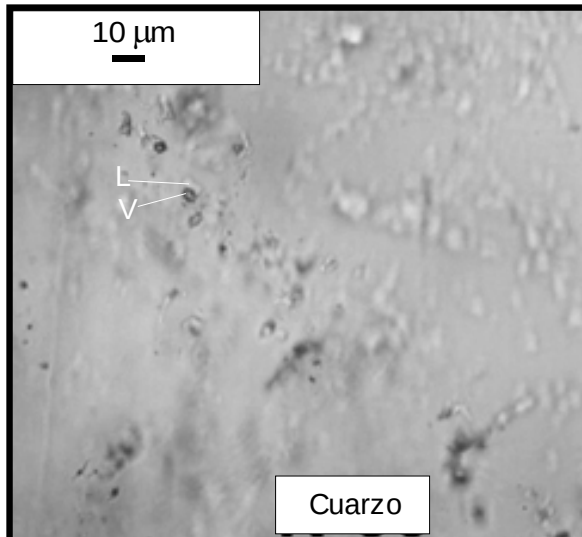


Fig.6.2. Fotomicrografía de inclusiones fluidas (IF) primarias en cuarzo de la muestra N-30. Plano con IF bifásicas tipo L-V.

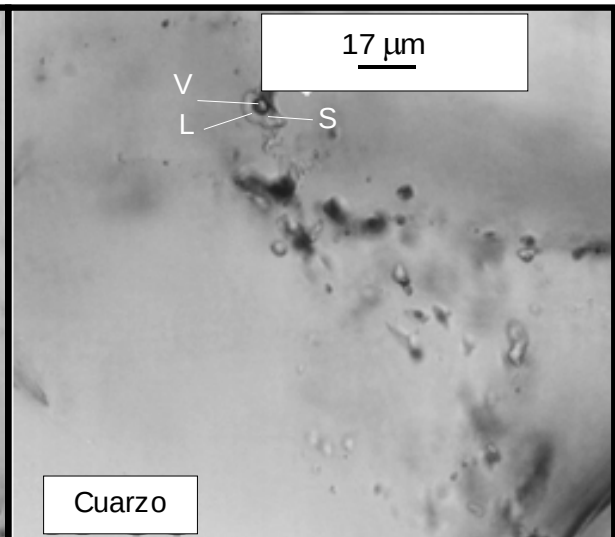


Fig.6.3. Fotomicrografía de inclusiones fluidas primarias en cuarzo de la muestra N-30. Una IF trifásica del tipo L-V-S está en la parte superior y una bifásica en la parte inferior.

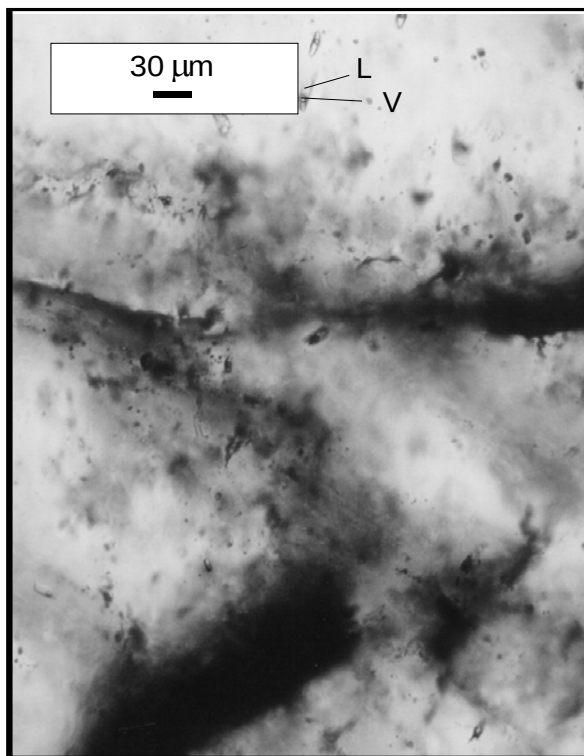


Fig.6.4. Fotomicrografía de inclusiones fluidas (IF) primarias en cuarzo de la muestra SB-1, de forma alargada del tipo L-V.

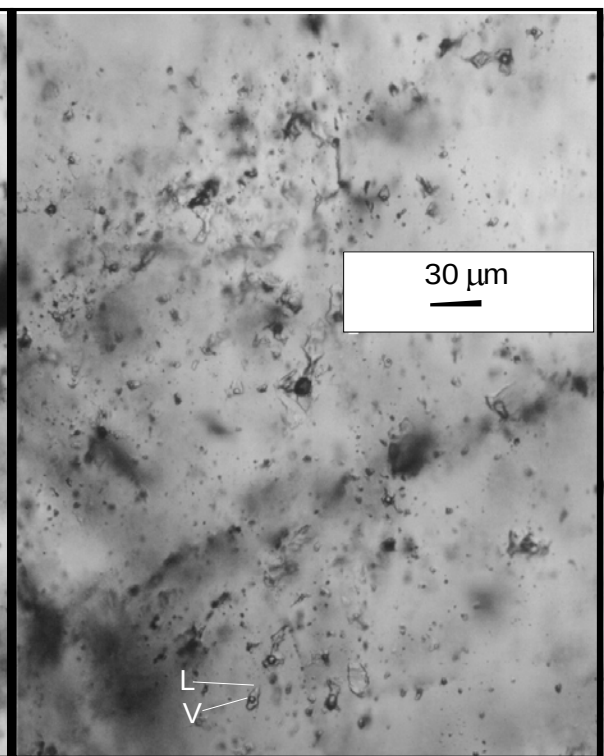


Fig.6.5. Fotomicrografía de inclusiones fluidas primarias en cuarzo de la muestra SB-1 del tipo L-V.

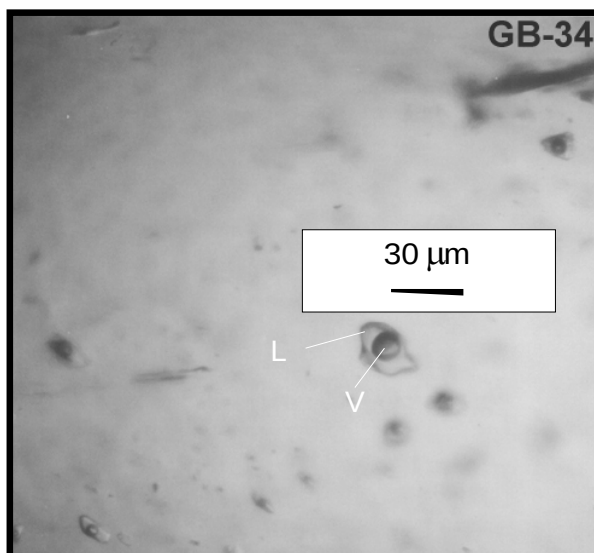


Fig.6.6. Fotomicrografía de inclusiones fluidas (IF) primarias en cuarzo de la muestra GB-34. Son del tipo líquido-vapor (L-V).

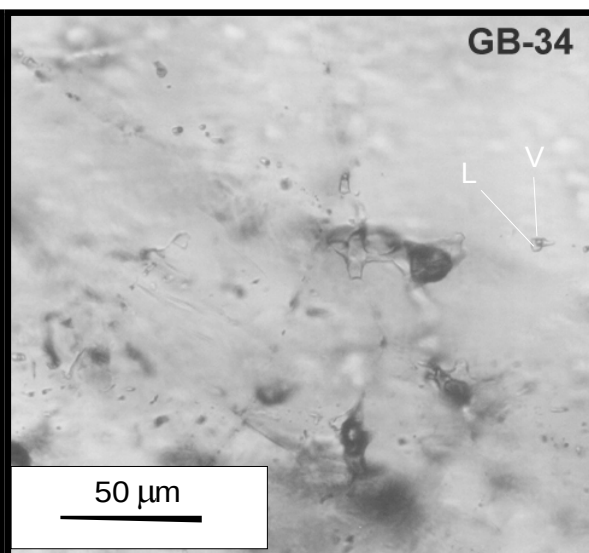


Fig.6.7. Fotomicrografía de inclusiones fluidas (IF) en cuarzo de la muestra GB-34 del tipo L-V-S y L-V.

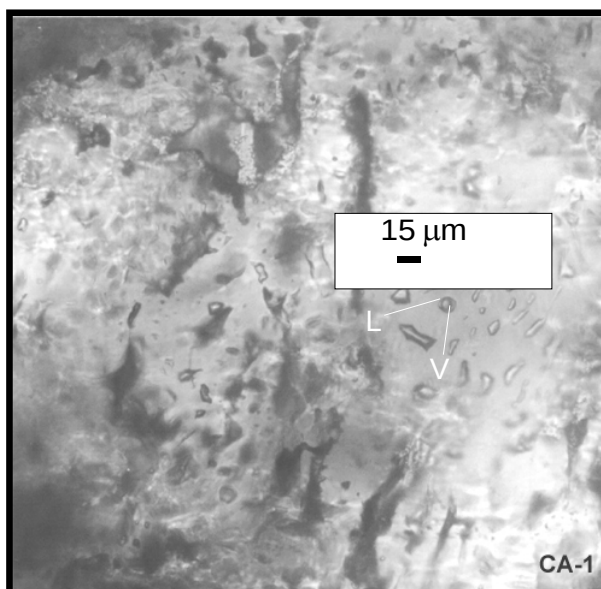


Fig.6.8. Fotomicrografía de inclusiones fluidas primarias en calcita de la muestra CA-1 del tipo L-V.

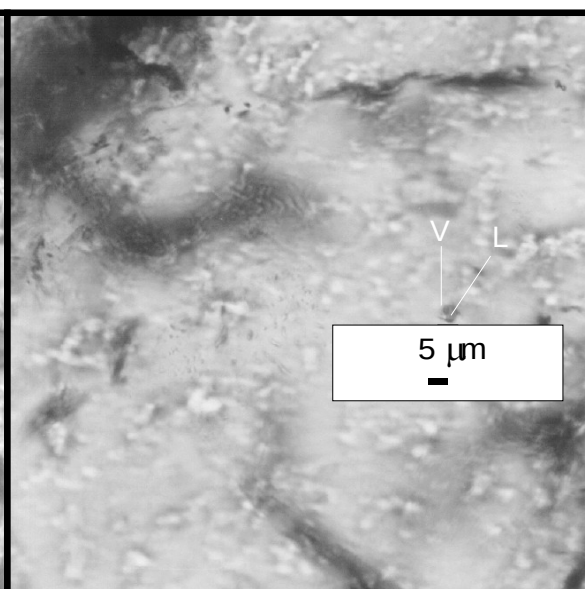


Fig.6.9. Fotomicrografía de inclusiones fluidas primarias en esfalerita de la muestra T-1 del tipo L-V.

Tabla. 6.2. Resumen la descripción de muestras de IF del Complejo Volcánico Galán								
Muestra	Mineral	Depósito	Asociación metálica	N° de IF descritas	Tamaño máximo: micrones	Tipo LVS (%)	Tipo LV (%)	% Vapor
N-30	Cuarzo	Pueblo Viejo	W-Bi-Au-Ag	95	36	25	75	hasta 25
W-298	Cuarzo	Pueblo Viejo	W-Bi-Au-Ag	112	30	10	90	hasta 30, raramente 40
SB-1	Cuarzo	Pueblo Viejo	W-Bi-Au-Ag	142	36	20	80	hasta 20, raramente 40-60.
PV-1	Cuarzo	Pueblo Viejo	W-Bi-Au-Ag	21	30	25	75	hasta 30
GB-34	Cuarzo	Co. Andacaba	W-Bi-Au-Ag	153	105	5	95	hasta 25, raramente 40
W-269	Cuarzo	SE CVG	C-Fe	55	30	5	95	hasta 30, raramente 40
T-1	Esfalerita	Toldos	Zn	99	20	10	90	hasta 25, raramente 40-60
KHA-1	Cuarzo	Khasayoj	Pb	24	30	40	60	hasta 20
CA-1	Baritina	Cuatro Ases	Cu-Fe	96	36	10	90	hasta 30, raramente 40-60
W-306	Calcita	Q.Coyahuayco	Ca-Fe	7	30	10	90	Hasta 30

Tabla 6.2. Resumen de la descripción de muestras del Complejo Volcánico Galán, donde se muestra el número de inclusiones descritas, el tipo de IF y porcentaje de vapor. Las formas de las IF son variadas, desde alargadas, ovaladas, trapezoidales, hasta triangulares e irregulares.

En las inclusiones trifásicas predominan el tipo L-V-S, que se encuentran en mayor proporción en las muestras asociadas a los depósitos de Khasayoj (KHA-1) y Pueblo Viejo (N-30, SB-1, PV-1 y W-298); aunque hay algunas inclusiones (W-298) con relaciones $S > V > L$.

Las inclusiones fluidas primarias son las que se encuentran aisladas y poseen mayores tamaños; éstas fueron utilizadas para las mediciones microtermométricas. Las inclusiones secundarias se encuentran alineadas y el tamaño es menor que el de las primarias.

El principal mineral hijo es halita, aunque no se debería descartar la presencia de otros minerales, debido a que en algunas muestras como en N-30 (6-7) se reconocieron cristales alargados. Las muestras son de una composición acuosa (H_2O – NaCl) y no se ha determinado la presencia de CO_2 debido a que el punto eutectico medido en las muestras es menor a -56.6 °C que es lo que correspondería a este gas. Sin embargo no se descarta su presencia, debido a que Kelly and Turneaure

(1970) mencionan un contenido bajo para depósitos de cuarzo y casiterita en depósitos minerales ubicados en la Faja Estañífera.

El tamaño de las inclusiones es variado, sin embargo las mediciones realizadas alcanzan hasta 105 micrones (GB-34). Las inclusiones fluidas en cuarzo y baritina tienen tamaños hasta 36 micrones, mientras las inclusiones en esfalerita tienen un tamaño máximo de 20 micrones (Fig. 6.9), con promedio de <3 micrones.

6.4. Salinidad

El procedimiento inicial en las mediciones microtermométricas fue el enfriamiento, para evitar la decrepitación de las inclusiones fluidas, la cual es posible en la etapa de calentamiento. La salinidad fue determinada de datos tabulados y en gráficos de Bodnar et al., (1989), a partir del punto de fusión en las inclusiones fluidas del tipo L-V; además de la temperatura de disolución de la fase sólida (halita) para las muestras de inclusiones del tipo L-V-S.

Los resultados obtenidos con este procedimiento en inclusiones primarias se muestran en las Tablas 6.3 y 6.4.

Las inclusiones fluidas de tipo L-V arrojaron puntos de fusión del hielo (Tabla 6.3) variables entre -1.2 (CA-1 y T-1) y -21.2 (W-298), que permite determinar una salinidad de 2.07 a 23.7 % en peso equivalente a NaCl respectivamente. La mayoría de los datos de salinidad en las muestras de este tipo tienen valores extremos como en las muestras CA-1, GB-34, W-298; mientras que algunas poseen menor salinidad (T-1, KHA-1, PV-1). Esta divergencia de datos se presenta en la Tabla 6.3 y Fig. 6.10.

Las inclusiones de tipo L-V-S arrojaron resultados de la salinidad entre 30.44 a 51.52 % en peso equivalente en NaCl (Tabla 6.4 y Fig. 6.10). La característica de este grupo es que poseen fluidos hipersalinos donde la fase sólida corresponde a halita.

Tabla 6.3. Salinidad (% en peso equivalente a NaCl) en inclusiones fluidas primarias del tipo L-V.						
Muestra	Ubicación	Mineral	Número realizado	Punto eutéctico	Punto de fusión	% en peso Equiv. NaCl
N-30	Pueblo Viejo	Cuarzo	7	-26° a -25°	-7.6° a 4.8°	7.59 a 11.22
W-298	Pueblo Viejo	Cuarzo	15	-47 a -25	-7.1 a -17.2	10.61 a 20.37
SB-1	Pueblo Viejo	Cuarzo	9	-29.2	-4.4	7.02
PV-1	Pueblo Viejo	Cuarzo	2	-33 a -26	-8.5 a 9	12.28 a 12.85
GB-34	Co. Andacaba	Cuarzo	33	-21 a -29	-3 a -15.6	4.96 a 19.13
T-1	Toldos	Esfalerita	6	-26.3	-1.2 a -4.6	2.07 a 7.31
KHA-1	Khasayoj	Cuarzo	2	-37 a -23	-11 a -12	14.97 a 15.96
CA-1	Cuatro Ases	Baritina	11	-23 a -39	-1.2 a 17.2	2.07 a 20.37

Tabla 6.3. Resumen de datos de enfriamiento y contenido en % en peso equivalente a NaCl de inclusiones fluidas primarias del tipo L-V del Complejo Volcánico Galán.

Tabla 6.4. Salinidad (% en peso equivalente a NaCl) en inclusiones fluidas primarias del tipo L-V-S (disolución de halita)					
Muestra	Depósito mineral	Asociación metálica	Mineral	T (°C) disolución de halita	% en peso equivalente a NaCl
N-30	Pueblo Viejo	W, (Bi, Au-Ag)	Cuarzo	358°	43.12
N-30	Pueblo Viejo	W, (Bi, Au-Ag)	Cuarzo	323.5°	39.96
W-298	Pueblo Viejo	W, (Bi, Au-Ag)	Cuarzo	436°	51.52
SB-1	Pueblo Viejo	W, (Bi, Au-Ag)	Cuarzo	217.8°	32.79
SB-1	Pueblo Viejo	W, (Bi, Au-Ag)	Cuarzo	279.1°	36.64
PV-1	Pueblo Viejo	W, (Bi, Au-Ag)	Cuarzo	281.5°	36.80
KHA-1	Khasayoj	Pb	Cuarzo	426.5°	50.41
KHA-1	Khasayoj	Pb	Cuarzo	168.5°	30.44
KHA-1	Khasayoj	Pb	Cuarzo	200.8°	31.94
KHA-1	Khasayoj	Pb	Cuarzo	194.9°	31.64
KHA-1	Khasayoj	Pb	Cuarzo	206.8°	32.24
W-269	Suroeste CVG	C,Fe	Cuarzo	194.2°	31.61

Tabla 6.4. Resultados de salinidad obtenida a partir de la temperatura de disolución de halita de las inclusiones fluidas primarias del tipo L-V-S del Complejo Volcánico Galán. Se utilizó la tabla y el gráfico de Bodnar et al., (1989).

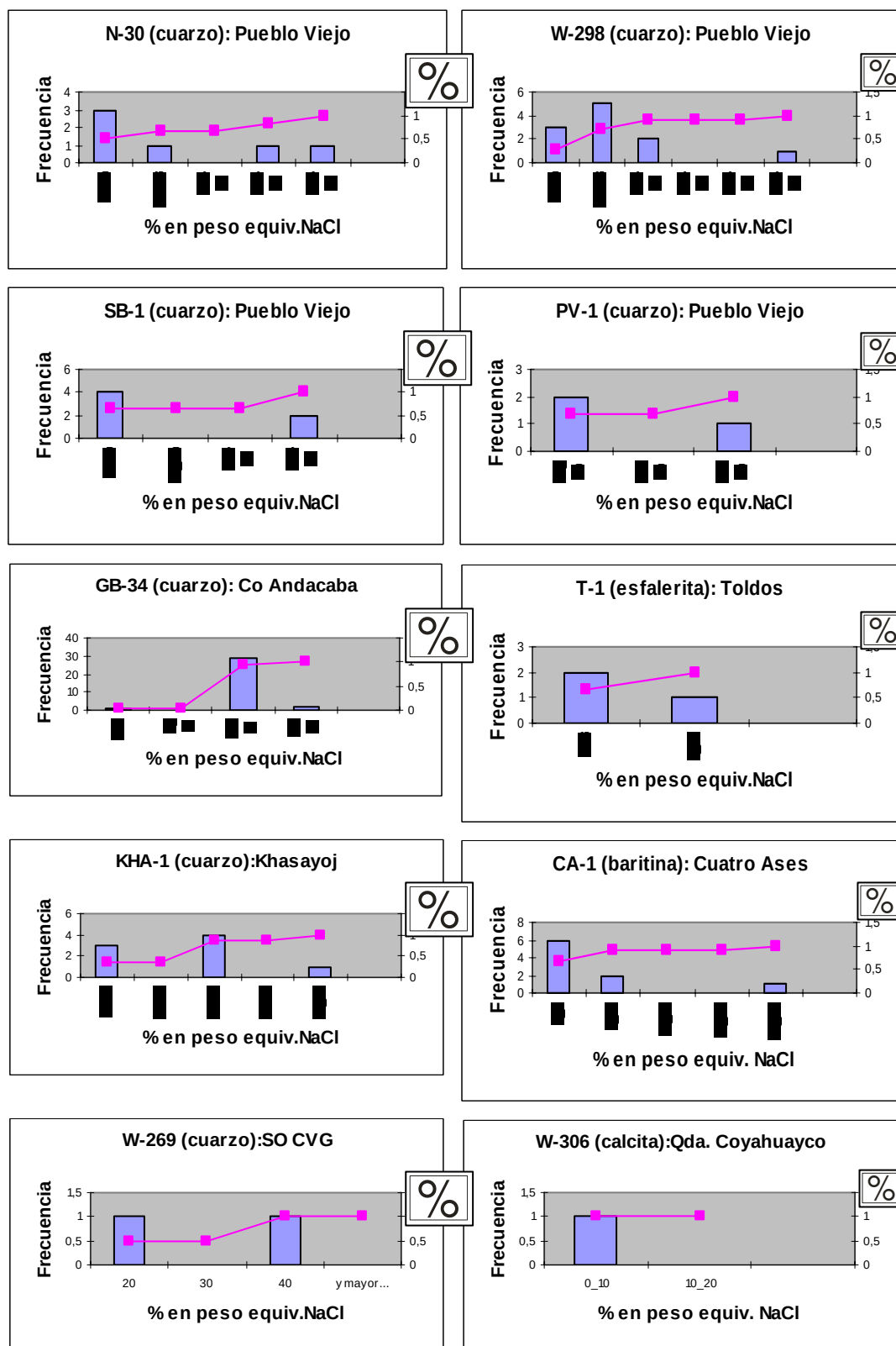


Fig. 6.10. Histogramas y frecuencias acumuladas (% en líneas de color magenta) de salinidad de salinidad (% en peso equivalente a NaCl) de inclusiones fluidas primarias.

Los resultados obtenidos indican que las inclusiones fluidas pertenecen a soluciones de saturación diferentes. En general existen dos grupos, algunas de ellas son saturadas con contenidos por encima de 30 % en peso equivalente a NaCl, mientras que otras tienen soluciones con contenidos de NaCl menores al 23 % en peso equivalente a NaCl.

6.5. Temperatura de homogeneización

La mayoría de las inclusiones homogeneizan en la fase líquida (L) principalmente las del tipo L-V. En las trifásicas la fase sólida es la última en desaparecer en relación a la fase vapor (PV-1). Los datos obtenidos se encuentran en la tabla 6.5 y Fig. 6.11.

Tabla 6.5. Resultados de temperaturas de homogeneización					
Muestra	Ubicación	Mineral	Tipo de inclusión	Número realizado	Temperatura de homogeneización
N-30	Pueblo Viejo	Cuarzo	LV (309-337 °C) y LVS (335-385.7 °C)	12	309.1 - 385.7
W-298	Pueblo Viejo	Cuarzo	>>LV, LVS (260.7)	10	260.7 - 379.3 raro >450
SB-1	Pueblo Viejo	Cuarzo	>>LV, LVS (269 °C)	14	269.8 - 335.6
PV-1	Pueblo Viejo	Cuarzo	>>LV, LVS (281 °C)	7	240.6 - 348.5
GB-34	Co. Andacaba	Cuarzo	L-V	10	320 - 365
T-1	Toldos	Esfalerita	L-V	8	170 - 265
KHA-1	Khasayoj	Cuarzo	L-V y L-V-S	10	181.7 - 398.5
CA-1	Cuatro Ases	Baritina	L-V (<340 °C) y L-V-S (~366)	7	166.1 - 366.8
W-269	SO CVG	Cuarzo	>>L-V, L-V-S (~210.5)	6	210.5 - 357.8
W-306	Qda. Coyahuayco	Calcita	L-V	3	282 - 285

Tabla 6.5. Resultados de temperaturas de homogeneización de inclusiones fluidas primarias correspondientes a muestras del Complejo Volcánico Galán.

Las determinaciones de la temperatura de homogeneización fueron realizadas en inclusiones fluidas primarias del tipo L-V y L-V-S, a excepción de las muestras W-306, GB-34 y T-1 donde fueron determinadas sólo en las del tipo L-V.

Los datos obtenidos de las temperaturas de homogeneización (Th) varían entre 166 °C hasta alrededor de 450 °C (Tabla 6.5. y Fig 6.11).

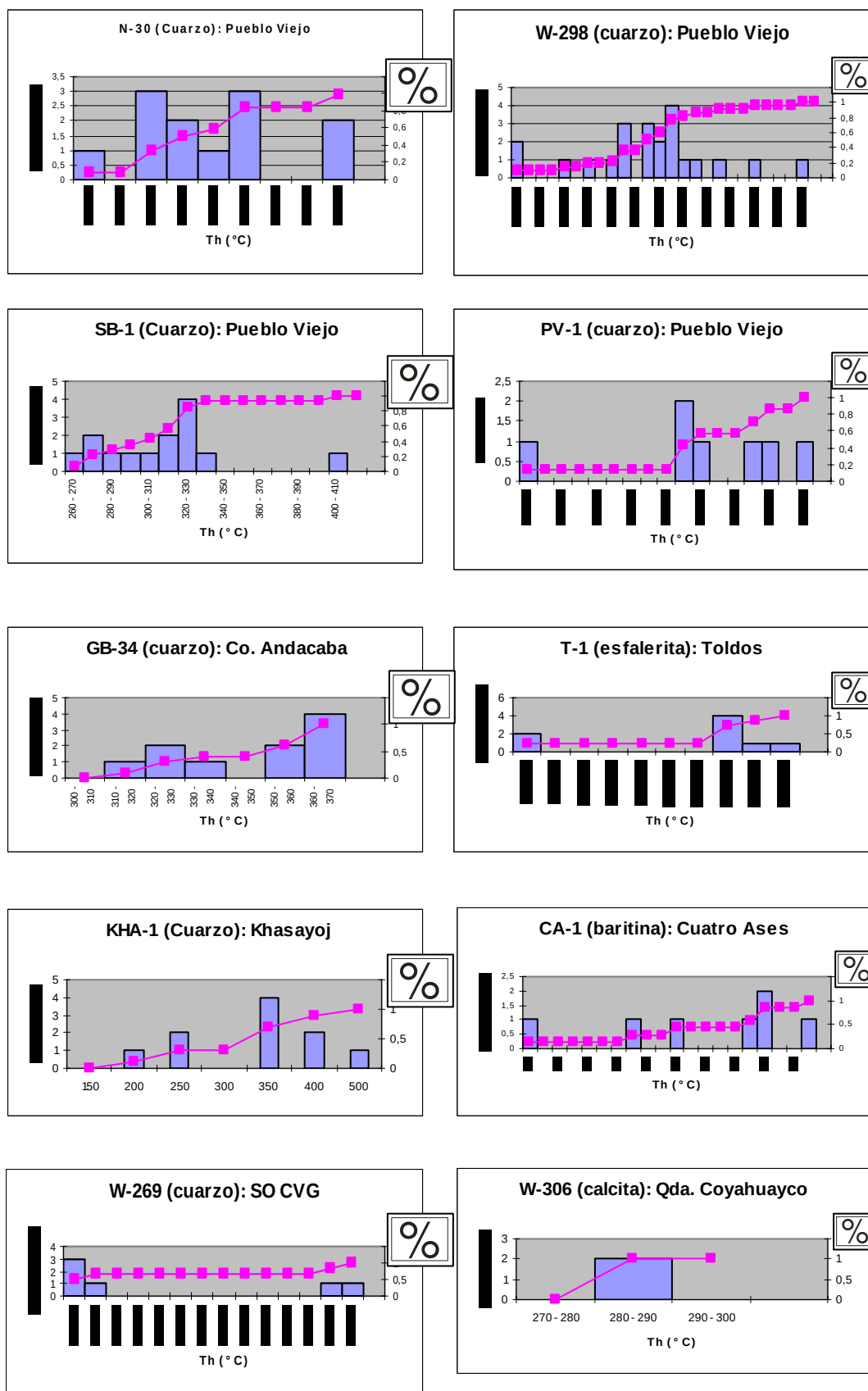


Fig. 6.11. Histogramas y frecuencias acumuladas (% , líneas en color magenta) de Temperaturas de homogeneización (°C) de inclusiones fluidas primarias.

La mayoría de las muestras poseen amplios rangos de temperatura respecto a los tipos de inclusiones fluidas descritos anteriormente (N-30, W-298, SB-1, PV-1, KHA-1, CA-1 y W-269). En N-30 las temperaturas de homogeneización (Th) obtenidas para el tipo L-V son de 309.1 a 337.8 °C y en el tipo L-V-S varía de 335 a 385.17 °C; en la mayoría de los casos probablemente el rango amplio corresponde a inclusiones de ambos tipos como en la muestra KHA-1 donde la Th medida en el tipo L-V-S varía entre 181° y 447 °C; mientras que para el tipo L-V es de 217-398 °C.

Estos datos indican que en los depósitos minerales estudiados existe una superposición de pulsos mineralizantes de alta y baja temperatura, lo cual es posible en depósitos minerales telescopados. Además éstos resultados revelan la existencia de una zonación lateral en el Complejo Volcánico Galán, donde la mayor temperatura corresponden a los depósitos la parte oriental y central (mina Pueblo Viejo), y los depósitos con menor temperatura estarían en las partes laterales (mina Toldos).

6.6. Relación de la temperatura de homogeneización y salinidad

En general los resultados obtenidos (Fig. 6.11) muestran diferentes campos. Respecto a la salinidad existen unas que son menores a 25 % en peso equivalente a NaCl; mientras que otras son mayores a 30 % en peso equivalente a NaCl (Fig. 6.12); además el rango de temperatura de homogeneización es amplio desde 161 °C hasta 450 °C.

El rango de variación de la relación temperatura de homogeneización - salinidad es amplia en las muestras N-30, W-298, KHA-1, PV-1, W-269 y SB-1 (Fig. 6.12), donde se distribuyen en diferentes campos en una misma muestra; unas son hipersalinas y con elevadas temperaturas de homogeneización (W-298 y KHA-1) y otras poseen menor salinidad.

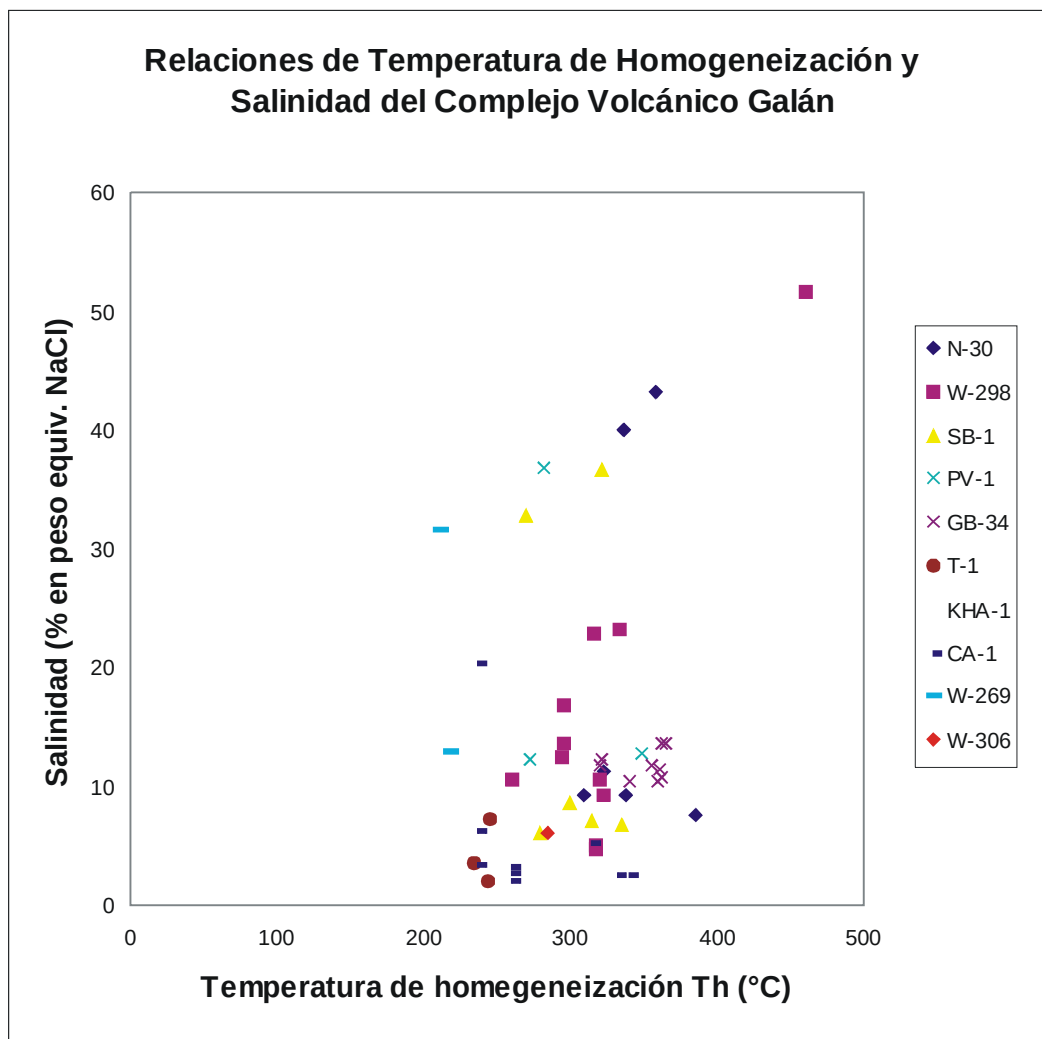


Fig. 6.12. Relación de temperaturas de homogeneización T_h (°C) versus salinidad expresado en porcentaje en peso equivalente a NaCl (% en peso equiv. NaCl) de 58 determinaciones del Complejo Volcánico Galán. Las muestras y sus correspondientes símbolos están indicados en el gráfico. La muestra W-306 es de calcita, CA-1 es de baritina y T-1 de esfalerita, y todas las demás son en cuarzo.

La salinidad en algunas muestras (N-30, PV-1, SB-1, W-269 y CA-1), conforman dos campos diferentes, mientras que la temperatura de homogeneización se encuentra en un rango análogo (Fig. 6.12).

Las inclusiones fluidas de las muestras T-1 y W-306 presentan menores temperaturas de homogeneización y salinidad respecto a las demás muestras del Complejo Volcánico Galán.

6.7. Comparación con inclusiones fluidas de depósitos minerales de los Andes Centrales de Bolivia

Los resultados obtenidos de las inclusiones fluidas en muestras de depósitos minerales en el Complejo Volcánico Galán fueron comparados con resultados de depósitos de los Andes Centrales en Bolivia, mostrando similitudes y divergencias.

En las muestras del Complejo Volcánico Galán el tipo predominante es el tipo L-V, en las cuales es posible distinguir a enriquecidas en líquido con vapor menor a 25 % del volumen total (Tipo I en Lang & Baker, 2001) y baja salinidad que son las inclusiones fluidas que predominan, pero existen otras enriquecidas en vapor, entre 60 y 90 % del volumen (Tipo II en Lang & Baker, 2001) y baja salinidad; que están en menor proporción. Las del tipo L-V-S (Tipo III en Lang & Baker, 2001) son inclusiones trifásicas que contienen halita como fase sólida. En la mayoría de las muestras de los depósitos minerales de los Andes Centrales se encuentran los tipos de inclusiones descritos en este estudio, el tipo L-V-S de este estudio es similar al tipo B de la mina Tasna – Sn, W, Bi, Ag, Pb, Zn (Sugaki et al., 1988), mientras que el tipo L-V mencionado es similar al tipo A de la mina San Antonio de Lípez – Ag, Pb Zn (Sugaki et al., 1988). Inclusiones fluidas similares y hipersalinos son indicados para Chorolque – Sn,W,Bi (Grant et al., 1977) y Laramcota - Sn (Kelly and Turneure, 1970).

En los depósitos del CVG hay inclusiones con salinidades bajas (<25 % en peso equivalente a NaCl) y otras que indican la presencia de fluidos hipersalinos, (35 a 50 % en peso equivalente a NaCl) (Fig.6.12). Kelly and Turneure (1970) mencionan altas salinidades (29 hasta 40 % en peso equivalente a NaCl) y baja salinidad (<26 % NaCl) para los depósitos de Laramcota, Araca, Caracoles, Oruro, ubicados en la parte central y norte de la faja Sn. La similitud es mayor con los depósitos de Tasna y Chorolque (Sugaki et al., 1988) que se encuentran en la parte meridional de la Faja Estañífera (Tabla 6.6); pero existen diferencias en la salinidad con los depósitos como San Antonio de Lípez (Sugaki et al, 1988) donde los valores son menores señalados por éstos autores (Tabla 6.6).

La temperatura de homogeneización tiene un rango amplio desde 161 °C hasta alrededor de 450 °C. Las mayores temperaturas medidas son de muestras relacionadas a mineralización de W (mina Pueblo Viejo), mientras que temperaturas

menores, alrededor de 245 °C, corresponden a depósitos con mineralización de Zn (mina Toldos). La zonación lateral evidenciada en los depósitos del CVG es similar a la propuesta por Sugaki et al., (1988) para la mina Tasna (Fig. 6.13) y particularmente en la zona Belen (Sn-W-Bi). Estos autores mencionan una zonación lateral decreciente en esta mina con elevados valores en la zona Sn-W-Bi hacia la zona Ag-Pb-Zn (Fig. 6.13). Así mismo indican ésta zonación en los depósitos de Avicaya-Bolivar y Chocaya-Animas. El amplio rango de Th es frecuente en varios depósitos de la región andina (Tabla 6.6. y 6.7.).

El rango de las relaciones de temperatura de homogeneización (Th) y salinidad de los tipos de depósitos minerales del Complejo Volcánico Galán se encuentra en el campo de Sn-W-Bi y Sn de Sugaki et al., (1988) (Fig. 6.14); mientras que abarcarían los tipos A (depósitos asociados con rocas ígneas plutónicas), B y C (asociado a depósitos Au-Ag y Sn-Ag con rocas ígneas porfíricas) en las relaciones de Alarcón et al., (1996). Es probable que los depósitos del CVG se encuentren en campos que abarca un rango mayor por la asociación metálica general de W, Bi, Pb, Zn y Au-Ag (Sn).

Los resultados expuestos en el presente estudio de inclusiones fluidas son coincidentes en relación a la tipología y asociación metálica (Sn-W) de los Andes Centrales, como por ejemplo el depósito de Huanuni (Müller et al., 2001) y divergentes en cuanto a la tipología (Au, Au-Sb) en vetas emplazadas en sedimentitas y (Ag, Pb, Zn, Au) de mineralización del ambiente volcánico. Esta comparación está corroborada por los resultados de Sugaki et al., (1988), Kelly and Turneure (1970) y Alarcón et al., (1996 y 1998).

Sugaki et al., (1988), indican valores de temperatura de homogeneización de hasta 500 °C y salinidades hasta <55 % en peso equivalente de NaCl en depósitos asociados con W-Bi y turmalinización (ejemplos Viloco y Caracoles) que pueden ser similares a los del tipo pórfido cuprífero. Mencionan además, la coincidencia del origen magmático para los depósitos de Sn-W-Bi. Las temperaturas de depósitos de Pb-Zn tienen un rango de 170° a 300°C.

Kelly and Turneure (1970) mencionan varias etapas de mineralización compleja; en la etapa temprana tuvieron soluciones ricas en NaCl (<46% en peso equivalente a NaCl), y un contenido bajo de CO₂; mientras que en las etapas tardías las soluciones son más diluidas, hasta aguas frescas en las etapas póstumas.

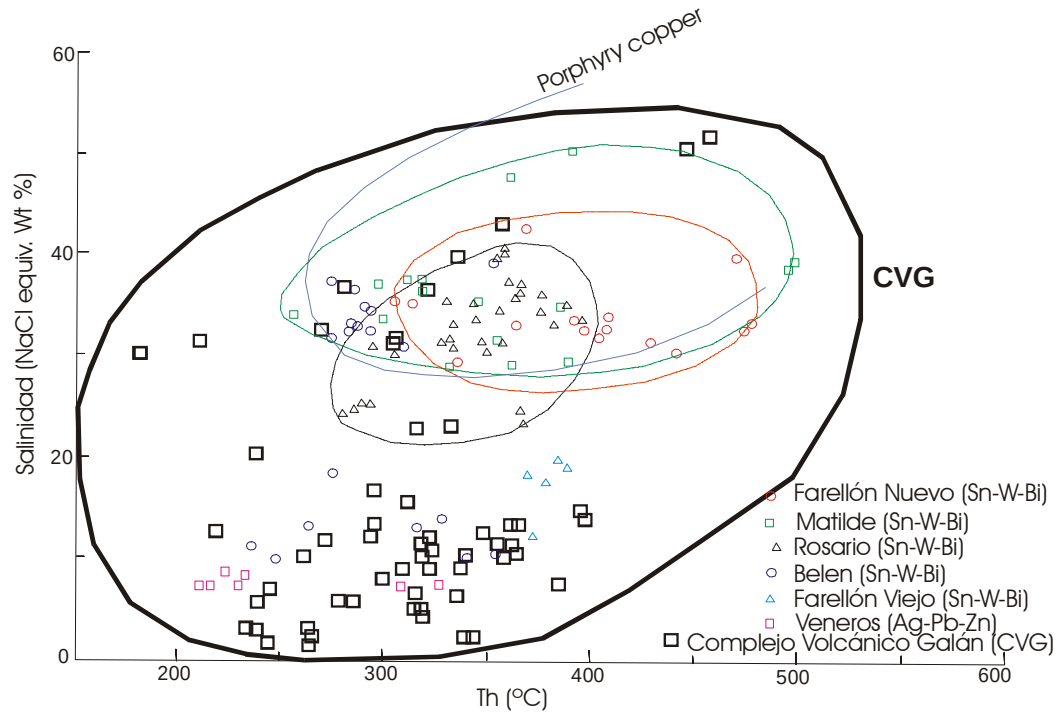


Fig. 6.13. Relaciones entre Th y Salinidad de inclusiones fluidas en cuarzo de la mina Tasna (tomado de Sugaki et al., 1998). El rango de alta salinidad de las inclusiones de pórfidos cupríferos es de Nash (1976). El CVG está demarcado.

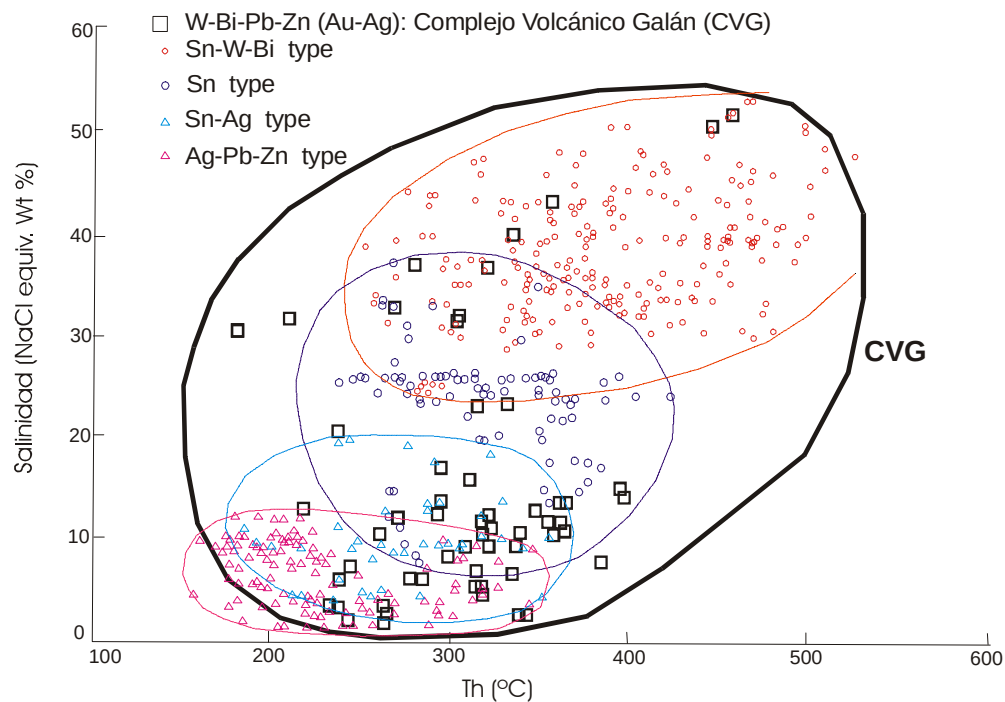


Fig. 6.14. Rangos de Th y salinidad de depósitos hidrotermales de Bolivia (tomado de Sugaki et al., 1998). Los resultados obtenidos (campo en línea negra) de inclusiones fluidas del Complejo Volcánico Galán (CVG) se encuentran en los campos de los depósitos tipo de Sn-W-Bi, Sn y Sn,Ag.

Tabla 6.6. Temperatura de homogeneización y salinidad de depósitos hidrotermales polimetálicos de Bolivia						
Mina	Tipo	Localidad	Mineral	Th (°C)	Salinidad	Referencias
Viloco	Sn-W	Roberto	Cuarzo (126)	266-494	18.5-26.0	a
		Doce	Cuarzo (42)	256-423	16.9-19.6	
			Casiterita (15)	333-401		
		Once	Cuarzo (56)	291-476	9.1-32.0	
		Broncera	Cuarzo (101)	257-423	31.4-55.5	
		Cinco	Cuarzo (4)	392-481	33.6-55.4	
Caracoles	Sn-W	Estrella	Cuarzo (100)	256-455	35.0-50.6	
Huanuni	Sn	Keller	Cuarzo (129)	213-411	4.2-26	
Avicaya	Sn	Carmen	Cuarzo (157)	259-386	20.0-36.6	
		Salvadora	Cuarzo (74)	182-413	25.6-26.1	
Bolivar	Sn-Ag-Zn	Bolivar	Cuarzo (21)	198-327		
Siglo XX (Llallagua)	Sn	San José	Cuarzo (210)	276-399	4.7-8.6	
		Salvadora	Cuarzo (31)	262-441	14.2-21.8	
		Forastera	Cuarzo (10)	245-372		
Potosí	Sn-Ag-Pb-Zn	Don Mauricio	Cuarzo (10)	243-282	4.7-11.7	b
		Bolivar-2	Cuarzo (16)	286-315	13.0-13.5	
		Utne-2	Cuarzo (72)	231-371	4.4-19.7	
		Utne-4	Cuarzo (18)	271-329	9.2-9.5	
Tasna	Sn-W-Bi	Rosario	Cuarzo (71)	264-381	23.6-41.4	Sugaki et al., 1988
		Matilde	Cuarzo (53)	238-499	24.3-50.4	
		Farellón Nuevo	Cuarzo (210)	302-491	29.4-42.3	c
		Farellón Viejo	Cuarzo (55)	271-422	12.4-20.2	c
		Belen	Cuarzo (125)	213-381	9.9-39.1	
	Sn-Ag	Acero	Cuarzo (47)	239-377		c
	Ag-Pb-Zn	Veneros	Cuarzo (56)	202-353	7.4-8.6	
Chorolque	Sn-W-Bi	Colón	Cuarzo (102)	276-509	32.2- 55.5	
		Fanny-Ramo 3	Cuarzo (11)	261-524	30.5-47-7	
		Central Ramo 3	Cuarzo (40)	285-528	24.8-55.5	
		Sin nombre	Cuarzo (110)	268-493	29.2-55.5	
San Vicente	Ag-Pb-Zn	6 de agosto	Baritina (72)	172-345	1.5-5.2	Sugaki et al., 1988
		San José	Baritina (39)	210-359	2.3-8.9	Sugaki et al., 1988
Buena Vista	Ag-Pb-Zn	Once	Esfalerita (24)	170-305	4.4-5.8	Sugaki et al., 1988
San Antonio de Lipez	Ag-Pb-Zn	Sistema 1	Cuarzo (109)	161-290	5.5-16.1	Sugaki et al., 1988

Tabla 6.6. Resultados de Temperatura de homogeneización y salinidad de depósitos hidrotermales polimetálicos de Bolivia (Sugaki et al., 1988). En las referencias a. Sugaki et al., 1985; b. Sugaki et al., 1983; c. Sugaki et al., 1984.

Las temperaturas de homogeneización señaladas para la depositación se iniciaron desde alrededor de 300° a 530° C durante la etapa temprana y disminuye hasta menos de 70° C en las etapas tardías. Señalan una activa ebullición de los fluidos tempranos, la cual es indicada por las inclusiones en cuarzo y casiterita. Un origen magmático es preferido para la mineralización y su contenido de metales, pero el progresivo enfriamiento y dilución de las soluciones puede reflejar una influencia gradual de agua meteórica en el sistema magmático hidrotermal.

Tabla 6.7. Resumen de temperatura de homogeneización (Kelly and Turneure, 1970)								
Muestra	Ubicación	Ambiente	Tipo depósito	Mineral	Tipo de inclusión	Numero realizado	Número de medidas de calentamiento	Temperaturas de homogeneización
ARA	Araca	Profundo	Sn	Casiterita				297 a 480
ARA	Araca	Profundo	W	Cuarzo (Temprano)				260 a 268 (PS) 331 (S)
CHA-1	Chacaltaya	Profundo	W,Bi	Fluorita (temprano)	P-I S-I	10 18	1 3	211-259 70-157
CHA-1	Chacaltaya	Profundo	W,Bi	Casiterita	P-I	7	2	>272-464
LLA	Llallagua	Somero	Sn	Cuarzo (temprano)	P-I S-I			296 a >509 173-385
LLA	Llallagua	Somero	Sn	Baritina (tardia)	P (?) -I			>235 a 252 173-385
LLA	Llallagua	Somero	Sn	Casiterita	P-I	1	2	419
KMI-1	Chicote Grande	Sed.	W	Cuarzo	P-I P(?)I	6 7	9 1	307-357 373-385
ORU	Oruro	Somero	Sn, Ag	Casiterita		108	25	348-526
TSN-8	Tasna (3)	Somero	Sn	Siderita	P-I PS(?)I	1 10	1 2	242 201-223
TSN-25	Tasna (4)	Somero	W,Bi	Cuarzo (temprano)	PS(?)I	20	2	306-375
TSN-33	Tasna (5)	Somero	W	Cuarzo (temprano)	P-I P(?)I S-I	7 10 79	2 3 14	415-434 320-446 322-407

Tabla 6.7. Resumen de resultados de temperaturas de homogeneización de Kelly and Turneure (1970).

6.8. Conclusiones

El estudio de las inclusiones fluidas del Complejo Volcánico Galán con relación a la petrografía establece que existen diferentes tipos: Trifásicas (líquida, vapor y sólida) y bifásicas (líquido y vapor).

Los resultados obtenidos de las temperaturas de homogeneización varían desde 166 °C hasta 450 °C; esta variación puede correlacionarse con la zonación metálica. Los valores altos de temperatura corresponden a muestras relacionadas con mineralización de W (mina Pueblo Viejo), mientras que valores bajos de temperatura corresponderían a mineralización de Zn (mina Toldos).

La salinidad determinada varía hasta 51.52 % en peso equivalente a NaCl. Sin embargo se debe considerar dos grupos de salinidades, que incluso pueden estar presentes en una misma muestra, lo que significa que hay soluciones saturadas y no saturadas. Unas corresponden hasta 25 % en peso equivalente a NaCl, mientras que otras inclusiones fluidas tienen concentraciones mayores a 30 % en peso equivalente a NaCl.

Los datos obtenidos en el presente estudio, son coincidentes con aquellos depósitos similares en su asociación metálica W, Bi (Kelly and Turneure, 1970, Sugaki et al.,

1988, Grant et al., 1977, Alarcón et al., 1996) que conforman la Faja Estañífera de Bolivia, debido a que los depósitos poseen características similares respecto a su asociación metálica y el ambiente geológico. Estos depósitos están relacionados a la misma época de mineralización del Mioceno y se incluyen en la Faja Estañífera. Los resultados son diferentes a los de los depósitos de Ag, Pb, Zn (Buena Vista y San Antonio de Lípez, Sugaki et al., 1988) relacionados a la Faja polimetálica del Altiplano y Cordillera Occidental y los depósitos de Au, Sb-Au y Sb, relacionados a la Faja polimetálica marginal de la Cordillera Oriental (Alarcón et al., 1996).

Capítulo 7.

METALOGÉNESIS Y MODELO DE EXPLORACIÓN DEL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN

Capítulo 7

METALOGÉNESIS Y MODELO DE EXPLORACIÓN DEL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN

7.1. Introducción

Los resultados alcanzados acerca del Complejo Volcánico Galán (CVG) sobre la geología, magmatismo, depósitos minerales, geoquímica e inclusiones fluidas fueron los criterios utilizados para la elaboración del esquema metalogénico y el modelo de exploración.

Las características del Complejo Volcánico Galán, respecto a la asociación metálica (W, Bi, Pb, Zn, Au, Ag) y el magmatismo, con un estado de oxidación intermedio, son indicativos para proponer que los depósitos minerales podrían incorporarse al modelo de exploración de “Intrusion-Related Gold System”. Este modelo, con diversas denominaciones (Lang & Baker, 2001), fue propuesto por diferentes autores como Thompson et al., (1999), Lang et al., (2000), Thompson y Newberry, (2000). En el presente estudio se designa como “sistemas de mineralización de oro relacionado a intrusiones” como equivalente a esas denominaciones.

7.2. Metalogénesis

El Complejo Volcánico Galán se desarrolló en el marco tectónico regional que corresponde a un margen continental activo producto de la subducción de la placa oceánica de Nazca y la placa continental suramericana. La región forma parte de los Andes Centrales y de la Zona Volcánica Central (CVZ, Thorpe et al., 1982); por lo tanto el volcanismo corresponde al arco magmático Cenozoico de la Cordillera Occidental. El volcanismo del suroeste boliviano se inició coincidente con la fase Incaica de la Orogenia Andina y consiste de eventos efusivos y explosivos eruptados de diferentes estructuras (calderas, estratovolcanes y domos).

El Complejo Volcánico Galán (Fig. 7.1) se depositó sobre un sustrato que está conformado por sedimentitas marinas y continentales del Ordovícico y Cenozoico, respectivamente; además de volcanitas del Mioceno. Las primeras están plegadas y

conforman sinclinales y anticlinales, afectados por fallas de dirección norte-sur con vergencia occidental.

La evolución geológica del Complejo Volcánico Galán (Fig. 7.1) estuvo relacionada posiblemente a una cámara magmática, correspondiente al arco magmático Cenozoico, debido a la datación del CVG, determinada en biotita por método K/Ar de 14.6 ± 0.5 M.a. (Lema y Ramos Collorana, 1997). El emplazamiento del CVG, es producto de la erupción explosiva y efusiva de ésta cámara por procesos eventualmente de inestabilidad tectónica durante el Mioceno medio; y dio inicio a la formación de la estructura principal del estratovolcán, que continuó con cuerpos subvolcánicos y domos volcánicos, para culminar con la intrusión de diques. El Estratovolcán Azulejos está conformado por depósitos de flujos piroclásticos que se encuentran en las partes bajas y de lavas que conforman las partes conspicuas de los cerros (Lipina, San Pedro, Azulejos). Continuó con la formación de domos volcánicos (Galán, Colorado) y cuerpos subvolcánicos (Pueblo Viejo y Cuevilla). La intrusión de diques en las rocas preexistentes de dirección predominante este – oeste, con algunos norte – sur, son de una longitud desde pocos metros hasta 2 km con espesores de 0.20 a 4 m. La erosión del CVG constituyó una morfología cónica con una superficie alrededor de 150 km^2 y un desnivel próximo de 1200 m; además de pendientes elevadas y un diseño de drenaje centrífugo. Su base está aproximadamente a 4200 m snm y la cúspide a 5347 m snm, donde sobresalen, además, otros cerros como el Colorado, San Pedro, Lípina, Khata Jara, Pabellón y Aguas Calientes.

Las rocas son de composición dacítica con biotita y hornblenda, andesítica y granodiorita biotítica.

La textura porfírica es la que predomina en la mayoría de las rocas, a excepción de algunas que son equigranulares. Los fenocristales son de un tamaño de alrededor de hasta 1 cm y una proporción de 20 a 50 % respecto a la matriz microcristalina.

Los análisis químicos ($n=21$) y la composición química de las rocas muestran un promedio de 64 % en peso de SiO_2 . La clasificación geoquímica (Nb/Y vs. Zr/TiO_2 de Winchester and Floyd, 1977), corresponden a riodacitas-dacitas, andesitas a traquiandesitas y basaltos; mientras que en la relación Zr/TiO_2 vs. SiO_2 están en el campo de la dacitas a andesitas similares a los datos (cf. Oruro) de Dietrich et al., (2000). El contenido de K_2O es alto a medio y con relación a los elementos inmóviles (TiO_2 de 0.64 % y Zr 153.52 ppm) indicarían un grado de fraccionamiento moderado.

Fig. 7.1. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DEL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN

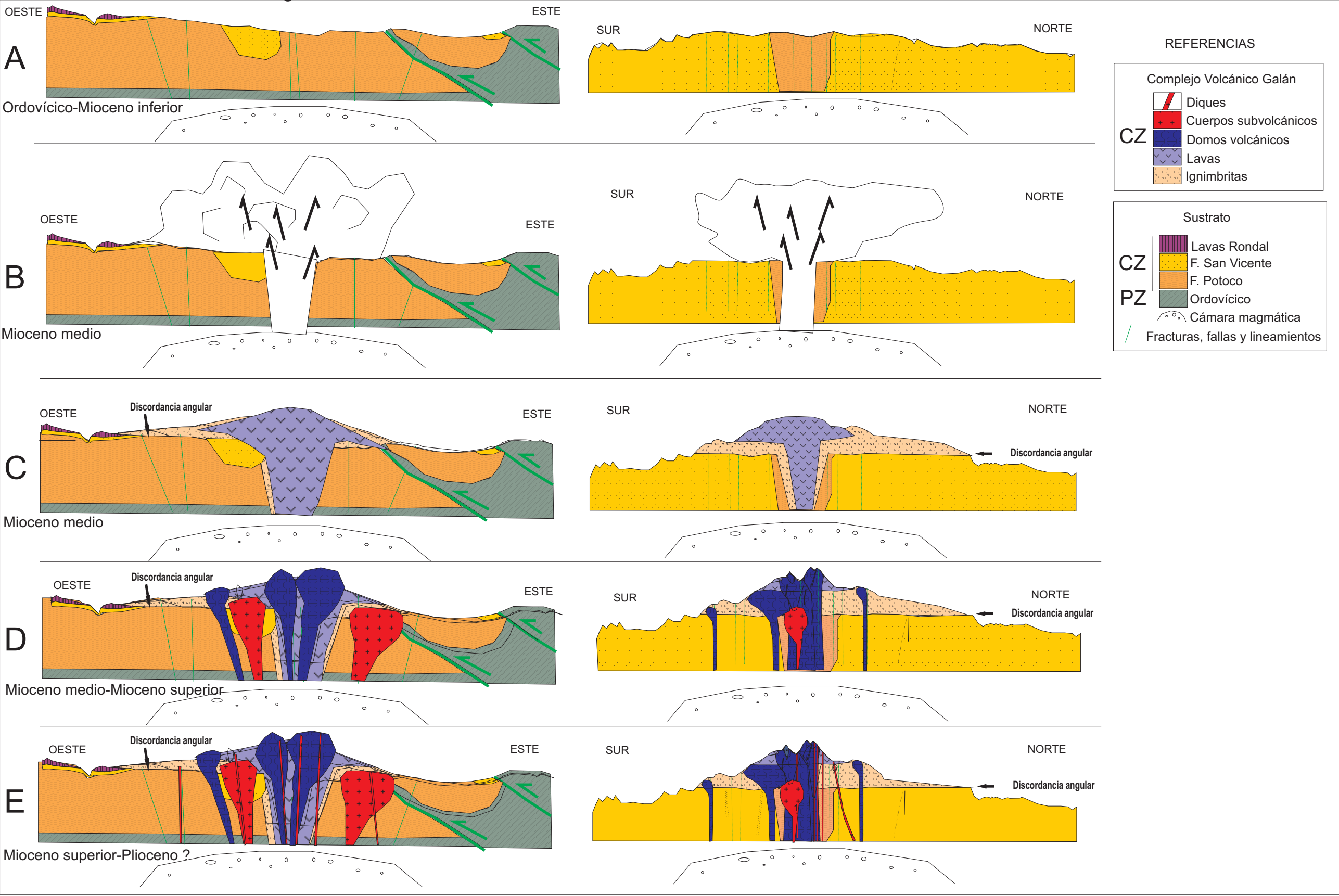


Fig. 7.1. Diagrama esquemático de la evolución geológica del Complejo Volcánico. Se muestra en perfiles norte-sur y este-oeste. La secuencia es de A hacia E.

Las rocas son de la serie calcoalcalina y están en el campo de metaluminoso a peraluminoso. La relación SiO_2 vs. CaO (que varía entre 0.33 y 6.87 % CaO) es de tendencia negativa separadas en un conjunto de muestras; mientras que la relación de SiO_2 vs. K_2O (que varía entre 2.12 y 9.15 % K_2O) es de tendencia positiva. El grado de oxidación de las muestras es reducido, debilmente reducido, oxidado a moderadamente oxidado, a excepción de la muestra GB-111 (Lava) que está en el campo de fuertemente oxidado.

Estas características explicarían la asociación polimetálica W, Bi, Pb, Zn, Sn; y la relación con los metales preciosos Ag y Au por las características del grado de oxidación de los magmas.

El CVG conforma la parte meridional de la Faja Estañífera que está relacionada al magmatismo del Mioceno. Se encuentra entre las fajas polimetálica de la Cordillera Occidental y el Altiplano y polimetálica marginal de la Cordillera Oriental las cuales mantienen la dirección de los Andes Centrales.

El marco tectónico regional del CVG fue favorable debido a la formación de fracturas, diaclasas y fallas producto de la tectónica andina y por enfriamiento del emplazamiento del CVG. Esta tectónica ha sido del tipo extensional y fue un ambiente favorable para la mineralización. Por ésta razón los principales depósitos minerales en el CVG son de tipología vetiforme, aunque en algunos sectores hay indicios de una mineralización de tipo diseminada (cerro Colorado, Galán). La roca encajonante consiste de ignimbritas, lavas, domos, cuerpos subvolcánicos, diques; además de sedimentitas del sustrato.

La dirección predominante de las vetas es este – oeste, con inclinaciones variables y la longitud máxima registrada es de 1500 m, con potencias promedio de 0.60 m hasta un máximo de 2 m. Las texturas de las vetas son masivas, bandeadas y brechosas. Estas características indican un control estructural favorable para la circulación de fluidos en la roca encajonante y la posterior mineralización en el CVG. La mineralogía de las vetas es polimetálica (W-Bi-Pb-Sn $\pm$ Au y Ag). La mena principal es wolframita (Pueblo Viejo), bismutina (Azulejos, Central), galena (San Martín, Lipina, Villarroel, Cuatro Ases), esfalerita (Toldos), sin embargo en la mayoría de los depósitos descritos, aparte de los minerales mencionados existe pirita, calcopirita, bismutita y cuarzo. La distribución de los depósitos marca una zonación lateral por la presencia de minerales de alta temperatura como wolframita, turmalina e indicios de casiterita (mina Pueblo Viejo), mientras que en sectores

adyacentes hay minerales de menor temperatura como galena (San Martín, Lipina) y esfalerita (Toldos); asimismo existe una tendencia de la zonación vertical debido a que los depósitos minerales de Pueblo Viejo y Central, de mayor temperatura, solo se presentan en las partes bajas. La asociación polimetálica de las vetas es debido probablemente al magmatismo de la serie calcoalcalina rica en potasio y por la tendencia negativa del $\text{SiO}_2\text{-CaO}$; mientras que la asociación con los metales preciosos Au-Ag esta marcado por el grado de oxidación debido a que algunas rocas corresponden a un estado reducido, la cual marca una tendencia a la asociación de los metales preciosos mencionados. Es probable además la ocurrencia de pulsos de mineralización sobreimpuesta marcando un telescopado para los yacimientos del Complejo Volcánico Galán, debido a que se encuentran minerales de alta y baja temperatura y por las inclusiones fluidas en los principales depósitos minerales.

Asimismo la asociación metálica está relacionada a la distribución de los depósitos minerales, con una zona oriental favorable para concentraciones de W, Bi, Au y Ag; y la parte occidental para Pb y Zn.

Por los resultados de inclusiones fluidas, las soluciones hidrotermales de la mineralización del Complejo Volcánico Galán fueron de origen magmático. Las soluciones contenían H_2O y NaCl y probablemente KCl y los rangos (Th) desde (166°C - 245°C) a (385°C hasta alrededor de 450°C) con salinidades del tipo L-V que varía entre 2.07 a 23.7 % en peso equivalente a NaCl, y el tipo LVS que varía entre 30 y 52 % en peso equivalente a NaCl. Estas características son equivalentes a depósitos mesotermales y epitermales. Los datos corroboran la zonación lateral del distrito. La relación de salinidad y temperatura de homogeneización (Th) muestran campos relacionados con depósitos Sn-W.

La alteración hidrotermal en el aspecto regional es la propilitización, mientras que localmente existe silicificación, sericitización y turmalinización. En las salbandas de las vetas existe argilización, caolinización y sericitización.

La metalogénesis del Complejo Volcánico Galán indica que los depósitos minerales podrían corresponder al modelo de exploración de sistemas de mineralización de oro relacionado a intrusiones ("Intrusión-Related Gold Systems"), que es explicado a continuación.

7.3. Modelo de exploración

El modelo de exploración de los sistemas de mineralización de oro relacionado a intrusiones ("Intrusión-Related Gold Systems") está en una etapa de desarrollo y varios depósitos se encuentran distribuidos en el ámbito mundial (Fig. 7.2., Lang & Baker, 2001). Una descripción detallada de ésta tipología fueron realizadas por Sillitoe, 1993, Thompson et al., 1999, Lang et al., 2000, Thompson y Newberry, 2000.

La Faja Estañífera boliviana está relacionada por los depósitos minerales de estaño y wolframio en los cuales existen yacimientos de Au (Kori Kollo), Ag (Cerro Rico de Potosí) además de indicios y anomalías de metales preciosos oro y plata (Tasna).

7.3.1. Principales características de los sistemas de mineralización de oro relacionado a intrusiones (Intrusion-Related Gold Systems)

Los autores mencionados anteriormente sostienen, para estos sistemas, su asociación con provincias de wolframio – estaño que se encuentran en márgenes continentales. Genéticamente están relacionados a domos félsicos, stocks porfíricos, brechas y complejos de diques o plutones con un estado de oxidación intermedio, además de la presencia de ambas series magmáticas (magnetita e ilmenita). Mencionan que estos depósitos están relacionados a intrusiones de composición granodiorita a granítica, metaluminosas y calcoalcalinas, con rara composición alcalina. Thompson & Newerry (2000) señalan que pueden ser denominados como reducido de Tipo I (en el sentido de Chappell and White, 1974) con un estado de oxidación cercano al límite entre las series de magnetita e ilmenita de Ishihara (1981); además con bajos valores de $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ (<0.2).

La tipología abarca una gran variedad de depósitos (Fig. 7.2. y 7.3.) en diferentes fajas y varios estilos de mineralización, dentro y alrededor de centros intrusivos (Thompson et al., 1999, Lang & Baker, 2001). Las menas son sistemas de vetillas subparalelas o menos comúnmente stockwork, vetas en intrusiones, brechas, greisen, pegmatita-aplita, skarn, remplazamientos, vetas y zonas de cizalla.

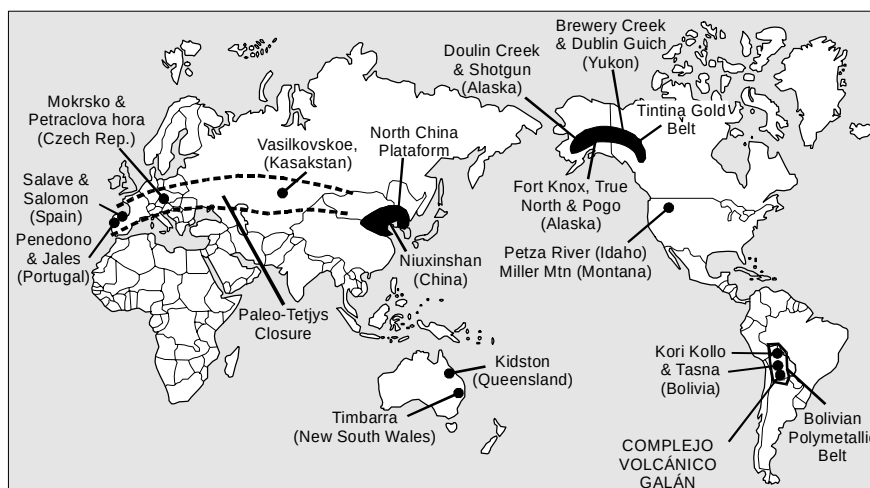


Fig. 7.2. Ubicación de los principales depósitos de sistemas de mineralización de oro relacionado a intrusiones "Intrusion Related Gold Systems". El Complejo Volcánico Galán conforma la parte meridional de la Faja Estañífera de Bolivia. Mapa compilado de Lang & Baker, (2001), Thompson et al., (1999) y Lang et al., (2000).

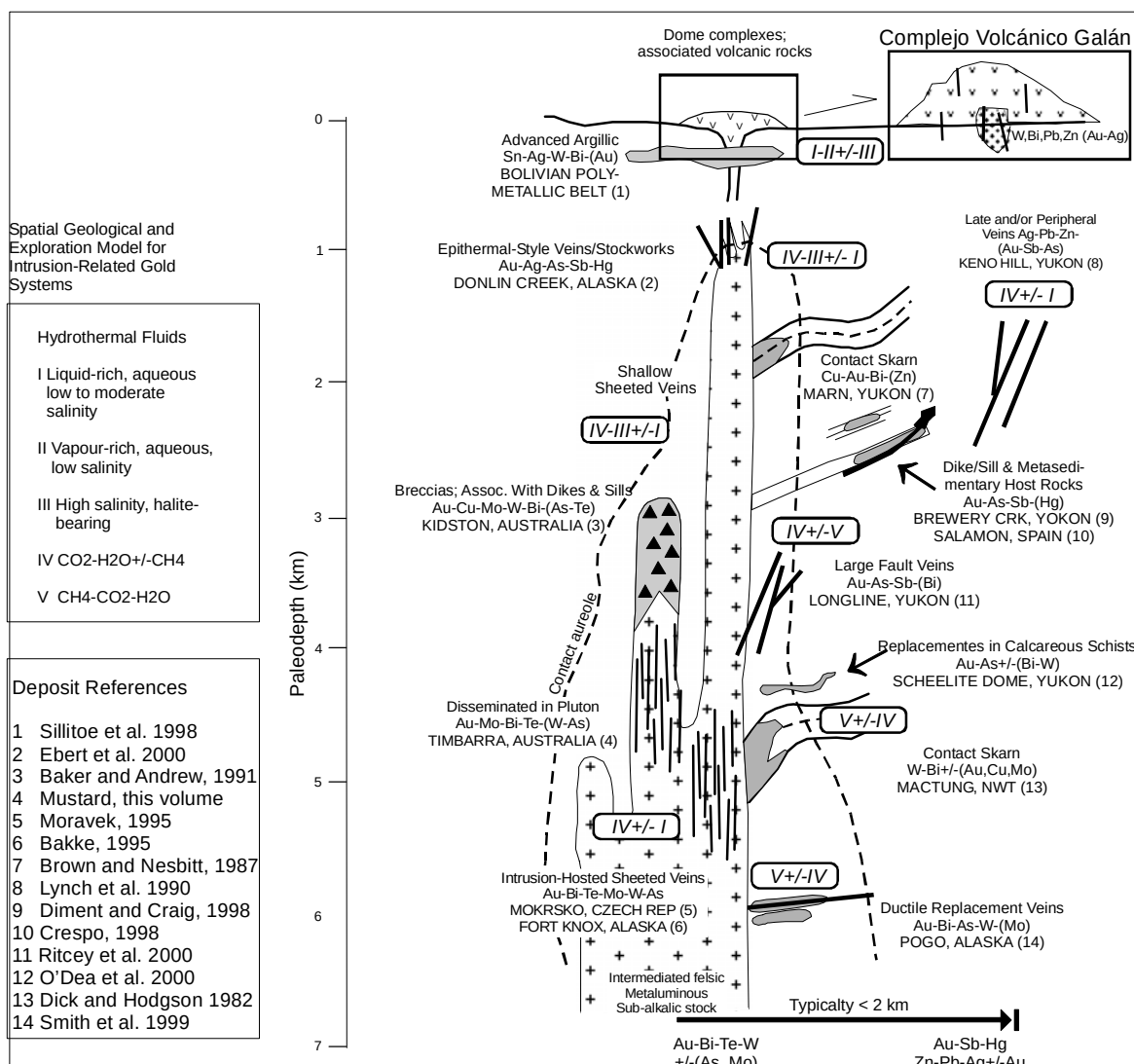


Fig.7.3. Modelo de exploración de los Sistemas de mineralización de oro relacionados a intrusiones (Tomado de Lang & Baker, 2001; Lang et al., 2000). El Complejo Volcánico Galán conforma la parte superficial del sistema; donde se encuentran vetas polimetálicas que tienen una asociación de W, Bi, Pb, Zn, (Au-Ag).

En este modelo de exploración (Fig. 7.3.), los autores mencionados describen depósitos de diferentes profundidades de formación, desde el tipo greisen hasta depósitos de flujos de complejos dómicos que se encuentran cerca o en la superficie.

Thompson et al., (1999) y Lang & Baker (2001) señalan que la alteración varía con el estilo y la profundidad de mineralización. Los estudios de inclusiones fluidas indican la presencia de fluidos altamente salinos en algunos depósitos y de baja salinidad y fluidos carbónicos en muchos otros. La distinta asociación espacial con intrusiones félsicas, combinado con la consistente asociación metálica sugiere un origen magmático hidrotermal producto del fraccionamiento de las intrusiones, el estado de oxidación tendría mucha influencia en la concentración de oro (Thompson y Newberry, 2000, Lang et al., 2000).

La mineralización de oro comúnmente esta presente con un bajo contenido de sulfuros (<3 %), principalmente piritita y menos arsenopiritita. En varios depósitos los minerales de bismuto están estrechamente ligados con oro y existe correlación de bismuto – oro y telurio – oro. Muchos depósitos contienen wolframio, estaño, molibdeno y antimonio, aunque generalmente estos no tienen correlación con el oro; la concentración de wolframio y molibdeno puede incrementarse con la profundidad o puede ocurrir en zonas separadas. Los metales base generalmente están presentes en menores cantidades (< 100 ppm Cu). La mineralización es variable y la asociación metálica común es de Au, Ag, Bi, W, Mo y Sb.

La exploración de este tipo de depósitos (Thompson et al., 1999, Lang et al., 2000, Thompson y Newberry, 2000), tienden a centralizarse sobre arcos magmáticos reducidos, además de la asociación con sistemas de pórfidos, skarn, stockwork, brecha y reemplazamiento. Thompson y Newberry, 2000, asocian los criterios regionales con provincias magmáticas dominadas por intrusiones félsicas y en algunos casos por rocas volcánicas co-temporales de características reducidas, que pueden formar fajas alineadas con depósitos conocidos de $W \pm Sn$, Mo y Bi. Además hay numerosas intrusiones con mineralización de oro (Yukon y Alaska) ó con pequeño número de depósitos de oro en una región conocida por otros metales Sn - W (Faja Estañífera). A escala local o de prospectos son importantes la estructura local, nivel de erosión, clima y geomorfología. También la existencia de placeres auríferos y anomalías en sedimentos de drenaje de W, Bi, As son criterios favorables de exploración del modelo. Algunas intrusiones están relacionadas a menas de W,

aunque la correlación estadística es pobre; tiene similar comportamiento el Mo. La alteración mineral esta limitada a los sistemas de profundidad; el bajo contenido de sulfuros no produce anomalías de color significativas, sin embargo un color verdoso amarillento puede provenir de la escorodita. El control estructural en algunas zonas es compleja por la historia estructural, por lo que es conveniente definir si son pre, sin o postintrusivo. La asociación metálica Bi, As, W, Te, Mo, Sb distingue una zonación con Bi, Te, W y Mo en zonas dentro ó proximas al intrusivo y elevado contenido de Ag, Sb y metales base en sectores distales. Algunos depósitos muestran además zonación vertical, con W $\pm$ Mo en la profundidad y Au, As, Bi en las partes elevadas.

La Faja Estañífera muestra similitudes con el modelo (Thompson et al., 1999; Lang et al., 2000; Thompson & Newberry, 2000; Lang & Baker, 2001) por el ambiente tectónico, composición de intrusiones, roca hospedante y asociación metálica que incluye W, Bi, Sn, Au y/o As; además de una zonación lateral en los estilos y alteración del conjunto de los depósitos. Es diferente del modelo general típico (Yukon y Alaska) por la carencia de fluidos carbónicos, la presencia fuertemente desarrollada de zonas de alteración penetrativa argílica avanzada (Sillitoe et al., 1998) y una predominancia de vetas ubicadas fuera de las intrusiones, debido a que corresponden a un ambiente somero subvolcánico.

Thompson & Newberry, 2000, indican que la faja polimetálica boliviana es el caso donde el magmatismo del mioceno medio se inició con la subducción ortogonal de alta velocidad con la generación del magma dentro de una posición de trasarco y plegamiento relacionado al acortamiento (Lamb et al., 1997). Asimismo señalan que la influencia del espeso conjunto de rocas sedimentarias puede ser la causa del bajo estado de oxidación de los magmas, sugerido para Bolivia (Lehmann, 1994). Esta influencia puede ser directa a través de rocas sedimentarias o indirecta a través de gases reducidos obtenidos de rocas sedimentarias calentadas. La mezcla de minerales máficos y magmas derivadas de fusión de corteza ha sido propuesta para la Faja Estañífera boliviana (Dietrich et al., 1997, Redwood and Rice, 1997).

7.4. Modelo de exploración del Complejo Volcánico Galán

Los resultados obtenidos del Complejo Volcánico Galán acerca del magmatismo y la asociación metálica fueron las bases para proponer el modelo de exploración que gráficamente se representa en la Fig. 7.4.

En el modelo general planteado por Lang & Baker (2001) existen diferentes ambientes para la formación de los yacimientos y en el caso de la Faja Estañífera, muestra una analogía con el ambiente somero de éste modelo (Thompson et al., 1999, Lang & Baker, 2001). El Complejo Volcánico Galán, en particular, conformaría la parte superficial de los sistemas de oro relacionado a intrusiones, debido a que está conformado por depósitos de flujo piroclástico subaéreo, lavas, cuerpos subvolcánicos, domos volcánicos y diques, que son característicos de ambientes someros.

En el modelo descrito existe una relación con yacimientos de Sn – W y el Complejo Volcánico Galán conforma la parte meridional de Faja Estañífera relacionada con el magmatismo del Mioceno. En la parte oriental del CVG se encuentra el yacimiento Pueblo Viejo que es el distrito de wolframio más austral de Bolivia (Ramos Collorana, 2000, Ramos Collorana et al., 2002c). Hay además indicios de Sn y existen datos de explotación de Bi de los yacimientos de Azulejos y Central, que son indicadores favorables para su inclusión en el modelo. En la Faja Estañífera existen yacimientos donde se explota Sn – W, en casos con indicios ó mineralización de Au - Ag (Complejo Volcánico Galán, Tasna, entre otros) ó yacimientos auríferos (Kori Kollo) que corroboran esta relación.

En el modelo IRGS, los depósitos se relacionan con rocas de composición granodiorítica a granítica, metaaluminosas y calcoalcalinas; el estado de oxidación de los magmas varía de intermedio a reducido, cercano al límite magnetita-ilmenita. Los resultados obtenidos del CVG, indican rocas de composición andesítica-dacíticas a traquiandesíticas, relacionadas al arco Neógeno; además corresponden a la serie calcoalcalina rica en potasio y al límite entre metaluminoso a peraluminoso; asimismo el contenido de $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ varía alrededor de 0.5, que indica un estado de oxidación intermedio similar al del modelo.

En el modelo describen diferentes tipos de yacimientos y profundidades de formación. La tipología es vetiforme en los principales depósitos minerales del CVG (Fig. 7.5), con indicios de mineralización diseminada en ciertos sectores (cerro

Fig.7.4. MODELO DE EXPLORACIÓN DEL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN

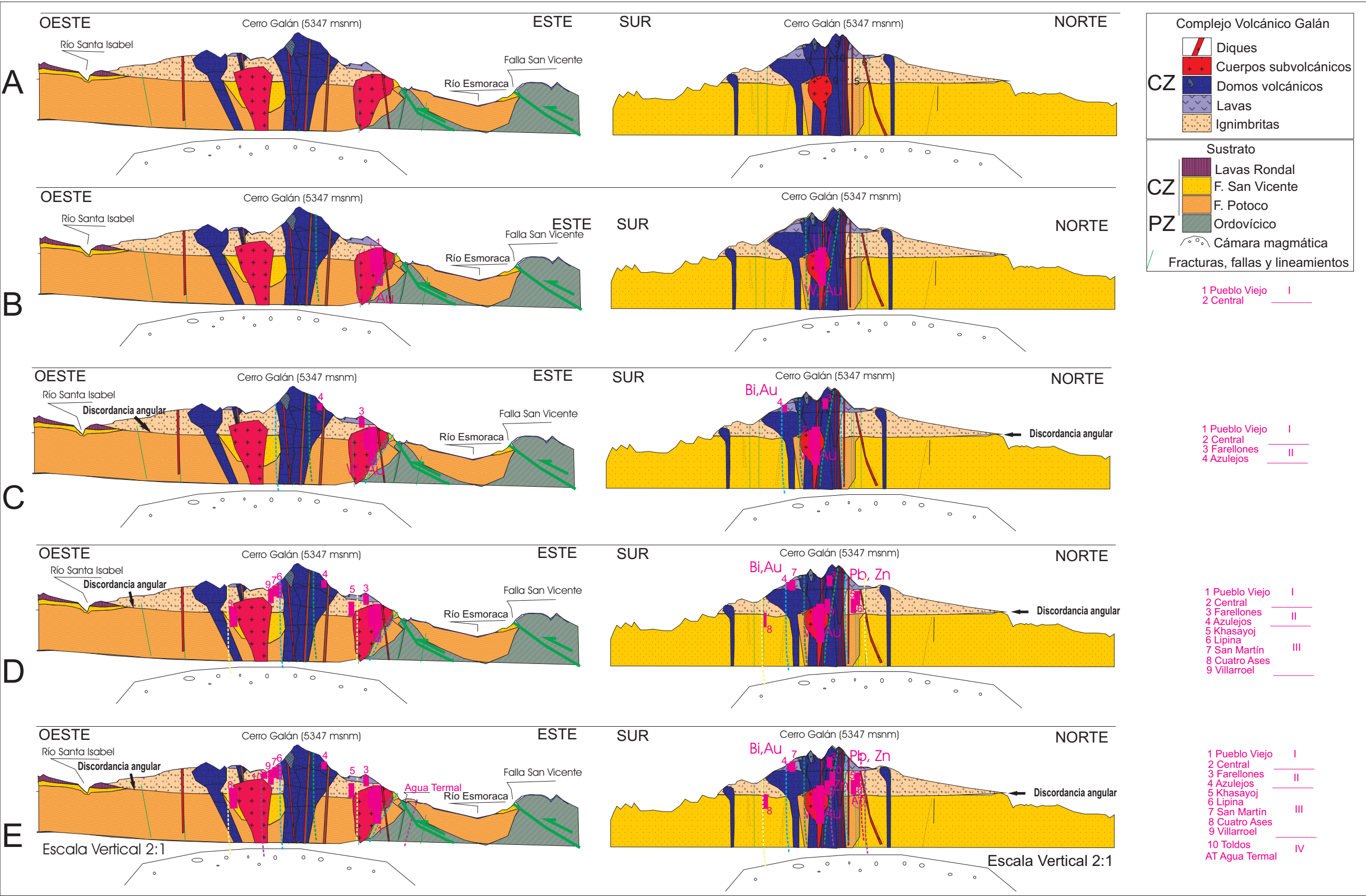


Fig. 7.4. Diagrama esquemático del modelo de exploración del Complejo Volcánico. Se muestra en perfiles norte-sur y este-oeste. La secuencia es de A hacia E.

Colorado y Galán) asociados al ambiente subvolcánico – volcánico. Estas características corresponden a condiciones someras del modelo.

La mineralogía en general esta conformada por sulfuros y óxidos; entre los minerales de mena se encuentran wolframita (hubnerita), bismutina, bismutita, galena, esfalerita e indicios de Au y Ag determinada por análisis geoquímicos. La ganga está representada por pirita, cuarzo y hematita. La asociación metálica en general es de W, Bi, Sn, Pb, Zn, Au, Ag. La zonación lateral y vertical en el CVG y la asociación metálica son similares a las características generales del modelo.

En el modelo para ambientes someros, Lang & Baker (2001) describen inclusiones fluidas de los tipos III, II y I; que son similares a los resultados obtenidos en el CVG como el tipo L-V-S (tipo III) y L-V (tipos II y I).

La alteración hidrotermal no muestra anomalías de color significativas, sin embargo en el ámbito regional se encuentra propilitización y sericitización, además de turmalinización y silicificación en la parte central y localmente zonas de alteración con argilización (Ramos Collorana et al., 2001).

Conforme a lo expuesto en los párrafos anteriores, los depósitos del CVG se ajustan razonablemente al modelo de sistemas de mineralización de oro relacionado a intrusiones (“intrusión-related gold systems”).

En el ámbito regional el modelo de exploración planteado podría ser utilizado para la Faja Estañífera debido a que las características descritas del Complejo Volcánico Galán (CVG) son similares a varios depósitos minerales de esta Faja. En ella se encuentra el distrito de Quechisla (Tabla 7.1) ubicado al norte del CVG, son los depósitos Ubina, Tasna (Thompson et al., 1996); Chorolque, Chocaya y Tatasi, asociados a complejos volcánicos - subvolcánicos, stocks y diques. Estos depósitos, con producción de casiterita y wolframita se encuentran alineados en una dirección general NS. Una característica en común de los depósitos mencionados, es la asociación metálica (W, Sn, Bi, Pb, Ag, Au) de los yacimientos minerales vetiformes emplazados en rocas sedimentarias y principalmente en complejos volcánicos – subvolcánicos, los cuales corresponden al evento metalogenético del Mioceno medio. La exploración mineral en la Faja Estañífera debería orientarse a determinar las características del magmatismo y su relación con la mineralización, donde se debe dar preferencia a magmas peralumisos a metaluminosos y una asociación metálica similar al del modelo (W, Sn, Bi, Pb, Zn, Ag, Au).

Fig.7.5. ESQUEMA DE LA EVOLUCIÓN DE LOS DEPÓSITOS MINERALES EN EL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN

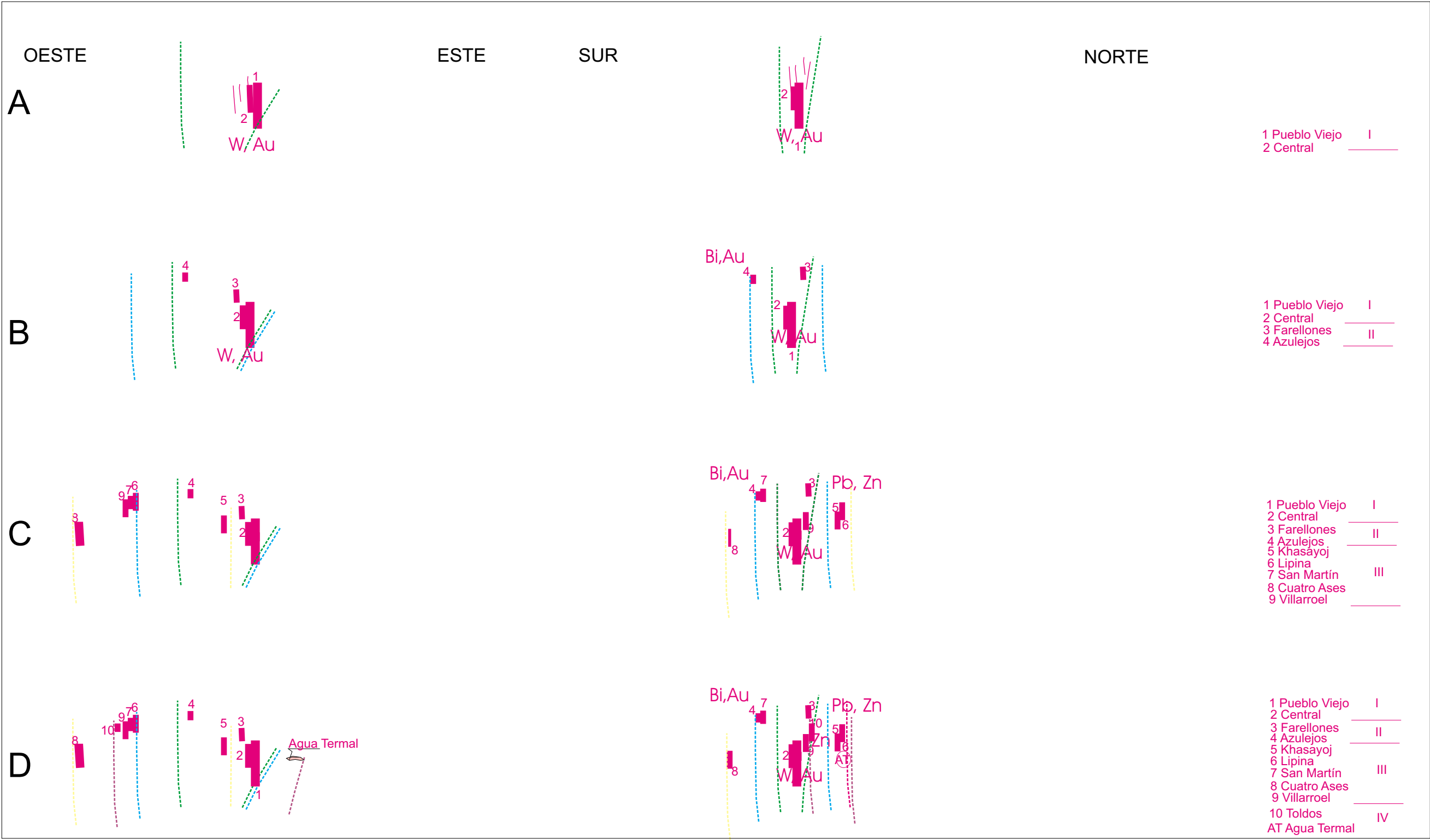


Fig. 7.5. Diagrama esquemático de la probable secuencia de formación de los depósitos minerales en el Complejo Volcánico Galán. Se muestra en perfiles norte-sur y este-oeste. La secuencia es de A hacia D.

7.5. El Complejo Volcánico Galán en el contexto regional del suroeste de Bolivia

La distribución regional de los depósitos minerales (Fig. 7.6) en el suroeste boliviano (SOB) está asociada a las fajas metálicas del orógeno andino que son: Faja Polimetálica (Au, Au-Sb, Pb-Ag-Zn) marginal de la Cordillera Oriental, Faja Estañífera (Sn,W, Bi, Pb, Zn, Au-Ag), donde está incluido el Complejo Volcánico Galán, y la Faja Polimetálica (Ag, Au, Pb, Zn) del Altiplano y la Cordillera Occidental. Una recopilación de las características y controles de los depósitos minerales del SOB, constituye en éste caso, una adecuada herramienta de análisis acerca de su distribución regional. Además de determinar las características y los controles regionales del Complejo Volcánico Galán. La recopilación de los yacimientos incluye solo ejemplos que caracterizan la mineralización de un grupo o distrito de cierto tipo de depósitos minerales (Tabla 7.1 y 7.2).

La metalogénesis del Complejo Volcánico Galán estuvo relacionada a su evolución geológica y al evento metalogenético del Mioceno medio. Estas características son similares a los del Distrito de Quechisla (Tabla 7.1 y Fig. 7.6) y ambos corresponden a la Faja Estañífera. Los yacimientos minerales son vetiformes de tipo polimetálico (W, Sn, Bi, Pb, Ag, Au) y en complejos volcánicos – subvolcánicos. La zonación lateral y vertical en el CVG y Tasna son similares y por los resultados de inclusiones fluidas corroboran un origen similar. El magmatismo y el evento metalogénico del Mioceno medio y la asociación polimetálica (W, Sn, Bi, Pb, Ag, Au) son los controles para su mineralización.

En la faja polimetálica oriental existen mineralizaciones vetiformes de Au, Au-Sb y Ag,Pb,Zn, que están emplazadas en rocas sedimentarias ordovícicas. Arce-Burgoa & Guzman-Roa (2000) lo denominan como ambiente de fajas pizarrosas. En el distrito de Cocani-Relave-Pululos (tabla 7.1) están los depósitos auríferos primarios de Candelaria y Cooperativa San José, con oro visible y contenidos de hasta 69 ppm (Ramos Collorana, 1992). Estas vetas son de reducido espesor y están rellenas por oro, cuarzo, pirita, hematita; con direcciones variables y longitudes de hasta 1 km. Similares depósitos en la Cordillera Oriental son la mina Sucre, Candelaria, Chilcobija, Chilco, Rosa de Oro, Kory Koya (Alhfeld y Schneider-Scherbina, 1964, Long, 1992, Lehrberger, 1988). Consisten en vetas de cuarzo emplazadas en rocas ordovícicas, con oro - antimonita con control estructural y litológico que determinaron

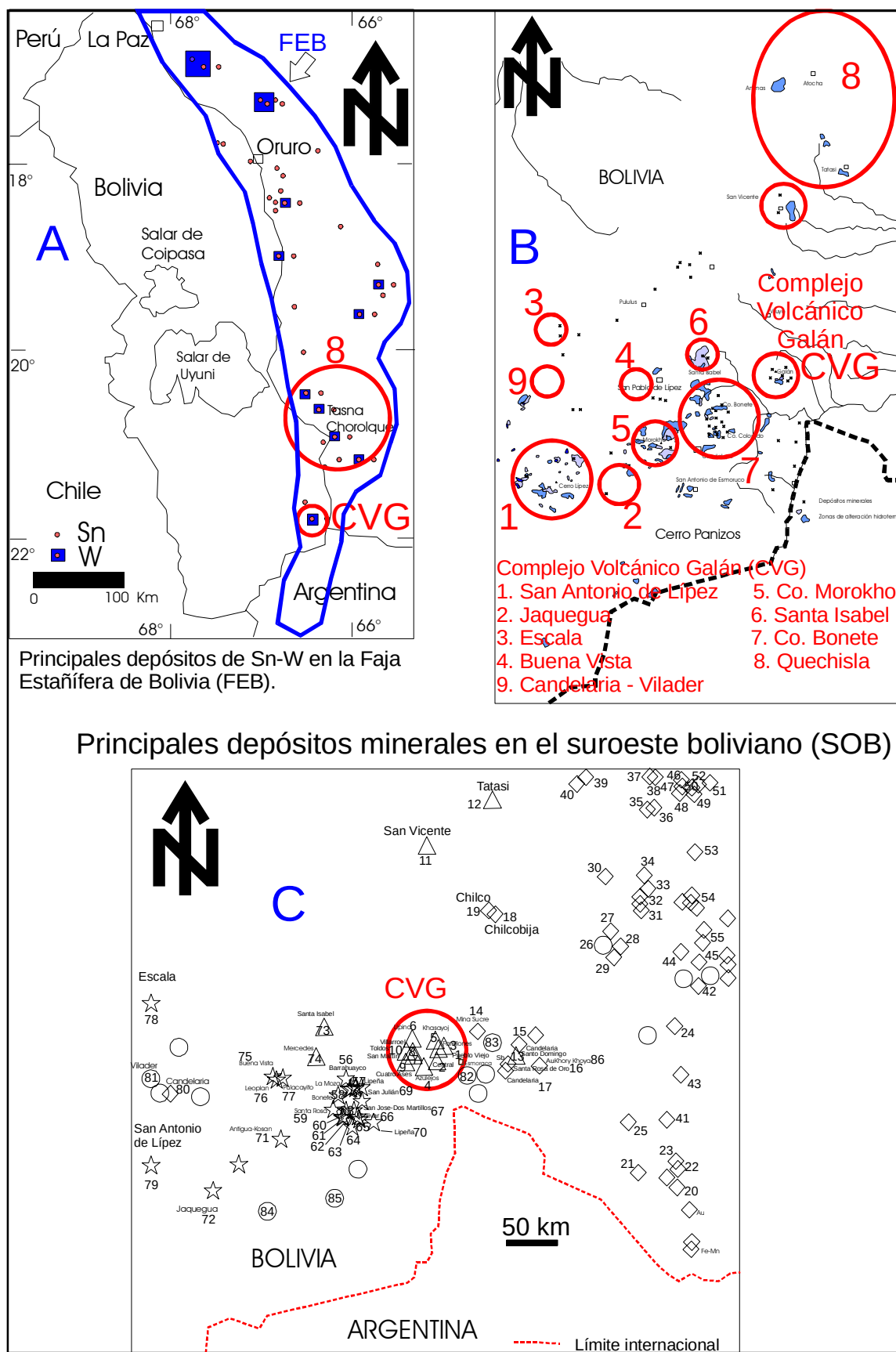


Fig.7.6. Principales depósitos minerales en el suroeste de Bolivia. A. Principales depósitos minerales en la Faja Estañífera de Bolivia. B. Los distritos mineros en el suroeste de Bolivia (SOB): Complejo Volcánico Galán (CVG), C. Principales depósitos minerales en la zona; las referencias de los números se encuentran en la tabla 7.2.

Características principales de los depósitos minerales del suroeste de Bolivia				
Depósitos	Mineralización	Alteración	Roca hospedante	Estructura
Distrito de San Antonio de Lipez				
El Mestizo	Estibina, oro y plata nativa, esfalerita, covelina, bornita, cuarzo, barita, pirita y marcasita	Silicificación, propilitización, argilización	Sedimentitas, basaltos y dacitas cenozoicas	N30°-40°E, N60°-80°E y Az 10°-70°, Bz 55°-90° zonas de cizalla en la periferia N35°E y N75°E.
Nuevo Mundo	Galena argentífera, blenda, plata, pirita, calcopirita, tenantita, calcocita, calcita, barita y cuarzo.	Sericitización, caolinización, propilitización y silicificación, filica, argílica, oxidación	Volcanitas alteradas cenozoicas	N60°-80°E, Bz vertical.
Mesa de Plata	Casiterita, galena, esfalerita, calcopirita, tetraedrita, plata nativa, argentita	argilización avanzada, sericitización	Volcanitas alteradas cenozoicas	Este-oeste
Machu Socavón	Galena, esfalerita, barita y cuarzo. Mena diseminada: stockwork de limonita, jarosita, alunita	Silicificación, sericitización y argilización	Dacitas alteradas cenozoicas	N70°E, 80°NO a vertical; N30° O
Distrito Jaquagua				
Jaquagua	Galena, esfalerita, argentita, barita y óxidos de Mn, pirita, goetita.	Silicificación, caolinización y sericitización.	Piroclastitas y dacitas cenozoicas	Este-oeste
Distrito Escala				
Escala	Galena, esfalerita, calcopirita, calcocita, jamesonita, tetraedrita, cuarzo, pirita	Propilitización penetrativa, silicificación y caolinización, argilización, filica, sericitica-adularia.	Stock porfírico riolítico mioceno, complejo volcánico	N55°-70° O y N70°E, Az 70°-110°, Bz 64°-87° N
Distrito Buena Vista				
Buena Vista (Leoplan y Pulacayito)	Galena, Galena argentífera, esfalerita, calcopirita, electrum, argentita, estibina, tetraedrita, pirita y cuarzo.	Sericitización, caolinización, oxidación. Sericita datada 11.1 Ma	Piroclastitas cenozoicas	N70°-75° O, Bz 70°-75° EN, Az 105°-110°, 70°-75° NE Leoplan: N55°-60° O, vertical-70° S
Distrito Morokho				
Mulato	Galena, pirargirita, tetraedrita, esfalerita, calcopirita, bismutinita, pavonita, barita, pirita, cuarzo y marcasita.	Caolinización y silicificación con diseminación de pirita, calcopirita y tetraedrita, oxidación	Piroclastitas cenozoicas	Este-oeste
Morokho	Galena, esfalerita, tetraedrita, teallita, pirargirita, miargirita, plata nativa, casiterita, cuarzo, pirita, marcasita y ankerita.	Silicificación y caolinización	Dacitas alteradas cenozoicas	N60° O a este-oeste.
Distrito Santa Isabel				
Santa Isabel (Candelaria) y Mercedes (M)	Galena, esfalerita, calcopirita, tetraedrita-tenantita, bournonita, jamesonita, semseyita, pirargirita, casiterita, franckeita, fizelyita, petzita, oro nativo, cuarzo, calcita, pirita, marcasita y arsenopirita. Plata nativa, estibina, casiterita. (M)	Argilitización y sericitización en fracturas. La riolita tiene sericitización y cloritización y pirita diseminada. Al sur de Santa Isabel esta intensamente argilizada.	Porfido riolítico-Domo volcánico, brechado cenozoico y Volcanitas (dacitas y basaltos) (Mercedes)	N 80° O, Bz 70° S N40°-80° E y N20°-80° O. (Mercedes)
Distrito Cerro Bonete				
Barrahuayco	Cuarzo, pirita, galena, calcopirita y probablemente esfalerita	Silicificación y argilización (central), propilitización alrededor.	Dacitas alteradas Miocenas	N40°-70° O, Bz 70°-80° SO, stockwork N40°-60° O y este-oeste.
La Moza y Lipeña	Cuarzo, barita, pirita, galena, calcopirita, bismutinita.	Sericitización, silicificación, argilización y propilitización	Dacita alterada Miocena	Este-oeste, el principal N88°E, Bz 63° S, N35°-80° O, Bz 40°-70° SO, N11°-58° E, y N36°-49° O.
Bonete	Calcopirita, bismutinita, galena, tenantita, bornita, cuarzo y siderita.	Silicificación, Caolinización	Dacita alterada miocena	N23°-80° O, Az 110°-160°
Santa Rosa	Galena, esfalerita, tetraedrita, malaquita, cuarzo, barita y pirita.	Sericitización, propilitización	Dacita alterada miocena	N55° O, Bz SO, N76°E, Bz 84° NO
Rosario II	Galena, cuarzo	Silicificación, propilitización	Dacita miocena	
Pampa Guadalupe	Galena, crisocola, cuarzo coloidal y siderita	Silicificación	Dacita miocena	
Esperanza y segunda Esperanza	Galena, limonita y arcillas	Caolinización, oxidación	Dacita micena	N50° O, Bz, 80° O y 88° E.

Tabla 7.1. Características principales de los depósitos minerales del suroeste de Bolivia (continuación)				
Depósitos	Mineralización	Alteración	Roca hospedante	Estructura
Pucasalle	Galena, esfalerita, pirita y cuarzo.	Silicificación, cloritización y sericitización y pirita diseminada	Dacitas riolíticas miocenas	a N78° E, Bz 58°-85° NO
Los Colorados de Bolivia (Rosario I)	Galena argentífera, esfalerita, bismutinita, benjaminita, pirita y cuarzo	Propilitización y pirita diseminada	Dacitas riolíticas alteradas miocenas	a Este-oeste, Bz 70°-80°N
La Salvadora	Pavonita, aikinita, bismutinita, calcopirita, galena, esfalerita, tetraedrita, pirargirita, cuarzo, ankerita y siderita.	Propilitización, sericitización y silicificación	Dacitas brechadas alteradas miocenas	y N60°-80°E y N50°-70° O, Bz 50°S y vertical.
Mina Bolívar	Pavonita, aikinita, benjaminita, bismutinita, calcopirita, cuarzo, ankerita, siderita y pirita	Propilitización y silicificación	Dacita brechada miocena	Este-oeste, Bz vertical a 72°-86°S
Dos Martillos (1) y San José (2)	Galena, Bismutina		Dacita alterada miocena	N70° O (1), N40° O (2)
Herrería	Galena, esfalerita, calcopirita, casiterita, bismutinita y pirita.	Sericitización, caolinización	Dacita alterada	Este-oeste, Bz 65°-75° S
San Julián	Galena, esfalerita, limonita	Silicificación, sericitización	Dacita miocena	Este-oeste
Distrito Quechisla				
Ubina	hematita aurífera, bismuto nativo, casiterita, wolframita, sulfoantimoniuros, galena. (Sn, W, Au, Ag, Pb, Sb).	Turmalinización	Stocks dacíticos (ahlfeld y Schneider-Scherbina, 1964)	N2°O
Tasna	Wolframita, arsenopirita, calcopirita, pirita, casiterita, bismutina, esfalerita, cuarzo y turmalina (Sn, Bi, W, Au)	oxidación	Sedimentitas y diques	N17°-35°E, Bz vertical
Chorolque	Casiterita, wolframita, (Sn, W, Bi, Ag)	Silicificación, turmalinización	Brechas, tobas, lavas	Este-oeste, noreste-suroeste
Chocaya	Casiterita, aramayoita, pirita, bismutina, estanina, miargirita, pirargirita, galena, marcasita, franckeita (Sn, Pb, Ag)	Argilización, oxidación	Volcanitas	Noreste-suroeste
Tatasi	Casiterita, esfalerita, galena, estanina, plata nativa (Ag, Zn, Pb, Sn)	Sericitización, argilitización, propilitización.	Volcanitas	NE-SO y E-O, NO-SE
Distrito Cocani-Relave-Pululos				
Vilader (Coop. San José)	oro nativo, pirita, cuarzo, hematita	oxidación	Sedimentitas ordovícicas	
Candelaria	oro nativo, pirita, cuarzo, hematita	oxidación	Sedimentitas ordovícicas	Az 39°-61°, Bz 70° O

Tabla 7.1. Principales características de los depósitos minerales de la zona de estudio agrupados por distritos, donde se nota la presencia alteraciones en las imágenes LANDSAT TM. El tipo general de depósitos minerales es de vetas, asociado a fracturas y en algunos casos esta relacionado a diseminación. La tabla fue realizada con relación a las observaciones de campo y compilación de mapas y datos (Lema y Ramos Collorana, 1997, Choque & Mamani., 1997, Baldellón y Quezada, en prensa, Long, 1992; Pinto, 1988, Flores, 1988, Cortez, 1966, Ramos Collorana, 2000, Ludington et al., 1992 b, Ahlfeld y Schneider-Scherbina, 1964). La ubicación de los depósitos (Fig. 7.6) y su número correspondiente está en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2. Principales depósitos minerales en el suroeste de Bolivia (SOB)					
Depósito	Nº	Elemento	Depósito	Nº	Elemento
Faja Estañífera					
Complejo Volcánico Galán (*)					
Pueblo Viejo (*)	1	W, Bi, Sn, Pb, Zn, Ag, Au	Villarroel (*)	8	Pb
Central (*)	2	Bi, W, Sn, Pb, Zn, Ag, Au	Cuatro Ases (*)	9	Pb
Farellones (*)	3	W, Pb	Toldos (*)	10	Zn
Azulejos (*)	4	Bi, Ag, Pb, Zn, Au	San Vicente	11	Ag, Zn, Pb
Khasayoj (*)	5	Bi, W, Au, Pb, Ag	Tatasi	12	Ag, Zn, Pb, Sn
Lipina (*)	6	Bi, Pb, Ag, Zn	Santo Domingo	13	Sn, Pb, Zn
San Martín (*)	7	Pb	Isca Isca	35	Sn-W
Faja polimetálica de la Cordillera Oriental					
Sucre	14	Au, Sb	Eugenia	38	Sb
Candelaria	15	Sb	Churquini	39	Sb
Santa Rosa de Oro	16	Sb, Au	Copacabana	40	Zn, Pb-Ag
Candelaria	17	Sb	Remedios - Concepción	41	Zn-Pb
Chilcobija	18	Sb, Au	Juana	42	Cu
Chilco	19	Au	Rosario	43	Pb-Zn
San Wilber	20	Fe	Virgen de Remedios	44	Sb
Villazón	21	Fe	Pomposa	45	Cu
Polo	22	Fe	Condor	46	Pb-Ag-Zn
Khoya, Desquite, Esperanza y Dos Amigos	23	Pb-Zn, Pb-Ag	Jacamayo	47	Sb
Iberia	24	Pb-Zn	Rosita	48	Cu
La Perla	25	Pb-Zn	Copacabana	49	Cu
San José	26	Au	Virgen de Copacabana	50	Zn-Pb-Ag
Eugenia	27	Au	Cornaca-San Luis	51	Cu, Zn-Pb-Ag
Bolívar	28	Sb	Aguilar - La Poderosa	52	Zn-Pb
Tania-Bethania	29	Sb	Maragua a Casila	53	Pb-Ag-Zn
Quillacas	30	Sb	Prusia	54	Pb-Ag-Zn
Tapackhoya - San Pedro	31	Sb	Española - Milenka	55	U
Santiago - Apostoles	32	Sb	Candelaria	80	Au
La Porfiada	33	Sb	Vilader	81	Au
Teresa	34	Pb-Ag	Denver	82	Au
Arturo	36	Pb-Ag-Zn	Río Viluyo	83	Au
Flor de Maria - Begonia	37	Pb-Zn	Khory Khoya	86	Au
Faja polimetálica de la Cordillera Occidental y Altiplano					
Barrahuayco	56	Pb, Ag, Zn	Herrera	68	Pb, Ag, Zn, Bi, Cu
La Moza y Lipeña	57	Ag, Bi, Pb, Zn	San Julián	69	Ag, Pb, Zn
Bonete	58	Pb, Ag, Bi, Cu	Lipeña	70	Bi, Sb
Santa Rosa	59	Pb, Ag, Zn	Kosan - Antigua	71	Pb, Ag, Zn
Rosario II	60	Pb, Ag	Jaquagua	72	Pb, Ag, Zn
Pampa Guadalupe	61	Pb, Ag	Santa Isabel	73	Ag, Pb, Zn, Sn
Esperanza y segunda Esperanza	62	Pb, Ag	Mercedes	74	Pb, Ag, Zn, Sn
Pucasalle	63	Pb, Ag, Zn	Buena Vista	75	Pb, Ag, Zn, Sb
Los Colorados de Bolivia (Rosario I)	64	Pb, Ag, Zn	Leoplan	76	Pb, Ag, Zn, Sb, Cu
La Salvadora	65	Bi, Ag, Cu	Pulacayito	77	Pb, Ag, Sb
Bolívar	66	Bi, Ag, Cu	Escala	78	Pb, Ag, Zn, Cu, Au
Dos Martillos (1) y San José (2)	67	Bi, Pb	San Antonio de Lipez	79	Ag, Pb, Zn, Sb, Au, Cu
Co. Panizo	84	Au (sec.)	Río San Antonio	85	Au (sec)

Tabla 7.2. Referencias de los depósitos minerales en el suroeste de Bolivia (SOB), ubicados en el mapa de la fig. 7.6, con el número correspondiente y los elementos que acompañan.

depósitos tipo saddle reef. Este conjunto de depósitos corresponden a la faja auro-antimonífera (Ahlfeld, 1952). La mineralización de Pb-Ag-Zn se encuentra en la parte oriental emplazados en rocas del Ordovícico (tabla 7.2).

La faja polimetálica occidental consiste de mineralizaciones polimetálicas asociadas al volcanismo Cenozoico, aunque el Mioceno medio es el principal evento de mineralización en ésta región. Los distritos principales (Tablas 7.1 y 7.2) son los distritos de San Antonio de López (Flores, 1988, López & Ibáñez, 1993), Jaquegua, Escala, Buena Vista, Morokho (Fornari et al., 1993), Bonete (Bailly et al, 1993, López et al., 2000), Santa Isabel, Panizos (Tabla 7.1), en los cuales existen evidencias de alteración hidrotermal, distinguibles en la imagen satelital (Ramos Collorana et al., 2002a); que corresponden a argilización, sericitización, caolinización y silicificación. Las mineralizaciones son en general de tipo vetiforme con dirección este – oeste, y variantes al NE - SO y NO – SE; la asociación metálica es de Ag, Pb, Zn, Au y los minerales principales son galena argentífera, esfalerita, tetraedrita, bismutina. En el suroeste de Bolivia (Cordillera Occidental-Altiplano) existen depósitos de Cu, asociados a volcanismo de la Formación Rondal y a ambientes sedimentarios, como las manifestaciones asociadas a las formaciones Potoco y San Vicente principalmente, aunque estos no son de la misma importancia que los del Altiplano norte como el yacimiento de Corocoro (Ahlfeld y Schneider-Scherbina, 1964).

En la comarca existen también manifestaciones secundarias auríferas de diferentes fuentes primarias (Fornari & Herail, 1993, Herail et al., 1993). Una de ellas está relacionada al ambiente volcanogénico (piroclásticas), en la región de Vilader (Fornari et al., 1991, Ramos Collorana, 1992) - Guadalupe y Panizos. Otras mineralizaciones están asociadas a las vetas de cuarzo auríferas distribuidas en cercanías de afloramientos ordovícicos como Vilader, Esmoraca y Cordillera Oriental (Ramos Collorana et al., 2001b).

La distribución espacial de los depósitos minerales se relaciona a los principales ambientes geológicos sedimentarios y volcánicos, con un control litológico y estructural (Ramos Collorana et al, 2002 a).

Capítulo 8

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN (SUROESTE DE BOLIVIA) CON DEPÓSITOS MINERALES DEL NOROESTE ARGENTINO

CAPITULO 8

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPLEJO VOLCÁNICO GALÁN (SUROESTE DE BOLIVIA) CON DEPÓSITOS MINERALES DEL NOROESTE ARGENTINO

8.1. Introducción

La zona occidental del límite boliviano – argentino forma parte del orógeno andino. Una característica sobresaliente es que la región se halla por encima de los 3000 m snm. El Complejo Volcánico Galán (CVG) se encuentra a una distancia de alrededor de 10 km del hito más septentrional del territorio argentino. Los depósitos minerales en el noroeste argentino (Fig. 8.1 y Tabla 8.1) fueron descritas con detalle por varios autores que trabajaron en la zona (Ahlfeld 1948 a,b; Angelleli 1950 y 1984, Coira, 1983, 1994, 1998; Méndez et al., 1979, Zappettini, 1999 a,b).

En este contexto se realizó un análisis comparativo para determinar la diferencias y analogías entre el CVG y los depósitos minerales del noroeste argentino, respecto al ambiente geológico, época metalogénica y fajas metálicas. Además, se brinda un análisis comparativo regional en el marco de los Andes Centrales para establecer los criterios en la exploración mineral de la región.

8.2. Marco geológico del noroeste argentino

Las provincias geológicas del noroeste argentino (NOA), de oeste a este, son la Puna (Turner y Méndez, 1979), Cordillera Oriental (Turner y Mon, 1979) y Sierras Subandinas (Mingramm et al, 1979). Los rasgos geomorfológicos predominantes son serranías de dirección norte – sur, con variaciones de altitud desde sierras bajas (Sierras Subandinas), sierras altas (Cordillera Oriental) y altiplanicie alrededor de 3700 m snm en la Puna (Méndez et al., 1979, Ramos, 1999).

La geología esta constituida por rocas desde el Precámbrico al Cenozoico (Turner, 1979). Los afloramientos del Precámbrico, según Ramos (1999), son restringidos y consisten de leptometamorfitas (Formación Puncoviscana) y plutonitas ácidas (Méndez et al., 1979) que forman el basamento en ésta comarca.

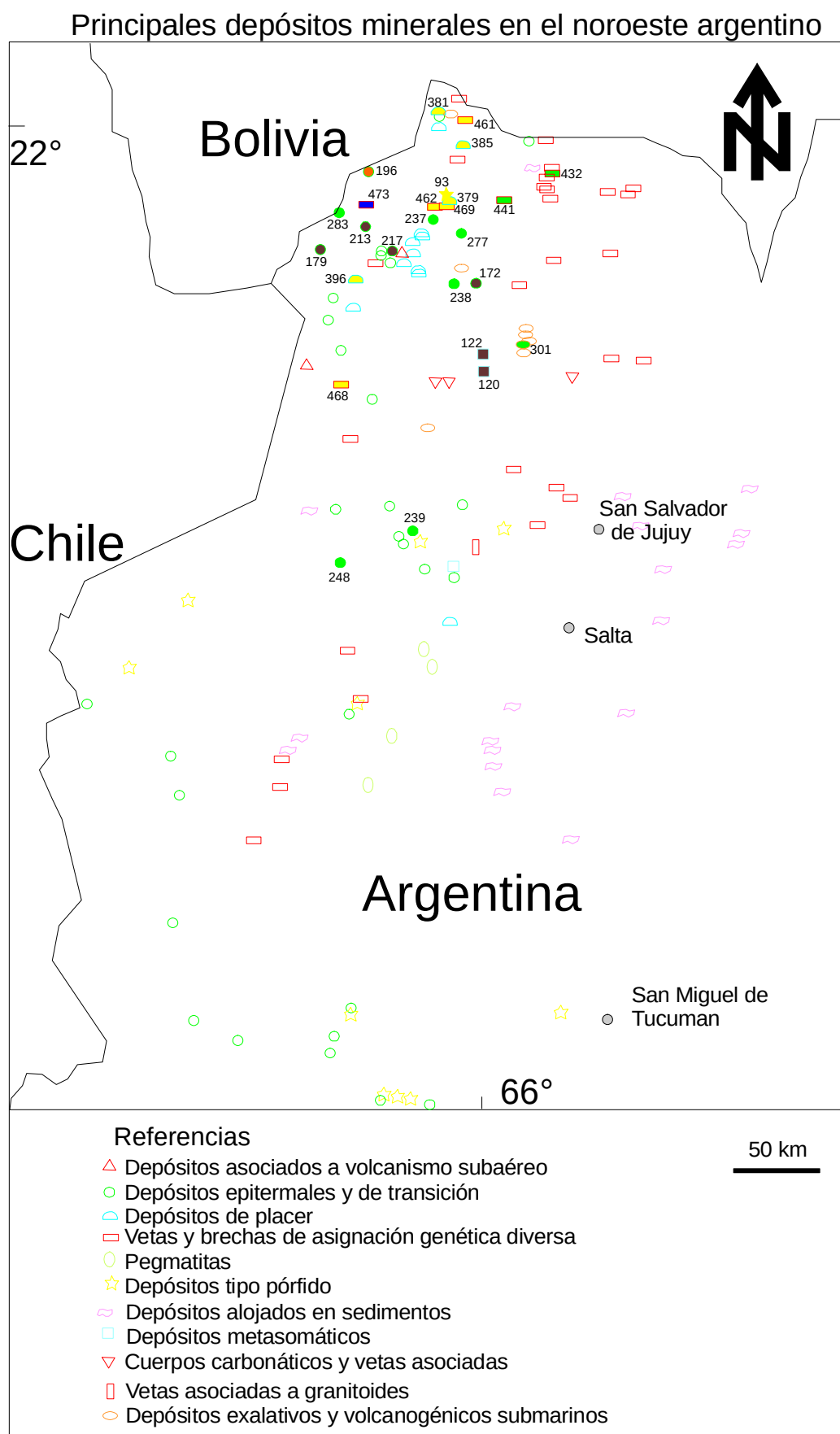


Fig. 8. 1. Depósitos minerales en el noroeste argentino. Simplificado del mapa metalogenético de la República Argentina (Zappettini, 1999 a). El número de las referencias de los depósitos se encuentran en la tabla 8.1.

Tabla 8.1. Depósitos minerales en el noroeste argentino (NOA)				
Depósito	Número en el mapa	Elementos predominantes	Elementos subordinados	modelo
Distrito Santa Catalina				
Azules	461	Au		14d
Olaroz Chico	468	Au		14d
Carmen	462	Au		14d
Rinconada	469	AuAg	ZnPbAs	14d
Oratoria (placer)	385	Au		12a
Eureka (placer)	381	Au	Cu	12 a (7f)
Rosario de Coyahuayma (placer)	396	Au		12a
El Condor (placer)	379	Au		12a
Distrito Tusaquillas-Liquinaste				
Tusaquillas	122	W		5f
Liquinaste	120	W		5f
Complejo Volcánico Coranzuli				
Mina Chocaya	238	PbAgZn		7e
San José y Doncellas	172	Mn		7 ^a
Caldera Panizos				
Co. Panizos	196	Au		7c
Complejo Volcánico Vilama-Coruto				
Minas Viejas-Bonanza	179	Mn	Ag	7 a
Co. Salle	283	SbAg		7 e
Co. Negro - Caucani	213	Sn		7 d
Depósitos minerales tipo				
Cerro Redondo	93	Au	CuSb	4d
Chinchillas	237	PbZnAg	Au	7e
Pan de Azúcar	277	PbZnAg		7e
Distrito El Queva	248	Ag	AuSnSb	7e
Distrito Concordia	239	PbAgZn	CuAu	7e
Pirquitas	217	Sn	Au	7d
Pabellón	473	Pb	Ag	14e
La Gateada	441	PbAgZn		14c
Chausete-Pumahuasi	432	PbZn		14c
Mina Aguilar	301	PbAgZn		8c

Tabla 8.1. Referencias de los depósitos minerales en el NOA, tomado del mapa metalogenético, Zappettini (1999 a). La ubicación de los mismos se encuentra en el mapa de la figura 8.1.

Las rocas de edad Paleozoica están ampliamente distribuidas. Están constituidas por sedimentitas (areniscas y lutitas) con bajo grado de metamorfismo del Ordovícico (Formación Acoite) que predominan al occidente (Puna); además en el límite con

Chile, hay rocas silúricas, devónicas y del carbonífero superior (Ramos, 1999); mientras que los afloramientos del Cámbrico a Pérmico están ampliamente distribuidos en la parte oriental (Cordillera Oriental y Sierras Subandinas). El magmatismo de edad ordovícica media a superior (Coira, 1983, Ramos, 1999) consisten en la faja eruptiva de la Puna Oriental (Méndez et al., 1973) y la occidental (Palma et al., 1986).

Los afloramientos Mesozoicos (Méndez et al., 1979; Ramos, 1999) corresponden a rocas magmáticas y sedimentarias. Las sedimentitas se depositaron en un ambiente extensional y están compuestas principalmente por areniscas, conglomerados y calizas (Grupo Salta) de edad Cretácica, mientras que el magmatismo de ésta época es granítico como Tusaquillas y Aguilar (Coira, 1983).

Las rocas del Cenozoico son sedimentitas rojizas de ambiente continental y predominantemente volcánicas de la Puna. El volcanismo consiste de calderas, estratovolcanes, cuerpos dómicos y conos monogénicos (Coira, 1999); que corresponden al Oligoceno, Mioceno medio, Plioceno y Holoceno. Coira (1983, 1999), Viramonte y Coira (1999), Caffé y Coria (1999), Petrinovic (1999), describen complejos volcánicos dómicos (Ej. Chinchillas y Pan de Azucar) y complejos caldéricos como el Pairique (Seggiaro et al., 1995) aunque el mismo es descrito como un complejo volcánico (Caffé et al., 2005), Vilama-Coruto y Coranzuli, y el complejo caldérico Eduardo Abaroa (Soler et al., 2005) en el límite boliviano-argentino.

La tectónica en el noroeste argentino consiste en estructuras de dirección NS y lineamientos de dirección NO – SE, en la Puna Norte (Salfity, 1985) como el lineamiento El Toro - Olacapato. Las fases tectónicas son la fase compresiva Oclóyica, la fase Eohercínica y la orogenia andina.

La estructura del noroeste argentino de este a oeste (Sierras Subandinas, Cordillera Oriental y Puna) consiste de pliegues amplios y asimétricos al este, con superficie de despegue relacionadas a fallas inversas subverticales a subhorizontales; Ramos (1999) menciona que los niveles de despegue son pelitas silúricas y devónicas (Sierras Subandinas), que corresponde a una faja plegada y corrida epidérmica; éste autor diferencia el Interandino (límite transicional entre Sierras Subandinas y Cordillera Oriental) sobre la base de su comportamiento estructural y lo correlaciona con el del territorio boliviano (Troëng et al., 1993). Los pliegues volcados fracturados al naciente y una imbricación NNE en la Cordillera Oriental, involucran al basamento

(granítico y sedimentario) proterozoico (Ramos, 1999), resultado de la orogenia pampeana, oclógica y chánica (Cordillera Oriental). En la Puna la estructura es de bloques de alineación meridiana.

8.3. Depósitos minerales en el noroeste de Argentina

Varios depósitos minerales (Fig. 8.1) se encuentran distribuidos en el noroeste de la República Argentina (Ahlfeld, 1948 a,b; Ahlfeld, 1950, Angelelli, 1950, 1971, Angelelli et al., 1970, Angelelli y Fernández-Lima, 1972, Méndez et al., 1979, Coira, 1983, 1999, Fernández, 1991b, Zappettini, 1999a). Con la finalidad de realizar un análisis comparativo con los depósitos minerales del Complejo Volcánico Galán del suroeste de Bolivia, se mencionan las características generales de los principales depósitos minerales del noroeste argentino. La recopilación fue realizada sobre la base de trabajos publicados por varios autores, que brindan una amplia y detallada información de estos depósitos. Las tablas 8.1 y 8.2 resumen los principales distritos, los cuales representan a la mayoría de los yacimientos presentes en la región.

8.4. Análisis comparativo del Complejo Volcánico Galán con depósitos minerales del noroeste argentino

La comparación se realizó sobre la base de los siguientes criterios: Tipo de depósito, roca encajonante, ambiente geológico, época metalogénica y fajas metálicas a las que corresponden. En la Fig. 8.2 se muestra la ubicación de los principales depósitos minerales en el límite boliviano – argentino, donde se marca el Complejo Volcánico Galán (CVG) como referencia de comparación.

Con relación a las fajas metálicas en el sector suroeste de Bolivia, el Complejo Volcánico Galán corresponde a la Faja Estañífera boliviana, donde existe una asociación de depósitos minerales del Mioceno medio (Ej. Tasna y Chocaya); y representan una misma época de mineralización. Esta faja se extiende en el extremo noroeste del territorio argentino hasta el yacimiento de Pirquitas. Coira (1983, 1998, 1999); Ramírez et al., 1998, Caffé y Coira, 1999; mencionan que los depósitos de esta zona corresponderían, en cuanto a su mineralogía, a una transición entre las provincias metalogénicas de la Faja Estañífera y con influencia de la provincia polimetálica de la Cordillera Occidental y Altiplano.

Tabla 8.2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE ALGUNOS DEPÓSITOS MINERALES DEL NOROESTE ARGENTINO

DEPOSITO UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	MINERALIZACIÓN	ALTERACIONES	ROCA HOSPEDANTE	ESTRUCTURAS VETIFORMES	OBSERVACIONES	BIBLIOGRAFÍA
Distrito Santa Catalina , en la Sierra de Rinconada	Vetas auríferas, la geología esta constituida por sedimentitas ordovícicas, sedimentitas cretácicas y terciarias y volcánicas cenozoicas.	Oro, pirita, galena, antimonita, cuarzo.		Sedimentitas leptometamorfizadas ordovícicas (Formación Acoite)	Vetas concordantes, rumbo meridiano	Tenores de hasta 20 g/t	Zappettini y Segal, 1999, Mendez et al., 1979
	Depósitos aluvionales, se encuentran en cercanías de las vetas de Au.	Oro (escamas, chispas, pepitas: 92.6-96.9% Au, 7.4-3.1% Ag), minerales pesados: magnetita, hematita, limonita, pirita, ilmenita, cerca de los primarios hay esfalerita, galena y antimonita (Aspilcueta y Salaberry, 1964).		Conglomerados, aluviones cuaternarios, en terrazas altas, bajas y cursos actuales		El modelo genético esta relacionado a la erosión de los depósitos primarios Au.	Zappettini y Segal, 1999
Distrito Pumahuasi , oeste de estación homonima, Jujuy	Es un depósito de Pb-Zn-Ag, emplazado en sedimentitas ordovícicas, en un área hasta de 15 km de longitud.	Galena, esfalerita, la ganga es baritina, ankerita, cuarzo y calcedonia		Sedimentitas ordovícicas (Formación Acoite) de dirección meridional	Este-oeste, con buzamientos Norte y Sur. La mina Pumahuasi, tiene una veta de rumbo de 280° que inclina 70-80° SO, en el sector sur 345°, con 80° SO. Espesor hasta 1 m.	Considerados de baja temperatura.	Mendez et al., 1979
Distrito Tusaquillas-Liquinaste , al SE de Coranzuli	Depósito de wolframio, con explotación a cielo abierto y en socavón.	Wolframita, arsenopirita, pirita y escasa fluorita		Granito turmalínico de edad Cretácica	Vetas de 260° y posición vertical, de una longitud de 60 m y de 1m de ancho.		Mendez et al., 1979
Mina Pirquitas 22°42' S y 66°30' O, Departamento Rinconada	Depósito de vetas polimetálicas de estaño y plata. La explotación se realizó mediante labores subterráneas en 11 secciones (San Miguel, Potosí, Chocaya, Oploca, Colquechaca, Llagueta, Veta Blanca, Colquiri, Chicharrón, Cortadera y Huanuni). Emplazado en la Formación Acoite (ordovícico). Las secuencias terciarias de la Formación Tiomayo, asignada al Mioceno medio. Se encuentra en la intersección de las estructuras principales meridionales y la estructura transversal a la cadena Andina conocida en la literatura geológica del NOA como lineamiento López-Coranzuli.	Minerales primarios: casiterita, bismutinita, esfalerita, sulfosales de plata, arsenopirita, baritina, caolinita, clorita, cuarzo, freibergita, galena, marcasita, miargirita, pirargirita, pirrotina, pirquitasita, wolframita y wurtzita. Los minerales secundarios identificados corresponden: Argentita, casiterita, alunita primaria. Sunshine cerargirita, covelina, goethita, hematita, jarosita, ópalo, plata nativa, marcasita, melanterita, melnikovita, miargirita, pirargirita, szmolnikita (ferropadillita). La mineralización de Sn y Ag.	Sericítica (en la caja) con pirita asociada; la caolinización (fases mineralizadas) y la silicificación es la alteración primaria. En los niveles superiores aparece alunita primaria. Sunshine determinaron que el menor cantidad pirrotina y casiterita, representan la alteración pre mineral de la roca de caja.	Sedimentitas ordovícicas de la Formación Acoite	fracturas, con orientaciones N75°O, N45°O. En el plano axial del anticlinal de San Miguel. En venas, stock work y brechas y diseminada.	Mina en exploración por la empresa Sunshine para una posible explotación a cielo abierto. Sugieren un modelo del tipo polimetálico boliviano	Angelelli, 1950, Mendez et al., 1979, Chayle, 1999, Avila et al., 1988

DEPOSITO / UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	MINERALIZACIÓN	ALTERACIONES	ROCA HOSPEDANTE	ESTRUCTURAS VETIFORMES	OBSERVACIONES	BIBLIOGRAFÍA
Cerro Redondo , en Sierra de Rinconada	Centro magmatico de composición dacítica, compuesta por ignimbritas y lavas dómicas dacíticas.	Pirita, arsenopirita, calcopirita, magnetita, galena, esfalerita, tenantita, bournonita, enargita, bismutina, bismuto y oro nativo.	Silicificación, turmalinización, sericitización-argilitización, propilitización.	Brecha	Dirección noroeste.	Inclusiones predominantes secundarias, bifasicas 37% NaCl, Th 320±35°C, monofásicas Th 290±56°C	Caffe y Coira, 1999
Chinchillas , al este de Orosmayo	Complejo volcánico	Pirita, calcopirita, esfalerita, oro, galena, pirargirita, proustita, freibergita, , argentita, polibasita, jamesonita, antimonita y arsenopirita (Coira et al., 1993b; Coira y Brodtkorb, 1995)	Adularia+cuarzo, sericitización y argilización, silicificación.	Piroclastitas: Brechas, depósitos de flujo de bloques y de ceniza, ignimbrita y tobas; y lavas dómicas, las cuales se encuentran sobre basamento ordovícico.	Brechas este – oeste, de hasta 10 m de espesor en profundidad.	Complejo domico	Caffe y Coira, 1999
Pan de Azúcar , al sur de Laguna Pozuelos	Complejo volcánico	Polimetálica con una amplia descripción de los mismos; entre los principales se cita a esfalerita, galena, pirita, marcasita (esenciales); arsenopirita, bournonita, calcopirita, estannita, freibergita, grenockita, oro nativo, pirargirita, pirrotina, plata nativa, semseyita, wurtzita (comunes); argirodita, boulangerita, casiterita, electrum, hexaestannita (accesorios); anglesita, cerusita, jarosita, limonitas (Minerales secundarios); cuarzo, calcita, fluorita, siderita (ganga)	Adularia-cuarzo-sericita, silicificación (con baritina), zona de sericitización (argilitización subordinada), zona de opalización, en menor proporción piritización, fluoritización, feldespatización y alunitización.	Dacitas, brechas, dacíticas, dataada en 12±2 Ma (Coira, 1979); de menor importancia el rocas ordovícicas	Veta N110, subvertical al sur, 0.80 hasta 5 m de espesor (veta Jesuita) de forma de rosario. Textura de la mena: de formación primaria, de relleno, de reemplazo, de brecha y de bandeamiento rítmico	Relacionado al Complejo Volcánico de Laguna Pozuelos. Yacimiento epitermal polimetálico en Ag-Zn-Pb.	Segal y Caffé, 1999; Segal, 1980
Distrito Queva , El al oeste de San Antonio de los Cobres	La geología esta constituida por basamento ordovícico, en discordancia esta sedimentitas cenozoicas, sobreyace el estratovolcán El Queva constituido por ignimbritas y lavas ácidas. Existen depósitos polimetálicos con Pb-Ag dominantes y manganeso.	Pb-Ag: Polimetálica, con casiterita, pirita, cuarzo y calcita, además de freibergita, enargita, calcopirita, estannita, semseyita, aramayoita, galena, pirargirita; galena, esfalerita, argentita Mn: Romanechita, criptomelano, todorokita, hollandita, litioforita, además de ilmenita, pirita, plata nativa.	Pb-Ag: Argílica avanzada (dickita, caolin), silicificación (calcedonia) y propilitización (clorita, epidoto, calcita, alunita, pirita y goetita).	Pb-Ag: Dacitas, brechas Mn: Brechas, en intercalaciones e impregnaciones	Pb-Ag: Según fallas este-oeste y estenoreste-oestesuroeste con buzamiento norte, en su intersección dieron lugar a cruceros. Mn: venillas e impregnaciones.	Se encuentra cerca al lineamiento El Toro	Zappettini, 1999e
Distrito Concordia , a 15 km noroeste de San Antonio de los Cobres	En el área se tiene afloramientos precámbricos, ordovícicos, cretácicos y cenozoicos. Relacionado al lineamiento del Toro.	Tetraedrita argentífera, galena, esfalerita, calcopirita y pirita aurífera con ganga de cuarzo, además de bournonita, arsenopirita, jamesonita, pirargirita, antimonita y semseyita. Minerales supergénicos	Arcilloso, sericitización, silicificación.	Conglomerados del subgrupo Pírgua	Vetas relacionados a la falla N 30-70 O. Veta brechosa	Con temperaturas de homogenización 128 y 227 grados C, similares a Tasna y Chocaya (Sn, Bi y W) de Bolivia.	Zappettini, 1999
Caldera de Pairique	Complejo volcánico que empenzo su actividad a los 11 Ma., donde existe procesos de alteración y mineralización (Sn, Au).	Anomalías de Bi, Ag, Sn, Au, disseminación de pirita- oro. Casiterita colofome asociado a ópalo, cuarzo y especularita.	Sericitización, silicificación, argilización	Complejo volcánico		Mineralización asociada a calderas.	Coira, 1999

DEPOSITO UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	MINERALIZACIÓN	ALTERACIONES	ROCA HOSPEDANTE	ESTRUCTURAS VETIFORMES	OBSERVACIONES	BIBLIOGRAFÍA
Complejo Caldérico Coranzuli , localidad homónima	Este complejo se inició con el estratovolcán Rachaita (8-9 Ma).	Metales básicos ricos en Ag, con esfalerita, galena, tetraedrita argentífera, sulfosales de Pb (Mina Chocaya), así mismo anomalías de As, Sb, Mn, Au (San José y Doncellas) y Fe-Mn (Pabellóncito e Iral).	Argilitización, sericitización, silicificación	Complejo caldérico.	Mineralización en brechas, algunas N60E		Coira, 1999
Complejo Caldérico Vilama- Coruto	Sistema caldérico anidado desarrollado durante el lapso 8.9 a 6.2 Ma., en tres ciclos.	Galena (Ag), esfalerita, argentita, estibina (Porspecto Cerro Colla: Minas Viejas, Bonanza); depósito epitermal de baja sulfuración (Sb, As, Sn,Zn) (Au-Ag) del Cerro Salle, manifestaciones de estaño del Cerro Negro-Caucani, depósitos fumarólicos de Sn y Fe, asociado a ignimbrita Pululos.	Argilitización, silicificación, propilitización	Complejo Caldérico	NO-SE, EO, NE-SO en general.	Depósitos minerales con fuerte control litológico y/o estructural.	Coira, 1999
Caldera Cerro Panizos , límite entre ambos países.	Caldera de tipo downsag con eventos ignimbriticos (7-6.7 Ma y magmatismo de resurgencia (6.1 Ma).	Anomalías de Sb, As, Ag, Mn, disseminación de pirita. Depósitos marmol onix (Mina Pucara).	Argilitización, silicificación	Ignimbritas y domos lávicos.	Diseminado		Coira, 1999.

Tabla 8.2. Descripción general de algunos depósitos minerales característicos del Noroeste Argentino. El tipo general de depósitos minerales es de vetas, asociado a fracturas y en algunos casos esta relacionado a disseminación. La tabla fue realizada de una compilación de trabajos citados en bibliografía.

Principales depósitos minerales en el límite del suroeste boliviano (SOB) y noroeste argentino (NOA)

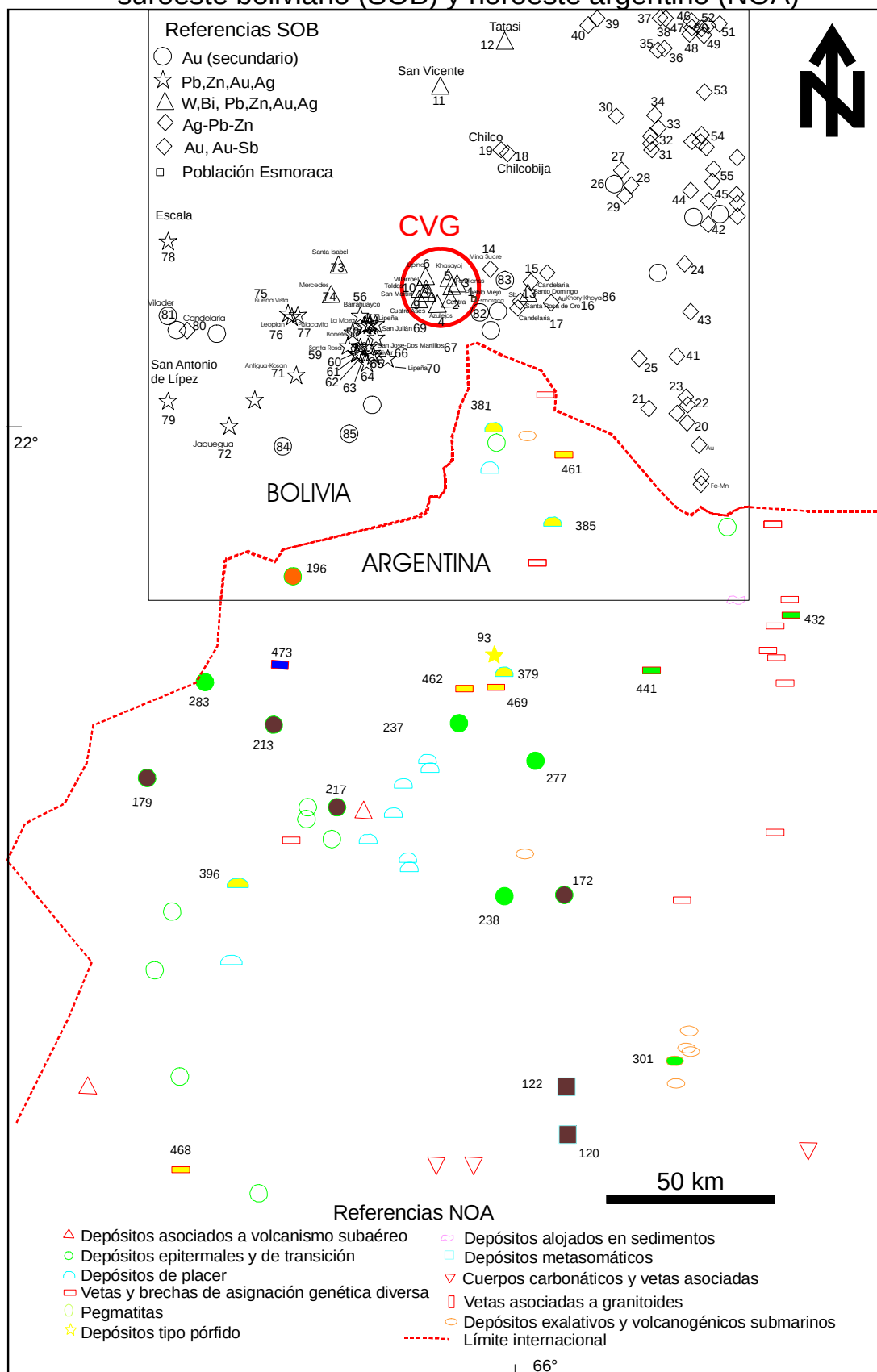


Fig. 8. 2. Depósitos minerales en el límite boliviano-argentino. Las referencias del número de los depósitos minerales están en las tablas 7.2 y 8.1. El Complejo Volcánico Galán (CVG) está marcado con un círculo.

8.4.1. Comparación con depósitos minerales asociados al Paleozoico

Los depósitos minerales del Complejo Volcánico Galán (CVG) son diferentes a los del Paleozoico del NOA en cuanto al tipo de depósito, roca encajonante, ambiente geológico, época metalogenética y faja metálica. El CVG es un distrito asociado a una tipología vetiforme polimetálica y asociación metálica W-Bi-Pb-Zn-Ag; mientras que la roca encajonante son volcanitas y el ambiente es volcánico – subvolcánico; asimismo la época metalogenética es del Mioceno y corresponde a la Faja Estañífera.

Los principales depósitos minerales en el Paleozoico en el noroeste argentino (NOA) son de Pb, Ag, Zn (Fernández, 1991 b, Méndez et al., 2001, Lencina, 2000), Au – Sb (Méndez et al., 1979) y Cu,Fe, Pb, Zn, Ba, Au, Sn (Coira, 1983) que están relacionadas a sedimentitas y a la faja eruptiva de la Puna. La última autora menciona manifestaciones minerales como el Cerro Escaya (Pb) en sedimentitas y volcanitas, así como en la Sierra de Cochinoca (mina La Gateada). Mineralizaciones singenéticas de Pb, Ag son descritas (Moya y López, 2000) relacionados a flujos gravitacionales.

Los depósitos minerales de Pb, Ag, Zn del tipo Pumahuasi (Méndez et al., 1979; Segal et al., 1999) son vetiformes y están emplazados en la Formación Acoite. Corresponden al modelo 14c (Zappettini, 1999b).

Los depósitos vetiformes de Au (Distrito de Santa Catalina, Angelelli, 1950, Méndez et al., 1979) en la Sierra de Rinconada (Segal et al., 1997; Zappettini y Segal, 1999a) están emplazadas en sedimentitas ordovícicas (Rodríguez et al., 2001, Coira et al., 2005) y forman depósitos tipo saddle reef y vetas concordantes. Corresponden al modelo 14d (Zappettini, 1999b).

Los depósitos tipo SEDEX del tipo el distrito minero de El Aguilar (Sureda y Martín, 1990; Sureda, 1999) de Pb,Zn, Ag están emplazados en rocas de edad ordovícica, con 4 posibles mineralizaciones que son estratiformes; estratoligados; asociados a diques y granitos, además de polimetálicos. Corresponden al modelo 8c (Zappettini, 1999b).

Los yacimientos del NOA mencionados son de un ambiente sedimentario y magmático (faja eruptiva) y corresponden a la época metalogenética relacionada al episodio Famatiniano (Zappettini, 1999b) ó al primer periodo (Sureda y Gallinski, 1989). Los depósitos (Au) están emplazados principalmente en la Sierra de

Rinconada (Méndez et al., 1979, Segal et al., 1997, Rodríguez y de Acevedo, 2000) y los de Pb- Zn –Ag (Pumahuasi, Méndez et al., 1979) en la Cordillera Oriental. La dirección de las vetas es norte sur, acorde con las estructuras regionales (Au, Sierra Rinconada) y la otra dirección este – oeste en Pumahuasi. Los principales controles de mineralización son los estructurales y litológicos.

8.4.2. Comparación con depósitos minerales asociados al Mesozoico

Los depósitos minerales en el CVG son diferentes en el ambiente geológico y la época metalogenética. Los yacimientos minerales en el NOA asociados al Mesozoico corresponden a ambientes sedimentarios y magmáticos, en los cuales existen mineralización de W, Cu, U - V, Pb - Zn. Entre los relacionados al ambiente sedimentario existen referencias de depósitos de Cu de río Juramento (Peral y Wormald, 1999) y Martín Bronce (Avila, 1999) y U - V en el Distrito El Tonco – Amblayo (Romano, 1999).

Los vinculados a eventos magmáticos, también son diferentes en el ambiente geológico y evento de mineralización. Zappettini (1999c) y Coira (1983) mencionan intrusiones alcalinas asociadas a mineralizaciones de tierras raras y de torio (Distrito Rangel, Salta; La Novedad-Volcán, Jujuy) y la última autora indica manifestaciones vetiformes de Cu-Pb, Mn (Mina Chascas) relacionadas al granito de Arita. Una analogía es la mineralización de wolframio del Distrito de Tusaquillas – Liquinaste (Zappettini, 1999d), sin embargo es diferente en el periodo de mineralización, debido a que este distrito esta relacionado al magmatismo mesozoico (Méndez et al., 1979, Coira, 1983).

8.4.3. Comparación con depósitos minerales asociados al Cenozoico

El CVG comparado con depósitos minerales asociados al Cenozoico tiene similitudes en cuanto a la época de mineralización, ambiente geológico y fajas metálicas.

Los depósitos secundarios de oro, cobre y estaño ubicados a lo largo de la Sierra de Rinconada (Segal et al., 1997, Zappettini y Segal, 1999b, Chayle et al., 1998, Méndez et al., 1979) son diferentes a los depósitos del CVG.

La mina Pirquitas (Angelelli, 1950, Méndez et al., 1979, Chayle, 1999, Paar et al., 1996, Malvicini, 1966, 1978, Avila et al., 1988, Coira et al., 2000) está incluida dentro de los episodios del Neógeno (Zappettini, 1999b). La mineralogía es polimetálica y compleja con más de 70 minerales descritos (Chayle, 1999) entre los cuales está la casiterita, sulfosales de plata (proustita y pirargirita principalmente) y con una zonación vertical, pero las vetas se emplazan en la Formación Acoite. Conforma parte de la prolongación austral de la Faja Estañífera Boliviana (Turneaure, 1960, 1971, Ahlfeld y Schneider-Scherbina, 1964). El depósito podría estar asociado a un cuerpo subvolcánico en profundidad; apoyan esta hipótesis los estudios aéreomagnéticos (Chernicoff et al., 1996).

Los depósitos minerales del noroeste argentino asociados al magmatismo Cenozoico, se dividen en yacimientos asociados a complejos volcánicos dómicos – subvolcánicos y complejos caldéricos (Coira, 1999, Caffé y Coira, 1999). En los primeros los depósitos minerales principales son Casa Colorada, Minuyoc, Pan de Azúcar, Chinchillas, Cerro Redondo (Brito y Sureda, 1992), Huayra Huasi, Poquis y Aguiliri, que están vinculados a eventos volcánicos y, en menor medida, subvolcánicos de la época metalogénica Neógena. Estos autores además diferencian a los depósitos por su relación a dos pulsos magmáticos unos del Oligoceno superior – Mioceno inferior (Casa Colorada, Minuyoc), y otros corresponden al Mioceno (p. ej. Pan de Azúcar). Corresponden a depósitos epitermales de metales base ricos en Ag – Sn, asociado a complejos volcánicos dómicos (Caffé y Coira, 1999). La mineralización es polimetálica con metales de Pb, Zn, Cu, As, Sb, Fe, Au, Ag, con sulfosales de plata, metales base, bismuto y oro nativo en ciertos casos.

El CVG (14 ± 0.5 Ma Lema y Ramos Collorana, 1997) y sus depósitos tienen mayor similitud con el segundo grupo (representado por Pan de Azúcar), por corresponder a la época metalogenética del Mioceno medio. Sin embargo una diferencia se destaca en la mineralización, que si bien es polimetálica en ambos casos, en el CVG está representada por la asociación W, Sn, Bi, Pb, Au, Ag. Esta asociación con W – (Sn) indica mayor temperatura, como la obtenida en inclusiones fluidas: hasta 450°C con salinidades variables.

Los depósitos relacionados a complejos volcánicos caldéricos (Tabla 8.2), respecto al CVG son diferentes por la asociación metálica. En el NOA corresponden a la época metalogenética neógena (Zappettini, 1999b), son también epitermales vetiformes y brechas, depósitos fumarólicos de estaño, hierro, azufre y boratos.

Coira (1998) menciona en estratovolcanes como Rachaite (Coira et al., 1990), depósitos vetiformes de metales base ricos en Ag, niveles superficiales fuertemente silicificados y brechados portadores de As, Au, Bi, Mo, W, fuertemente controlados por paleoacuiferos y depósitos de fuentes termales cloruradas, distales y portadores de Sb-Mn.

8.5. Principales diferencias y analogías del Complejo Volcánico Galán con los depósitos minerales del noroeste argentino

Las diferencias y analogías del Complejo Volcánico Galán con los depósitos minerales del noroeste argentino son analizadas desde el punto de vista del ambiente geológico, mineralogía, época metalogenética entre otros aspectos, con el fin de definir las principales características de la zona.

8.5.1. Diferencias

Respecto a las fajas metálicas en el Orógeno Andino en el territorio boliviano, el CVG corresponde a la Faja Estañífera, por lo tanto existe una diferencia, con los yacimientos de la Faja polimetálica marginal de la Cordillera Oriental y la Faja polimetálica del Altiplano y Cordillera Occidental (Fig. 8.3).

El ambiente geológico volcánico - subvolcánico del CVG, es diferente al de los depósitos relacionados al ambiente sedimentario de Puna y Cordillera Oriental de Argentina (Au-Sb, Pb-Zn-Ag). Este aspecto está relacionado a la asociación metálica del CVG es de W, Sn, Bi, Pb, Zn, Au-Ag, es distinta a depósitos por ejemplo al distrito de Santa Catalina (Au) y el distrito Pumahuasi (Pb-Zn-Ag).

En lo referente a las diferentes épocas metalogenéticas, los depósitos minerales del Complejo Volcánico Galán corresponden al Mioceno medio, la cual es divergente respecto a los depósitos del noroeste argentino relacionados al volcanismo Ordovícico, episodios del Mesozoico y al arco volcánico Paléogeno.

8.5.2. Analogías

El ambiente geológico del Complejo Volcánico Galán, tiene mayor analogía con los Complejos dómicos- subvolcánicos (Coira y Caffè, 1999). Estos se desarrollaron

durante los eventos del Mioceno medio y los diversos depósitos corresponden a la misma época metalogénica.

Es menor la relación del CVG con los complejo dómicos del evento Oligoceno superior - Mioceno inferior del NOA por corresponder a épocas diferentes. La diferencia de complejos dómicos de épocas diferentes, según Coira y Caffè (1999), son debido al cambio de un magma hidratado a otro rico en granates, que se produjo desde el Oligoceno – Mioceno inferior al Mioceno medio (Coira, et al., 1993 a, Kay et al., 1999, Kay y Mpodosi, 2001, Caffè y Coira, 1999), los autores mencionados indican el engrosamiento cortical en la Puna norte, como un proceso que provocó la desestabilización de minerales máficos hidratados (hornblenda en facies de anfíbolitas) y su reemplazo por una mineralogía mas anhidra (granate o clinopiroxeno en facies de granulitas) en la zona de la fuente (zona de MASH). Los fluidos liberados en ese proceso facilitaron la incorporación y transporte de metales por los magmas generados contemporáneamente.

Respecto a las fajas metálicas, el CVG conforma la Faja Estañífera, y en territorio argentino esta faja incluye a la mina Pirquitas, no obstante que las características tienden a ser transicionales a la faja polimetálica del Altiplano y Cordillera Occidental.

En este sector de los Andes Centrales los depósitos de wolframio son la Mina Pueblo Viejo en el CVG (Bolivia) y el de Tusaquillas (Argentina), aunque se encuentran asociados al magmatismo Cenozoico y Cretácico respectivamente. Sin embargo éste mineral acompaña a la mena en otros depósitos minerales en territorio argentino como en mina Pirquitas y el estratovolcán Rachaite.

8.6. Análisis comparativo regional de los Andes Centrales

El estudio del Complejo Volcánico Galán y el análisis comparativo con diferentes depósitos minerales del noroeste argentino, muestra características distintivas, con diferencias y analogías respecto al ambiente geológico. Sin embargo las características regionales en el contexto de los Andes Centrales entre el límite de los territorios de Bolivia y Argentina, muestran una distribución y similitud de los depósitos minerales relacionada al marco geológico regional. Su distribución fue analizada por diferentes autores (Francis et al., 1993, Coira, 1983, Lehmann et al., 1990, Ericksen & Cunningham, 1993, 1997, Petersen, 2001, Clark et al, 1976,

Ericksen, 1975, Zappettini et al., 2001, Zappettini, 2005). Se describen estos aspectos para determinar las zonas prospectivas y establecer cuales son los principales controles que pueden ser utilizados en la prospección mineral. Las características de los yacimientos principales del suroeste boliviano y noroeste argentino fueron descritos anteriormente y están resumidas en las tablas 7.1 y 8.1, respectivamente.

8.6.1. Comparación del ambiente geológico de los Andes Centrales

El ambiente geológico en el límite boliviano – argentino y los Andes Centrales (Reutter et al., 1988) se desarrolló de forma similar, sin embargo ciertas características son sobresalientes en cada zona.

Los Andes Centrales se caracterizan por el desarrollo de la cadena andina con una dirección NO en la parte septentrional y NS en la parte meridional. La geología está compuesta por un basamento precámbrico, y rocas del Paleozoico, entre las cuales las del Ordovícico están ampliamente expuestas. La Faja eruptiva de la Puna es característica en el noroeste argentino, sin embargo en territorio boliviano éste magmatismo es restringido. El Mesozoico se desarrolló en un ambiente extensivo y el Cenozoico se caracteriza por sedimentitas continentales y volcanismo.

Las unidades geológicas en los Andes Centrales fueron agrupadas en provincias geológicas que son equivalentes en el límite boliviano – argentino. Las Sierras Subandinas y la Cordillera Oriental se extienden en Bolivia y Argentina con similares características. La Cordillera Occidental y el Altiplano (Bolivia) son equivalentes a la Puna (Argentina). La similitud en ésta región esta determinada por sus características geológicas y de estructura de la zona.

El ángulo de subducción entre la placa Suramericana y oceánica en los Andes Centrales de alrededor de 30 °(Götze et al., 1995); mientras que en los Andes del Norte y Sur el ángulo de subducción es subhorizontal.

8.6.2. Comparación de los depósitos minerales en el marco de las fajas metálicas

La distribución de los depósitos minerales en la zona y su agrupamiento permiten indicar en los Andes Centrales las siguientes fajas metálicas (Fig.8.3): Cuprífera, polimetálica central, estañífera y polimetálica (Sillitoe, 1972, Claire y Minaya, 1979). La Faja Polimetálica relacionada a la Cordillera Oriental se caracteriza por depósitos minerales de Pb, Ag, Zn con mineralización de galena y esfalerita (Heuschmidt & Miranda, 2000 a; Fernández, 1992 a,b; López, 1998). Estos depósitos son parecidos en territorio boliviano-argentino (Fernández, 1991 a) y son similares a los yacimientos tipo del distrito de Tupiza, Berque y Mochara-Villazón (Bolivia) y Pumahuasi y El Aguilar (Argentina). Las tipologías son vetiforme, estratoligada y SEDEX; las cuales están emplazadas en sedimentitas del Paleozoico inferior. Están asociados a las sedimentitas de la Cordillera Oriental (Bolivia y Argentina) y corresponden al mismo ambiente geológico.

Las mineralizaciones primarias de Au, Au-Sb son vetiformes y del tipo “saddle rift” se emplazaron en sedimentitas, principalmente ordovícicas, y en los flancos de charnela de anticlinales. Se encuentran en la Cordillera Oriental y en territorio boliviano se describe la Faja Antimonífera (Ahlfeld, 1952), donde los principales yacimientos corresponden a la mina Sucre, Candelaria, Kory Coya, Santa Rosa de Oro, Chilcobija, Chilco, Mina Servia y en la parte occidental el área Vilader-Relave-Pululos (Ahlfeld y Schneider-Scherbina, 1964, Ramos Collorana, 1992); son similares y equivalentes a mineralizaciones Au, Au-Sb (Méndez et al., 1979, Segal et al., 1997, Rodríguez, 2000, Rodríguez y de Azevedo, 2000) de los depósitos emplazados en la Sierra de Rinconada (Distrito de Santa Catalina: El Torno, San Francisco, Azules, Pucara Chico, Rinconada, Farillón) - Carahuasi, Serranías de Pabellón, Rosario de Coyaguayma y Sierra de Olaroz.

Los depósitos secundarios auríferos del suroeste de Bolivia (Ramos Collorana et al., 2001b) son de similares características en el territorio argentino (Zappettini y Segal, 1999b). Las mineralizaciones asociadas a la Faja eruptiva de la Puna de edad arenigiana-llanvirniana (Coira, 1973), presentan asociaciones de Cu, Fe, Pb, Zn, Ba (Au, Sn) (Coira, 1983) son de extensión limitada en el territorio boliviano.



Fig. 8.3. Principales depósitos minerales y provincias metálicas de los Andes Centrales basado en Sillitoe (1976) y Claure y Minaya (1979). El Complejo Volcánico Galán (CVG), con mineralización de Bi, W y Au; conforma parte de la Faja Estañífera.

La Faja Estañífera se extiende ampliamente en los Andes Centrales y comprende 3 épocas metalogénicas asociadas al magmatismo. Los depósitos minerales de W-Sn-Au-Bi-Zn-Pb-Ag-Sb tienen relación con batolitos y stocks epizonales como Chojlla, Chambilaya (Ahlfeld y Schneider-Scherbina, 1964) del Triásico superior-Jurásico inferior (225-202 M.a.) en el norte de Bolivia; los principales depósitos son intra a periplutónicos. Asociados a este mismo ambiente y época mesozoica son los depósitos minerales citados por Coira (1983), vetiformes de Cu-Pb, Mn (Mina Chascas) y wolframio (Tusaquillas-Liquinaste).

Existen depósitos minerales de Sn-W-Au-Zn-Pb-Ag, como Viloco, Caracoles, Colquiri (Ahlfeld y Schneider-Scherbina, 1964) que se encuentran en la parte central y que están relacionados a intrusivos granitoides (Illimani, Tres Cruces, Santa Vera Cruz) del Oligoceno (28-23 Ma). Coira (1983), menciona mineralizaciones de Cu, Pb, Zn y Sb para este periodo (Oligoceno superior-Mioceno inferior) en la Puna.

Los depósitos minerales vetiformes de W-Bi-Au-Ag-Sn del Mioceno medio se encuentran en la parte sur en territorio boliviano. Los principales son Chorolque, Tasna, Tatasí, Cerro Rico y es a ésta época y a la Faja Estañífera que corresponde los distritos mineros relacionados al Complejo Volcánico Galán, con similar asociación metálica. Asociados a este tipo de depósitos, en diferentes sectores de Bolivia, se encuentran depósitos secundarios de estaño (Avicaya – Estalsa, Playa Verde, El Rodeo, entre otros), wolframio (Tamiñani) y de oro (Chuquiaguillo) (Ahlfeld – Schneider-Scherbina, 1964). En territorio argentino, los depósitos minerales asociados al Mioceno medio, están relacionados a complejos domicos (Caffe y Coira, 1999) con mineralización de Pb, Zn, Ag, Sb, Cu, Sn, Au como Poquis, Pan de Azucar (Segal de Sveltiza, 1980, Segal y Caffe, 1999), Huayra Huasi, Chinchillas (Coira et al., 1993 b) y el yacimiento de Pirquitas (Sn-Ag), además el yacimiento de Coyaguayma (Sb, Ag) y de centros volcánicos (Queva y Agua Caliente). Depósitos secundarios de Sn son mencionados en el área de Pirquitas.

Los depósitos minerales de la Faja Polimetálica occidental son vetiformes epitermales polimetálicos asociados al volcanismo (Ericksen and Cunningham, 1993). Entre los principales, en el suroeste boliviano, se puede citar a Buena Vista, Jaquagua, San Antonio de Lípez en territorio boliviano. En el Mioceno superior en territorio argentino, los depósitos minerales se asocian a estratovolcanes y eventos volcánicos caldéricos; Coira, 1990, 1999, Coira y Caffe, 1999, Caffe y Coira, 1999, mencionan depósitos minerales de vetas polimetálicas de metales base ricos en Au-

Ag, depósitos asociados a fuentes termales asociados a las calderas de Pairique, Coranzuli, Vilama-Coruto y Panizos (Coira et al., 1984), que muestran el potencial en esta zona.

Los datos mencionados acerca de las características de los depósitos minerales y su distribución en ésta región de los Andes Centrales, permiten evidenciar que los principales criterios de exploración en el ámbito regional son el control litológico y estructural (Ramos Collorana et al., 2002a).

La exploración mineral en el ambiente sedimentario, se debería orientar a los afloramientos ordovícicos de la comarca, donde los controles tectónicos son anticlinales (depósitos de Au tipo saddle reef), fallas longitudinales y transversales (mina Rosa de Oro, Bolivia) a la cadena andina, intersección de lineamientos de dirección meridional y NO-SE (Salfity, 1985; Richards, 2000) y lineamientos de dirección NE-SO como el lineamiento de Cordillera de Lípez (Ramos Collorana et al., 2002a). Los controles litológicos para los depósitos de Au vetiforme son intercalación de lutitas y areniscas (Rodríguez , 2000).

En el ambiente volcánico de los Andes Centrales los criterios de exploración son la presencia de alteraciones hidrotermales (Eiswerth, 1993), complejo volcánicos-dómicos y aquellas que muestran intersecciones de lineamientos (meridionales con NO-SE y NE-SO).

Capítulo 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Capítulo 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio se desarrolló con el fin de aportar información y resultados acerca de los fenómenos geológicos y metalogenéticos del suroeste de Bolivia en particular de la zona y de los Andes Centrales en general. Para cumplir con los objetivos se realizaron estudios de la geología regional, local, descripción de los depósitos minerales, estudio de inclusiones fluidas, magmatismo, análisis químicos y prospección geoquímica. Los resultados obtenidos fueron analizados y su interpretación, ha permitido obtener parámetros para conocer las características del área del estudio y llegar a las conclusiones que se mencionan más adelante.

Para realizar el análisis comparativo con los depósitos minerales del noroeste argentino, se ha compilado y resumido información de varios autores sobre la geología y depósitos minerales, los cuales presentan una información detallada que permitió compararlos con los resultados obtenidos del Complejo Volcánico Galán e incluirlos en un análisis del ámbito regional de los Andes Centrales.

9.1. Conclusiones

- El Complejo Volcánico Galán (CVG) localizado en la parte meridional del territorio boliviano conforma parte de los Andes Centrales. En el ámbito regional conforma parte de las provincias geológicas de la Cordillera Occidental, Altiplano y Cordillera Oriental de Bolivia. La geología regional está conformada por rocas de edad ordovícica que se encuentran en la parte oriental y conforman la Cordillera Oriental. Por encima se depositaron sedimentitas cenozoicas que conforman parte del Altiplano. Suprayace a éstas unidades la Formación Rondal y por encima se encuentra el Complejo Volcánico Galán, los cuales corresponden a Cordillera Occidental.
- La geomorfología del Complejo Volcánico Galán (CVG) en general consiste en varios cerros aislados, de pendientes elevadas, cuyo cerro más conspicuo, el Cerro Galán, se encuentra a 5347 m snm. El diseño de drenaje es centrífugo y el desnivel topográfico es de alrededor de 1200 m. Los valles

glaciares tienen morrenas de fondo y laterales, además de predominio de material coluvial en la base de las pendientes. La dirección de los valles tiene una dirección radial y se considera que son juveniles.

- El Complejo Volcánico Galán (Fig. 9.1) sobreyace a un sustrato compuesto por rocas ordovícicas (formaciones Marquina y Angosto) representadas por intercalaciones de areniscas y lutitas gris verdosas, así como rocas cenozoicas (formaciones Potoco, San Vicente y Rondal) compuestas por una intercalación de areniscas y arcillitas, conglomerados, areniscas y andesitas, respectivamente. El CVG consiste de un estratovolcán, que constituye el cuerpo principal, donde la base tiene predominancia de ignimbritas en la parte occidental, norte y noreste, por encima se encuentran lavas que se encuentran en la mayoría de las cúspides de los principales cerros de la comarca. Este conjunto está atravesado por cuerpos subvolcánicos y domos volcánicos, además de diques de dirección general este – oeste mayoritariamente y otros en menor proporción de dirección norte – sur.
- El volcanismo que dio lugar al CVG es del Mioceno, conforme a una datación en biotita por el método de K / Ar de 14.6 ± 0.5 (Lema y Ramos Collorana, 1997). Se estima una variación alrededor de esa edad del CVG, debido a la edad relativa posterior de los diques.
- La petrología del Complejo Volcánico Galán, indica que mayoritariamente corresponden a rocas ácidas, aunque algunas son rocas intermedias con textura porfírica. Las ignimbritas contienen fenocristales rotos de cuarzo y plagioclasa y minerales doblados (biotita); la plagioclasa tiene zonación y maclas polisintéticas de tipo carlsbad y periclina. El principal mineral opaco es pirita. Los resultados de análisis químicos de las rocas muestran que la composición varía desde andesitas a dacitas. La mayoría de ellas están cerca al límite de peraluminosas a metaluminosas con un estado de oxidación intermedio.

Diagrama esquemático de la evolución del Complejo Volcánico Galán

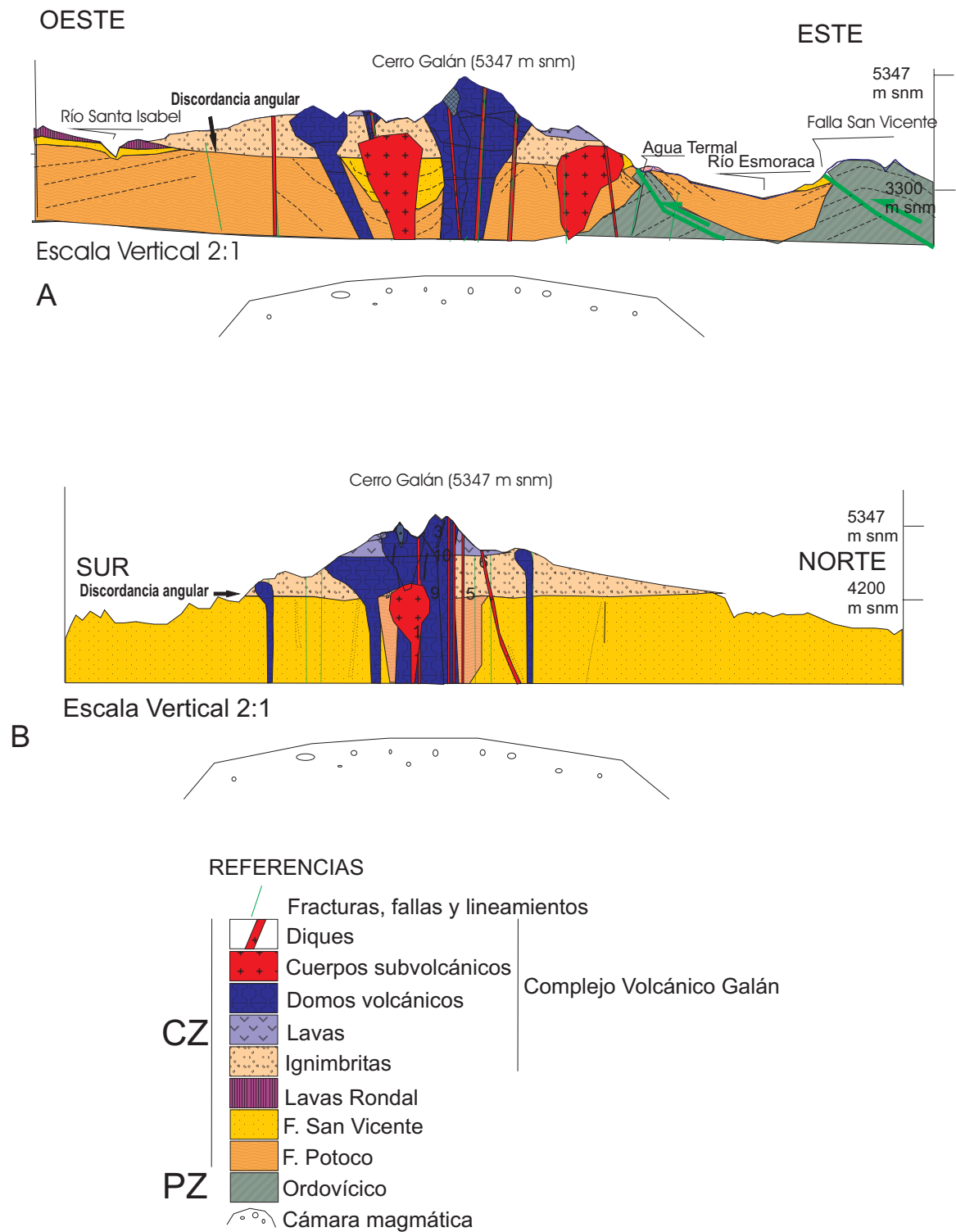


Fig. 9.1. Síntesis del diagrama esquemático de la evolución geológica del Complejo Volcánico Galán. A. Perfil este - oeste. B. Perfil norte - sur.

- En el Complejo Volcánico Galán existen predominantemente depósitos minerales metálicos de tipología vetiforme, distribuidos en varios sectores (Fig. 9.2). El principal yacimiento es la mina Pueblo Viejo que se encuentra en la parte oriental y en la que se explota wolframita; la mineralización se emplaza en el stock subvolcánico del mismo nombre. Los demás depósitos minerales se encuentran actualmente abandonados y son zonas o áreas a explorar en mayor detalle. Así está la mina Central (Bi, Au, Pb), Azulejos (Bi,Au, Pb), Khasayoj (Pb, Zn), San Martín (Pb), Lípina (Pb), Villarroel (Pb), Cuatro Ases (Pb, Cu) y Toldos (Zn). La roca encajonante está conformada por ignimbritas, lavas, domos volcánicos, intrusivos subvolcánicos y sedimentitas (conglomerados). Además en el área se encuentran varios sectores con vetas, vetillas, que presentan condiciones favorables como blancos de exploración, como el cerro Colorado, Galán, Khata Jara, parte sur del cerro Azulejos y Pabellón, entre otros, que deberían ser estudiados con mayor detalle.
- Los depósitos minerales tienen una asociación metálica caracterizada por W, Sn, Pb, Bi, Zn, Au, Ag (polimetálicos). Presenta una zonación lateral con minerales de alta temperatura con mineralización de W, algo de Sn en la mina Pueblo Viejo, mientras que los minerales de baja temperatura se encuentran en las partes marginales con mineralización de Pb, Zn como las minas San Martín y Toldos. La zonación vertical está determinada debido a que los yacimientos de alta temperatura están solo en las partes bajas del CVG.
- La alteración hidrotermal en la zona no muestra fuertes anomalías de color en general, sin embargo predominantemente consiste de propilitización, que aparentemente está en todo el Complejo Volcánico Galán, además existe sericitización y turmalinización en la quebrada Pueblo Viejo (la turmalinización es similar y también está desarrollada en Tasna y en el distrito de Quechisla). La silicificación está en las principales estructuras mineralizadas y en sector cerro Galán – quebrada Pueblo Viejo.

Diagrama esquemático del modelo de exploración del Complejo Volcánico Galán

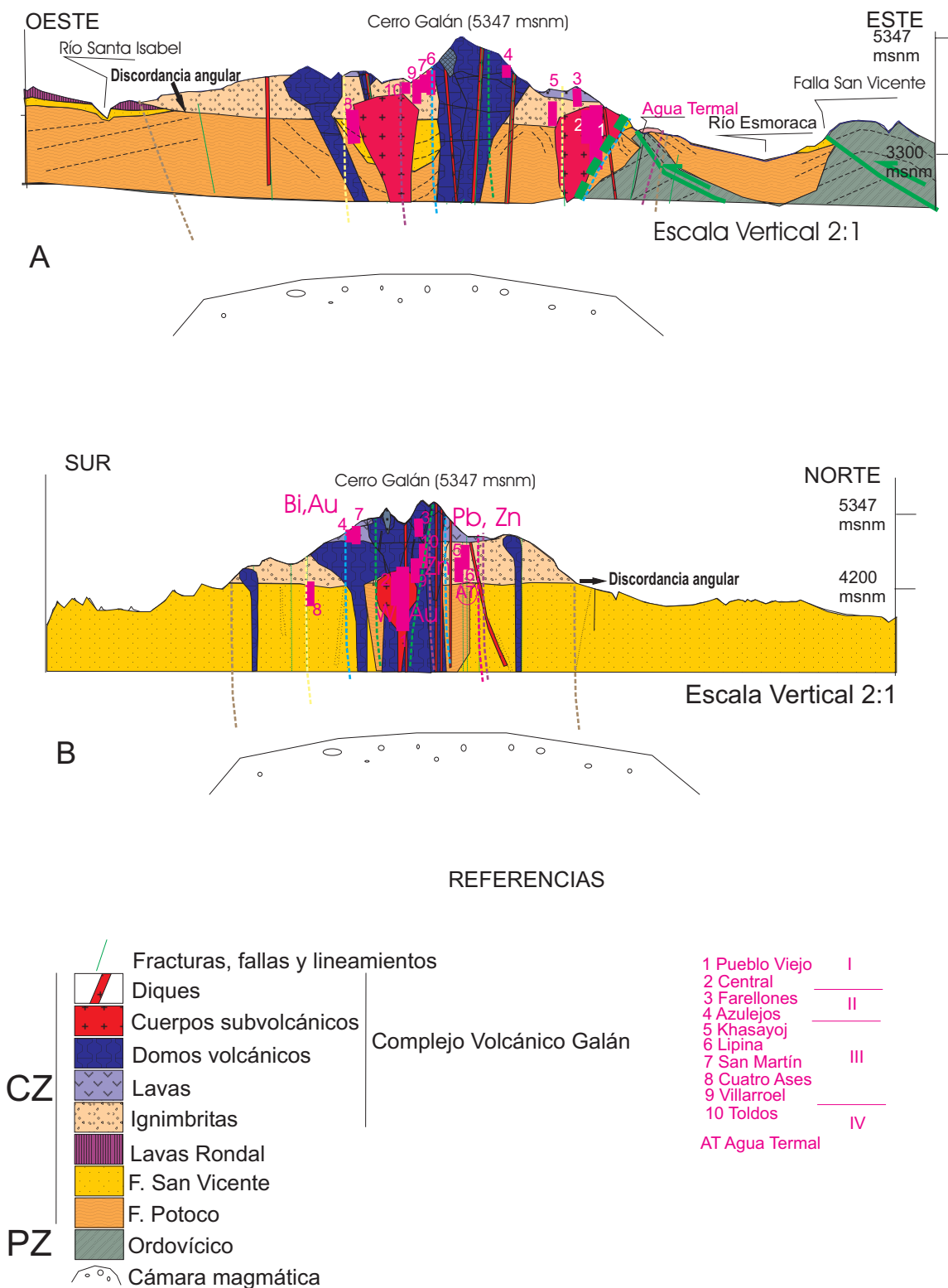


Fig. 9.2. Síntesis del diagrama esquemático del modelo de exploración del Complejo Volcánico Galán. Se muestra la distribución de los depósitos minerales (1 a 10) representados en 4 etapas probables de mineralización. A. Perfil este - oeste. B. Perfil norte - sur.

- Los estudios de las inclusiones fluidas (IF) realizadas en cuarzo, baritina y esfalerita procedentes de las vetas; determinaron inclusiones monofásicas, bifásicas y trifásicas. Predominan las bifásicas (L+V), menor proporción las trifásicas y son escasas las monofásicas. La termometría indica temperaturas que oscilan entre 166 °C a 450 °C. Las muestras de cuarzo de la mina Pueblo Viejo, arrojaron temperaturas de alrededor de 450 °C, con salinidades muy variables (7 a 23 y 32 a 52 % en peso equiv. a NaCl). Las temperaturas medidas en esfalerita de la mina Toldos dieron resultados de alrededor de 245 °C y salinidades bajas (2.07 a 7.31 % equiv. a NaCl), indicando una mineralización de más baja temperatura. Los resultados obtenidos indican una tendencia de zonación lateral. Estos resultados son similares a los datos que corresponden a la mina Tasna en el distrito de Quechisla, ubicado en la parte sur de Bolivia y a otros depósitos minerales de la Faja Estañífera de Bolivia.
- La edad de la mineralización es cercana a la edad miocena de la roca encajonante (Complejo Volcánico Galán: 14.6 ± 0.5 Ma). Por otros datos de depósitos en el ámbito regional se estima una edad de mineralización de alrededor de 10 Ma., sin embargo estos datos están sujetos a confirmación con algún resultado en la zona de estudio.
- Debido a las características del magmatismo y de las mineralizaciones, es decir composición química de las rocas que están cerca al límite de peraluminosos a metaluminosos, grado de oxidación intermedio, la asociación metálica de W, Sn, Bi, Pb, Zn, Au, Ag; los resultados de inclusiones fluidas de la termometría y de su alto contenido de salinidad de algunas muestras que indican un origen magmático; los depósitos del CVG se ajustan al modelo de exploración conocido como sistemas de mineralización de oro relacionado a intrusiones ("Intrusión Related Gold Systems"). Con relación a este modelo de exploración, el CVG conforma la parte superior o de ambiente somero cerca a la superficie.
- Los depósitos minerales en el Complejo Volcánico Galán son vetiformes de origen magmático con mineralización polimetálica y asociación de W, Bi, Pb, Zn, Au, Ag. Son diferentes a los depósitos minerales de Au, Au-Sb, Pb-Ag-Zn que se encuentran en la Cordillera Oriental, emplazadas en rocas ordovícicas, respecto a su mena, asociación metálica y origen. Son de mayor similitud con

depósitos minerales como Pirquitas, donde existe una asociación polimetálica y un origen posiblemente magmático, y ambos pertenecen a la Faja Estañífera. El CVG es similar a los depósitos relacionados con complejos dómicos, principalmente asociados al Mioceno (Ej. Pan de Azúcar), aunque éstas pertenecen a una transición entre la Faja Estañífera y la Faja Polimetálica de la Cordillera Occidental y el Altiplano.

9.2. Recomendaciones

Continuar la investigación y la exploración del Complejo Volcánico Galán (CVG), debido a que existen criterios geológicos favorables en cuanto al tipo de depósitos, mineralogía, por lo que podría ser posible encontrar nuevos depósitos o desarrollar los depósitos minerales abandonados que existen en la zona. Si bien son de tamaño reducido para una industria minera grande, pueden desarrollarse a pequeña escala. En el ámbito regional, la Faja Estañífera contiene varios depósitos de estaño y wolframio, que pueden constituir nuevas áreas de exploración o de revisión y reinterpretación, con el modelo de sistemas de mineralización de oro relacionado a intrusiones. Se debe continuar con la realización de mayores investigaciones, siguiendo los criterios de asociación metálica, magmatismo mioceno de carácter intermedio y otros mencionados anteriormente para la exploración de depósitos minerales.

La comparación entre los depósitos y el ambiente geológico del territorio boliviano y argentino, constituye un intercambio de información que se ve fortalecida en ambos países, con el objeto de conseguir el mayor impulso a la minería. El presente estudio es un aporte más a este propósito de contribuir al desarrollo de las investigaciones de la región, con el objeto de definir criterios y controles en la distribución de los depósitos minerales, para definir las características geológicas – metalogenéticas regionales y desarrollar modelos de exploración de depósitos minerales en el ámbito de los Andes Centrales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahlfeld, F., 1941. Los yacimientos minerales de Bolivia. Ministerio de economía nacional, Dirección general de minas y petróleo, p. 282.
- Ahlfeld, F., 1942. Los yacimientos de wolfram de Bolivia. Dirección general de minas y petróleos, p. 108.
- Ahlfeld, F., 1946 a. Geología de Bolivia. Rev. Museo La Plata (nueva serie), sección Geología III, p. 5-370.
- Ahlfeld, F., 1946 b. Mapa de los Yacimientos minerales de Bolivia con una memoria explicativa. Ministerio de economía nacional, Dirección general de minas y petróleo, p. 19, La Paz, Bolivia.
- Ahlfeld, F., 1948 a. Estudios geológicos de yacimientos minerales de la Prov. de Jujuy, parte I. Universidad Nacional de Tucumán N° 455.
- Ahlfeld, F., 1948 b. Estudios geológicos de yacimientos minerales de la Prov. de Jujuy, parte II. Universidad Nacional de Tucumán N° 474.
- Ahlfeld, F., 1950. Geología de la Mina Pirquitas. Minería Boliviana. 6, N° 52.
- Ahlfeld, F., 1952. Die suedbolivianische Antimonprovinz. Neues Jahrb. Min. 83. p. 313-346.
- Ahlfeld, F., 1954. Los Yacimientos Minerales de Bolivia. Ed. Banco Minero de Bolivia y Corporación Minera de Bolivia. La Paz, 277 p.
- Ahlfeld, F., 1967. Metallogenic epochs and provinces of Bolivia; Part. 1, The tin province; part. 2, The metallogenic provinces of Altiplano: Mineralium Deposita, v. 2, p. 291-311.
- Ahlfeld, F. y L. Branisa, 1960. Geología de Bolivia. Inst. Bol. Petróleo. La Paz.
- Ahlfeld, F. y Schneider-Scherbina A., 1964. Los Yacimientos Minerales y de hidrocarburos de Bolivia. Ministerio de Minas y Petróleo. Boletín N° 5. La Paz, Bolivia. 388p.
- Alarcón B., H., 2000. Petrogénesis y afinidad geoquímica del magma silíceo asociado a la mineralización de oro-plata en el distrito minero La Joya, Oruro, Bolivia. Memorias XIV Congreso Geológico Boliviano, La Paz, Bolivia, p.51-54.
- Alarcón H., Santibáñez R., Gorinova E. y Chávez F., 1996. Interpretación de datos microtermométricos y salinidad en inclusiones fluidas en depósitos metálicos de la provincia metalogenética andina de Bolivia. Memorias del XII Congreso Geológico de Bolivia, Tarija, Bolivia. P. 821-828
- Alarcón H., Santibáñez R., Blanco M., Gorinova E., Chávez F. y Cruz A., 1998. Microtermometría de inclusiones fluidas y condiciones de deposición de oro en ambientes geológicos de depósitos en la Cordillera Andina de Bolivia. Memorias del XIII Congreso Geológico de Bolivia, Potosí, Bolivia. Tomo II, p. 363-372.
- Almendras, O., E. Baldellón & R. Lopez, 1997. Hoja Geológica Volcán Ollague/San Agustín 5930/6030: Programa Carta Geológica de Bolivia, Esc. 1:100.000, Publicación SGM-Serie I-CGB-46 SGM.
- Anderson R., 1942. Report of the CAMB mining properties of Candelaria, in the Esmoraca region. 8 p.
- Angelelli, V., 1950. Recursos Minerales de la República de Argentina. Instituto Nacional de Investigación de las Ciencias Naturales, 542 páginas. Buenos Aires.

- Angelelli V., 1971. Geología de los yacimientos metalíferos argentinos. En Primer Simposio Nacional de Geología Económica, Tomo I, p. 142-147.
- Angelelli, V., 1984. Yacimientos metalíferos de la República Argentina. Centro de Investigaciones Científicas. 2 volúmenes. La Plata.
- Angelelli, V. y J.C. Fernández Lima, 1972. Ciclos metalogenéticos de la Argentina. En: Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias, 1 edición. Córdoba.
- Angelelli, V., J.C. Fernández Lima, J.C. Herrera y L. Aristarain, 1970. Descripción del mapa metalogenético de la República Argentina. Minerales metalíferos. Dirección Nacional de Geología y Minería, Anales, 15. Buenos Aires.
- Arce-Burgoa, O. & Guzman-Roa, J., 2000. Exploración en la "Faja de Pizarras" ("Slate belt"). Memorias XIV Congreso Geológico Boliviano, La Paz, Bolivia, p.332-336.
- Argandoña J.L., 1997. (Ed.) Investigaciones sobre el magmatismo y la mineralización del Cenozoico de los Andes Bolivianos. Boletín del Servicio Nacional de Geología y Minería N° 23.
- Arias, A., 1973. Informe de los trabajos de exploración de la zona de Esmoraca (Inedito). Corporación Minera de Bolivia. 16 p.
- Avila, J.C., 1999. El yacimiento de cobre Martín Bronce, Jujuy. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E.O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 947-949.
- Avila J.C., Lazarte J.E. y Velazco Robles L.E., 1988. Metalotectos estructurales en el yacimiento estanno-argentífero Mina Pirquitas, Jujuy. Actas III Congreso Nacional de Geología Económica. Tomo I. Olavarria, Provincia Buenos Aires, Argentina. p. 221-236.
- Avila-Salinas, W.A., 2000. Tipología de los yacimientos argentíferos de Bolivia. Memorias XIV Congreso Geológico Boliviano, La Paz, Bolivia, p.342-344.
- Baby P., Sempere T., Oller J., Barrios L., Herail G. y Marocco R., 1990. Un basin en compresion d'âge Oligo-Miocene dans le sud de l'Altiplano Bolivien. C.R. Acad. Sci.París, t.311, p.341-347, serie II.
- Bailly L., Leroy J. & Fornari M., 1993. Volcanism and polymetallic ore deposits from southern Bolivia. The Cerro Bonete mineralizations. Second ISAG. Oxford, p. 469-472.
- Baker M C. W. & Francis P. W., 1978. Upper Cenozoic volcanism in the Central Andes - ages and volumes. Earth and Planetary Science Letters, 41, 175-187. Amsterdam.
- Baldellon P., E.G., 1995. Geología y etapas de deformación de la zona de Serranía de las Minas. Tesis de Grado, Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), 160 p. Inédito.
- Baldellon P., E. y Quezada C., G., (en prensa). Hoja San Pablo de López. Escala 1:250 000. Mapas temáticos de recursos minerales de Bolivia. Servicio Nacional de Geología y Minería (SERGEOMIN), Bolivia.
- Bodnar, R.J., P.R. Binns, and D.L. Hall., 1989. Synthetic fluid inclusions. VI. Quantitative evaluación of the decrepitation behavior of fluid inclusions in quartz at one atmosphere confining pressure: J. Metamorphic Geol. 7, 229-242.
- Brito, J. y R., Sureda, 1992. Exploración del Prospecto polimetálico Cerro Redondo, Rinconada, Jujuy, Argentina. IV Congreso Nacional de Geología Económica, Actas: 183-194.

- Caffe, P.J. y Coira, B. L., 1999. Complejos de domos volcánicos del Mioceno medio de Puna Norte. Un modelo geológico y metalogenético para yacimientos epitermales de metales base ricos en plata (estaño). En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E.O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1569-1578, Buenos Aires.
- Caffe P.J.; Soler M.M.; Rodríguez G.; Coira B. y Onoe A.T., 2005. El Complejo Volcánico Pairique. volcanismo peraluminoso tipo S en los Andes Centrales del Sur. En: Llambias E., de Barrio R., Gonzales P. y Leal P. (eds.). Actas del XVI Congreso Geológico Argentino CD-ROM. *Artículo N° 200*. 8 pp.
- Capriles Villazón O., 1977. Historia de la Minería Boliviana. Biblioteca del Banco Minero de Bolivia (BAMIN), La Paz, Bolivia, p. 271.
- Clark AH, Farra E, Caelles JC, Haynes SJ, Lortie RB, McBride SL, Quirt GS, Robertson RCR, Zentile M., 1976. Longitudinal variations in the metallogenetic evolution of the Central Andes: A progress report. Geol. Assoc. Can. Spec Pap 14: 23-58.
- Claure H. y Minaya E., 1979. Mineralización de los Andes Bolivianos en relación con la placa de Nazca. Memoria explicativa, ERTS-GEOBOL-Observatorio San Calixto, COMIBOL. La Paz, Bolivia.
- Coira, B., 1973. Resultados preliminares sobre la petrología del ciclo eruptivo ordovícico concomitante con la sedimentación de la Formación Acoite en la zona de Abra Pampa, Provincia de Jujuy, Argentina: Revista de la Asociación Geológica Argentina, Vol. 28, No. 1, p. 85-90.
- Coira, B.L, 1979. Descripción de la Hoja 3c, Abra Pampa, Provincia de Jujuy: Servicio Geológico Nacional, Argentina, Bol. N°170, 90 p.
- Coira B., 1983. Magmatismo y mineralizaciones asociadas en Puna Jujeya – Argentina. En Actas del Segundo Congreso Nacional de Geología Económica, Tomo II, p. 405-423. San Juan, Argentina.
- Coira B., 1990. Ignimbritas y lavas dacíticas del Cenozoico superior de Puna jujeña y sus contenidos anómalos en Sn, Sb,Ag y Au. XI Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 299-302.
- Coira B., 1994. Eventos metalogenéticos en el marco evolutivo magmato-tectónico de la Puna Norte durante el Cenozoico superior. Comunicaciones, 45: 67-76.
- Coira B., 1998. Volcanismo silíceo megacaldérico y depósitos minerales asociados del Terciario superior en Puna Norte (22°-24°), Argentina. Memorias del XIII Congreso Geológico de Bolivia, Potosí, Bolivia.
- Coira, B. L., 1999. Potencialidad minera de sistemas megacaldéricos miocenos en Puna Norte. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E.O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1557-1567, Buenos Aires.
- Coira B. y Caffe P., 1999. Volcanismo Cenozoico de Puna norte. En Relatorio del Congreso geológico de Salta, Argentina, p. 371-386.
- Coira B., Bierlein F.P., Rodríguez G. y Stein H., 2005. Depósitos de oro Orogenico del paleozoico inferior de la Puna. Su potencialidad a la luz de parametros geoquimicos e isotopicos y en el marco de la evolución geodinámica de los Andes Centrales Australes. En: Llambias E., de Barrio R., Gonzales P. y Leal P. (eds.). Actas del XVI Congreso Geológico Argentino CD-ROM. *Artículo N° 415*. 6pp.
- Coira, B., Chayle W., Barber, E; Sóliz N.; Brodtkorb, M.; Camacho M. y A. Díaz., 1990. Paleosistema geotermal del Terciario superior y su mineralización de

- metales básicos (Pb, Zn, Ag), Rachaite, Jujuy, Argentina. XI Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 303-306.
- Coira, B.; Chayle, W. & Díaz A., 2000. Chimeneas de brecha del yacimiento polimetálico de Sn-Ag mina Pirquitas, un testimonio de sus raíces subvolcánicas. Memorias XIV Congreso Geológico Boliviano, La Paz, Bolivia, p.357-361.
- Coira B., Díaz A.; Chayle W., Pérez A., y A. Ramirez, 1993 b. Chinchillas, un modelo de complejo volcánico dómico portador de depósitos de metales de base con Ag y Sn en Puna Jujeña. XII Congreso Geológico Argentino. II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas IV: 270-276.
- Coira, B., Donnari, E. y M. Brodkort, 1984. Brecha mineralizada (Sb, Ag, Sb) del Complejo Volcánico Pánizos-Alcoak-Salle (Terciario superior) Provincia de Jujuy, Argentina. IX Congreso Geológico Argentino, Actas VII: 418-429.
- Coira, B., Kay, S.M. and Viramonte, J., 1993 a. Upper Cenozoic magmatic evolution of the Argentine Puna - A model for changing subduction geometry: International Geology Review, v. 35, p. 677-720.
- COMIBOL, 1958. Corporación Minera de Bolivia. Informes mensuales Mina Esmoraca. Comisión Esmoraca.
- Chavez H. y Oliveira L.F., 1998. Geología, alteraciones y mineralización en el área suroeste del Cerro Bonete y norte del Cerro Morokho. Memorias del XIII Congreso geológico de Bolivia, Potosí – Bolivia. Tomo II, p. 431-440.
- Chayle W., 1999. Mina Pirquitas, Jujuy. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1593 – 1598, Buenos Aires.
- Chayle W., Orosco O., y Ramirez A., 1998. Aluviones auríferos en el flanco oriental de la Sierra Rinconada entre Cerro Redondo y Santo Domingo- Jujuy. Memorias del XIII Congreso geológico de Bolivia, Potosí – Bolivia. P: 381-388.
- Chernicoff, C.J.; Garea G.; Hong, F.; Seggiaro, R.; Zappettini, E.; Coira B.; Caffè P.; Chayle W.; Rodriguez G.; Pérez A.; Soler M. y L. Rankin, 1996. Interpretación geológica del relevamiento aeromagnético de la Puna Septentrional, Jujuy y Salta. Dirección Nacional del Servicio Geológico- Serie Contribuciones Técnicas –Geofísica 1: 46 p.
- Choque, N., & H. Mamani, 1997. Hoja Geológica San Pablo de López 6228: Programa Carta Geológica de Bolivia Esc. 1:100.000, Publicación SGM-Serie I-CGB-52 SGM.
- Cortez H., L., 1966. Estudio geológico de la región de Esmoraca, Provincia Sud López, Departamento de Potosí. Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andres, La Paz, Bolivia, inédito, 79 p.
- Cruzat A., 1984. Prospección geoquímica aplicada a yacimientos de oro. Revista geológica de Chile N° 21, p. 53-75, 7 figs., 5 tablas.
- Cunningham C.G., McNamee J., Pinto Vásquez J. & Ericksen G.E., 1991. A model of volcanic dome-hosted precious metal deposits in Bolivia. Economic Geology, vol. 86, pp. 415-421.
- Dietrich A., Lehmann B., Wallianos A., Traxel K., 1997. The Lower Miocene tin porphyry system of Llallagua, Bolivia: Bulk rock and melt inclusion geochemistry. In: Papunen H. (ed) Mineral Deposits: research and exploration- where do they meet? Proc. 4th Biennial SGA Meeting, Turku, Finland, 11-13 Aug 1997, Balkema, Rotterdam, pp. 625-628.

- Dietrich A., Lehmann B. & Wallianos A., 2000. Bulk rock and melt inclusion geochemistry of Bolivian Porphyry systems. *Economic Geology*, volumen 95, pp. 313-326.
- Eiswerth, B., 1993. Analyses of LANDSAT Thematic Mapper images of study areas located in Western Bolivia, Northern Chile and Southern Peru. *Investigación de metales preciosos en los Andes Centrales. Proyecto BID/IC 88-02-32-S: 19-44.*
- Erdtmann B., Kley J., Müller J. & Jacobshagen V., 1995. Ordovician basin dynamics and new graptolite data from the Tarija región, Eastern Cordillera, South Bolivia. In Cooper J. Droser M., Finney S., 1995. *Ordovician Odyssey: Short papers for the Seventh International Symposium on the Ordovician System*, Las Vegas, Nevada, USA, 68-73 pp.
- Ericksen, G.E., 1975. Metallogenics provinces of the southeastern Pacific region: USGS Open File report 75-263, 527.
- Ericksen, G.E. and Cunningham C.G., 1993. Epithermal Precious-metal Deposits hosted by the Neogene and Quaternary Volcanic Complex in the Central Andes, in Kirkham R.V., Sinclair W.D., Thorpe R.I. and Duke J.M. (Eds.), *Mineral Deposits Modeling: Geological Association of Canada, Special Paper 40*, p. 419-431.
- Ericksen G. E. & Cunningham C.G., 1997. Precious – metal deposits in the Neogene – Quaternary volcanic complex of the Central Andes. In *Investigaciones sobre el magmatismo y la mineralización del Cenozoico de los Andes Bolivianos. Boletín del Servicio Nacional de Geología y Minería N° 23; Argandoña J.L. 1997. (Ed.)*.
- Ericksen GE, Luedke RG, Smith RL, Koeppen RP, Urquidi BF, 1990. Peraluminous igneous rocks of the Bolivian tin belt. *Geology* 13: 3-8.
- Evernden J.F., Kriz S., and Cherroni C., 1977. Potassium – Argon Ages of Some Bolivian Rocks. *Economic Geology*, vol. 72, pp. 1042-1061.
- Fernández, R.R., 1991 a. Yacimientos de Pb-Zn-Ag del noroeste argentino y sud de Bolivia. Analisis geologico para su prospeccion. Para Programa Universitario de Investigacion Cientifica (MURST) del Dipartimento di Mineralogia e Petrologia, Università di Padova (Italia). Inédito.
- Fernández, R.R., 1991 b. Yacimientos minerales del noroeste argentino. Para Programa Universitario de Investigacion Cientifica (MURST) del Dipartimento di Mineralogia e Petrologia, Università di Padova (Italia). Inédito.
- Fernández, R.R., 1992 a. Geología y estructuras del sector sur de los andes bolivianos en relacion a la busqueda de depositos minerales. Con Anexo: Parametros de busqueda de yacimientos (analisis de atributos). Para Programa Universitario de Investigacion Cientifica (MURST) del Dipartimento di Mineralogia e Petrologia, Università di Padova (Italia). Inédito.
- Fernández R.R., 1992 b. Características geológicas y metalogenicas del centro – sur de Bolivia y noroeste argentino. Para Programa Universitario de Investigacion Cientifica (MURST) del Dipartimento di Mineralogia e Petrologia, Università di Padova (Italia). Inédito.
- Fernández A., 1972. Estudio geomorfológico de la región de los Lípez. *Sociedad Geológica de Bolivia*, Bol.18. La Paz, Bolivia, p. 70-73.
- Fernández A., Horman P.K., Kussmaul S., Meave J., Pichler H. y Subieta T. ,1973. First petrologic data on young volcanic rocks of SW Bolivia, *Teschmark Mineralogische und Petrographische Mitteilung*, v 19, p.149-172.
- Flores M., 1988. Identificación y evaluación preliminar de yacimientos epitermales de

- metales preciosos de San Antonio de L pez, Potosí, Bolivia, PNUD, p. 17.
- Fornari M. & Herail G., 1993. Source of detrital gold mineralization in the Bolivian Altiplano. Second biennial SGA meeting; Current research in geology applied to ore deposits. Granada, Spain, p. 449-452.
- Fornari, M., Feraud G. & Soler, P., 1997. Ar40/Ar39 Dating of Late Oligocene - Early Miocene basic Magmatism in the Bolivian Altiplano; in the relation with the tectonic Settings: EUG9, Terra Nova, vol. 9, 688-698.
- Fornari M., Herail G., Pozzo L. y Viscarra G., 1989. Los yacimientos de oro de los L pez (Bolivia) Tomo I: Estratigrafía y dinámica de emplazamiento de las volcanitas del área de Guadalupe. ORSTOM en Bolivia N  19. La Paz. 27 p.
- Fornari, M., Herail G. & Ramos Collorana W., 1991. Le placer de Vilader, modele genetique, Yacimientos aluviales de Oro. ORSTOM, La Paz, Bolivia. Actes du Symposium international, p. 159-173.
- Fornari M., Pozzo L., Soler P., Bailly L., Leroy J., Bonhomme M., 1993. Miocene volcanic centers in the southern Altiplano of Bolivia. The Cerro Morokho & Cerro Bonete area (Sur L pez). Second ISAG, Oxford (UK), p. 363-366.
- Foster R. P. (Ed.), 1993. Gold metallogeny and exploration, Chapman & Hall.
- Francis PW, Halls C, Baker MCW., 1993. Relationships between mineralization and silicic volcanism in the central Andes. J Volcanol Geotherm Res 18: 165-190.
- Fusikawa K., 1996. Inclusiones fluidas en minerales: Caracterización, métodos de estudio y aplicaciones. Curso corto de postgrado teórico-práctico. Facultad de Ciencias Naturales y Museo.UNLP, La Plata.
- Gangui A., 1998. Seismic stratigraphy of the Pozuelos Basin, Northern Puna, Argentina. En: Actas X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica, Vol. I, p. 12-17.
- Garcia y Ricaldi, 1970. Informe geológico minero de las propiedades Pueblo Viejo y la Central del distrito de Esmoraca. Corporación Minera de Bolivia.
- Garzón M., D.J., 2000. El Complejo Volcánico de San José de Oruro y la mineralización de Oro de Iroco. Memorias XIV Congreso Geológico Boliviano, La Paz, Bolivia, p.365-372.
- GEOBOL., 1993. Mineralización y potencial minero del Altiplano y Cordillera Occidental, Boletín del Servicio Geológico de Bolivia N  1 (Especial). La Paz, Bolivia, p. 152.
- G tze H.J. Schmitz M., Giese P., Schmidt S., Wigger P., Schwars G., Araneda M., Chong G. & Viramonte J., 1995. Las estructuras litosféricas de los Andes Centrales australes basadas en interpretaciones geofísicas: Una revisión. Revista geológica de Chile, Vol. 22, N  2, p. 179-192, 7 Figs.
- Grant J.N., Halls C., Avila W, & Avila G., 1977. Igneous geology and the evolution of hydrothermal systems in some sub-volcanic tin deposits of Bolivia. Geological Society of London Special Publication, v. 7, p. 117-126.
- Grant J.N., Halls C., Avila W, & Snelling N., 1979. K-Ar Ages of Igneous Rocks and Mineralization in part of the Bolivian Tin Belt. Economic Geology. Vol. 74, pp. 838-851.
- Grant JN, Halls C, Sheppard SMF, Avila W., 1980. Evolution of the porphyry tin deposits of Bolivia. Mining Geol Spec Issue 8: 151-173.
- Grunsky E., 1991. Strategies and Methodologies for the Interpretation of Geochemical Data. P. 91.
- Gustavson Associates Inc., Baker and Mckenzie, MINTEC y GEOBOL., 1992. Compendio de Geología Económica de Bolivia. Baker & Mckenzie. Ministerio de Minería y Metalurgia, La Paz, v. I.

- Hein U.F., 1998. Fluid inclusions: Theory, interpretation, application. Short course. Departamento de Geología. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.
- Herail G., Fornari M., Pozzo L., 1993. Émission d'or particulaire au cours des phases de volcanisme explosif du Miocène du Sud de l'Altiplano de Bolivie. C.R. Acad. Sci. Paris, t.316, Série II, p. 1431-1438.
- Herail G., Miranda, V. y Fornari M., 1988. Los placeres de oro de la región de Mapiri y sus fuentes primarias. ORSTOM en Bolivia N° 16. La Paz, 30 p.
- Heuschmidt B. & Miranda V., 1998. Bolivian ore deposits: Some typical models. Boletín del Servicio Nacional de Geología y Minería, La Paz, Bolivia.
- Heuschmidt B. & Miranda V., 2000 a. Las provincias y épocas metalogénicas de Bolivia en su marco geodinámico. En Compendio de Geología de Bolivia. P. 167-197.
- Heuschmidt B. & Miranda V., 2000 b. Metalogenia de la región andina boliviana área del proyecto multinacional andino (PMA). En: Gajardo A. Ed. IX Congreso Geológico Chileno. Actas vol.2 Simposio Nacional N° 3, p. 298 - 302.
- Ishihara S., 1981. The granitoid series and mineralization. Economic Geology 75th Anniversary Volume, pp. 458-484.
- <http://www.ine.gov.bo/>. Censo 2001. Instituto Nacional de Estadística (INE), República de Bolivia.
- http://www.geo.cornell.edu/geology/cap/CAP_gen/SAM_Topo/NAZ_SAM.html. Imagen satelital (DEM) de Suramérica. Cornell University, Andes Project.
- http://www.geo.cornell.edu/geology/cap/CAP_gen/SAM_Topo/TopoBrowser.html. Imagen satelital de los Andes Centrales. Cornell University, Andes Project.
- http://www.ine.gov.bo/cgi-bin/Panuario_00xx.exe/CUADRO. Bolivia: producción nacional de minerales por año, 1992 – 2002 (Toneladas métricas finas). Instituto Nacional de estadística (INE) de Bolivia.
- <http://www.bcb.gov.bo/pdf/files/iniciales/memorias/2004/cap3.pdf>. Exportación de minerales. Banco Central de Bolivia.
- <http://www.microsoft.com>, 2005 Microsoft MapPoint. Mapas de Suramérica y zona del límite boliviano – argentino.
- Jaboyedoff M., Bauchau C., Maignan M., 1984. Eléments simples d'identification d'anomalies géochimiques par statistique: aspects miniers et environnementaux. Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat. 84.1: 73-108.
- Kay S.M. & Mpodosi C., 2001. Central Andean Ore Deposits Linked to Evolving Shallow Subduction Systems and Thickening Crust. GSA. 6 p.
- Kay S.M., Mpodosi C. & Coira B., 1999. Neogene magmatism, tectonism, and mineral deposits of the Central Andes (22° to 33° S Latitude). In Skinner, B.ed., Geology and ore deposits of the Central Andes: Society of Economic Geology Special publication 7, p. 27-59.
- Kelly W.C., and Turneaure F.S., 1970. Mineralogy, paragenesis and geothermometry of the tin and tungsten deposits of the Eastern Andes, Bolivia. Econ Geol 65: 609-680.
- Kley J., Muller J., Tawackoli S., Jacobshagen V. y Manutsoglu E., 1997. Preandean and Andean-Age Deformation in The Eastern Cordillera of Southern Bolivia. Journal of South American Earth Sciences. Vol. 10, No 1, p. 1-19.
- Knepper Jr. D.H. and Simpson S.L., 1992. Remote Sensing, en Geology and Mineral Resources of the Altiplano and Cordillera Occidental, Bolivia, USGS Bulletin 1975, 47-55.
- Kusmaul S., Jordán L. y Ploskonka E., 1975. Isotopic ages of Tertiary volcanic rocks SW Bolivia. Geol. Jb., Hannover, P. 111-117.

- Lahner L., Schneider A., Medina A., Riera-Kilibarda C., Günter Myllus H., Rösling R., Amador J. & Alcocer I., 1994. Métodos de investigación para mineralizaciones de metales básicos y preciosos. Pp. 65-77. En *Prospección y exploración de metales básicos y preciosos en el departamento de Potosí, Bolivia* (Ed. GEOBOL y BGR), Boletín del Servicio Geológico de Bolivia N° 5 (Especial).
- Lamb S, Hoke L, Kennan L, Dewey J., 1997. Cenozoic evolution of the central Andes in Bolivia and northern Chile. In: Burg J-P, Ford M (eds) *Orogeny through time*. Geol Soc Spec Publ 121, 237-264.
- Lang J.R. & Baker T., 2001. Intrusion related gold systems: the present level of understanding. In *Intrusion related gold systems*, Lang J.R. & Baker T. (Ed.). Mineralium Deposita. Volume 36, Number 6, p. 477-489.
- Lang J.R., Baker T., Hart C.J.R., Mortensen J.K., 2000. An exploration model for intrusion related gold systems. *Soc Econ Geol News* 40 (1): 7-15.
- Lehmann B., 1978. A Precambrian core sample from the Altiplano, Bolivia. *Geol Rundsch* 67: 270-278.
- Lehmann B., 1982. Metallogeny of tin: magmatic differentiation versus geochemical heritage. *Econ Geol* 77: 50-59.
- Lehmann B., 1985. Formation of the strata-bound Kellhuani tin deposits, Bolivia. *Mineralium Deposita* 20: 169-176.
- Lehmann B., 1994. Petrochemical factors governing the metallogeny of the Bolivian tin belt. In: Reutter KJ, Scheuber E, Wigger PJ (eds) *Tectonics of the central Andes*. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp. 317-326.
- Lehmann B., Dietrich A., Heinhorst J., Métrich N., Mosbah M., Palacios C. Schneider H.J., Wallianos A., Webster J. & Winkelmann L., 2000 a. Boron in the Bolivian tin belt. *Mineralium deposita*, vol. 35, p. 223-232.
- Lehmann B., Dietrich A., & Wallianos A., 2000 b. From rocks to ore. *Int J Earth Sci*, vol. 89, p. 284-294.
- Lehmann B., Ishihara S., Michel H., Miller J., Rapela C., Sanchez A., Tistl M., Winkelmann L., 1990. The Bolivian tin province and regional tin distribution in the Central Andes: a reassessment. *Economic Geology*, v.85, pp: 1044-1058.
- Lehmann B, Petersen U, Santivañez R. Winkelmann L., 1988. Distribución geoquímica de estaño y boro en la secuencia paleozoica inferior de la Cordillera Real de Bolivia. *Bol Soc Geol Perú* 77: 19-27.
- Lehrberger, G., 1988. Gold-antimonite deposits in marine sediments of the Eastern Cordillera of the Bolivian Andes. In Goode A.D.T., Smyth, E.L., Birch W.D., and Bosma L.I. eds. *Bicentennial Gold 88*, extended abstracts; poster programme: Geological Society of Australia Abstracts, v.23, N° 1-2, p. 319-321.
- Lema, J.C. y Ramos Collorana, W., 1997. Mapa geológico de Esmoraca, Publicación SGM Serie I-CGB-50 cuadrángulo N° 6328; Escala 1:100 000 y memoria explicativa. Proyecto Carta geológica de Bolivia. Servicio Nacional de Geología y Minería (SERGEOMIN), Bolivia.
- Lencina R., 2000. Guías de exploración de metales base en el Ordovícico de la Puna y Cordillera Oriental de Argentina. *Memorias XIV Congreso Geológico Boliviano*, La Paz, Bolivia, p.381-384.
- Long, K. L., 1992. Mines, prospects and mineral occurrences, Altiplano and Cordillera Occidental. Appendix A: 243-272, in *Geology and Mineral Resources of the Altiplano and Cordillera Occidental, Bolivia*, USGS Bulletin 1975.

- López M., R., 1998. Geología, mineralización y geoquímica de la hoja San Pablo de Lipez SF 19-8, Potosí, Bolivia Suroccidental. XIII Congreso Geológico Boliviano, p.309-324. Tomo II. Potosí-Bolivia.
- López M.R. & Ibañez B.V., 1993. Prospecto Mestizo, Sud Lipez: Geología, mineralización y exploración preliminar. Bol. GEOBOL N° 1 (Especial), p. 126-129.
- López Montaña R., Alarcón Barrenechea H. & Zoto Uzquiano P., 2000. Geología, geoquímica y potencial del prospecto Lipeña-La Moza (Au-Cu-Ag), distrito Bonete, sur Lipez, Potosí, Bolivia suroccidental. Memorias XIV Congreso Geológico Boliviano, La Paz, Bolivia, p.385-391.
- Ludington S, du Bray E, Mckelvey G, Soria E, and Czamanske G., 1992 a. Geology of known mineral deposits, Esmoraca area. In Geology and Mineral Resources of the Altiplano and Cordillera Occidental, Bolivia, p. 63-89. U.S. Geological Survey Bulletin 1975. U.S. Geological Survey and Servicio Geológico de Bolivia.
- Ludington S, Orris, G.J., Cox, D.P., Long, K.R. and Asher-Bolinder, S., 1992 b. Mineral Deposits Models. In Geology and Mineral Resources of the Altiplano and Cordillera Occidental, Bolivia. U.S. Geological Survey Bulletin 1975. U.S. Geological Survey and Servicio Geológico de Bolivia.
- Malvicini, L., 1966. Mineralogía y génesis del yacimiento de Sn y Ag Mina Pirquitas. Universidad de Buenos Aires, Tesis Doctoral, inédito.
- Malvicini, L., 1978. Las vetas de Sn y Ag de Mina Pirquitas (Pircas), Provincia de Jujuy. República Argentina. A.M.P.S., Revista, 9 (1-12): 1-25.
- Martínez R., 1961. Informe sobre las propiedades mineras de la Corporación Minera de Bolivia, Grupo Esmoraca, Sud Chichas. Corporación Minera de Bolivia.
- McBride SL, Robertson RCR, Clark AH, Farrar E., 1983. Magmatic and metallogenetic episodes in the northern tin belt, Cordillera Real, Bolivia. Geol Rundsch 72: 685-713.
- Meave del C. J., 1972. Estratigrafía del Terciario en la región de los Lipez. Sociedad Geológica de Bolivia, Bol.18. La Paz, Bolivia, p. 76-84.
- Méndez, V. Navarini A., Plaza D. y Viera O., 1973. Faja Eruptiva de la Puna oriental. 5° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 89-100.
- Méndez V., Segal S., y Zappettini E., 2001. Depósitos de metales base del noroeste de la Argentina: Correlación metalogenética y evolución tectónica. En: VII Congreso Argentino de Geología Económica. Actas 1, pp. 27-33. Salta.
- Méndez V., Turner JCM., Navarini R., Amengual R. y Viera V., 1979. Geología de la región noroeste, Provincias de Salta y Jujuy, República Argentina. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Dirección general de Fabricaciones Militares. Buenos Aires, p.118.
- Mérida A. R., 1969. Estudio geológico y minero del distrito de Esmoraca. Tesis de Grado, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ciencias Geológicas, Inédito.
- Merodio J.C., 1985. Métodos estadísticos en Geología. Asociación Geológica Argentina. Serie "B" Didáctica y complementaria N° 13.
- Mingramm, A. Russo A., Pozzo A. y Cazau L., 1979. Sierras Subandinas. En Turner J.C.M Ed., Geología Regional Argentina, Volumen I: Buenos Aires, Academia Nacional de Ciencias, Córdoba y Editorial Librart, p. 95-137.
- Miranda V., Heuschmidt B., Bellot J. & Cazas A., 1998. Mapa metalogénico de Bolivia Escala 1: 1000000. Memorias XIII Congreso Geológico Boliviano, Potosí, Bolivia, p.267 - 279.

- Miranda V., Heuschmidt B., Bellot J. & Claire M., 2000 Áreas de interés prospectivo en Bolivia para yacimientos metalíferos. Memorias XIV Congreso Geológico Boliviano, La Paz, Bolivia, p.407-413.
- Moller S.A. & Rodríguez Gómez J., 2000. Nueva exploración en la Mina San Vicente, Potosí. Memorias XIV Congreso Geológico Boliviano, La Paz, Bolivia, p. 414-415.
- Montes de Oca I., 1997. Geografía y recursos naturales de Bolivia. Edobol, La Paz, 614 p.
- Moya M.C. & López G.A., 2000. Flujos gravitacionales mineralizados en el ordovícico del Cordón de Lesser, Cordillera Oriental Argentina. Memorias XIV Congreso Geológico Boliviano, La Paz, Bolivia, p.416-420.
- MRDS., 1993 a. Mina Pueblo Viejo. En Banco de datos de recursos minerales (MRDS), Tomo I. Ministerio de minería y metalurgia, Servicio geológico de Bolivia, La Paz, Bolivia; 1992-1993, p.268-260.
- MRDS., 1993 b. Mina Central. En Banco de Datos de Recursos Minerales (MRDS). Tomo V., Ministerio de minería y metalurgia, Servicio geológico de Bolivia, La Paz, Bolivia, p. 235-237.
- Müller B., Frischknecht R., Sewar T., Heinrich C. y Camargo W., 2001. A fluid inclusión reconnaissance study of the Huanuni tin deposit (Bolivia), using LA-ICP-MS micro-analysis. Mineralium Deposita V. 36, N° 7, p. 680-688.
- Muller, J., J. Maletz, S. Egenhoff & B. D. Erdtmann, 1996. Turbiditas Caradocianas - (?) Ashgillianas Inferiores en la Cordillera Oriental al Sur de Bolivia: Implicaciones Cinematicas: Memorias del XII Congreso Geológico de Bolivia, Tarija - Bolivia: 747 - 753.
- Murillo S. A., 1983. Informe geológico de los yacimientos auríferos Esmoraca y Khakha Palca. Corporación Minera de Bolivia, Gerencia Central Oruro. ESM-00016, La Paz, 10 p.
- Murillo F., López-Montaña R., Pansze A. & Wessel G., 1995. Styles of structure and alteration in the Lipez volcanic field: Recent findings. In Bolivia Mining 95. P.18.
- Murillo S. F; Santa Cruz S. Y.; Quezada C. G.; Almendras A. O.; Méndez C. J.; Gareca A. H.; Salamanca G. G. & Soliz B. I., 2000. Programa de geoquímica regional en el Altiplano y la Cordillera Occidental de Bolivia fase experimental. Memorias XIV Congreso Geológico Boliviano, La Paz, Bolivia, p.421-425.
- Oller J., 1992. Cuadro cronoestratigráfico de Bolivia. Yacimientos Petrolíferos Fiscales de Bolivia.
- Paar, W.H., Brodtkorb, M.K. de, Topa, D., and Sureda, R.J., 1996. Caracterización mineralógica y química de algunas especies metalíferas de yacimiento Pirquitas, Provincia de Jujuy, República Argentina: Parte 1. XIII Congreso Geológico y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas III: 159–172.
- Pacheco J. y Ramírez V., 1996. Hoja geológica Quetena 6127: Programa Carta Geológica de Bolivia, Escala 1: 100000, Publicación SGM-Serie I-CGB-41 SGM.
- Pacheco J. y Ramírez V., 1997 a. Hoja geológica Cañapa/Alota 5929/6029: Programa Carta Geológica de Bolivia, Escala 1: 100000, Publicación SGM-Serie I-CGB-45 SGM.
- Pacheco J. y Ramírez V., 1997 b. Hoja geológica Soniquera 6128: Programa Carta Geológica de Bolivia, Escala 1: 100000, Publicación SGM-Serie I-CGB-51 SGM.

- Palma M.A., Párica, P. Y Ramos V.A., 1986. El granito Archibarca: su edad y significado tectónico. Asociación Geológica Argentina, Revista 41 (3-4): 414-418.
- Pareja L. J. y Ballon A. R., 1978. Mapa geológico de Bolivia / Yacimientos petrolíferos Fiscales Bolivianos, Servicio geológico de Bolivia ; compilación escala 1:1 000 000.- La Paz : Servicio geológico de Bolivia,- 1 carta en 4 partes : en colores. + explicación (27 p.).
- Pareja, L.J.; C. Vargas, R. Suarez, R. Ballon, R. Carrasco y C. Villarroel., 1978. Mapa Geológico de Bolivia. Memoria Explicativa. YPFB - GEOBOL, La Paz.
- Peral, A.P. y P.J. Wormald, 1999. Mineralización cuprífera del área Juramento, Salta. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 951 – 957, Buenos Aires.
- Pérez, H., R. Ballon, R., Oller, J., López O., Franco A., Pareja J., Fernández S., Tufiño D., Aranibar O., Ramírez V., Ramos Collorana, W., Llanos A., Salas H., Landivar G., Curro G. y Barroso E., 1996. Mapa Geológico de Bolivia. Escala 1:1 000 000. YPFB - SERGEOMIN. Compilación Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos y Servicio Nacional de Geología y Minería de Bolivia. 1 carta en 4 partes en colores. La Paz.
- Petersen U., 1998. An introduction to ore genetic and metallogenetic and its pitfalls (A. Kori Kollo-Bolivia). Porphyry Cooper Short Course, March 23-28 1998, Department of geological science, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada, p. 4.
- Petersen U., 2001. Magmatic and Metallogenic Evolution of the Central Andes. In Skinner, B.ed., Geology and ore deposits of the Central Andes: Society of Economic Geology Special publication 7, p. 109-153.
- Petrinovic I.A., 1999. Magmatismo Cenozoico de la Puna Austral. En Relatorio del Congreso geológico de Salta, Argentina, p. 386-391.
- Pinto Vásquez J., 1988. Visita preliminar a los yacimientos de Choroma y Esmoraca, Potosí, Bolivia. Programa de promoción de inversiones mineras y desarrollo de proyectos en Bolivia. Servicio geológico de Bolivia – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. P. 9.
- Pozzo I., L., 1991. Geología y características del oro aluvial en ambiente volcánico, región de Guadalupe. Prov. Sud Lípez, departamento de Potosí. Un método para localizar posibles mineralizaciones primarias. Tesis de Grado, Facultad de Ciencias Geológicas, UMSA. La Paz. P.98. Inedito.
- Proyecto LÍPEZ – COMIBOL, 1970. Informes de geología y yacimientos minerales en la región de los Lípez.
- Ramirez F., V., 2000. Geología del segmento Atocha (Área Chilcobija), Potosí. Memorias XIV Congreso Geológico Boliviano, La Paz, Bolivia, p.51-54.
- Ramírez A., Coira B. y Díaz A., 1998. Manifestaciones minerales del Complejo lávico cóncavo Caucani-Solterío, Puna Septentrional. Memorias del XIII Congreso Geológico de Bolivia, Potosí, Bolivia.
- Ramos Collorana, W., 1992. El placer de Vilader, un yacimiento aluvial de oro de la cuenca alta del Río Lípez. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz-Bolivia. 150 p. (Inédito).
- Ramos Collorana, W., 2000. Mina Pueblo Viejo, un yacimiento wolframífero meridional de los Andes Centrales de Bolivia. En Mineralogía y Metalogenia (Ed. Schalamuk et al., 2000). Instituto de Recursos Minerales, Publicación 6: 432-438. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP. La Plata.

- Ramos Collorana W. y Fernández R.R., 2005. Características de vetas polimetálicas (W, Bi, Pb, Zn, Ag, Au) en el Complejo Volcánico Galán (Mioceno), Bolivia. En: Llambias E., de Barrio R., Gonzales P. y Leal P. (eds.). Actas del XVI Congreso Geológico Argentino CD-ROM. *Artículo N° 719*. 6pp.
- Ramos Collorana, W. y Fornari M., 1992. El oro detrítico y su relación con las fuentes primarias en la región de Vilader. Boletín de la Sociedad Geológica de Bolivia, No 27. p.129-132.
- Ramos Collorana W. y Fornari M., 1994. Problemática de la presencia de oro en los Lípez. Boletín de la Sociedad Geológica de Bolivia, No 28. p. 248-259.
- Ramos Collorana. W., Etcheverry R., Fernández R., 2001 b. Características de las partículas de oro de los depósitos aluvionales auríferos en el área de Esmoraca suroeste de Bolivia. Congreso Latinoamericano de Geología. Metalogénesis N° 184, p. 7. CD, Montevideo, Uruguay.
- Ramos Collorana. W., Fernández R., Lehmann B., 2001 a. Anomalías de Au-Ag en el Complejo Volcánico Galán (Mioceno), suroeste de Bolivia. Congreso de Geología Económica, Salta – Argentina. Actas 1. p. 123-128.
- Ramos Collorana. W., Gómez J. C. y Fernández R. R., 2002 b. Procesamiento digital de imágenes satelitarias y fotografías aéreas del Complejo Volcanico Galán, suroeste de Bolivia. Simposio Latinoamericano de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial. CD, Cochabamba, Bolivia.
- Ramos Collorana. W., Marchionni D., Baldellón E., Fernández R. y Ramayo L., 2002 a. Procesamiento-interpretación de imágenes Landsat TM en la prospección minera del suroeste de Bolivia: Control litológico y estructural en la distribución espacial de los depósitos minerales. Simposio Latinoamericano de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial. CD, Cochabamba, Bolivia.
- Ramos Collorana, W., Medrano R. y Fernández R., 2002 c. Explotación y perspectivas de la Mina Pueblo Viejo (W, Bi, Au, Ag), suroeste de Bolivia. En 6° Congreso de Mineralogía y Metalogenia (Ed. De Brodtkorb et al., 2002). Universidad de Buenos Aires, p.: 383-390. Buenos Aires, Argentina.
- Ramos, V.A., 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. En: Caminos R. (Ed.) Geología Argentina. Subsecretaría de Minería de la Nación y Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Anales 29 (3): 41-96, Buenos Aires.
- Redwood S.D. and Rice C.M., 1997. Petrogenesis of Miocene basic shoshonitic lavas in the Bolivian Andes and implications for hydrothermal gold, silver and tin deposits. JS Am Earth Sci 10: 203-221.
- Reutter K. J., Giese P., Götze H. J., Scheuber E., Schwab K., Schwarz G. & Wigger P., 1988. Structures and crustal development of The Central Andes between 21° and 25° S 231-261. Lecture Notes in Earth Ciencias, v. 17. Springer - Verlag Berlin Heilderberg.
- Ricaldi V., 1970. Estudio de la Mina Azulejos del Distrito de Esmoraca. Corporación Minera de Bolivia. 10 p.
- Richards JP, 2000. Lineaments revisited. SEG Newsletter, Society of Economic Geologist. July, Number 42, p. 1-(14-20).
- Richter, D.H., Ludington S. and Soria-Escalante E., 1992. Geologic settings. In: U.S. Geological Survey and Servicio Geológico de Bolivia (1992). Geology and Mineral Resources of the Altiplano and Cordillera Occidental, Bolivia. U.S. Geological Survey Bulletin 1975, p. 14 - 24.

- Rocha S., Vedia J. y Balderrama I., 1962. Informe de orientación técnica de la mina Central. Departamento Nacional de Geología. 7 p.
- Rodrigo L.A. y Castaños A., 1978. Sinopsis estratigráfica de Bolivia, I parte, Paleozoico: Acad. Nac. Ciencias de Bolivia, p. 1-146.
- Rodríguez G. A., 2000. Control litológico sobre el emplazamiento de vetas laminadas en secuencias turbidíticas de la Sierra de Rinconada (Jujuy, Argentina). Memorias XIV Congreso Geológico Boliviano, La Paz, Bolivia, p.441-444.
- Rodríguez G., y De Azevedo, Jr.F., 2000. Mineralizaciones tipo "Slate Belt Gold" en la Sierra de Rinconada, Puna Norte-Argentina. En Mineralogía y Metalogenia, (Ed. Schalamuk et al, 2000). INREMI 6, FCNyM, UNLP. La Plata. p.: 432-439.
- Rodríguez, G. A., De Azevedo, Jr. F., Coira, B., 2001. Mineralizaciones auríferas en sedimentitas ordovícicas de la sierra de Rinconada (Jujuy-Argentina): implicancias para la exploración minera. *Rev. geol. Chile*, jul. 2001, vol.28, no. 1, p.47-66. ISSN 0716-0208.
- Roedder E., 1971. Fluid inclusion studies on the porphyry-type ore deposits at Bingham, Utah, Butte, Montana and Climax, Colorado: *Econ. Geol.*, 98-120.
- Roedder E., 1979. Fluid inclusions as samples of ore fluids: In: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 2nd ed., H.L. Barnes (ed). New York: Wiley, pp. 684-737.
- Roedder E., 1984. Fluid Inclusion: Reviews in Mineralogy, Vol.12, Whashington, D.C. Mineralogical Society of America, p. 644.
- Romano, H.I., 1999. Distrito uranífero Tonco-Amblayo, Salta. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 959 – 970, Buenos Aires.
- Rössling R., 2000. Tectónica de placas y evolución estructural en el margen continental activo de sudamérica. En *Compendio de Geología de Bolivia*.p. 199-214.
- Salfity, J. A., 1985. Lineamientos transversales al rumbo andino en el noroeste argentino: IV Congreso Geológico Chileno. Part. 2, pp: 119-137. Antofagasta.
- Schneider HJ and Lehmann B., 1977. Contribution to a new genetical concept of the Bolivian tin province. In: Klemm DD, Schneider HJ (eds). *Time – and strata bound ore deposits*. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp. 153-168.
- Shepherd T.J., Rankin A.H. and Alderton D.H.M., 1985. A practical guide to fluid inclusion studies. Blackie & Son Limited. pp. 239.
- Segal de Sveltiza, S., 1980. Estudio mineralógico y consideraciones genéticas del depósito minero Pan de Azucar, Depto. Rinconada, Prov. de Jujuy. *Asociación Geológica Argentina, Revista XXXV* (3): 375-400.
- Segal S.J. Y Caffé P.J., 1999. El Grupo minero Pan de Azúcar, Jujuy. En *Recursos Minerales de la República Argentina* (Ed. E.O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1579-1592.
- Segal S.J., Godeas M.C., Pezzutti N. y Zappettini E. O., 1999. Distrito polimetálico Pumahuasi, Jujuy. En *Recursos Minerales de la República Argentina* (Ed. E.O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 493-497.
- Segal S., Zappettini, E., Craig J., 1997. Metalogénesis del oro de la Sierra de Rinconada, Provincia de Jujuy. Serie contribuciones técnicas, Recursos Minerales 2. Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR. P.31.

- Seggiaro R.; Becchio, R.; Coira B. y R. Hogn, 1995. La caldera de Pairique (Puna Jujeña), vinculación con zonas de alteración hidrotermal y manifestaciones metalíferas de posible interés económico. V Congreso Nacional de Geología Económica, Actas I: 274-280.
- Sempere, T., 1990. Cuadros estratigráficos de Bolivia – propuestas nuevas: Convenio l'Office de la Recherche Scientifique et Technique de Outre-Mer / Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos. Informe 20, 26 p.
- Sempere, T., Herail G., Oller J. & Baby P., 1988. Los aspectos estructurales y sedimentarios del oroclino boliviano. 5° Congreso Geológico Chileno (Santiago): A127 – A142.
- SERGEOMIN, 1998. Mapa metalogénico de Bolivia, Escala 1: 1000000. Servicio Nacional de Geología y Minería (SERGEOMIN).
- Sillitoe R. H., 1972. Relations of metal provinces in western america to subduction of oceanic lithosphere: Geological Society of America Bulletin 83, p. 813-818.
- Sillitoe R.H., 1976. Andean mineralization: a model for the metallogeny of convergent plate margins. In: Strong D.F. (Ed.), Metallogeny and plate tectonics, Geological association Canada. Special Paper 14, p. 59-100.
- Sillitoe R.H., 1987. Metallogenics belts of the Central Andes. In: Proceedings Pacific Rim Congress' 87, Gold Coast, Austral., 26-29 August 1987., Austral. Inst. Metall., p. 899-907.
- Sillitoe R.H., 1993. Intrusion-related gold deposits. In Foster R.P (Ed.), Gold metallogeny and exploration, Chapman & Hall. P. 165-209.
- Sillitoe R.H., Halls C. and Grant J.N., 1975. Porphyry Tin Deposits in Bolivia. Economic Geology, vol.70, pp. 913-927.
- Sillitoe R.H. Steele G.B. Thompson J.F.H. & Lang J.R., 1998. Advanced argillic lithocaps in the Bolivian tin – silver belt. Mineralium deposita. Vol. 33, p. 539-546.
- Sobel, A., 1963. Informe sobre Bismuto, cobre, oro, plata en el distrito de Esmoraca, Provincia Sur Chichas, Departamento de Potosí. Prospection Limited, Corporación Minera de Bolivia. 11 p.(Inédito).
- Soler, M.M.; Caffé, P.J.; Coira, B. & Onoe, A.T., 2005. La Caldera Vilama y el Complejo Caldérico Eduardo Avaroa, Puna Argentina-Altiplano boliviano. En: Llambias E., de Barrio R., Gonzales P. y Leal P. (eds.). Actas del XVI Congreso Geológico Argentino CD-ROM. *Artículo N° 28*. 6 pp.
- Sorby H.C., 1858. On the microscopic structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks: Geol. Soc. London Q.J. 14(pt.1), 453-500.
- Soruco M., C., 1972. Informe geológico minero de la Empresa Minera Esmoraca. Subgerencia de Geología, Oruro. Corporación Minera de Bolivia. 19 p.
- Suarez-Soruco, R., 2000. Compendio de Geología de Bolivia. Revista Técnica de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB), 18 (1-2): 1-214. Bolivia
- Subieta T., 1972. Tectónica de la región de los Lípez. Sociedad Geológica de Bolivia, Bol.18. La Paz, Bolivia, p. 86-90.
- Sugaki A., Kojima S. & Shimada N., 1988. Fluid inclusion studies of the polymetallic hydrothermal ore deposits in Bolivia. Mineralium Deposita, vol. 23, p. 9-15.
- Sureda R.J., 1999. Los yacimientos SEDEX de plomo y zinc en la Sierra de Aguilar, Jujuy. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E.O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 459-485, Buenos Aires.

- Sureda R.J. y Galliski M.A., 1989. La metalogenia del norte argentino: Criterios para la elaboración del mapa metalogenético de Salta y Jujuy. *Correlación geológica*, N° 3: 13-44.
- Sureda R. y Martín J.L., 1990. Mina El Aguilar, Provincia de Jujuy, República Argentina. Un depósito Sedex ordovícico con metamorfismo de contacto sobreimpuesto, en la provincia metalógena quiaqueña. En *Contribuciones al conocimiento de la mineralogía y geología económica de la República Argentina*. Asociación argentina de geólogos economistas. Publicación especial.
- Thiéblemont D., 1999. Discrimination entre magmatismes calco – alcalins mantellique et crustal: l'exemple des Andes. Discrimination between mantle- and crustal –derived Andean calc-alkaline lavas. *C.R. Acad. Sci.Paris. Sciences de la terre et des planètes/Earth & Planetary Sciences* 1999.329.243-250.
- Thompson J.F.H. & Newberry J., 2000. Gold deposits related to reduced granitic intrusions. In *SEG Reviews*. Vol. 13, p. 377-400.
- Thompson JFH, Lang JR, Thompson AJB, Aguirre R, Potherin C, Lane RW., 1996. Vertical and lateral zoning in the Tasna Bi-W-Sn-Au camp, southern Bolivia. *Geol Soc Am Abstr Progs* 28: A-403.
- Thompson J.F.H., Sillitoe R.H., Baker T., Lang J.R., Mortensen J.K., 1999. Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces. *Mineralium deposita*, vol. 34, pp. 323-334.
- Thorpe R.S., Francis, P.W., Hammill, M. and Baker, M.C.W., 1982. The Andes, in Thorpe, R.S., ed., *Andesites*: New York, John Wiley and Sons, p. 187 – 205.
- Troëng B., Claire H., Oliveira L., Ballón R. Y Walser, G., 1993. Mapas temáticos de recursos minerales de Bolivia: Hojas Tarija y Villazón (escala 1:250 000). *Boletín GEOBOL*, 3 (especial), La Paz, 178 p.
- Troëng B. Soria EE, Claire VH, Mobarec R, Murillo F., 1994. Descubrimiento de basamento precámbrico en la Cordillera Occidental, Altiplano de los Andes Bolivianos. *Memorias XI Congreso Geológico de Bolivia*, Santa Cruz, pp. 231-237.
- Turneaure F.S., 1960. A comparative study of major ore deposits of central Bolivia, parts I and II. *Econ Geol* 55: 217-254; 574-606.
- Turneaure. F.S., 1971. The Bolivian Tin – Silver Province. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*. Vol. 66 N° 2, p. 215-225.
- Turner, JCM, 1979. Descripción geológica de la Hoja 2b. La Quiaca, Provincia de Jujuy. Servicio Geológico Nacional, Boletín N° 103, pp. 54-66, Buenos Aires.
- Turner, J. C. M., y Méndez, V., 1979. Puna. En Turner J.C.M Ed., *Geología Regional Argentina, Volumen I: Buenos Aires*, Academia Nacional de Ciencias, Córdoba y Editorial Libart, p. 13-56.
- Turner, J. C. M., y Mon, R., 1979. Cordillera Oriental. In Turner J.C.M Ed., *Geología Regional Argentina, Volumen I: Buenos Aires*, Academia Nacional de Ciencias, Córdoba y Editorial Libart, p. 57-94.
- USGS- GEOBOL. U.S. Geological Survey and Servicio Geológico de Bolivia, 1992. *Geology and Mineral Resources of the Altiplano and Cordillera Occidental, Bolivia*. U.S. Geological Survey Bulletin 1975.
- Vedia J, y Cortez G., 1966. Informe de orientación técnica a la Mina Pueblo Viejo. Servicio Geológico de Bolivia. (Inédito). 14 p.

- Viramonte J.G. y Coira B., 1999. Evolución del magmatismo cenozoico superior en los Andes Centrales entre los 22° y 28° S. En Relatorio del Congreso geológico de Salta, Argentina, p. 365-371.
- Wieler, A., 1971. Informe geológico del grupo minero Esmoraca. Corporación Minera de Bolivia. (inédito). 25 p.
- Uribe-Zeballos, H., 1994. Proyecto Cerro Galán. Austpac, Bolivia. Informe interno.
- Zappettini, E.O. (Ed.), 1999 a. Recursos Minerales de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35, Buenos Aires.
- Zappettini E. O., 1999 b. Evolución geotectónica y metalogénesis de Argentina. En Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 51 – 73, Buenos Aires.
- Zappettini E. O., 1999 c. Depósitos de tierras raras y torio de la Puna y Cordillera Oriental, Jujuy y Salta. En Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 979 – 985, Buenos Aires.
- Zappettini E. O., 1999 d. Yacimientos de wolframio de la Sierra de Tusaquillas, Jujuy. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 973 – 975, Buenos Aires.
- Zappettini E.O., 1999 e. Mineralizaciones polimetálicas de los Distritos El Queva, La Poma-Incachule y Concordia, Salta. En Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E.O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1603-1611.
- Zappettini E.O., 2005. Evolución geotectónica y metalogénica de América del Sur durante el Fanerozoico. En: Llambias E., de Barrio R., Gonzales P. y Leal P. (eds.). Actas del XVI Congreso Geológico Argentino CD-ROM. *Artículo N° 820*. 8 pp.
- Zappettini, E. O. y Segal S., 1999 a. Los depósitos auríferos vetiformes de la Sierra de Rinconada, Jujuy. En Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E.O. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 507-514, Buenos Aires.
- Zappettini, E. O. y Segal S., 1999 b. Depósitos aluvionales de la Puna, Jujuy. En Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E.O. Zappettini), Inst. de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1841-1844, Buenos Aires.
- Zappettini, E., Miranda-Angles, V.; Rodríguez, C., Palacios, O., Cocking, R., Godeas, M., Uribe-Zeballos, H.; Vivallo, W., Paz, M., Seggiaro, R., Heuschmidt, B., Gardeweg, M., Boulanger, E., Korzeniewski, L., Mpodozis, C., Carpio, M., Rubiolo, D., 2001. Mapa Metalogénico de la Región Fronteriza entre Argentina, Bolivia, Chile y Perú (14°S-28°S). Servicio Nacional de Geología y Minería. Publicación Geológica Multinacional N° 2, 222 páginas y 1 mapa escala 1:1.000.000. Santiago, Chile.

ANEXOS

ANEXO 1

ANÁLISIS QUÍMICOS DE ROCAS

Anexo 1. Análisis químico de roca total de muestras del Complejo Volcánico Galán											
n=21	GB-185	GB-207	GB-202	GB-171	GB-19	GB-148	GB-111	L-32	W-70	W-37	GB-18
Coord. Norte	7602376	7602792	7603245	7602848	7601244	7604056	7602471	7603949	7602615	7601505	7601192
Coord. Este	773187	772355	771901	775966	777950	776552	774737	774860	778447	776750	777417
Descripción	Pómez	Pómez	Ignimbrita	Ignimbrita	ignimbrita	Lava	Lava	Lava	Lava	Lava	Domo volc.
Ubicación	S Lag. Quilla aoj	N lag Quilla oj	N lag. Quilla oj	SO C. Lipina	Este C. Galán	Co. Khata Jara	Abra Chajnantor	Co. Negrito	E C. Galán	E C. Galán	S Galán
SiO ₂	65.37	60.03	67.70	55.09	67.96	66.04	67.43	66.37	58.16	63.76	67.12
TiO ₂	0.62	0.61	0.45	0.51	0.47	0.63	0.64	0.62	0.87	0.67	0.54
Al ₂ O ₃	15.07	15.63	14.31	16.73	14.42	15.42	15.44	15.17	15.44	14.93	14.97
FeO	2.12	1.88	1.75	2.00	1.51	1.77	0.83	1.60	3.09	3.23	3.31
Fe ₂ O ₃	1.38	1.48	1.31	2.14	1.09	1.98	2.08	2.09	2.43	0.56	0.31
MnO	0.04	0.03	0.06	0.09	0.21	0.04	0.02	0.04	0.13	0.06	0.03
MgO	1.54	1.46	1.37	2.27	1.08	1.53	0.65	1.28	2.62	1.92	1.33
CaO	3.40	4.08	2.83	5.71	2.24	2.90	2.45	2.77	5.82	2.77	2.47
Na ₂ O	2.58	2.11	1.97	1.34	2.20	2.81	2.44	2.74	1.87	2.03	2.96
K ₂ O	3.40	2.12	4.25	3.76	4.28	4.15	4.36	4.11	3.94	4.26	4.55
P ₂ O ₅	0.22	0.21	0.19	0.31	0.18	0.21	0.19	0.20	0.26	0.22	0.20
L.O.I.	4.36	9.93	3.50	9.69	3.80	2.46	3.31	2.40	4.93	4.97	1.75
Tot	100.11	99.56	99.69	99.63	99.45	99.95	99.84	99.40	99.57	99.37	99.53
Sc	11	9	12	10	13	13	15	11	13	14	15
V	87	76	60	97	55	81	128	82	156	89	65
Cr	58	47	104	77	122	102	78	67	102	72	105
Co	5	8	8	12	4	8	6	6	12	6	6
Ni	6	7	10	13	20	10	3	5	8	6	3
Cu	11	10	19	0	4	11	7	13	4	10	24
Zn	148	93	142	542	178	68	227	78	361	403	119
Ga	9	5	10	0	15	13	0	17	4	12	8
Rb	222	160	177	297	211	210	228	210	168	222	239
Sr	437	605	783	181	310	367	323	366	378	276	341
Y	18	16	20	20	16	19	17	17	25	17	17
Zr	156	155	140	168	133	155	175	169	154	154	159
Nb	14	14	13	8	12	14	12	12	16	15	13
Ba	726	747	1088	315	732	809	821	810	773	921	716
La	59	59	51	58	56	70	73	71	30	54	64
Ce	86	85	118	106	73	95	100	124	79	96	98
Nd	37	34	23	36	26	32	53	34	36	35	26
Pb	18	0.18	2	58	33	28	29	17	43	35	41
Th	20	20	21	11	17	16	23	21	15	17	20
U	8	5	6	11	7	7	8	7	6	8	8

Anexo 1. Análisis químico de roca total de muestras del Complejo Volcánico Galán (continuación)										
n=21	GB-226	L-26	W-149	GB-113	GB-114	SB-1	W-36	W-50	W-69	GB-220
Coord. Norte	7600116	7605124	7602994	7602416	7602370	7600794	7601277	7605225	7602513	7601148
Coord. Este	774889	774147	780766	774336	774776	781392	776091	780253	778215	774034
Descripción	Domo vo	Domo volc.	Domo volc.	Domo volc.	XenoGB113	stock subvo.	Dique	Dique	Dique	Dique
Ubicación	E Río Okheloma	C. Layri Orkho	Río Khasayoj	C. Chajnantor	C. Chajnantor	Mina Pueblo Viejo	Río Lipina	O Agua Termal	E C. Galán	Río Okheloma
SiO ₂	62.84	62.18	65.60	68.08	60.93	62.86	66.18	67.16	55.50	65.83
TiO ₂	0.74	0.59	0.52	0.54	1.02	0.70	0.53	0.46	1.14	0.57
Al ₂ O ₃	15.36	14.15	14.64	13.14	15.41	15.11	14.29	14.79	15.41	16.33
FeO	2.98	1.40	2.78	1.36	4.42	4.19	2.68	2.53	4.26	2.61
Fe ₂ O ₃	1.05	2.19	0.97	1.95	1.60	2.38	0.32	0.42	2.62	0.32
MnO	0.08	0.07	0.14	0.05	0.07	0.10	0.05	0.03	0.12	0.03
MgO	1.60	1.90	1.37	1.69	4.42	1.71	1.59	1.49	5.82	1.52
CaO	4.32	4.31	2.07	3.04	4.57	0.33	2.49	2.73	6.87	1.91
Na ₂ O	2.14	2.06	1.92	1.77	1.30	0.15	2.33	2.76	2.11	2.11
K ₂ O	3.86	3.90	4.69	3.75	3.26	9.15	4.69	3.73	2.76	6.90
P ₂ O ₅	0.25	0.21	0.19	0.17	0.28	0.24	0.25	0.18	0.29	0.24
L.O.I.	4.59	6.56	4.81	4.21	2.29	2.52	4.21	3.31	2.98	1.56
Tot	99.81	99.49	99.71	99.74	99.57	99.44	99.61	99.59	99.86	99.92
Sc	11	9	17	15	16	19	14	14	15	16
V	99	75	67	76	160	83	67	65	186	71
Cr	70	73	73	109	314	96	109	119	293	48
Co	9	8	10	10	19	4	12	4	27	7
Ni	15	13	9	8	48	12	18	8	102	5
Cu	14	13	35	5	11	5	11	10	35	15
Zn	343	60	371	228	132	148	75	66	95	811
Ga	17	9	16	0	3	10	11	10	11	7
Rb	188	205	244	163	185	351	238	140	103	280
Sr	312	289	169	293	397	98	305	525	501	277
Y	20	16	21	22	20	16	18	23	24	21
Zr	166	148	153	136	153	169	138	134	160	148
Nb	15	13	14	12	20	14	14	16	22	15
Ba	819	687	1255	742	864	1741	1350	1042	823	831
La	69	57	70	42	43	54	53	68	68	45
Ce	96	101	88	71	54	43	87	107	95	97
Nd	30	22	17	33	17	0	21	20	28	46
Pb	52	39	35	30	26	43	12	4	24	109
Th	18	20	16	19	16	16	20	22	13	19
U	6	7	9	5	6	12	8	5	3	10

Anexo 1. Resultados completos de análisis químico de roca total del Complejo Volcánico Galán. Los valores (de óxidos mayores, trazas y tierras raras) fueron obtenidos por la técnica analítica de fluorescencia de rayos X (XRF) de la Universidad de Trieste.

ANEXO 2

ANÁLISIS QUÍMICOS DE METALES

Anexo 2. Análisis químicos de metales del Complejo Volcánico Galán (1 de 2)

INNAenh																															
Au+48inna-icp																															
N°	Descripción	Muestra	UTM N	UTM E	Elem	AU	AG	CU	PB	ZN	SB	AS	MN	MO	BA	BR	CA	CO	CR	CS	FE	HF	HG	IR	NA	NI	RB	SC	SE	SN	SR
		Units				PPB	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPB	%	PPM	PPM	PPM	PPM	%	%
								1.00	5.00	1.00			1.00																		
		Detection Limit				2	5	ICP	ICP	ICP	0.1	0.5	ICP	1	50	0.5	1	1	5	1	0.01	1	1	5	0.01	20	15	0.1	3	0.01	0.05
		met. Analítico				INNA					INNA	INNA			INNA	INNA		INNA	INNA	INNA	INNA	INNA	INNA	INNA		INNA	INNA	INNA	INNA		
1	AltCoSanPedro	GB-2	7601580	781990		4	-5				9.1	35.4		3	660	1.7	-1	7	61	16	2.02	4	-1	-5	1.66	-20	175	6.6	-3	-0.01	-0.05
2	AltconvetillasFeCoSanPedro	GB-6	7601600	781740		5	-5				10.5	12.7		-1	450	-0.5	-1	5	74	24	9.29	4	-1	-5	0.05	-20	292	8.2	-3	-0.01	-0.05
3	VetaCoSanPedro	GB-8	7601770	781120		1450	26				33.8	31.2		3	80	-0.5	-1	10	59	37	4.68	4	-1	-5	0.03	-20	243	7.9	-3	-0.01	-0.05
4	VetaCoSanPedro	GB-11	7601800	780550		315	328				188	32900		1	-50	-0.5	-1	5	121	10	6.54	-1	-1	-5	0.03	-38	127	4	-3	-0.04	-0.05
5	VetaCoSanPedro	GB-14	7602050	780250		4	-5				17.3	14.1		4	850	-0.5	-1	4	93	48	2.37	5	-1	-5	0.11	-20	464	10.3	-3	-0.01	-0.05
6	AltSiArabraCoGalán	GB-17	7601140	777270		-2	-5				2.8	39.4		-1	160	-0.5	-1	2	82	11	1.14	5	-1	-5	3.1	-25	204	7.3	-3	-0.01	-0.05
7	VetaCoSanPedro	GB-21	7602290	779530		804	50				81.6	157		4	80	-0.5	-1	5	60	31	20.5	3	-1	-5	0.02	-24	62	5.3	-3	-0.01	-0.05
8	AltCoSanPedro	GB-22	7602310	779420		50	26				123	34.2		-1	230	-0.5	-1	8	131	10	8.62	2	-1	-5	0.1	-20	138	5.2	-3	-0.01	-0.05
9	AltLomaGalán	GB-28	7602310	779420		-2	-5				20.3	11.7		-1	710	-0.5	2	5	65	22	2.31	5	-1	-5	0.89	-20	308	7.3	-3	-0.01	-0.05
10	VetaCoAndacaba	GB-35	7601200	780240		19	-5				16.6	115		3	93	0.8	-1	-1	89	15	5.46	4	-1	-5	0.06	-20	264	6.5	-3	-0.01	-0.05
11	AltCoAndacaba	GB-41	7600490	779250		307	148				26.4	17.4		19	210	1.5	-1	3	174	11	6.81	3	-1	-5	0.02	-20	224	7.2	-3	-0.01	-0.05
12	Alt	GB-43	7600750	777680		6	5				4.1	306		-1	710	-0.5	-1	2	124	8	1.59	4	-1	-5	1.02	-20	246	5.7	-3	-0.01	-0.05
13	AltCoAzulejos	GB-52	7600910	778600		2	-5				8.4	179		-1	810	-0.5	-1	2	103	9	3.84	5	-1	-5	0.12	-20	321	8.9	-3	-0.01	-0.05
14	AltconFeCoKhoyayoj	GB-107	7598640	780820		2	-5				7	7.9		-1	630	-0.5	-1	2	140	22	1.09	4	-1	-5	0.44	-20	225	8.5	-3	-0.01	-0.05
15		GB-109	7601805	781265		3	-5				29.5	31.6		-1	820	1	-1	2	45	36	1.14	5	-1	-5	0.06	-20	426	6.2	-3	-0.01	-0.05
N°		Muestra	UTM N	UTM E	Elem	AU	AG	CU	PB	ZN	SB	AS	MN	MO	BA	BR	CA	CO	CR	CS	FE	HF	HG	IR	NA	NI	RB	SC	SE	SN	SR
		Units				PPB	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPB	%	PPM	PPM	PPM	PPM	%	%
			INNAenh					1.00	5.00	1.00			1.00																		
		Detection Limit	Au+48inna-icp			2	0.3	ICP	ICP	ICP	0.1	0.5	ICP	1	50	0.5	0.01	1	2	1	0.01	1	1	5	0.01	1	15	0.1	3	0.01	0.05
		met. Analítico				INNA					INNA	INNA			INNA	INNA		INNA	INNA	INNA	INNA	INNA	INNA	INNA	INNA		INNA	INNA	INNA	INNA	
16	VetaFarellones	GB-3	7601540	781750		3	5728	5728.	1098.	385.	19	1098	1637.	0.21	385	14.4	6	1637	14	0.7	46	52	0.09	0.086	0.12	5.89	2.65	5	0.06		
17	AltFarellones	GB-4	7601541	781751		3	6230	6230.	1794.	338.	36	1794	137.	0.04	338	42.4	2	137	6	-0.5	192	29	0.02	0.039	0.04	2.78	0.76	3	0.06		
18	VetayaltCoSanPedro	GB-7	7601680	781475		-2	64	64.	277.	125.	10	277	353.	0.36	125	0.9	3	353	38	-0.5	-5	76	0.16	0.08	0.29	8.4	7.22	3	-0.01		
19	AltdomocelsteCoSanPedro	GB-9	7601800	781260		-2	8	8.	88.	146.	8	88	182.	0.27	146	-0.4	2	182	33	-0.5	-5	81	0.19	0.068	0.28	8.43	8.16	3	-0.01		
20	AltRíoMilloyoj	GB-16	7601075	777385		2	4	4.	13.	15.	8	13	195.	0.97	15	-0.4	4	195	361	-0.5	-5	73	1.28	0.052	0.34	8.67	4.41	3	0.11		
21	AltLomaGalán	GB-26	7602140	779100		2	7	7.	-5.	12.	2	-5	51.	0.55	12	1.9	3	51	25	-0.5	-5	106	0.04	0.003	0.42	8.38	4.08	-2	-0.01		
22	VetaLomaGalán	GB-29	7601940	778810		4	347	347.	5863.	220.	8	5863	241.	0.32	220	26.8	3	241	73	0.5	-5	113	0.04	0.088	0.38	8.59	6.31	2	0.16		
23	VetaCoAndacaba	GB-34	7601200	780240		4	10	10.	21.	14.	8	21	115.	1.01	14	-0.4	3	115	70	-0.5	-5	72	0.16	0.023	0.22	5.46	0.34	5	0.07		
24	AltCoAndacaba	GB-39	7600960	779325		2	204	204.	886.	153.	8	886	177.	0.23	153	2.5	2	177	67	-0.5	11	100	0.04	0.076	0.27	7.72	5.2	3	0.06		
25	AltECoAzulejos	GB-44	7600775	777890		2	2	2.	155.	46.	6	155	211.	0.5	46	1	2	211	167	-0.5	51	60	0.12	0.033	0.3	8.09	4.33	3	0.11		
26	AltECoAzulejos	GB-47	7600690	778145		3	4	4.	170.	49.	17	170	266.	0.25	49	0.9	3	266	37	0.5	-5	128	0.02	0.04	0.31	8.74	6.34	3	0.11		
27	AltECoAzulejos	GB-48	7600691	778144		6	39	39.	670.	23.	6	670	83.	0.02	23	1	4	83	5	-0.5	6	12	0.01	0.034	0.31	0.66	0.54	-2	0.38		
28	AltCoSanPedro	GB-58	7600430	778650		5	66	66.	146.	134.	10	146	559.	0.56	134	1.1	2	559	87	-0.5	91	77	0.06	0.091	0.31	7.59	6.07	3	0.17		
29	VetaCoSanPedro	GB-60	7601560	779630		19	10435	10435.	1306.	158.	10	1306	306.	0.54	158	32.2	14	306	17	2	1970	71	0.13	0.065	0.14	5.88	3.18	2	9.56		
30	AltSCoKhoyayoj	GB-102	7598450	781620		2	10	10.	249.	468.	20	249	3709.	0.3	468	1	13	3709	159	0.6	-5	77	0.35	0.092	0.25	8.02	5.74	3	-0.01		
31	AltSCoKhoyayoj	GB-103	7598150	781250		2	10	10.	837.	317.	19	837	2369.	0.26	317	3	9	2369	128	1.3	-5	72	0.31	0.087	0.26	7.74	6.01	4	-0.01		
32	VetaSCoKhoyayoj	GB-105	7598100	780820		2	9	9.	172.	351.	18	172	3389.	0.23	351	0.7	8	3389	155	0.7	-5	74	0.37	0.088	0.27	7.75	6.13	3	-0.01		
33	AltSCoKhoyayoj	GB-106	7598575	780280		2	8	8.	120.	304.	19	120	830.																		

Anexo 2. Análisis químicos de metales del Complejo Volcánico Galán (2 de 2 continuación)

INNAenh																																				
Au+48inna-icp																																				
Nº	Descripción	Muestra	UTM N	UTM E	Elem	TA	TH	U	W	ZN	LA	CE	ND	SM	EU	TB	YB	LU	Mass	MO	AG	NI	SR	CD	BI	V	CA	P	MG	TI	AL	K	Y	BE	S	
		Units				PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	g	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	%	%	%	%	%	PPM	PPM	%	
		Detection Limit				0.5	0.2	0.5	1	50	0.5	3	5	0.1	0.2	0.5	0.2	0.05	0	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	
		met. Analítico				INNA	INNA	INNA	INNA		INNA	INNA	INNA	INNA	INNA	INNA	INNA	INNA																		
1	AltCoSanPedro	GB-2	7601580	781990		1.3	13.8	3.2	5	760	30.9	54	18	4.2	0.9	-0.5	1.3	0.23	30.95																	
2	AltconvetillasFeCoSanPedro	GB-6	7601600	781740		1.1	15.6	5.8	12	311	45.4	71	25	5.9	1.3	-0.5	1.8	0.24	26.32																	
3	VetaCoSanPedro	GB-8	7601770	781120		0.7	13.3	4.8	17	242	41.5	69	32	5.4	1.7	-0.5	1.6	0.23	26.13																	
4	VetaCoSanPedro	GB-11	7601800	780550		-0.5	6	1.3	22	67	36.6	48	25	3.8	3.5	-0.5	-0.7	-0.13	28.36																	
5	VetaCoSanPedro	GB-14	7602050	780250		1.5	17.7	5.3	8	161	50.4	84	28	6.7	1.3	-0.5	1.3	0.19	25.37																	
6	AltSiArabraCoGalán	GB-17	7601140	777270		1.4	16.3	4.7	8	-50	47.9	77	26	4.9	0.8	-0.5	0.8	0.13	21.7																	
7	VetaCoSanPedro	GB-21	7602290	779530		0.9	8.3	6	6	2300	82	120	53	10.3	4.1	1	2	0.27	31.48																	
8	AltCoSanPedro	GB-22	7602310	779420		0.6	8.1	4.3	11	532	38.1	67	28	5.3	2	0.6	1.2	0.16	27.5																	
9	AltLomaGalán	GB-28	7602310	779420		0.9	17.2	5.1	6	136	48.9	80	31	6.8	1.3	-0.5	1.1	0.16	23.74																	
10	VetaCoAndacaba	GB-35	7601200	780240		0.9	10.6	3.3	23	-50	15.3	21	8	1.8	0.4	-0.5	0.8	0.13	27.16																	
11	AltCoAndacaba	GB-41	7600490	779250		0.7	12.2	6.1	18	148	23.8	47	20	3.7	1	0.7	2.3	0.36	24.65																	
12	Alt	GB-43	7600750	777680		-0.5	12.4	4.9	11	150	38.6	66	29	6.3	1.3	0.5	1.3	0.17	24.65																	
13	AltCoAzulejos	GB-52	7600910	778600		1	11.5	3.8	13	84	41.6	69	25	5	0.8	-0.5	1.3	0.18	24.05																	
14	AltconFeCoKhoyayoj	GB-107	7598640	780820		1.3	16.3	4.3	18	160	45.8	72	26	5.8	1.1	0.5	1.5	0.23	30.26																	
15		GB-109	7601805	781265		0.8	16.4	5.3	5	111	42.5	66	25	5.3	1.1	0.6	0.8	0.14	28.69																	
Nº		Muestra	UTM N	UTM E	Elem	TA	TH	U	W	ZN	LA	CE	ND	SM	EU	TB	YB	LU	Mass	MO	AG	NI	SR	CD	BI	V	CA	P	MG	TI	AL	K	Y	BE	S	
		Units				PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	g	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	%	%	%	%	%	PPM	PPM	%	
			INNAenh																	2.00	0.40	1.00	1.00	0.50	5.00	2.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.00	2.00	0.01
		Detection Limit	Au+48inna-icp			0.5	0.2	0.5	1	50	0.5	3	5	0.1	0.2	0.5	0.2	0.05	0	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	
		met. Analítico				INNA	INNA	INNA	INNA		INNA	INNA	INNA	INNA	INNA	INNA	INNA	INNA																		
16	VetaFarellones	GB-3	7601540	781750																3.	14.4	6.	14.	0.7	46.	52.	0.09	0.086	0.21	0.12	5.89	2.65	19.	5.	0.06	
17	AltFarellones	GB-4	7601541	781751																3.	42.4	2.	6.	-0.5	192.	29.	0.02	0.039	0.04	0.04	2.78	0.76	36.	3.	0.06	
18	VetayaltCoSanPedro	GB-7	7601680	781475																-2.	0.9	3.	38.	-0.5	-5.	76.	0.16	0.080	0.36	0.29	8.40	7.22	10.	3.	-0.01	
19	AltdomocesteCoSanPedro	GB-9	7601800	781260																-2.	-0.4	2.	33.	-0.5	-5.	81.	0.19	0.068	0.27	0.28	8.43	8.16	8.	3.	-0.01	
20	AltRioMilloyoj	GB-16	7601075	777385																2.	-0.4	4.	361.	-0.5	-5.	73.	1.28	0.052	0.97	0.34	8.67	4.41	8.	3.	0.11	
21	AltLomaGalán	GB-26	7602140	779100																2.	1.9	3.	25.	-0.5	-5.	106.	0.04	0.003	0.55	0.42	8.38	4.08	2.	-2.	-0.01	
22	VetaLomaGalán	GB-29	7601940	778810																4.	26.8	3.	73.	0.5	-5.	113.	0.04	0.088	0.32	0.38	8.59	6.31	8.	2.	0.16	
23	VetaCoAndacaba	GB-34	7601200	780240																4.	-0.4	3.	70.	-0.5	-5.	72.	0.16	0.023	1.01	0.22	5.46	0.34	8.	5.	0.07	
24	AltCoAndacaba	GB-39	7600960	779325																2.	2.5	2.	67.	-0.5	11.	100.	0.04	0.076	0.23	0.27	7.72	5.20	8.	3.	0.06	
25	AltECoAzulejos	GB-44	7600775	777890																2.	1.0	2.	167.	-0.5	51.	60.	0.12	0.033	0.50	0.30	8.09	4.33	6.	3.	0.11	
26	AltECoAzulejos	GB-47	7600690	778145																3.	0.9	3.	37.	0.5	-5.	128.	0.02	0.040	0.25	0.31	8.74	6.34	17.	3.	0.11	
27	AltECoAzulejos	GB-48	7600691	778144																6.	1.0	4.	5.	-0.5	6.	12.	0.01	0.034	0.02	0.31	0.66	0.54	6.	-2.	0.38	
28	AltCoSanPedro	GB-58	7600430	778650																5.	1.1	2.	87.	-0.5	91.	77.	0.06	0.091	0.56	0.31	7.59	6.07	10.	3.	0.17	
29	VetaCoSanPedro	GB-60	7601560	779630																19.	32.2	14.	17.	2.0	1970.	71.	0.13	0.065	0.54	0.14	5.88	3.18	10.	2.	9.56	
30	AltSCoKhoyayoj	GB-102	7598450	781620																2.	1.0	13.	159.	0.6	-5.	77.	0.35	0.092	0.30	0.25	8.02	5.74	20.	3.	-0.01	
31	AltSCoKhoyayoj	GB-103	7598150	781250																2.	3.0	9.	128.	1.3	-5.	72.	0.31	0.087	0.26	0.26	7.74	6.01	19.	4.	-0.01	
32	VetaSCoKhoyayoj	GB-105	7598100	780820																2.	0.7	8.	155.	0.7	-5.	74.	0.37	0.088	0.23	0.27	7.75	6.13	18.	3.	-0.01	
33	AltSCoKhoyayoj	GB-106	7598575	780280																2.	0.7	6.	110.	-0.5	-5.	84.	0.36	0.089	0.28	0.32	8.21	5.14	19.	3.	-0.01	
34	VetaSCoKhoyayoj	GB-108	7598360	780975																-2.	5.8	53														

Anexo 2. Análisis químicos de metales del Complejo Volcánico Galán (1 de 2)																																				
						AU	AG	CU	PB	ZN	SB	AS	MN	MO	BA	BR	CA	CO	CR	CS	FE	HF	HG	IR	NA	NI	RB	SC	SE	SN	SR	TA	TH	U		
						PPB	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPB	%	PPM	PPM	PPM	PPM	%	%	PPM	PPM	PPM		
	SAMPLES	Detection Limit		2	2	0,3	1	3		3	2	2	1	1		0,01	1	1		0,01		1		0,01	1					1		2	8			
		met. Analítico	UTM N	UTM E	ICP	AbsAtom	ICP	ICP	ICP		ICP	ICP	ICP	ICP	ICP		ICP	ICP	ICP		ICP	ICP	ICP		ICP	ICP					ICP		ICP	ICP		
1	altC.Vicuña muerta	GB-117	7602135	774334	< 2		0,3	20	635	< 3	56	667	1	154		1,25	8	46		2,28		< 1		0,07	8						39		9	< 8		
2	veta Vicuña	GB-120	7602109	774125	< 2		< .3	7	67	< 3	98	3112	5	333		0,26	8	137		3,78		< 1		0,01	8						71		4	< 8		
3	RxcajavetVicuña	GB-122	7602130	774073	< 2		< .3	7	36	<3	9	320	1	153		0,54	7	42		2,54		< 1		0,1	9						62		12	< 8		
4	veta Vicuña muerta,con roxcaja argil	GB-123	7602093	774057	< 2		0,6	6	10	< 3	14	181	2	711		0,14	4	109		0,6		< 1		< .01	5						69		2	< 8		
5	brechaconCuYurajLoma	GB-132	7603024	774183	< 2	11	2	4073	53	< 3	5	170	< 1	306		0,43	4	29		1,37		< 1		0,14	5						63		8	< 8		
6	brechaconCu	GB-133	7602935	774255	< 2		< .3	10	33	< 3	8	151	< 1	450		0,82	4	26		1,39		< 1		0,39	5						126		11	< 8		
7	veta y zona dealt	GB-136	7603555	773696	< 2		< .3	7	33		7	4	134	< 1	293		0,43	4	20		1,31		< 1		0,06	4						108		11	< 8	
8	rxcajaconCu	GB-137	7603544	773821	< 2		< .3	6	251	< 3	9	719	1	315		1,81	4	31		1,56		1		0,21	5						124		7	< 8		
9	AltC. Khatajara	GB-151	7604407	776481	< 2		0,6	3	757	<3	< 2	898	1	312		1,79	5	24		2,02		< 1		0,02	6						20		4	< 8		
10	Alt.RioLipina	GB-155	7604432	774932	< 2	30	0,7	20	63		3	3	30	< 1	105		0,46	2	48		1,45		<1		0,02	10						21		11	< 8	
11	Veta deQz-hm-oxd	GB-174	7602840	776287	< 2		32,9	259	13253		49	319	59626	10	15		0,04	3	53		9		1		0,01	3						61		25	< 8	
12	VetaMinaLipina	GB-175	7602727	776690	3	233	7,5	693	25893		23	127	59438	4	147		0,09	13	40		6,13		1		0,01	2						18	< 2	< 8		
13	Veta MinaLipinaalt	GB-176	7602739	776589	< 2	68	6,9	519	9991		41	335	445	5	12		0,09	< 1	16		4,08		< 1		< .01	1						3		7	< 8	
14	AltSalbanda de vetaMinaLipina	GB-177	7602363	776963	< 2	57	1,1	236	3445		6	92	4195	2	30		0,22	< 1	27		9,79		< 1		0,01	6						12		8	< 8	
15	RxcajavetaMinaLipina	GB-178	7602664	776677	< 2		< .3	16	136	<3	4	907	1	23		0,27	7	58		2,56		< 1		0,01	10							9		9	< 8	
16	VetaM.Lipinasup,con Qzyoxdenvetillas	GB-179	7602777	776425	< 2	430	71,3	666	25403		66	65	73	2	6		0,1	< 1	34		2,09		< 1		< .01	1						3		3	< 8	
17	VetarodadRxcajaviloea	GB-181	7602897	776380	< 2		1,8	84	3093		15	28	9390	1	56		0,23	2	29		3,88		< 1		0,01	4						22		14	< 8	
18	Alt	GB-189	7601787	773047	< 2		3,3	21	310	< 3	21	473	1	994		0,34	10	67		2,51		1		0,07	11							57		7	< 8	
19	veta sílice gris plomizo	GB-191	7601622	773032	< 2		< .3	6	107		10	11	180	2	212		0,14	4	85		1,23		1		0,03	7							11		3	< 8
20	alten eldomo	GB-192	7601555	773197	< 2		2,2	17	58		3	29	985	1	417		1,46	5	34		2,72		1		0,04	6							32		4	< 8
21	alten igvenillas de Qz y baritina	GB-194	7601420	773145	< 2		0,4	3	460		8	26	3510	1	222		17,22	5	34		2,25		< 1		0,01	7							159		2	< 8
22	Altverdeamarillento	GB-195	7601382	773077	< 2		0,3	12	443		7	31	969	1	297		3,39	8	57		2,77		1		0,02	11							23		6	< 8
23	altenbrecha	GB-197	7601307	772890	< 2		< .3	6	55	<3	< 2	337	1	275		1,62	7	54		2,5		1		0,04	9								26		8	< 8
24	altamarillenta en el subv?	GB-198	7601227	772853	< 2		0,8	11	72		3	5	4804	1	326		1,53	6	54		2,9		1		0,05	9							42		9	< 8
25	VetaQz-baritina-oxd	GB-214	7602376	773924	< 2		< .3	5	47		3	5	488	< 1	44		34,48	1	7		0,36		< 1		0,01	2							2908	< 2	< 8	
26	altconminCu,sílice,oxd	GB-222	7601941	773969	< 2		0,7	15	172	< 3	6	1831	1	2506		3,19	11	51		2,7		< 1		0,05	10								100		5	< 8
27	alt con oxd.	GB-223	7601874	774006	< 2		40,3	146	3108		11	40	54397	4	1546		0,45	12	24		10,23		2		0,01	10							162		30	< 8
28	altconoxdFe,SilicifLomaVicuña	GB-224	7601814	773984	< 2		< .3	5	131	< 3	4	3484	< 1	383		8,67	8	34		2,86		< 1		0,01	10								68		3	< 8
29	Altvetillas deQz,oxd,baritinaLomaVicuña	GB-229	7601200	774169	< 2		3,6	38	435		3																									

Anexo 2. Análisis químico de metales del Complejo Volcánico Galán (2 de 2)																																	
				W	ZN	LA	CE	ND	SM	EU	TB	YB	LU	Mass	MO	AG	NI	SR	CD	BI	V	CA	P	MG	TI	AL	K	Y	BE	S	TI	B	
				PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	g	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	%	%	%	%	%	PPM	PPM	%	PPM	PPM	
	SAMPLES	Detection Limit		2	1	1													0,2	2	1		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01				5	3	
		met. Analítico	UTM N	UTM E	ICP	ICP	ICP												ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP	ICP				ICP	ICP		
1	altC.Vicuña muerta	GB-117	7602135	774334	<2	950	25												4	< 3	38		0,059	0,45	0,02	1,92	0,3				< 5	25	
2	veta Vicuña	GB-120	7602109	774125	7	339	8												6,1	< 3	19		0,059	0,1	< .01	0,33	0,04				<5	10	
3	RxcajavetVicuña	GB-122	7602130	774073	< 2	341	29												1,7	< 3	55		0,061	0,66	0,04	1,82	0,25				<5	17	
4	veta Vicuña muerta,con roxcaja argil	GB-123	7602093	774057	7	19	4												0,2	<3	6		0,033	0,04	< .01	0,22	0,03				< 5	10	
5	brechaconCuYurajLoma	GB-132	7603024	774183	< 2	94	16												0,4	< 3	56		0,038	0,63	0,16	1,39	0,58				<5	12	
6	brechaconCu	GB-133	7602935	774255	< 2	49	33												0,2	< 3	56		0,074	0,71	0,19	1,66	0,85				<5	8	
7	veta y zona dealt	GB-136	7603555	773696	< 2	299	23												<0.2?	< 3	43		0,041	0,55	0,09	1,31	0,41				<5	19	
8	rxcajaconCu	GB-137	7603544	773821	<2	286	24												2,8	< 3	54		0,061	0,6	0,14	1,85	0,8				< 5	11	
9	AltC. Khatajara	GB-151	7604407	776481	< 2	630	23												2,4	< 3	38		0,064	0,46	0,08	1,29	0,51				<5	15	
10	Alt,RíoLipina	GB-155	7604432	774932	2	319	42												< .2	7	66		0,082	0,32	0,02	1,58	0,52				< 5	20	
11	Veta deQz-hm-oxd	GB-174	7602840	776287	< 2	3089	10												8,5	4	13		0,041	0,02	< .01	0,32	0,18				< 5	10	
12	VetaMinaLipina	GB-175	7602727	776690	< 2	1332	25												14,1	< 3	20		0,078	0,04	< .01	0,8	0,43				24	20	
13	Veta MinaLipinaalt	GB-176	7602739	776589	<2	280	32												<0.2	< 3	13		0,084	0,03	< .01	0,61	0,37				< 5	15	
14	AltSalbanda de vetaMinaLipina	GB-177	7602363	776963	< 2	1738	24												3,4	< 3	33		0,099	0,18	< .01	1,82	0,47				< 5	19	
15	RxcajavetaMinaLipina	GB-178	7602664	776677	< 2	426	38												0,4	< 3	43		0,085	0,49	< .01	1,64	0,52				<5	22	
16	VetaM.Lipinasup,con Qzyoxdenvetillas	GB-179	7602777	776425	<2	281	20												<0.2	31	10		0,048	0,03	< .01	0,49	0,32				< 5	17	
17	VetarodadRxcajaviolacea	GB-181	7602897	776380	2	427	27												1,3	< 3	24		0,072	0,08	0,01	0,68	0,43				< 5	14	
18	Alt	GB-189	7601787	773047	<2	361	30												0,6	7	50		0,081	0,74	0,11	1,83	0,8				< 5	22	
19	veta sílice gris plomizo	GB-191	7601622	773032	6	197	12												< .2	< 3	38		0,049	0,43	0,14	0,91	0,53				< 5	8	
20	alten eldomo	GB-192	7601555	773197	< 2	443	34												1,8	< 3	86		0,102	0,88	0,2	1,75	1,02				<5	25	
21	alten igvenillas de Qz y baritina	GB-194	7601420	773145	<2	2731	16												19,7	< 3	42		0,054	0,24	0,02	0,95	0,39				< 5	17	
22	Altverdeamarillento	GB-195	7601382	773077	<2	1317	34												10,8	< 3	75		0,088	0,56	0,11	1,97	0,7				< 5	29	
23	altenbrecha	GB-197	7601307	772890	< 2	283	28												0,8	< 3	85		0,088	0,74	0,13	1,89	0,71				<5	15	
24	altamarillenta en el subv?	GB-198	7601227	772853	< 2	234	28												0,9	< 3	74		0,087	0,68	0,15	1,81	0,81				<5	17	
25	VetaQz-baritina-oxd	GB-214	7602376	773924	< 2	29	2												0,6	< 3	5		0,011	0,15	0,02	0,15	0,06				< 5	4	
26	altconminCu,sílice,oxd	GB-222	7601941	773969	< 2	1182	33												1,5	< 3	49		0,059	1,17	0,06	2,11	0,38				< 5	12	
27	alt con oxd.	GB-223	7601874	774006	< 2	4293	35												14	23	35		0,054	0,16	0,02	0,57	0,35				< 5	14	
28	altconoxdFe,SilicifLomaVicuña	GB-224	7601814	773984	<2	705	18												3,9	< 3	35		0,052	0,35	0,05	0,77	0,45				< 5	18	
29	Altvetillas deQz,oxd,baritinaLomaVicuña	GB-229	7601200	774169	< 2	756	41												3	< 3	80		0,128	2,35	0,06	2	0,42				< 5	7	
30	Veta de Fe,QzLomaVicuña	GB-235	7600871	774357	< 2	2839	54												12,3	< 3	38		0,074	0,51	< .01	1,52	0,44				< 5	12	
31	altamrillentablanquecina	GB-238	7600547	774844	<2	550	47												2	< 3	38		0,076	0,29	0,02	1	0,48				< 5	17	
32	Altm.AzulejosconFepropiliysilificacion	GB-75	7599511	780940	3	273	21												0,3	20	30		0,079	0,05	< .01	0,94	0,48				<5	16	
33	VetaRamaditas(cañaditas)conoxdyQz	JM (R-1,)	7600591	780184	18	475	16												<0.2	3622	26		0,148	0,14	< .01	1,1	0,14				< 5	3	
34	vetaMinaSanMartín	M-1	7599780	775751	< 2	346	34												25,1	< 3	8		0,005	0,16	< .01	0,09	0,03				<5	3	
35	altMinaSanMartin	M-5	7599717	775650	5	1568	26												3	< 3	60		0,091	0,57	0,13	1,13	0,79				<5	21	
36	VetaM.CuatroAses,Py,Cpy,Fe,RxcajaConglo	W-3	7598984	774914	14	1208	16												3,5	38	14		0,028	0,08	0,01	0,63	0,09				< 5	14	
37	alt	W-5	7598859	774977	21	238	28												1	< 3	43		0,105	0,34	0,03	0,73	0,42				<5	48	
38	vetaQZ,Fe	W-7	7598884	774787	8	885	15																										