



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

**EXPLORACIÓN GEOQUÍMICA DEL PROYECTO LA FALDA, FRANJA DE
MARICUNGA, REGIÓN DE ATACAMA, CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

JOHN PIERO JARPA LOBOS

**PROFESOR GUÍA:
VÍCTOR MAKSAEV JURCHUC**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS
DAVID HOPPER**

**SANTIAGO DE CHILE
2014**

Resumen

El proyecto La Falda se ubica en la Provincia de Diego de Almagro, Región de Atacama, Chile. Su centro se ubica 135 km al sureste de El Salvador y 185 km al sureste de Diego de Almagro. Geológicamente se ubica dentro de la Franja de Maricunga, unidad metalogénica que alberga depósitos de pórfidos auríferos y epitermales de alta sulfuración.

El proyecto La Falda fue explorado por primera vez entre los años 1981 y 1987 por Exploraciones y Minerales Sierra Morena. Entre 1987 y 1988 Minera El Bronce exploró el *lithocap* del prospecto en búsqueda de un depósito epitermal de alta sulfuración de Au-Ag. Luego de esto, la exploración en el prospecto quedó en receso hasta el año 2007, cuando fue retomada por Catalina Resources plc. Entre el año 2009 y 2010, Catalina Resources plc y Minera IRL firmaron un acuerdo “joint venture” donde Minera IRL se hizo cargo de los trabajos en la propiedad. Finalmente, Minera Hochschild suscribió contratos de opción de compra a terceras partes y comenzó con los trabajos de exploración a partir del año 2012.

El objetivo del presente trabajo consiste en definir trazadores geológicos y geoquímicos para la búsqueda de nuevos blancos de exploración en el proyecto La Falda mediante la caracterización geoquímica y aplicación de metodologías de exploración geoquímica en el prospecto.

La metodología utilizada consistió en el levantamiento de la base de datos del muestreo superficial del proyecto, el procesamiento estadístico de la información levantada y la integración de los resultados con la geología del proyecto.

Las unidades aflorantes en La Falda corresponden a cuerpos intrusivos porfídicos andesíticos, brechas intrusivas y brechas volcánicas alteradas subyaciendo a lavas andesíticas y tobas no alteradas de edad Mioceno medio. Ignimbritas Mioceno Superior y Plioceno Inferior cubren a las unidades antes mencionadas y finalmente depósitos fluvio-aluviales cubren los fondos de quebradas.

La alteración hidrotermal predominante es argílica avanzada en el *lithocap* y argílica sobreimpuesta en los sectores de rocas intrusivas con stockworks de cuarzo bandeado. Hay control estructural de vetillas y *ledges* de cuarzo siguiendo las orientaciones de los lineamientos regionales NW, NE y EW.

Se realizaron análisis univariantes, multivariantes, análisis de poblaciones y análisis de distribución espacial. El análisis multivariable se realizó con la metodología del análisis de factores, encontrándose las asociaciones Ag-As-Bi-Pb-Zn y Au-Cu. El análisis de poblaciones permitió la definición de anomalías en el proyecto y el análisis espacial permitió la confección de mapas de zonación de la propiedad.

Los resultados de las zonaciones permitieron la definición de tres sectores caracterizados por las anomalías de determinados grupos geoquímicos. Estas son: *Zona de Intrusivos* (Au-Cu-Mo), *Zona de Transición* (Bi-Pb-Zn) y *Zona de Lithocap* (Ag-As-Sb).

Se explicó la zonación geoquímica mediante un modelo geológico descriptivo y se definieron trazadores geológicos y geoquímicos asociados con la mineralización de oro en el proyecto.

Tabla de Contenido

Índice de Figuras	v
Índice de Tablas.....	viii
1 Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.1.1 Objetivo general.....	2
1.1.2 Objetivos específicos.....	2
1.2 Ubicación y accesos.....	3
1.3 Clima y vegetación	4
1.4 Historia de la propiedad.....	5
1.5 Metodología.....	6
2 Capítulo 2: Geología Regional.....	8
2.1 Basamento.....	9
2.2 Volcanismo Cenozoico.....	11
2.3 Tectónica y estructuras	12
2.4 Alteración y mineralización.....	13
3 Capítulo 3: Geología Local	15
3.1 Rocas Estratificadas (Mmv).....	18
3.1.1 Brechas volcánicas andesíticas.....	18
3.1.2 Tobas lítico-cristalinas andesíticas-dacíticas.....	18
3.1.3 Lavas andesíticas.....	19
3.2 Rocas Intrusivas (Mmg).....	19
3.2.1 Pórfido feldespático andesítico.....	19
3.2.2 Pórfido feldespático “crowded”.....	19
3.2.3 Brecha intrusiva	20
3.2.4 Pórfido cuarzo - feldespático	20
3.3 Depósitos semi-consolidados y no consolidados.....	20
3.3.1 Depósitos de ignimbritas (Msij y Pliiv).....	20

3.3.2	Depósitos fluvio-aluviales (TQac).....	21
3.4	Estructuras	22
3.5	Alteración y mineralización.....	22
3.5.1	Silicificación/Vuggy silica/cuarzo-caolinita/cuarzo-alunita.....	25
3.5.2	Illita-esmectita.	25
3.5.3	Magnetita-clorita±pirita	25
3.5.4	Mineralización	25
4	Capítulo 4: Geoquímica	27
4.1	Procedimiento de terreno	27
4.2	Ubicación de las muestras.....	28
4.3	Procedimiento de laboratorio.....	32
4.3.1	Protocolo de preparación de las muestras.....	32
4.3.2	Procedimientos analíticos.	32
4.4	Control de calidad.....	33
4.4.1	Protocolo QA/QC de Minera Hochschild.....	34
4.4.1.1	Materiales de control y frecuencia de inserción.	34
4.4.1.2	Límites de tolerancia.....	36
4.4.2	Resultados del control de calidad.	31
4.4.3	Filtrado de variables según el límite de detección.....	49
4.5	Análisis univariable	54
4.5.1	Análisis exploratorio de datos.....	49
4.6	Análisis multivariable	57
4.6.1	Matriz de correlación de Pearson.....	57
4.6.2	Análisis de factores.....	59
4.6.2.1	Remoción de muestras <i>outliers multivariables</i> y estandarización.....	60
4.6.2.2	Extracción de factores y rotación Varimax.....	61
4.7	Análisis de poblaciones	65
4.7.1	Determinación del umbral distrital.	65
4.7.2	Determinación de las poblaciones.	69
4.8	Distribución espacial.....	73
4.8.1	Definición de sectores en la propiedad.....	73

4.8.1.1 Intrusivos.	73
4.8.1.2 Lithocap Este.	74
4.8.1.3 Lithocap Oeste.	74
4.8.2 Distribución espacial de elementos en muestras de suelo.	76
4.8.3 Distribución espacial de elementos en muestras de roca.	87
5 Capítulo 5: Discusiones.....	104
5.1 Aspectos de la metodología	104
5.2 Discusiones de los resultados geoquímicos	108
5.2.1 Análisis univariable.	108
5.2.2 Análisis multivariable.	110
5.2.3 Análisis de poblaciones y distribución espacial.	115
5.3 Aspectos de la geología local.....	117
5.3.1 Geología.....	117
5.3.2 Alteración y mineralización.....	118
5.4 Modelo geológico descriptivo	121
6 Capítulo 6: Conclusiones	124
7 Bibliografía.....	126
Anexos.....	128

Índice de Figuras

Figura 1.1	Ubicación y accesos al proyecto La Falda	3
Figura 2.1	Marco geológico regional de la Franja de Maricunga	9
Figura 3.1	Mapa geológico del proyecto La Falda 1:75.000.....	16
Figura 3.2	Mapa geológico del proyecto La Falda 1:20.000, centrado en la zona de interés	17
Figura 3.3	Mapa de alteración del proyecto La Falda 1:75.000.....	23
Figura 3.4	Mapa de alteración del proyecto La Falda 1:20.000, centrado en la zona de interés..	24
Figura 4.1	Ubicación de las muestras extraídas de la malla de sedimentos finos de talud. Se observan as dos mallas de suelo descritas, donde la n°2 densifica el muestreo dentro de la malla n°1 más amplia	30
Figura 4.2	Ubicación de las muestras extraídas de roca en el área central de la propiedad 1:25.000.....	31
Figura 4.3	Procedimiento de control de Ag en blancos gruesos para muestras de suelo	38
Figura 4.4	Procedimiento de control de Ag en blancos gruesos para muestras de roca	38
Figura 4.5	Procedimiento de control de Au en blancos gruesos para muestras de suelo	39
Figura 4.6	Procedimiento de control de Au en blancos gruesos para muestras de roca	39
Figura 4.7	Procedimiento de control de Ag en blancos finos para muestras de suelo	40
Figura 4.8	Procedimiento de control de Ag en blancos finos para muestras de roca.....	40
Figura 4.9	Procedimiento de control de Au en blancos finos para muestras de suelo	41
Figura 4.10	Procedimiento de control de Au en blancos finos para muestras de roca.....	41
Figura 4.11	Procedimiento de control de Au en blancos finos para muestras de roca.....	42
Figura 4.12	Procedimiento de control de Au en blancos finos para muestras de roca.....	43
Figura 4.13	Análisis de duplicado fino de Ag en muestras de suelo.....	44
Figura 4.14	Análisis de duplicado fino de Ag en muestras de roca	45
Figura 4.15	Análisis de duplicado fino de Au en muestras de suelo.....	45
Figura 4.16	Análisis de duplicado fino de Au en muestras de roca	46

Figura 4.17	Análisis de duplicado grueso de Ag en muestras de roca	46
Figura 4.18	Análisis de duplicado grueso de Au en muestras de roca	47
Figura 4.19	Análisis de duplicado de terreno de Ag en muestras de suelo	47
Figura 4.20	Análisis de duplicado de terreno de Ag en muestras de roca.....	48
Figura 4.21	Análisis de duplicado de terreno de Au en muestras de suelo	48
Figura 4.22	Análisis de duplicado de terreno de Au en muestras de roca.....	49
Figura 4.23	Ubicación de los sectores definidos como importantes desde el punto de vista económico en el proyecto La Falda.....	75
Figura 4.24	Mapa de contraste univariable de Ag en suelo.....	77
Figura 4.25	Mapa de contraste univariable de As en suelo.....	77
Figura 4.26	Mapa de contraste univariable de Au en suelo.....	79
Figura 4.27	Mapa de contraste univariable de Bi en suelo.....	79
Figura 4.28	Mapa de contraste univariable de Cu en suelo.....	81
Figura 4.29	Mapa de contraste univariable de Mo en suelo.....	81
Figura 4.30	Mapa de contraste univariable de Pb en suelo	84
Figura 4.31	Mapa de contraste univariable de Sb en suelo	84
Figura 4.32	Mapa de contraste univariable de Te en suelo	86
Figura 4.33	Mapa de contraste univariable de Zn en suelo	86
Figura 4.34	Mapa de contraste univariable de Ag en roca	89
Figura 4.35	Mapa de contraste univariable de As en roca.....	89
Figura 4.36	Mapa de contraste univariable de Au en roca	93
Figura 4.37	Mapa de contraste univariable de Bi en roca	93
Figura 4.38	Mapa de contraste univariable de Cu en roca	97
Figura 4.39	Mapa de contraste univariable de Mo en roca	97
Figura 4.40	Mapa de contraste univariable de Pb en roca.....	100
Figura 4.41	Mapa de contraste univariable de Sb en roca.....	100

Figura 4.42	Mapa de contraste univariable de Zn en roca.....	103
Figura 5.1	Diagrama ternario Cu-Au-Mo para pórfidos ricos en oro de la Franja de Maricunga, otros depósitos asociados y depósitos tipo pórfido Cu-Mo del norte de Chile	109
Figura 5.2	Mapa del factor 1 en suelo	113
Figura 5.3	Mapa del factor 1 en roca.....	113
Figura 5.4	Mapa del factor 2 en suelo	114
Figura 5.5	Mapas de asociaciones principales definidas por el procesamiento geoquímico de la información.....	116
Figura 5.6	Aplicación del modelo descriptivo de Vila & Sillitoe (1991) en el proyecto La Falda, en base a los resultados del procesamiento geoquímico	123

Índice de Tablas

Tabla 4.1	Criterio y límites de tolerancia para los materiales de control utilizados en el proyecto La Falda	36
Tabla 4.2	Resumen de muestras de control insertadas en los envíos del muestreo superficial realizado en La Falda.....	37
Tabla 4.3	Elementos y límites de detección correspondientes al procedimiento ME-ICP41 utilizado para muestras de suelo.....	50
Tabla 4.4	Elementos y límites de detección correspondientes al procedimiento ME-ICP41 utilizado para muestras de roca	50
Tabla 4.5	Procedimiento Au-AA24 utilizado para determinar la concentración de oro en muestras de suelo y roca.....	51
Tabla 4.6	Elementos trazadores principales de los depósitos tipo pórfido Cu-Au y epitermal cuarzo-alunita y cuarzo- adularia	52
Tabla 4.7	Porcentaje de datos bajo el límite de detección para cada elemento analizado según el procedimiento ME-MS41 utilizado en muestras de suelo.....	52
Tabla 4.8	Porcentaje de datos bajo el límite de detección para cada elemento analizado según el procedimiento ME-ICP41 utilizado en muestras de roca.....	53
Tabla 4.9	Matriz de Pearson de trazadores principales de depósitos tipo pórfido Cu-Au y epitermal cuarzo-alunita y cuarzo-adularia (Mineral Deposit Models, U.S. Geological Survey Bulletin 1693, 1986) para muestras de suelo.....	58
Tabla 4.10	Matriz de Pearson de trazadores principales de depósitos tipo pórfido Cu-Au y epitermal cuarzo-alunita y cuarzo-adularia (Mineral Deposit Models, U.S. Geological Survey Bulletin 1693, 1986) para muestras de roca	59
Tabla 4.11	Varianza explicada por cada factor y porcentaje acumulado por cada factor sucesivamente en muestras de suelo.....	62
Tabla 4.12	Varianza explicada por cada factor y porcentaje acumulado por cada factor sucesivamente en muestras de roca	63

Tabla 4.13	Elementos trazadores de exploración del proyecto La Falda. La selección se hizo en base a bibliografía (Mineral Deposit Models, U.S. Geological Survey Bulletin 1693, 1986) y a los resultados de MP y AF.	66
Tabla 4.14	Valores medios globales y de proyectos de la Franja de Maricunga para elementos definidos como importantes en el muestreo de suelo	66
Tabla 4.15	Valores medios globales y de proyectos de la Franja de Maricunga para elementos definidos como importantes en el muestreo de roca.....	67
Tabla 4.16	Determinación del límite regional y umbral distital para los elementos en muestras de suelo.....	68
Tabla 4.17	Determinación del límite regional y umbral distrital para los elementos en muestras de roca.....	68
Tabla 4.18	Resultados de análisis de poblaciones en muestras de suelo y determinación del Límite de Exploración Recomendado en el proyecto La Falda para las variables definidas como elementos trazadores.....	70
Tabla 4.19	Resultados de análisis de poblaciones en muestras de roca y determinación del Límite de Exploración Recomendado en el proyecto La Falda para las variables definidas como elementos trazadores.....	72
Tabla 4.20	Estadísticas de anomalías de plata clasificadas por sub-sectores definidos en el proyecto La Falda.	87
Tabla 4.21	Estadísticas de anomalías de arsénico clasificadas por sub-sectores definidos en el proyecto La Falda.	90
Tabla 4.22	Estadísticas de anomalías de oro clasificadas por sub-sectores definidos en el proyecto La Falda.	91
Tabla 4.23	Estadísticas de anomalías de bismuto clasificadas por sub-sectores definidos en el proyecto La Falda.	92
Tabla 4.24	Estadísticas de anomalías de cobre clasificadas por sub-sectores definidos en el proyecto La Falda.	94
Tabla 4.25	Estadísticas de anomalías de molibdeno clasificadas por sub-sectores definidos en el proyecto La Falda.	95

Tabla 4.26 Estadísticas de anomalías de plomo clasificadas por sub-sectores definidos en el proyecto La Falda.	98
Tabla 4.27 Estadísticas de anomalías de antimonio clasificadas por sub-sectores definidos en el proyecto La Falda.	99
Tabla 4.28 Estadísticas de anomalías de zinc clasificadas por sub-sectores definidos en el proyecto La Falda.	101

Capítulo 1

Introducción

El presente trabajo corresponde al estudio de exploración geoquímica del proyecto aurífero La Falda, ubicado en la Provincia de Diego de Almagro, Región de Atacama, Chile. El trabajo se enmarca en los trabajos de exploración realizados por Minera Hochschild durante los años 2012 y 2013 en la zona.

El proyecto La Falda se encuentra ubicado en el extremo norte de la Franja de Maricunga, la que se define como un área elongada en dirección norte – sur, con una extensión aproximada de $200 \times 50 \text{ km}^2$ entre las latitudes 26° y 28°S , y 4.000 a 6.000 m.s.n.m. (Vila & Sillitoe, 1991). La historia de exploración de la Franja de Maricunga comenzó entre fines del año 1980 y principios de 1981, con trabajos llevados a cabo principalmente por Minera Anglo American Chile Limitada, paralelamente a otros grupos de exploración, donde destacan los trabajos de Exploraciones y Minerales Sierra Morena. La búsqueda en ese entonces se concentró en la identificación de anomalías de color y afloramientos silicificados, siendo orientada a definir áreas prospectivas de depósitos de oro-plata tipo El Indio. Los buenos resultados de estos estudios fueron complementados desde mediados de 1981 a 1982 con trabajos de mapeo geológico, muestreo de *chips* de roca y mallas de suelo en los prospectos de Esperanza, Marte, Lobo, Valy y Escondido (Vila & Sillitoe, 1991).

La Franja de Maricunga contiene prospectos con dos tipos de mineralización principales. El primero y más conocido corresponde a los depósitos de tipo pórfido de oro, tales como Lobo, Marte y Maricunga (ex Refugio), con mineralización asociada a *stockwork* de vetillas de cuarzo. El segundo corresponde a depósitos epitermales de Au-Ag de altas leyes, con control estructural y asociados a vetas, donde destacan los La Coipa y Esperanza.

El proyecto La Falda se puede definir como los restos de un estratovolcán Mioceno con un sistema de intrusivos andesíticos/dacíticos que conforman el núcleo del volcán, y que subyacen a las secuencias extrusivas volcánicas y volcanoclásticas donde se desarrolló el *lithocap* producto del proceso de alteración argílica avanzada.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Definir trazadores geológicos y geoquímicos para la búsqueda de nuevos blancos de exploración en el proyecto La Falda mediante la caracterización geoquímica y aplicación de metodologías de exploración geoquímica en el prospecto.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar el levantamiento de la base de datos a procesar, integrando la geoquímica del muestreo con la información referida a la geología, alteración y estructuras de la zona de estudio.
- Procesar la información contenida en la base de datos mediante análisis estadísticos univariados, análisis multivariados y análisis de poblaciones que permitan definir elementos químicos importantes en la exploración geoquímica de metales de interés económico y analizar su distribución espacial, generando relaciones con la geología, alteración y estructuras de la zona estudiada.
- Establecer asociaciones de elementos trazadores que permitan guiar la exploración de nuevos blancos de mineralización de Au – Ag – Cu en la zona.
- Comparar patrones obtenidos con la información obtenida de otros proyectos ubicados en la Franja de Maricunga, con el fin de establecer similitudes y diferencias.
- Definir un modelo geológico descriptivo para el proyecto La Falda en base a las características geoquímicas y geológicas del proyecto.

1.2 Ubicación y accesos

El proyecto La Falda se ubica en la provincia de Diego de Almagro, Región de Atacama, Chile. De manera referencial, la distancia medida en línea recta desde la ciudad de Copiapó al proyecto es de aproximadamente 170 km en dirección noreste; y desde el Salar de Maricunga son alrededor de 35 km en dirección nor-noreste. La propiedad corresponde a una superficie poligonal limitada por las coordenadas UTM 510.000 mE – 521.500 mE y 7.045.150 mN – 7.063.150 mN, cuadrante 19S del datum PSAD-56.

Al proyecto La Falda se accede desde Copiapó comenzando en el kilómetro 0 de la ruta CH-31 en dirección al paso fronterizo San Francisco. Desde allí se continúa por 156 km sobre la ruta CH-31 hasta llegar al extremo norte del Salar de Maricunga, en las cercanías del paso San Francisco, a 1 km aproximadamente de la aduana chilena. En este sector se toma la bifurcación de la naciente ruta C-173 en dirección norte, sobre la cual se transita por 27 km hasta llegar al kilómetro 76 de la misma. En este punto se debe tomar el desvío que va en dirección este – hacia el campamento de La Falda – y conducir 42 km siguiendo la ruta demarcada hasta llegar al proyecto (Fig. 1.1).



Figura 1.1 Ubicación y accesos al proyecto La Falda

1.3 Clima y vegetación

Las características climáticas de la Región de Atacama están determinadas principalmente por la presencia del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur y la corriente fría de Humboldt. Estos factores, sumados a la compleja topografía de la región, determinan bajas tasas de precipitación concentradas en unos pocos días de invierno; lo que resulta en una región árida, con extensas superficies desprovistas de vegetación (Juliá et al., 2008).

De acuerdo al sistema de definición de climas propuesto por Köppen (1948), han sido definidos cuatro climas en la Región de Atacama, los cuales se distribuyen en franjas aproximadamente norte-sur, y que de poniente a oriente son: clima desértico costero con nubosidad abundante, clima desértico transicional, clima desértico frío de montaña y clima de tundra de alta montaña. La zona de estudio, según esta clasificación, se ubica en la franja definida como “clima de tundra de alta montaña”. Este tipo de clima engloba a todos aquellos ambientes que, debido a la altitud, presentan bajas temperaturas durante todo el año – con variaciones por debajo y por sobre los 0°C – donde en el verano no se alcanzan temperaturas mayores a los 15°C y las precipitaciones que se producen, por lo general, son en forma de nieve, incluso las que se generan escasamente durante las tormentas de verano.

La vegetación en la zona se encuentra representada principalmente por arbustos espinosos y especies gramíneas (Mercado, 1982). Estos consisten en matorrales de altura dominados por la especie *Adesmia hystrix* cuya altura y densidad resultan variables según distintas posiciones fisiográficas, acompañada de una estrata herbácea perenne *Stipa crrysophylla*. Sin embargo, los sectores de mayor importancia para el área alto-andina, e identificados en la zona, corresponden a los sectores clasificados como pajonal hídrico – bofedal, dominados por las especies *Oxycloe andina* y *Deyeuxia eminenes*. Estas zonas presentan el mayor desarrollo biológico y son sostenedoras de la diversidad biológica del área (Lagos, 2010).

1.4 Historia de la propiedad y trabajos anteriores

La historia de exploración de la Franja de Maricunga comenzó entre fines del año 1980 y principios de 1981, con trabajos llevados a cabo principalmente por Minera Anglo American Chile Limitada, paralelamente a otros grupos de exploración, donde destacan los trabajos de Exploraciones y Minerales Sierra Morena. La búsqueda en ese entonces se concentró en la identificación de anomalías de color y afloramientos silicificados, siendo orientada a definir áreas prospectivas de depósitos de oro-plata tipo El Indio. Los buenos resultados de estos estudios fueron complementados desde mediados de 1981 a 1982 con trabajos de mapeo geológico, muestreo de *chips* de roca y mallas de suelo en los prospectos de Esperanza, Marte, Lobo, Valy y Escondido (Vila & Sillitoe, 1991). Durante los siguientes años, se llevaron a cabo trabajos de perforación con sondajes de diamantina y aire reverso que fueron definiendo depósitos como Chimberos y Aldebarán; y se realizaron estudios más detallados del potencial de los depósitos Marte y Lobo, entre otros.

El prospecto La Falda fue explorado por la mencionada Exploraciones y Minerales Sierra Morena, la cual realizó estudios en esta zona entre los años 1981 y 1987, incluyendo 400 muestras de talud y 20 muestras de *chips* de roca, obteniendo resultados de anomalías de hasta 2,9 g/t Au y 9 g/t Ag.

Entre 1987 y 1988 Minera El Bronce exploró el *lithocap* del prospecto en búsqueda de un depósito epitermal de alta sulfuración de Au-Ag. Para esto, ejecutaron 20 km de trincheras y caminos, tomando 1900 muestras de canaleta. Luego, se llevó a cabo una campaña de sondajes de aire reverso acumulando un total de 1.002 m en 10 sondajes que fueron de 67 a 154 m de profundidad, con inclinaciones de entre -45° y -81° . Nueve de estos sondajes se perforaron en dirección NW y solo uno hacia el SE. El blanco principal de esta campaña fue el sector de alteración argílica avanzada intensa desarrollada en el *lithocap*.

Luego de esto, la exploración en el prospecto quedó en receso hasta el año 2007, cuando fue retomada por Catalina Resources plc., la cual concentró sus trabajos en el sector ubicado al oeste del *lithocap*, el cual corresponde a afloramientos de intrusivos dacíticos con *stockwork* de vetillas de cuarzo bandeado que habían sido obviadas durante las exploraciones precedentes. Durante estos años, paralelamente fueron ejecutados trabajos de magnetometría terrestre y de polarización inducida en lo que sería el sector central de la actual propiedad.

Entre el año 2009 y 2010, Catalina Resources plc y Minera IRL firmaron un acuerdo “*joint venture*”, donde Minera IRL se hizo cargo de los trabajos en la propiedad. Durante este periodo se realizó una campaña de sondajes de diamantina, totalizando 5.176,25 m en 14 sondajes, el más profundo de 502 m. Ocho sondajes fueron dirigidos al sector de intrusivos con vetillas de cuarzo bandeado, tres fueron dirigidos a un sector de alta cargabilidad, y por último tres sondajes fueron dirigidos a una estructura epitermal. El mejor intercepto reportado por Minera IRL fue de 68 m @ 0,41 g/t Au en el sondaje LF10 – 05, correspondiente a intrusivo con vetillas de cuarzo bandeado.

Finalmente, Minera Hochschild PLC suscribió contratos de opción de compra a terceras partes y comenzó con los trabajos de exploración a partir del año 2012.

1.5 Metodología

La metodología de trabajo destinada a lograr los objetivos planteados se sintetiza en los siguientes puntos llevados a cabo durante el desarrollo del trabajo:

1. Trabajo de terreno, realizado entre enero y abril del 2013. El trabajo incluyó el mapeo geológico de los sectores no mapeados a la fecha a escala 1:20.000 y 1:5.000, el muestreo de afloramientos, caminos y trincheras construidas durante la campaña, y el envío de las muestras a Laboratorios ALS-CHEMEX, Antofagasta.
2. Recopilación de información bibliográfica referente al proyecto, contenida en reportes mensuales de Minera Hochschild desde enero del 2012 hasta mayo del 2013. La información provista contiene los avances de mapeo geológico, alteración y muestreo realizados por Hochschild durante este intervalo de trabajo. La recopilación bibliográfica también incluyó publicaciones científicas referidas a la Franja de Maricunga y los tipos de depósitos asociados a la zona donde se encuentra inserto el proyecto La Falda.
3. Recepción de la data geoquímica del muestreo realizado por Minera Hochschild en la propiedad. La información incluyó el muestreo de sedimentos de talud en dos grillas, la primera con líneas norte-sur y espaciamiento de 200 m, abarcando completamente la zona de interés de la propiedad; la segunda, con líneas norte-sur y espaciamiento de 100 m, extendiéndose en la parte central de la primera grilla, en la zona del pórfido central y la periferia aladaña a este. También dentro de la data geoquímica se incluyó el muestreo de

chips de roca realizado en caminos, trincheras y afloramientos desde febrero del 2012 a abril del 2013.

4. Ordenamiento de la información recibida, confección de la base de datos y recepción de imágenes ráster y shapefiles del mapeo geológico, de alteración y estructuras para ser procesado mediante el software *ArcGIS 10.1*.
5. Procesamiento de la base de datos geoquímica mediante análisis univariable, análisis multivariable, análisis de poblaciones y distribución espacial de las poblaciones anómalas, con el propósito de identificar elementos, estructuras, alteración, litología asociados estadísticamente a la mineralización de Au.

Capítulo 2

Geología Regional

La Franja de Maricunga es una unidad metalogénica definida por al menos 14 zonas de alteración hidrotermal con marcadas anomalías de color que presentan mineralización de oro, plata y/o cobre, ubicadas entre los 26° y 28° de latitud sur, en la Cordillera de Los Andes del norte de Chile (Vila & Sillitoe, 1991). Estas zonas de alteración hidrotermal se encuentran hospedadas en rocas volcánicas y cuerpos intrusivos superficiales (Sillitoe et al., 1991) y corresponden principalmente a depósitos del tipo pórfido aurífero y de carácter epitermal (Vila & Sillitoe, 1991).

La ubicación de la Franja de Maricunga en el contexto regional corresponde a la zona dispuesta en el borde suroeste del plateau del Altiplano-Puna, y abarca el límite entre la Zona Volcánica Central de Los Andes por el norte y el segmento no volcánico ubicado entre los 28° y 33°S por el sur, en una franja caracterizada por la transición desde una zona con subducción de ángulo moderado a una del tipo flat-slab (Thorpe et al., 1982; Cahill & Isacks, 1992; Kay & Mpodozis, 2002).

Este cinturón montañoso abarca un área de 200 x 50 km² aproximadamente, con altitudes que van desde los 4000 a 6000 m.s.n.m. y una elongación en dirección aproximada norte-sur. Morfológicamente, corresponde a una cadena de rumbo nor-noreste conformada de al menos 6 grandes estratovolcanes Miocenos a lo largo de la Cordillera de Domeyko (Fig. 2.1). Las unidades volcánicas Miocenas sobreyacen en disconformidad al basamento ígneo y sedimentario de edad Paleozoico y Mesozoico. A su vez, las unidades volcánicas – incluyendo su alteración y mineralización – se han subdividido en base a dataciones K-Ar, en 2 sub-franjas parcialmente sobrepuestas: una sub-franja occidental de edad Mioceno temprano (24 – 20 Ma) y una sub-franja oriental de edad Mioceno medio (14 – 13 Ma).

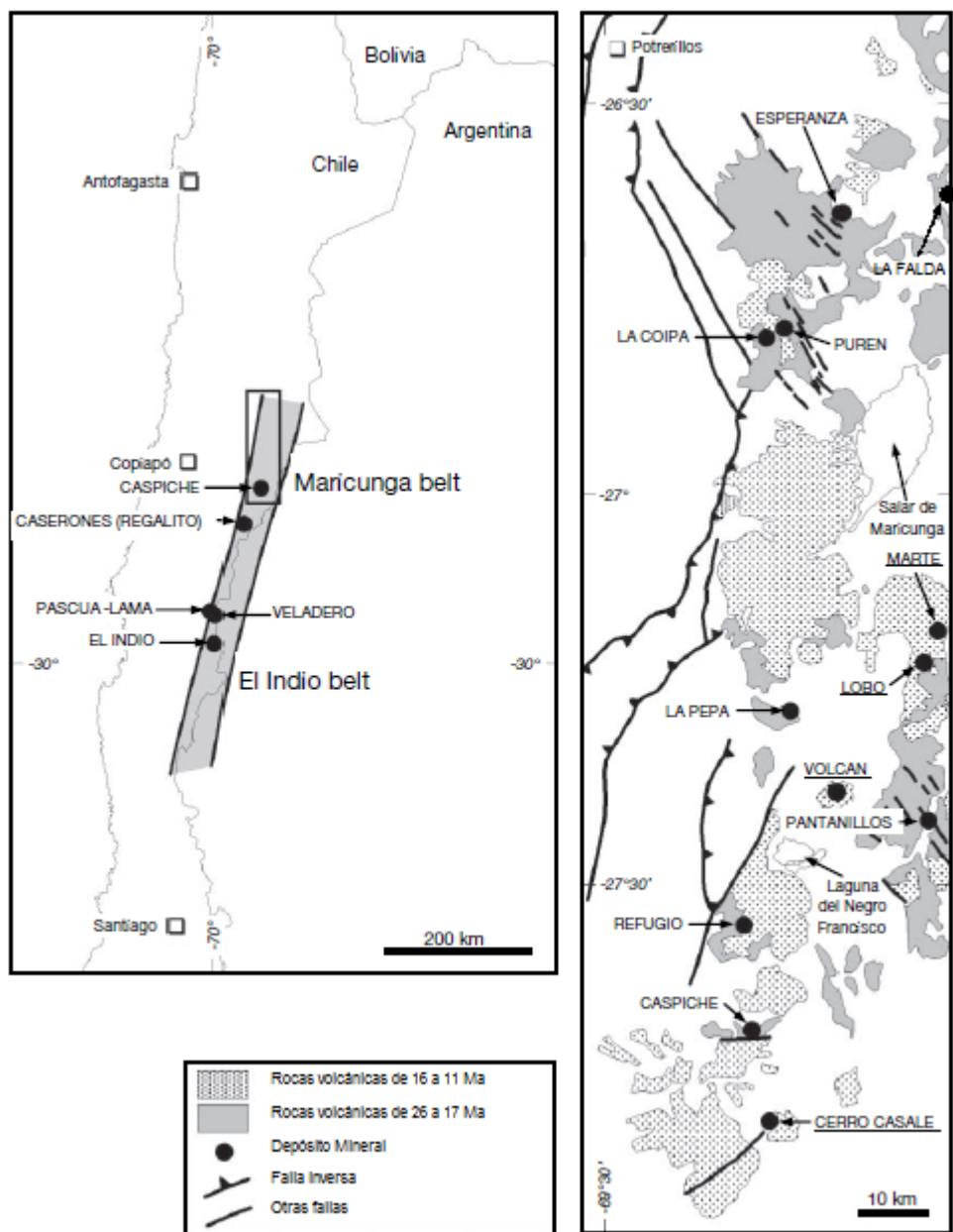


Figura 2.1 (Modificado de Sillitoe et al., 2013) Marco geológico regional de la Franja de Maricunga

2.1 Basamento

A grandes rasgos, el basamento de la Franja de Maricunga comprende rocas metasedimentarias, volcánicas félsicas y granitoides del Paleozoico tardío similares a aquellas presentes en la Cordillera Frontal en Argentina (Mpodozis & Ramos, 1990). Estas se encuentran cubiertas por rocas volcánicas bimodales y sedimentarias Triásicas depositadas en cuencas de rifts extensionales, y rocas sedimentarias marinas y continentales Jurásicas a Cretácicas

tempranas acumuladas en la cuenca de trasarco del norte de Chile (Mercado, 1982, Mpodozis et al., 1995; Cornejo et al., 1998; Iriarte et al., 1999; Arriagada et al., 2006).

La formación más antigua incluida dentro de esta franja metalogénica corresponde a la Formación Chinchas (Mercado, 1982), la cual se encuentra constituida por secuencias de areniscas y lutitas con una edad determinada como Devónico-Carbonífero (Mercado, 1982). Sobreyaciendo a esta formación se ubican rocas volcánicas ácidas de edad Carbonífero – Pérmico e intrusivos asociados que se interpretan como los productos magmáticos de las etapas finales del Ciclo Orogénico Gondwánico (Mpodozis & Kay, 1992). Con posterioridad se desarrollaron cuencas de rift durante el Triásico, donde se identifican la Formación Pantanoso (Mercado, 1992) y Formación La Ternera (Brüggen, 1950), ambas con un origen volcánico – volcanoclástico; así como también la Fm. Montandón y Fm. Asientos, con rocas sedimentarias terrígenas y calcáreas. Sobre las Fm. Pantanoso y Fm. La Ternera se dispone la Formación Lautaro (Mercado, 1982), de edad Jurásica, de manera concordante sobre Fm. Pantanoso y aparentemente concordante sobre Fm. La Ternera.

La Formación Lautaro (Seegerstrom, 1959) corresponde a rocas calcáreas y clásticas de edad Jurásico Inferior a medio, cuyo origen se atribuye a un periodo de transgresión marina. Las formaciones Jurásico – Cretácico Inferior poseen facies de ambiente de trasarco, lo que se interpreta como la expansión hacia el este del dominio volcánico de la Cordillera de la Costa (Mpodozis & Ramos, 1990; Mpodozis & Allmendinger, 1993). Durante el Cretácico Inferior el mar se retiró completamente producto de la Fase Peruana (Charrier et al., 2007) lo que se registró en las potentes secuencias de sedimentos continentales de conglomerados y areniscas rojas de la Formación Quebrada Monardes y Quebrada Paipote (Mercado, 1982).

El Cretácico Superior está representado por la Formación Las Pircas (Mercado, 1982), la cual está formada por rocas sedimentarias clásticas. Esta secuencia se presenta discordantemente sobre la Fm. Quebrada Paipote y en discordancia bajo las Gravas de Atacama (Mercado, 1982).

Durante el Cretácico Superior-Eoceno Inferior se suceden una serie de eventos volcánicos de tipo calcoalcalino rico en potasio. Los cuerpos volcánicos, datados radiométricamente entre 80 y 52 Ma (Carrasco, 1999), incluyen a complejos de domos y campos de caldera de colapso, los cuales afloran en las zonas de La Coipa, Cerros Bravos (Cornejo y Mpodozis, 1994; Cornejo et al., 1994; Arévalo et al., 1994), Río Astaburuaga y Nevado de Jotabeche (Mpodozis et al., 1995).

2.2 Volcanismo Cenozoico

El volcanismo Cenozoico está representado por una serie de eventos intermitentes, los cuales fluctúan entre los 26 y 5 Ma (Oligoceno Superior-Mioceno Superior) (Mpodozis et al., 1995). Los productos volcánicos Cenozoicos se extienden por más de 200 km, desde el Salar de Pedernales (26°S) hasta Cerro Pulido (28°S) (Mpodozis et al., 1994).

El evento volcánico más antiguo ocurrió entre los 26-21 Ma, del cual forman parte los estratovolcanes coalescentes Cerros Bravos y Barros Negros, y los complejos de domos múltiples periféricos como Esperanza, La Ola y La Coipa. Al sur de la Franja de Maricunga la actividad magmática fue más reducida, restringida a pequeños complejos de domos múltiples, los cuales son portadores de mineralización de metales preciosos, asociados a su vez a flujos piroclásticos de volumen pequeño y alteración hidrotermal generalizada, destacándose los yacimientos Refugio, La Pepa, Pantanillo y Santa Cecilia. La ubicación de los centros volcánicos se relaciona con fallas de rumbo NW-WNW, activas durante su emplazamiento (Carrasco, 1999).

Entre los 20 y 17 Ma se produce una disminución de la actividad volcánica, observándose pequeños domos dacíticos al este y norte de La Coipa, y coladas de lavas andesíticas y dacíticas al sureste del Volcán Copiapó (proyecto Pantanillo), presentando en este último lugar una edad K-Ar en roca total de $19,5 \pm 1,1$ Ma y una edad K-Ar en biotita de $18,6 \pm 0,8$ Ma (Mpodozis et al., 1995). La actividad volcánica se reanudó entre los 16 y 11 Ma (Mioceno Medio). Durante este segundo episodio, la actividad volcánica se extendió a lo largo de toda la Franja de Maricunga, concentrándose en grupos discretos de centros volcánicos. Al norte del Salar de Pedernales se desarrollaron los complejos Doña Inés y Gemelas Fortuna, mientras que al sur del Salar de Maricunga se desarrollaron los complejos Ojos de Maricunga, Santa Rosa, Pastillitos, Lagunillas, Pastillos y Villalobos. En el extremo sur de la Franja se desarrollan los volcanes Cadillal, Jotabeche Norte, La Laguna y Yeguas Heladas. Entre los 13 y 11 Ma, la actividad volcánica se concentró en la parte sur de la Franja, destacándose el emplazamiento de los pórfidos auríferos de Marte, Lobo, Escondido y Aldebarán.

Al oeste de los complejos volcánicos se depositaron los depósitos sedimentarios conocidos como Gravas de Atacama. Estos depósitos incluyen intercalaciones de flujos ignimbríticos y niveles de ceniza. Su origen se asocia a una fase de alzamiento del Altiplano, posiblemente asociada a la deformación compresiva de la etapa inicial de la disminución del

ángulo de subducción (Segerstrom, 1968; Mortimer, 1973; Clark et al., 1967; Cornejo et al., 1993; Carrasco, 1999).

Posterior a este evento de gran intensidad magmática, sucede un periodo, entre los 11 y 7 Ma, de menor actividad volcánica, restringida al Complejo Volcánico Copiapó (CVC). La actividad del CVC se ha dividido en dos fases: una fase temprana entre los 11 y 10 Ma representada por el estratovolcán Azufre, ubicado al norte de la laguna del Negro Francisco, y una fase tardía entre los 8 y 7 Ma representada por la construcción del cono del Cerro Copiapó (Mpodozis et al., 1995).

El último evento volcánico registrado en la Franja de Maricunga se reduce a la zona del Nevado de Jotabeche, episodio comprendido entre los 6 y 5 Ma (Mpodozis et al., 1995). El volcanismo cesó a los 5 Ma en la Franja de Maricunga, al desplazarse el frente volcánico hacia el este (Mpodozis et al., 1991).

2.3 Tectónica y estructuras

La Franja de Maricunga se ubica entre dos segmentos tectónicos de la cordillera principal de Los Andes. Alrededor de los 27° S se produce una transición del ángulo de subducción de la placa de Nazca, desde una subducción de 30° al norte de los 26° S en el límite sur de la Zona Volcánica Central (ZVC), hasta una subducción plana de 10° a 15° en una zona de inactividad volcánica, entre los 28° y 33° S (Barazangi & Isacks, 1976). Esta transición del ángulo de subducción se produjo progresivamente entre los 20 y 6 Ma, reflejando en una evolución de la estratigrafía y geoquímica de las rocas volcánicas (Mpodozis et al., 1995).

El rasgo estructural más importante según Mercado (1982), es un sistema de fallas inversas de orientación NNE-SSW, las cuales controlan la distribución de las distintas unidades de roca, así como los rasgos morfológicos. Esto representa un sistema formado por horst y graben, en el que destacan el desarrollo de cuencas cerradas, tales como el Salar de Maricunga y la Laguna del Negro Francisco. Este sistema de fallas posee una edad Cretácico Medio-Mioceno Medio (Vila & Sillitoe, 1991).

Otro sistema importante es el de orientación NW, con el cual se asocian espacialmente zonas de alteración hidrotermal, caracterizado por la orientación de las fallas, vetas, *stockworks*,

brechas y anomalías geoquímicas. La intersección de los sistemas NNE y NW controlaría los focos de mineralización y alteración (Vila & Sillitoe, 1991).

También se aprecian fallas menores N-S, con las cuales se asocia la ubicación de centros volcánicos cenozoicos, especialmente en la intersección con las fallas inversas principales (Mercado, 1982).

En menor medida se registran pliegues locales, los cuales están asociados a la fallas de orientación NNE-SSW (Mercado, 1982).

2.4 Alteración y mineralización

La alta cordillera entre los 26° y 28° S presenta mineralización de cobre, oro, plata y hierro, asociada principalmente a eventos volcánicos discretos de edad Mioceno.

Los episodios magmáticos se desarrollaron entre el Jurásico Superior y el Mioceno Superior, distribuyéndose en forma de franjas elongadas de orientación norte-noreste. La migración hacia el este estuvo acompañada de cambios de ambientes metalogénicos asociados a los distintos eventos volcánicos (Vásquez, 1999).

Dentro de los eventos volcánicos Terciarios formadores de la Franja de Maricunga, se reconocen dos episodios relacionados con alteración hidrotermal y mineralización, denominados subfranja oeste y subfranja este (Vila y Sillitoe, 1991).

La subfranja oeste presenta una edad entre 24 y 20 Ma (incluyendo a La Coipa con 17 Ma), hospedando en la parte norte depósitos epitermales de alta sulfuración (Esperanza, La Coipa), mientras que hacia el sur de la franja predominan depósitos tipo pórfido aurífero, asociados a *stocks* subvolcánicos, tales como La Pepa, Refugio y Santa Cecilia (Vila y Sillitoe, 1991).

Hacia el este del volcán Copiapó, se presenta la subfranja este comprendida entre los 14 y 13 Ma, la cual es representada por pórfidos auríferos tales como Marte, Lobo, Escondido y Cerro Casale (Vila y Sillitoe, 1991).

Los pórfidos auríferos presentan dos tipos principales de alteración hidrotermal: alteración potásica y argílica intermedia. Localmente se aprecia alteración propilítica, fílica y argílica avanzada. Por otra parte, los sistemas epitermales de alta sulfuración se caracterizan por presentar alteraciones de tipo argílica avanzada (Vila y Sillitoe, 1991).

En gran parte de los sistemas porfídicos registrados en la Franja de Maricunga se observa una superposición de tipo epitermal de alta sulfuración.

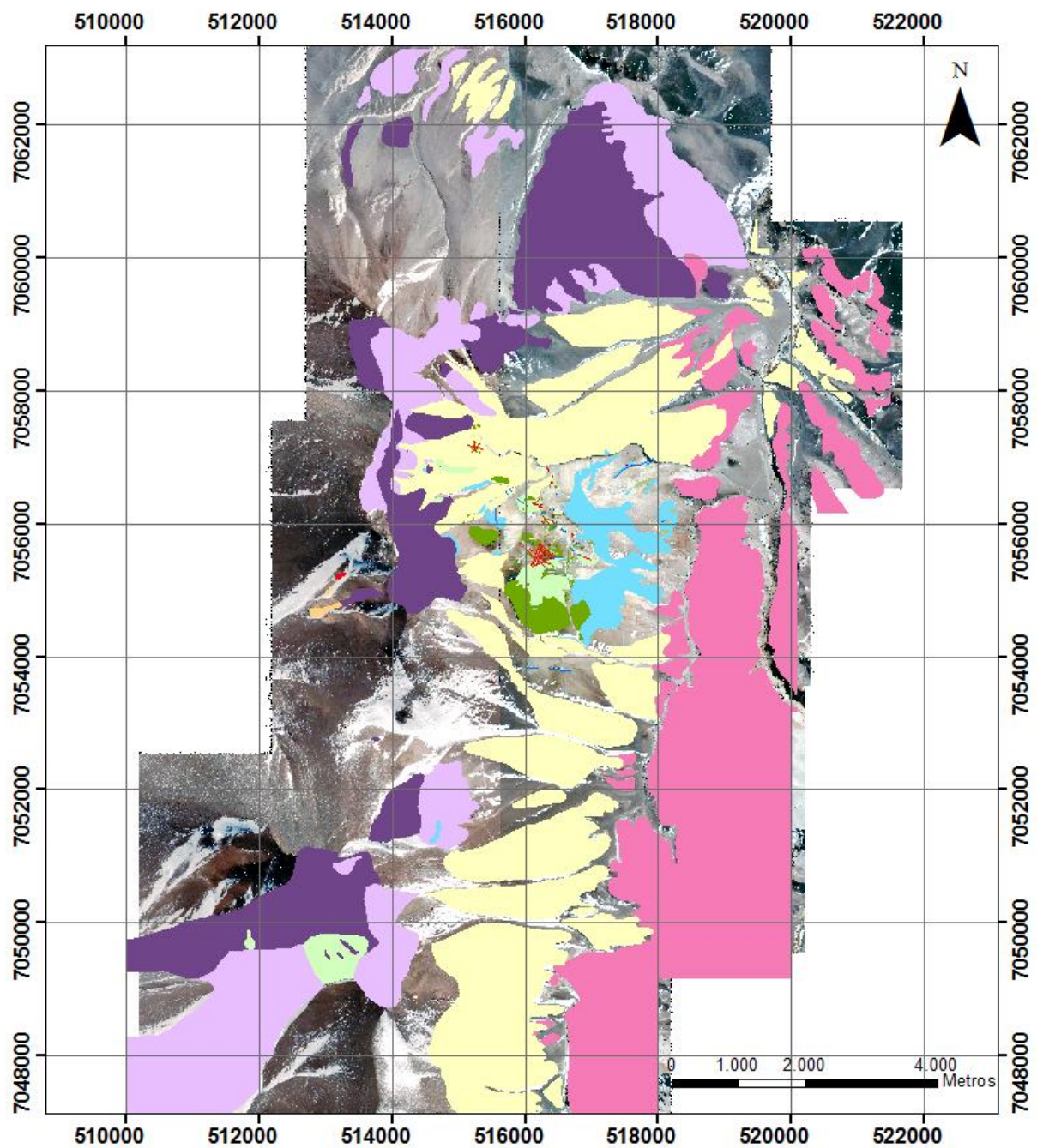
La mineralización aurífera asociada a sistemas porfídicos se encuentra como oro nativo libre, como inclusiones en pirita y magnetita, diseminado o en vetillas de cuarzo (Vila y Sillitoe, 1991).

Capítulo 3

Geología Local

La información sobre la geología local de la propiedad fue proporcionada por Minera Hochschild a través del *Informe Final del Proyecto La Falda*, con fecha junio del 2013. Cabe señalar que no se han hecho estudios previos, sistemáticos y profundos en la propiedad acerca de la geología, dataciones y procesos asociados en el marco geotectónico regional, por lo cual se cuenta básicamente con la descripción y relaciones temporales de las unidades geológicas definidas producto del mapeo parcial de la propiedad a escala 1:5.000. La información previamente señalada se complementó con el *Mapa geológico del área del Salar de Wheelwright, Región de Atacama, escala 1:100.000* (Clavero et al., 1997) el cual permitió establecer las edades de las unidades de roca aflorantes en el proyecto La Falda.

En términos generales, las unidades que afloran en La Falda corresponden a los restos de un estratovolcán Mioceno, con un sistema de intrusivos andesíticos-dacíticos que conforman el núcleo del estratovolcán, y que subyacen a secuencias extrusivas volcánicas y volcanoclásticas en las que se desarrolla un *lithocap*, producto de la alteración hidrotermal (Figs. 3.1 y 3.2).



Leyenda













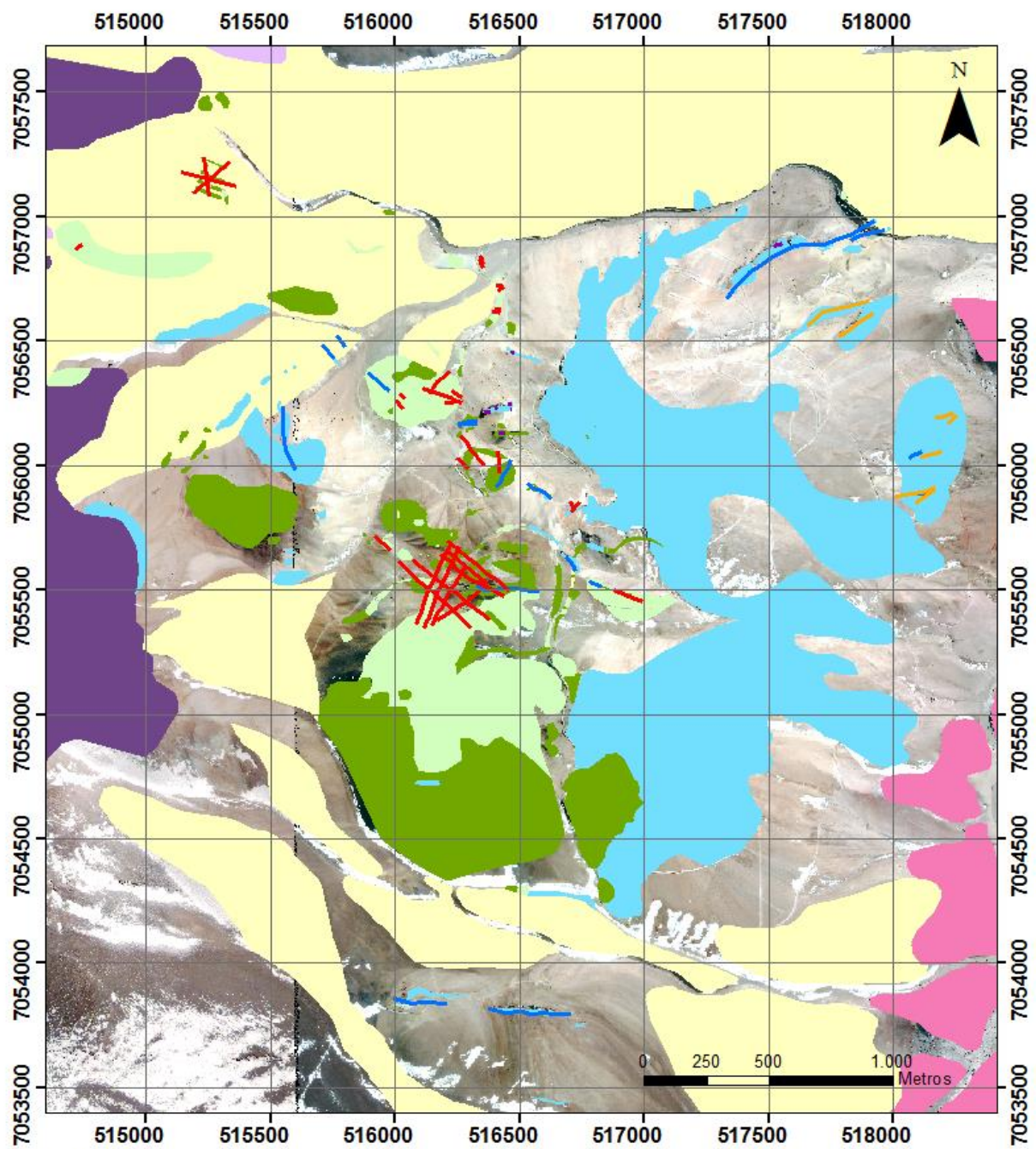
- | | | |
|---|--|---|
|  Aluvio/Coluvio |  Brecha Volcanica |  Vts Baritina-Cuarzo-Enargita |
|  Ignimbrita |  Brecha Hidrotermal |  Brecha Hidrotermal |
|  Tobas Andesítica/Dacítica |  Brecha Intrusiva |  Ledges de Cuarzo |
|  Dacitas |  Porfido Feldespático |  Vts Cuarzo Bandeado |
|  Andesitas | | |

Figura 3.1 Mapa geológico del proyecto La Falda 1:75.000



Leyenda

- | | | |
|---------------------------|----------------------|------------------------------|
| Aluvio/Coluvio | Brecha Volcanica | Vts Baritina-Cuarzo-Enargita |
| Ignimbrita | Brecha Hidrotermal | Brecha Hidrotermal |
| Tobas Andesitica/Dacitica | Brecha Intrusiva | Ledges de Cuarzo |
| Dacitas | Porfido Feldespático | Vts Cuarzo Bandeado |
| Andesitas | | |

Figura 3.2 Mapa geológico del proyecto La Falda 1:20.000, centrado en la zona de interés.

3.1 Rocas estratificadas (Mmv)

Las rocas estratificadas aflorantes en las zonas mapeadas de la propiedad corresponden esencialmente a unidades volcánicas. Clavero et al. (1997) las incluye dentro del grupo de complejos volcánicos y estratovolcanes del Mioceno medio (Mmv). Según esto, se pueden describir como estratovolcanes con productos de composición predominantemente dacítica (dacitas de biotita y hornblenda principalmente), parcialmente colapsados y fuertemente erosionados. Sus principales productos corresponden a lavas y domos, muy erosionados, sin rasgos primarios, y en el volcán Agua de la Falda, pórfidos dacíticos que corresponden al núcleo del edificio volcánico. Se han obtenido 3 dataciones radiométricas K/Ar comprendidas entre $14,2 \pm 1,1$ y $11,5 \pm 0,4$ Ma.

3.1.1 Brechas volcánicas andesíticas

Afloran en el sector central de la propiedad, formando un anillo alrededor de la zona de intrusivos centrales. De colores blanco/amarillo/naranja, son brechas polimícticas de composición andesítica, variando en sectores de matriz a clastosoportadas. La secuencia presenta manteos hacia el noreste y hacia el suroeste, delimitando la paleogeografía del estratovolcán que caracteriza la fisiografía de la zona central de la propiedad.

Afectada por la alteración hidrotermal que dio origen al *lithocap*, presenta alteración argílica avanzada moderada a intensa con desarrollo de jarosita, hematita, alunita, caolinita y pirofilita. Dentro de esta secuencia se reconocen afloramientos de orientación preferente EW, con alteración *vuggy* silica intensa, de hasta 750 m de largo, 40 m de ancho y 15 a 20 m de altura, que corresponden a estructuras de *ledges* de cuarzo.

3.1.2 Tobas Lítico-Cristalinas Andesíticas-Dacíticas

Afloran en todo el límite occidental de la propiedad, sobre la Cordillera Claudio Gay y en el extremo noreste de la misma dentro de una quebrada de rumbo noroeste. Corresponden a tobas lítico-cristalinas, de composición general andesítica (en ciertos sectores, puntualmente dacíticas), de textura fina y generalmente frescas (sin alteración) ya que solo en un lugar se encontró con alteración argílica y fuerte oxidación.

3.1.3 Lavas andesíticas

Sobreyacen en concordancia a las tobas y de igual manera afloran principalmente sobre la cordillera Claudio Gay y en el sector Pedernales. Generalmente frescas y de textura fina a gruesa, se observa orientación de plagioclasa y minerales máficos que presentan texturas de flujo.

3.2 Rocas Intrusivas (Mmg)

Solo en el sector central de la propiedad afloran 4 tipos de intrusivos, uno de ellos con mayor relación con la mineralización. Clavero et al. (1997) las incluye dentro de la unidad de pórfidos dacíticos del Mioceno medio (Mmg). Según esto, corresponderían a intrusivos subvolcánicos con fenocristales de plagioclasa, biotita y en menor medida anfíbola, en una masa fundamental constituida por un agregado microcristalino de feldespato alcalino y cuarzo. Corresponden a núcleos de edificios volcánicos del Mioceno medio (estratovolcán Agua de la Falda, complejo lavas-domo Los Amarillos y pórfidos de Campo de Piedra Pómez), denudados por erosión y colapsos parciales de los edificios. Se ha obtenido una edad K/Ar en biotita en el sector de Campo de Piedra pómez que arrojó una edad de $14,2 \pm 1,1$ Ma.

3.2.1 Pórfido feldespático andesítico

De textura fina a media, en general se lo encuentra con alteración magnetita-clorita \pm pirita (MCP) moderada a fuerte. Cristales de plagioclasa (hasta 5 mm) > anfíbol > biotita. En sectores donde el sistema se encuentra *telescopeado*, se lo observa con alteración argílica avanzada sobreimpuesta (relictos de magnetita martitizada). Si bien está asociado con un evento de vetillas de cuarzo bandeado, la densidad de vetillas observada en este cuerpo es relativamente baja.

3.2.2 Pórfido feldespático “crowded”

De igual composición que el pórfido feldespático, pero de textura gruesa y menos porcentaje de masa fundamental. La característica principal de este cuerpo intrusivo es que los fenocristales son de mayor tamaño y se encuentran más juntos que en el pórfido feldespático. Aflora en el extremo NW del sector central (Pomelo) y contiene una alta densidad de vetillas de cuarzo bandeado, lo que le confiere las mayores anomalías de Au en este tipo de mineralización. Solo aflora como bloques dentro de una brecha intrusiva.

3.2.3 Brecha intrusiva

Corresponde a la litología con mayor distribución areal de afloramientos. De composición andesítica, intruye de forma irregular tanto al pórfido feldespático como al pórfido feldespático “crowded”, y contiene fragmentos de los mismos. Los fenocristales se presentan generalmente fracturados e inmersos en una matriz de sílice y roca molida, de color verde claro. La alteración característica de esta roca es del tipo illita-esmectita (Ill-Sm), de color verde claro y textura arcillosa. Es distintivo de esta unidad el hecho de estar cortada por tufisitas. Una alta densidad de vetillas de cuarzo bandeado corta este cuerpo, pero posee valores intermedios de Au.

3.2.4 Pórfido Cuarzo-Feldespático

Este cuerpo no aflora, solo se observa en los primeros metros del sondaje LF10-05 perforado por IRL-Catalina en 2010. Su característica es la presencia de fenocristales de cuarzo (<5%) y se lo considera post mineral, ya que no presenta ningún tipo de vetillas ni valores anómalos de Au.

3.3 Depósitos semi-consolidados y no consolidados

3.3.1 Depósitos de Ignimbritas (Msij y Pliiv)

Los depósitos de ignimbrita que se ubican dentro de los límites de la propiedad, según Clavero et al. (1997) son la ignimbrita Juncalito (Msij) y la ignimbrita Laguna Verde (Pliiv).

La ignimbrita Juncalito, de edad Mioceno Superior, se define como un ignimbrita dacítica que se dispone bajo la ignimbrita Laguna Verde y gravas del Plioceno Inferior, rellenando el llano del río Juncalito al este de la Cordillera Claudio Gay. Corresponde a un depósito de flujo piroclástico consolidado, en sectores con rasgos de soldamiento en la matriz y de disyunción columnar, muy rico en líticos (30-40%), esencialmente de lavas andesíticas a dacíticas y, ocasionalmente, de granitoides. Las pómez son básicamente de composición dacíticas y están constituidas por cristales de biotita, anfíbola, sanidina y, en menor proporción, cuarzo. Poseen vesicularidad variable, algunas bandeadas y otras fibrosas, y están inmersas en una matriz gruesa (ceniza media a gruesa) color pardo claro a oscuro. Se han obtenido edades K/Ar en biotita de

pómez que han arrojado $5,5\pm 0,8$ Ma. Probablemente corresponde a la ignimbrita extra-caldera producto del colapso de la Caldera Wheelwright (Clavero et al., 1997).

La ignimbrita Laguna Verde, de edad Plioceno Inferior, corresponde a una ignimbrita riolítica, formada por al menos cuatro unidades de flujo con intercalaciones de niveles de oleada piroclástica y algunos niveles de tonalidad rojiza. Su distribución es muy amplia y origen se encuentra asociado probablemente al colapso de una gran estructura de caldera en Argentina (Caldera Agua Amarga, Seggiaro et al., 1996). Las unidades de flujo son muy similares petrográficamente y están constituidas por fragmentos juveniles pumíceos de tamaño lapilli medio a bomba (<25 cm de diámetro), ricos en cristales de biotita, sanidina y cuarzo reabsorbido, con texturas vesiculares tubulares, medianamente compactados; fragmentos líticos ($<15\%$, hasta 20 cm de diámetro) subredondeados a angulosos, esencialmente de dacitas y andesitas, inmersos en una matriz fina blanca a rosada, ligera a fuertemente compactada. Es común la presencia de pipas de segregación gaseosa y estructuras de disyunción columnar. Se han obtenido diez edades radiométricas comprendidas entre $3,7\pm 0,5$ y $4,5\pm 0,5$ Ma (Clavero et al., 1997).

En la propiedad, corresponden a las últimas unidades volcánicas depositadas. Afloran principalmente en todo el límite oriental, rellenando quebradas en los sectores topográficamente más bajos. En algunas zonas se apoya en contacto directo sobre las brechas volcánicas con alteración hidrotermal. Presentan fragmentos pumíceos y líticos volcánicos.

3.3.2 Depósitos fluvio-aluviales (TQac)

Según Clavero et al. (1997), corresponden a depósitos de falda de cerros, conos de deyección y rellenos de quebradas y valles, polimícticos, mal seleccionados y de baja madurez, con fragmentos de hasta 1 m de diámetro inmersos en una matriz de arena gruesa. Su superficie se presenta suavizada por la erosión y en los valles se presentan suavemente peniplanizados. Se presentan disecados o cubiertos por los cauces y conos de deyección actuales.

Los depósitos fluviales en el proyecto La Falda se ubican en el fondo de las quebradas, principalmente a lo largo del curso del río Juncalito que atraviesa la propiedad de norte a sur. Poseen una extensión limitada y dado el encajonamiento del río, suelen traslaparse con depósitos coluviales de las numerosas quebradas que atraviesa en su paso por la propiedad.

Los depósitos aluviales son de gran extensión y tienen su origen principalmente en la Cordillera Claudio Gay, llegando a cubrir en los sectores más distales a los depósitos de ignimbritas. Acarrear material volcánico presente en los niveles topográficos más altos, trayendo consigo incluso fragmentos de brechas hidrotermales y *floats* de cuarzo calcedónico.

3.4 Estructuras

Las estructuras principales del proyecto La Falda corresponden a lineamientos regionales con rumbos NW, NE y EW, siendo los primeros los más representativos del sector. Esta orientación de los lineamientos es característica en la franja de Maricunga, constituyendo el control estructural del emplazamiento de los volcanes y stocks asociados al Oligoceno – Mioceno.

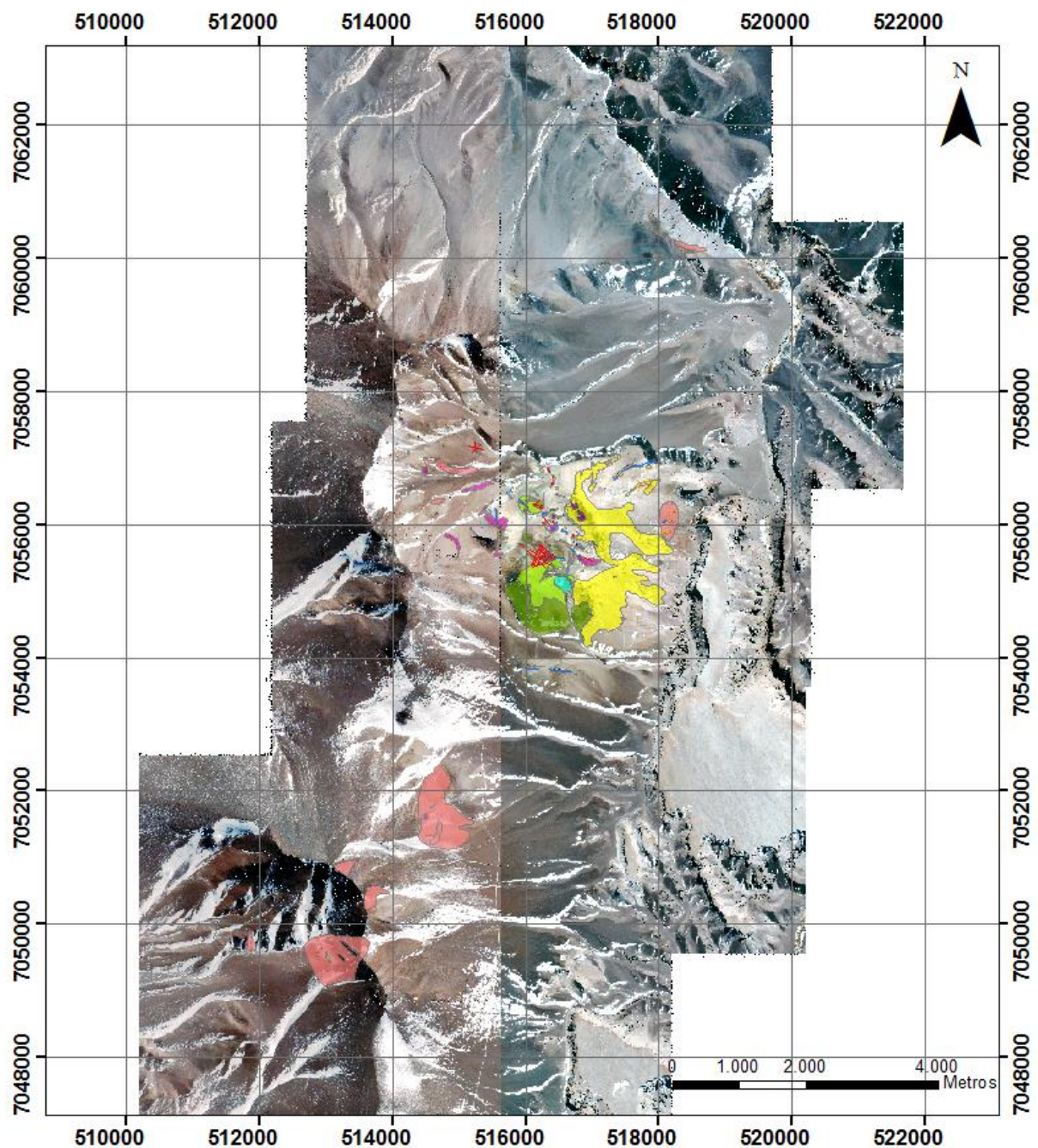
En el sector central de la propiedad se observa la influencia de dichos controles estructurales afectando el emplazamiento tanto de estructuras de *ledges* de cuarzo como de trenes de vetillas de cuarzo bandeado. Los primeros presentan un control mayormente EW, con leves inflexiones ENE. En lo que respecta a las vetillas de cuarzo bandeado, se observan tres trenes principales de rumbos NW, NE y NNE respectivamente. Los sectores donde se produce el cruce de dos o más de estos trenes corresponden a las áreas más prospectivas del proyecto La Falda.

3.5 Alteración y mineralización

En la zona de estudio es posible reconocer – a grandes rasgos – tres tipos de alteración caracterizados por la asociación mineral presente en las zonas abarcadas por cada una de estas (Figs 3.3 y 3.4). Estas son:

- Silicificación/Vuggy Silica/Cuarzo-Caolinita/Cuarzo-Alunita
- Illita – Esmectita
- Magnetita – Clorita ± Pirita

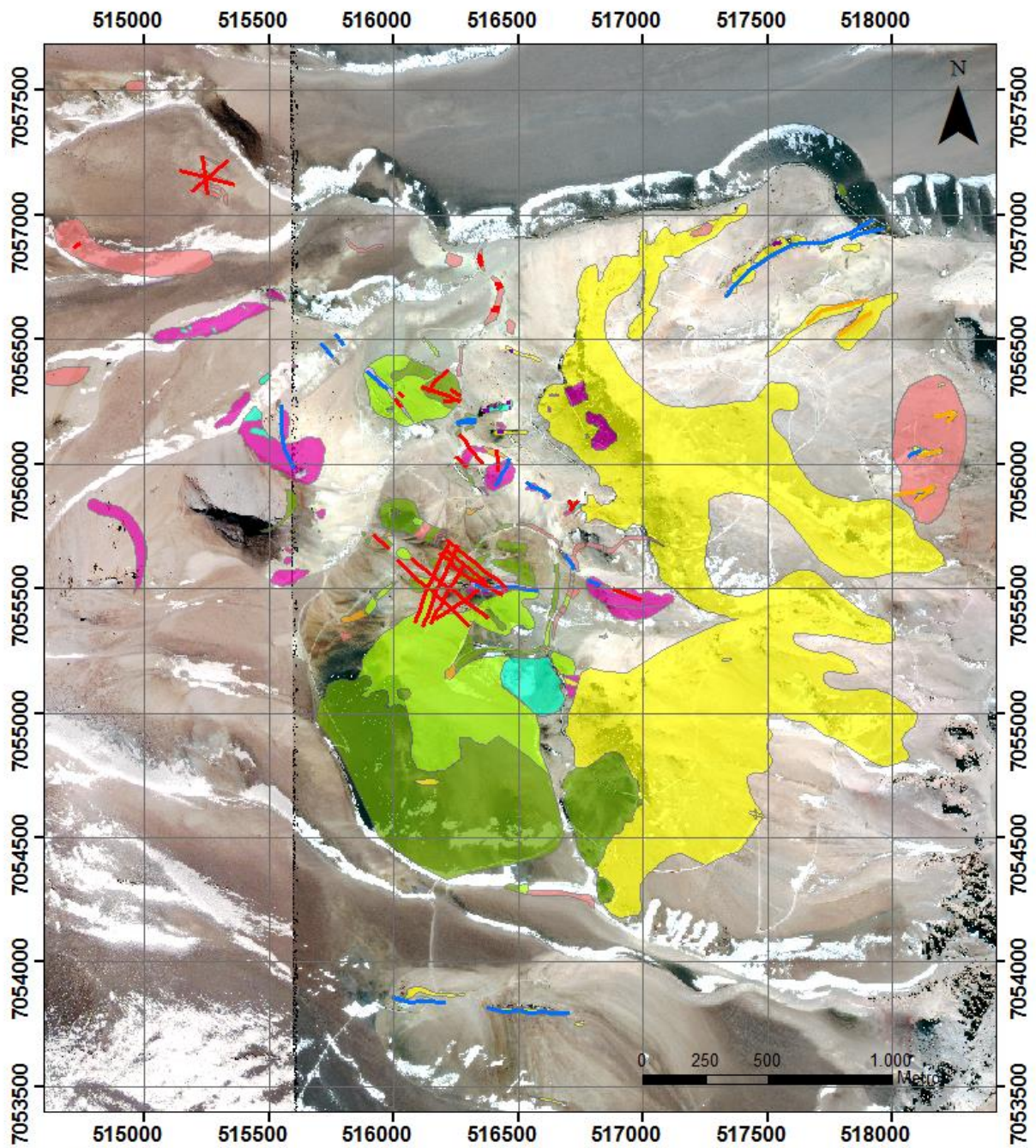
La alteración supérgena se presenta fuertemente en la superficie de la mayor parte de la propiedad, caracterizada por la asociación alunita – jarosita – yeso.



Leyenda

- | | | |
|--|---|--|
|  Pirita-Albita |  Illita-Smectita |  Vts Baritina-Cuarzo-Enargita |
|  Argilica |  Magnetita-Clorita |  Brecha Hidrotermal |
|  Cuarzo-Alunita |  Lithocap |  Ledges de Cuarzo |
|  Cuarzo-Caolin |  Silicificacion |  Vts Cuarzo Bandeado |

Figura 3.3 Mapa de alteración del proyecto La Falda 1:75.000



Leyenda


 Pirita-Albita	 Illita-Smectita	 Vts Baritina-Cuarzo-Enargita
 Argilica	 Magnetita-Clorita	 Brecha Hidrotermal
 Cuarzo-Alunita	 Lithocap	 Ledges de Cuarzo
 Cuarzo-Caolin	 Silicificacion	 Vts Cuarzo Bandeado

Figura 3.4 Mapa de alteración del proyecto La Falda 1:20.000, centrado en la zona de interés.

3.5.1 Silicificación/Vuggy Silica/Cuarzo-Caolinita/Cuarzo-Alunita

Esta asociación de alteración se encuentra distribuida principalmente en el sector este de la zona central del proyecto, en el Cerro Lito, donde predomina la alteración argílica avanzada evidenciada en la obliteración parcial a total de los afloramientos de roca del área. Las zonas con alteración cuarzo-caolinita y cuarzo-alunita se distribuyen en toda la zona aledaña al cuerpo de intrusivos centrales, abarcando el sector oeste de los intrusivos, donde no hay presencia de estructuras de *vuggy* silica; y el sector este, en forma extensiva y como halo periférico de las estructuras de *ledges* de cuarzo descritas anteriormente. La alteración también abarca la porción superior del sector de intrusivos centrales, donde hay evidencias del proceso de *telescoping*.

El grado de alteración es moderado a intenso, ocurriendo una obliteración parcial a total de la textura original de la roca.

3.5.2 Illita – Esmectita

La alteración illita – esmectita se encuentra netamente restringida a la litología de brecha intrusiva, con un rango de intensidad variable que va desde débil a fuerte según el sector. Esta alteración le otorga a la roca una textura arcillosa y un color verde claro característico.

3.5.3 Magnetita – Clorita ± Pirita

Afecta principalmente al pórfido feldespático en el sector de intrusivos centrales y en el sector Pomelo. Con mayor o menor participación de pirita, generalmente se presenta con intensidad débil a fuerte y le otorga a la roca un color negro a verde oscuro y en algunos sectores, un magnetismo intenso.

3.5.4 Mineralización

Respecto a la mineralización, el estilo presente en el proyecto La Falda corresponde a *stockworks* y *sheeted-veins* de vetillas de cuarzo bandeado, observadas en los sistemas porfídicos más conocidos de la Franja de Maricunga, y estructuras de *ledges* de cuarzo y brechas hidrotermales, asociadas a ambientes epitermales de alta sulfidización.

Las vetillas de cuarzo bandeado se encuentran formadas por bandas de cuarzo gris a negro. Este color está dado por una alta densidad de inclusiones fluidas ricas en vapor y granos micrométricos de magnetita. Las vetillas ocurren comúnmente como pares simétricos en las

cercanías de la pared de las vetillas. Las paredes de las vetillas son paralelas y débilmente ondulantes, el centro de estas generalmente tiene textura *vuggy* y no presenta bordes de alteración. Información extraída desde inclusiones fluidas en estas vetillas indica temperaturas de formación $\leq 350^{\circ}\text{C}$ a presiones de entre 20 y 150 bar. Asumiendo una carga hidrostática, se infieren profundidades de formación de 0,2 a 1,5 km. Las zonas donde las vetillas de cuarzo bandeado son abundantes, generalmente contienen 0,2 a 0,5 ppm de oro y $<0,1\%$ de cobre hipógeno (Muntean & Einaudi, 2001).

Los *ledges* de cuarzo, que corresponden a vetas/vetillas de reemplazo de cuarzo – alunita son típicas de ambientes epitermales de alta sulfuración. Estas se encuentran limitadas mayormente por rocas volcánicas sobreyacientes. El material del *ledge* consiste de cuarzo – alunita – pirita – rutilo y puede contener cantidades menores de caolinita, dickita, diásporo o pirofilita. En su zona central, estas estructuras presentan cuarzo residual de textura *vuggy*, el cual puede presentarse cortado por cuarzo euhedral, enargita y/o baritina a través de fracturas que atraviesan el centro del *ledge* (Muntean & Einaudi, 2001).

Capítulo 4

Geoquímica

El procesamiento de la información geoquímica – en el marco de la exploración de recursos minerales – consiste en la determinación de zonas de concentraciones anómalas de los elementos de interés económico para posteriormente enfocar los estudios de mayor detalle en los sectores acotados con mayor potencial económico.

Las primeras etapas de exploración ejecutadas en los proyectos mineros consisten en campañas de muestreo geoquímico en superficie mediante múltiples metodologías, como por ejemplo el muestreo de reconocimiento en afloramientos, muestreo de trincheras y muestreo de mallas de sedimentos finos de talud.

Durante las campañas de exploración superficial llevadas a cabo por Minera Hochschild en la temporada 2012 y 2013 se realizó el muestreo del proyecto La Falda mediante el diseño de dos mallas de suelo en el sector central de la propiedad, y el muestreo de roca en afloramientos puntuales, trincheras y caminos presentes tanto en el sector central como en las quebradas ubicadas al norte, sur y oeste de la propiedad.

Los resultados geoquímicos del muestreo fueron sometidos a análisis estadísticos destinados a la interpretación del comportamiento de los elementos y su distribución espacial, tanto individual como en asociaciones elementales de interés exploratorio.

4.1 Procedimiento de terreno

La metodología diseñada para el muestreo de sedimentos finos de talud – focalizada en la zona central de la propiedad – comenzó con el diseño de la malla de puntos en la zona de interés, lo cual incluyó la determinación del espaciamiento de los puntos, su disposición geométrica y la ubicación de cada uno de estos en el área de estudio. Luego, se procedió con la ubicación de los puntos preestablecidos mediante el uso de GPS en terreno. Una vez ahí, se llevó a cabo la excavación de un pozo de aproximadamente 40 cm de profundidad en la cubierta de sedimentos ubicada en el punto en cuestión. Posteriormente, se extrajo material desde el fondo del pozo, el

cual fue pasado a través de un tamiz de 2 mm de apertura hasta alcanzar los 2 kg aproximadamente en la bolsa de muestreo. Finalmente se procedió con el sellado del material extraído dentro de la bolsa de muestreo y el registro de las condiciones geológicas y fisiográficas de la zona, incluyendo la litología de los sectores aledaños, alteración, estructuras cercanas y origen del sedimento extraído.

Para el muestreo de roca, la metodología utilizada depende principalmente del origen y área expuesta del afloramiento en cuestión. En el caso de los afloramientos naturales, puntuales y acotados, se utilizó la metodología de “rock chip”. Esta consiste en la delimitación de un área pequeña dentro del afloramiento – idealmente de 2x2 m² – para proceder con la extracción de los *chips* de roca (fragmentos tamaño 2” aproximadamente) en puntos distribuidos lo más homogéneamente posible dentro del área delimitada mediante golpes de martillo y cincel, hasta alcanzar los 2 kg de muestras aproximadamente. Posterior a esto, viene la etapa de sellado de la bolsa de muestreo y el registro del punto muestreado, junto con la información de terreno del sector, lo que incluye la ubicación en coordenadas UTM, altitud, tipo de afloramiento, tipo de muestreo, litología, alteración, mineralogía de alteración, y una breve descripción geológica de la litología y caracterización de estructuras, en caso de existir

Para el muestreo de rocas en trincheras y caminos, los cuales poseen una superficie de roca expuesta mayor y continua, se utilizó el método de *canaleta chip*. Este consiste en la obtención de *chips* de roca a través de un surco en el afloramiento a lo largo del tramo definido de trinchera o camino, con un ancho aproximado de 0,2 m en la dirección del eje del camino o trinchera. En cada tramo se debe rellenar la bolsa de muestreo con alrededor de 2 kilos de muestra fresca obtenida del martilleo directo del afloramiento y registrar la zona de muestreo según lo descrito en el párrafo anterior.

4.2 Ubicación de las muestras

Las muestras de sedimentos finos de talud fueron organizadas en dos grillas de líneas norte-sur que abarcaron la zona de intrusivos centrales, brechas volcánicas aledañas y depósitos aluviales provenientes de la cordillera Claudio Gay, en el límite occidental de La Falda. El límite oriental de las mallas de finos de talud corresponde a la ladera poniente del valle del río Juncalito,

donde el muestreo incluyó también sedimentos de los depósitos de ignimbrita ubicados en el sector oriental de la propiedad (Fig. 4.1).

La malla n°1 se conforma por 19 líneas norte-sur, de las cuales las 15 centrales son intercalaciones de líneas de 20 y 21 puntos, la línea del extremo occidental posee 4 puntos concentrados en el sector de Pomelo y las 3 líneas orientales son de 19, 19 y 9 puntos, de oeste a este, respectivamente. El espaciamiento inter-línea es de 200 m y en cada línea, el espaciamiento inter-puntos es de 200 m (malla 200 x 200 m), en disposición pentagonal (Fig. 4.1).

La malla n°2 se realizó con el objetivo de densificar el muestreo en la zona de los pórfidos centrales y los sectores inmediatamente aledaños a este. Para esto, se insertaron 6 líneas adicionales entre las líneas centrales de la malla n°1, con un espacio inter-puntos de 100 m y una longitud de línea de 16 puntos, obteniéndose como resultados un malla central de 100 x 200 m (Fig. 4.1).

Las muestras de roca fueron tomadas preferentemente en el sector central de la propiedad, como complemento a la malla de sedimentos finos de talud (Fig. 4.2). Las áreas muestreadas también incluyen zonas periféricas que consisten en afloramientos situados en los sectores de:

- San Lorenzo, 1 km al suroeste de Pomelo, en la ladera este de la cordillera Claudio Gay.
- Pedernales, ubicado en el curso del río Juncalito, al noreste de la propiedad.
- Portezuelo, al suroeste de la propiedad, en ambas laderas de la Cordillera Claudio Gay.

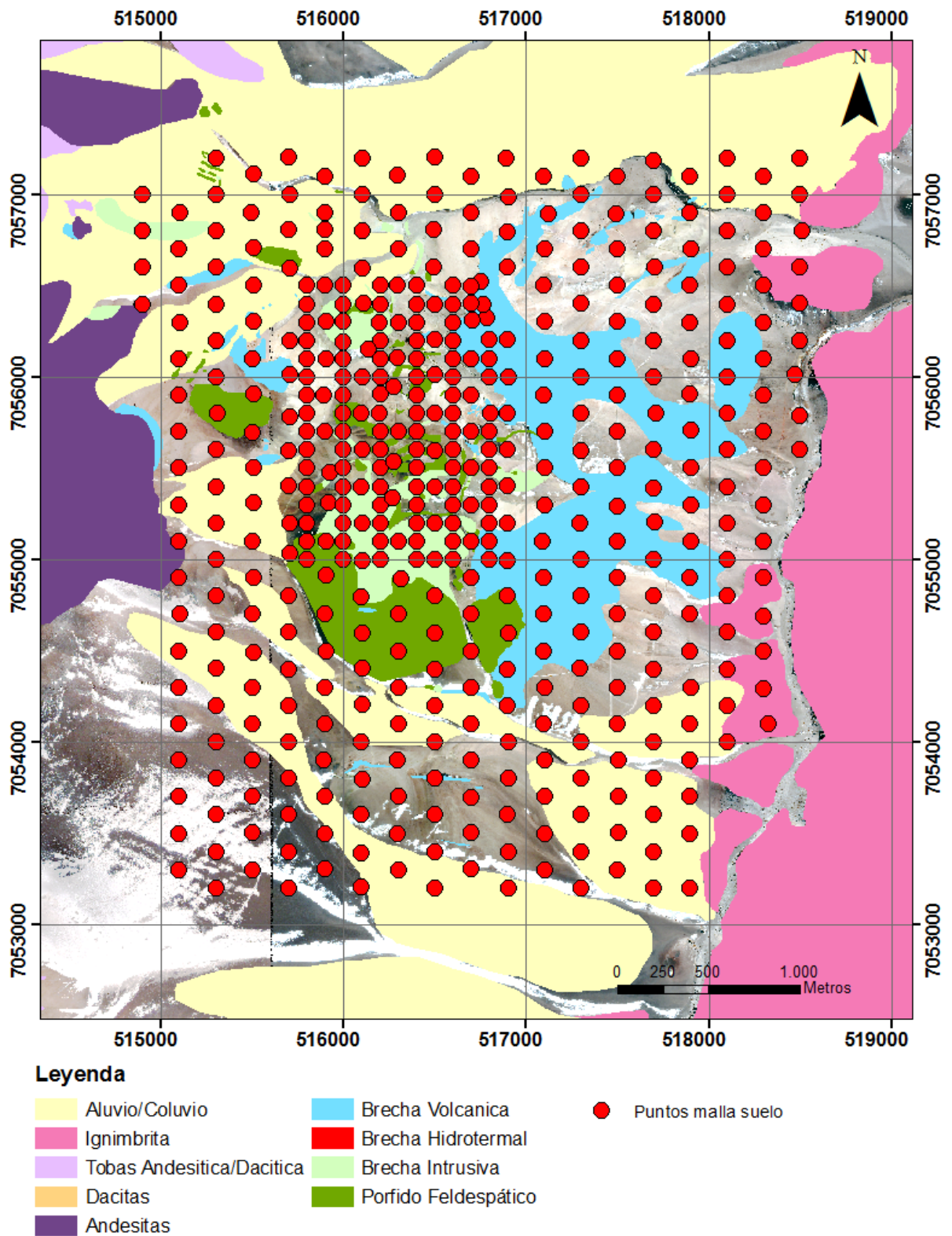


Figura 4.1 Ubicación de las muestras extraídas de la malla de sedimentos finos de talud 1:25.000. Se observan as dos mallas de suelo descritas, donde la n°2 densifica el muestreo dentro de la malla n°1 más amplia.

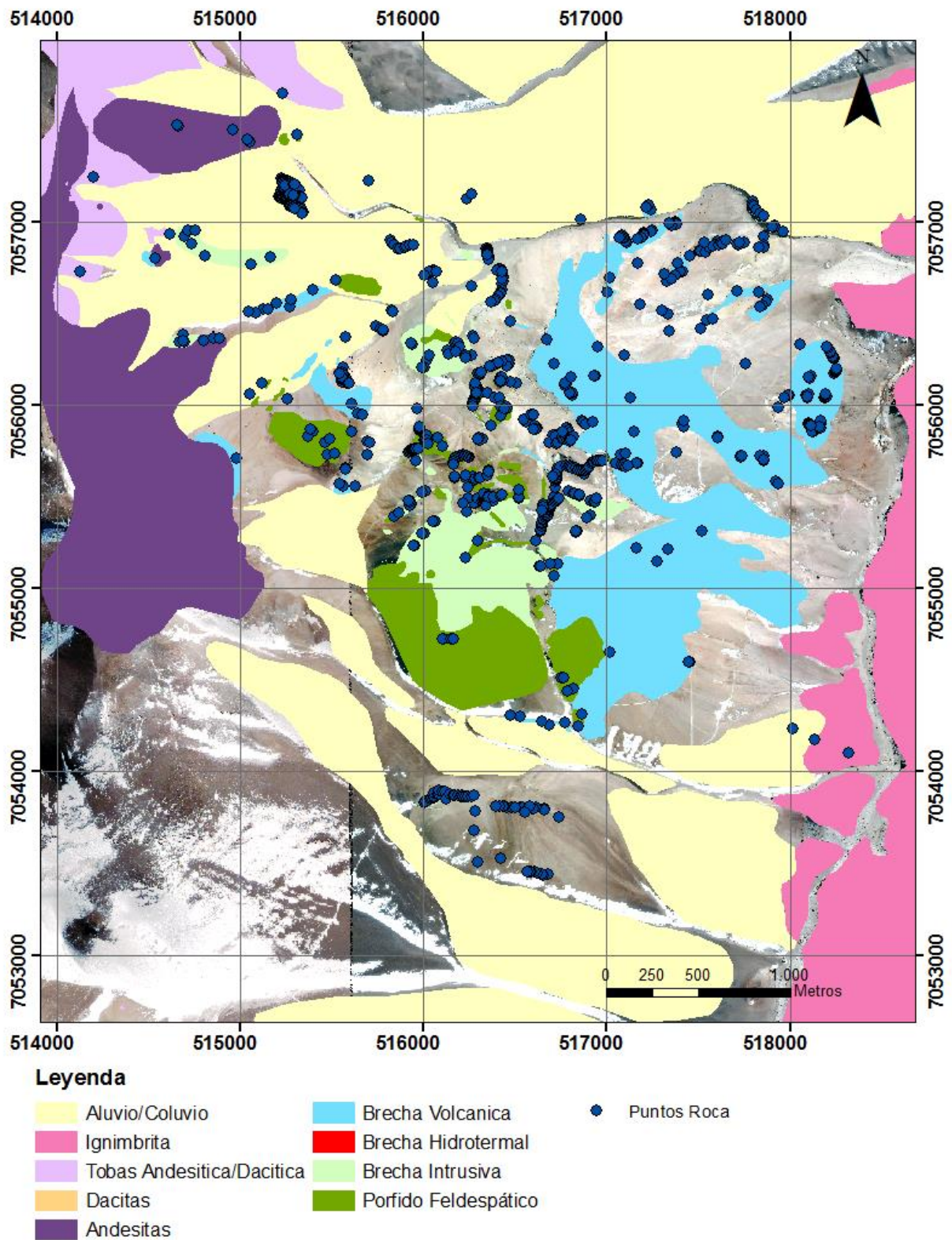


Figura 4.2 Ubicación de las muestras extraídas de roca en el área central de la propiedad 1:25.000.

4.3 Procedimiento de laboratorio

El procedimiento típico de laboratorio se puede resumir en dos etapas generales, cada una con procesos internos destinados a la entrega de la información geoquímica final. Estas etapas son la preparación de las muestras y los procedimientos analíticos.

Todas las muestras extraídas en terreno fueron preparadas y analizadas en el laboratorio ALS Chemex Coquimbo, en una primera etapa, para luego ser enviadas a los laboratorios de ALS Chemex Antofagasta debido a decisiones internas de la empresa.

4.3.1 Protocolo de preparación de las muestras

El proceso de preparación de muestras está diseñado para producir una sub-muestra pequeña, representativa y homogénea del material enviado a laboratorio, según los requerimientos de los métodos analíticos solicitados. Esta requiere la aplicación cuidadosa de la teoría de muestreo para producir una sub-muestra representativa, particularmente si los metales preciosos se encuentran distribuidos heterogéneamente (“efecto pepita”) en la muestra. Los procedimientos utilizados para las muestras de roca y finos de talud son distintos.

A las muestras de roca enviadas a laboratorios ALS Chemex se les aplicó la preparación PREP-31B, la cual se inicia con el chancado de los fragmentos de roca hasta que el 70% de los granos alcanza el tamaño suficiente como para pasar a través de la malla #10; es decir, menos de 2 mm. A continuación, la muestra se cuartea para obtener 1 kg de material, el cual es pulverizado hasta que el 85% de los granos logre atravesar la malla #200, lo que equivale a un diámetro de 75 micrones.

En el caso del material fino de talud, se utilizó la preparación PREP-41, la cual consiste en una primera etapa de secado a baja temperatura (<60°C) para posteriormente tamizar el material muestreado a través de la malla #80 (180 micrones), cuartear el material obtenido y así obtener la sub-muestra necesaria para los análisis siguientes.

4.3.2 Procedimientos analíticos

La selección del método analítico a utilizarse es de gran importancia, pues debe tenerse en consideración tanto el tipo de muestra introducido como los elementos trazadores definidos para escoger el procedimiento que mejor cumpla con las expectativas de exploración.

En el caso del muestreo realizado en el proyecto La Falda, se utilizaron distintos métodos analíticos para suelo y roca. No obstante, para el caso del oro se utilizó el mismo método en muestras de suelo y roca, diferente a su vez de los métodos utilizados para los demás elementos.

El procedimiento utilizado para determinar el contenido de oro de las muestras fue el Au-AA24. En este, una muestra de 50 g proveniente del proceso de preparación es sometida a un ensaye a fuego y un análisis posterior mediante espectrometría de absorción atómica. El análisis a fuego consiste en la descomposición de la muestra mediante fusión con una mezcla de óxido de plomo, carbonato sódico, bórax, sílice, otros reactantes y 0,4 ml de AgNO_3 en un proceso conocido como copelación, el cual entrega un botón de metales preciosos. Este botón es digerido en ácido nítrico durante 2 minutos. La solución se digiere por dos minutos más con ácido hidrociorhídrico, para luego enfriarse y diluirse a 4 ml con agua desmineralizada, y finalmente ser analizada por espectrometría de absorción atómica. Si la concentración de oro excede el límite de detección superior, la concentración se obtiene mediante gravimetría según el procedimiento Au-GRA22.

La concentración de los demás elementos fue obtenida mediante digestión en agua regia e ICP-MS e ICP-AES de 35 elementos en muestras de roca, según el procedimiento ME-ICP41. En muestras de suelo, se utilizó ICP-MS e ICP-AES de 51 elementos, según el procedimiento ME-MS41. La digestión en agua regia se aplica a una sub-muestra de 0,5 g durante un tiempo superior a una hora, en un recipiente con agua caliente. Una vez fría, la solución resultante se diluye con agua desmineralizada en una solución de 12,5 ml para luego ser analizada.

4.4 Control de Calidad

El proceso de *Aseguramiento y Control de Calidad* (QA/QC) tiene por objetivo asegurar la integridad de los datos utilizados en el manejo del programa de exploraciones u operaciones mineras y certificar que la naturaleza de los datos les permite ser utilizados en la estimación de recursos, control de producción, entre otros. Luego, un buen programa de QA/QC debe cumplir con lo siguiente:

- Prevenir el ingreso de grandes errores a la base de datos del modelado de recursos.
- Demostrar que el muestreo y las discrepancias analíticas son pequeños en comparación a las variaciones geológicas.
- Garantizar que la precisión y exactitud de la información de la información pueda ser confirmada por otros laboratorios, dentro de límites razonables.

El programa de QA/QC es parte esencial de cualquier programa de exploración, siendo su propósito monitorear los procesos de muestreo y el desempeño del laboratorio en un intento por minimizar el total de errores posibles en el proceso de muestreo, fraccionamiento y análisis. Por ende, en un programa de exploración, el QA/QC debe cubrir los siguientes tópicos:

- Recolección de muestras
- Contaminación
- Preparación de las muestras
- Exactitud y precisión
- Administración de la base de datos
- Análisis de la información geológica

4.4.1 Protocolo QA/QC de Minera Hochschild

El protocolo de control de calidad en el proyecto La Falda está sujeto a la normativa imperante de Minera Hochschild para *programas generativos, de reconocimiento o mapeo y muestreo de exploración semi-regional y local en una etapa inicial* (Procedimientos QA/QC, Hochschild Mining PLC, 2007).

El control de procedimientos llevado a cabo en el proyecto incluye la definición de los materiales de control utilizados, la frecuencia de inserción de material en los envíos a laboratorio, y finalmente los análisis y monitoreo de los datos obtenidos.

4.4.1.1 Materiales de control y frecuencia de inserción

Los materiales de control utilizados en el proyecto La Falda e insertados en los envíos a laboratorio son los siguientes:

1. *Duplicados*

- a. *Duplicados de terreno (re-muestreo, gemelas, twin samples)*: Corresponden a muestras recolectadas en el mismo sitio y sirven para monitorear la homogeneidad de la mineralización y variación inducida por el método de muestreo. En campo, un duplicado de terreno es una muestra recolectada en el mismo sitio y con el mismo método que la original.
- b. *Duplicado grueso (rechazo, coarse duplicate)*: Un duplicado grueso da información sobre la variación que induce la separación de la muestra entre muestra original, duplicado grueso y rechazos. Un duplicado grueso se prepara en el laboratorio después de chancar la muestra y separarla mediante un cuarteador, obteniéndose como resultado la muestra original y el duplicado grueso.
- c. *Duplicado Fino (re-ensaye, pulpa, pulp duplicate)*: Se utilizan para indicar la precisión del análisis químico del laboratorio. Corresponde a la segunda parte del cuarteo de las pulpas de las muestras que se separan al final de la preparación completa, y después de moler las muestras.

2. *Estándares*

Muestras certificadas con una composición química conocida, que sirven para monitorear la exactitud (reproducibilidad) del análisis. En el análisis de muestras de suelo y roca superficial del proyecto La Falda se utilizaron los siguientes estándares:

- a. *Estándar bajo de Au*: Corresponde al estándar G310-3 elaborado por Geostats Pty Ltd, el cual posee una ley certificada de 0,07 ppm.
- b. *Estándar medio de Au*: Corresponde al estándar G906-2 elaborado por Geostats Pty Ltd, el cual posee una ley certificada de 2,46 ppm.

3. *Blancos*

Los blancos son muestras de material estéril cuyas concentraciones de elementos que están siendo analizados se sitúan debajo del límite de detección. Estos ayudan a monitorear la contaminación y desarreglo de las muestras durante los procesos de preparación y análisis en el laboratorio.

- a. *Blancos Gruesos (coarse blanks)*: Corresponden a fragmentos de cuarzo adquiridos en laboratorios ALS Minerals Coquimbo. Estos deben ser insertados óptimamente después de muestras de alta ley y después de un blanco fino.
- b. *Blancos finos (pulp blanks)*: Son material estéril molido (pulpas) y deben ser insertados directamente después de muestras de alta ley.

Finalmente, en el programa aplicado al proyecto La Falda, la frecuencia de inserción de material de control para muestreo de superficie no puede ser inferior al 12% del muestreo total.

4.4.1.2 Límites de tolerancia

La definición de los límites de tolerancia de los análisis y el criterio de aceptación varía según la muestra de control analizada (Tabla 4.1). Los resultados de los estándares se consideran aceptables si menos del 5% de los análisis se encuentran fuera el rango definido, mientras que los duplicados y blancos se consideran aceptables si menos del 10% de los análisis se encuentran fuera de los rangos definidos para cada control por sus límites de tolerancia respectivos.

Tabla 4.1 Criterio y límites de tolerancia para los materiales de control utilizados en el proyecto La Falda

Material de Control	Criterio	Límite de Tolerancia
Duplicado de Terreno	Error Relativo Porcentual	$\leq 30\%$
Duplicado Grueso	(diferencia del par dividido por la media del par en %)	$\leq 20\%$
Duplicado Fino		$\leq 10\%$
Blancos Gruesos	Límite de Detección (LD)	$\leq 3LD$
Blancos Finos		$\leq 2LD$
Estándares	Límite Superior	$\leq \text{Media Std} + 2\sigma$
	Límite Inferior	$\geq \text{Media Std} - 2\sigma$

4.4.2 Resultados del control de calidad

En el proyecto La Falda, los datos totales de muestreo superficial utilizados en el presente trabajo corresponden a 1464 muestras, de las cuales 447 son de suelo y 1017 de roca. El total de muestras de control insertadas en los envíos de las muestras analizadas es de 215, que equivalen al 14,69% del muestreo superficial, valor superior al 12% mínimo que establece el protocolo de Minera Hochschild para el muestreo de superficie (Tabla 4.2).

Tabla 4.2 Resumen de muestras de control insertadas en los envíos del muestreo superficial realizado en La Falda

Control	Suelo	Roca	Total
Estándar Bajo	12	23	35
Estándar Medio	10	23	33
Duplicado Terreno	6	10	16
Duplicado Grueso		13	13
Duplicado Fino	14	23	37
Blanco Fino	13	28	41
Blanco Grueso	11	29	40
	TOTAL		215

A continuación se presentan los resultados del control de calidad de los datos mediante la comparación de los resultados obtenidos para los criterios versus los rangos establecidos (Tabla 4.1). Cabe señalar que estos fueron ejecutados solo para los elementos oro y plata según el procedimiento de Minera Hochschild.

1. Blancos

El control de calidad de “contaminación” en los análisis se realizó separadamente para los blancos insertados entre muestras de suelo y roca, debido a que fueron analizados mediante distintos procedimientos; y por tanto, poseen distinto límite de detección (Figs. 4.3 a 4.10)

De las gráficas, se puede señalar que los blancos gruesos y finos, tanto para oro como plata cumplen con los límites de tolerancia establecidos. En seis de los ocho casos se obtuvo un 0% de datos que sobrepasaron el límite de tolerancia. Sin embargo, en el caso de los blancos gruesos para el elemento plata, los procedimientos ME-MS41 para suelo y ME-ICP41 para roca arrojaron un 8,33% y 6,9% de las muestras por sobre el límite de tolerancia, que aun así resultan menores al 10% de aceptabilidad para garantizar el mínimo de calidad en relación a la contaminación en los análisis de laboratorio.

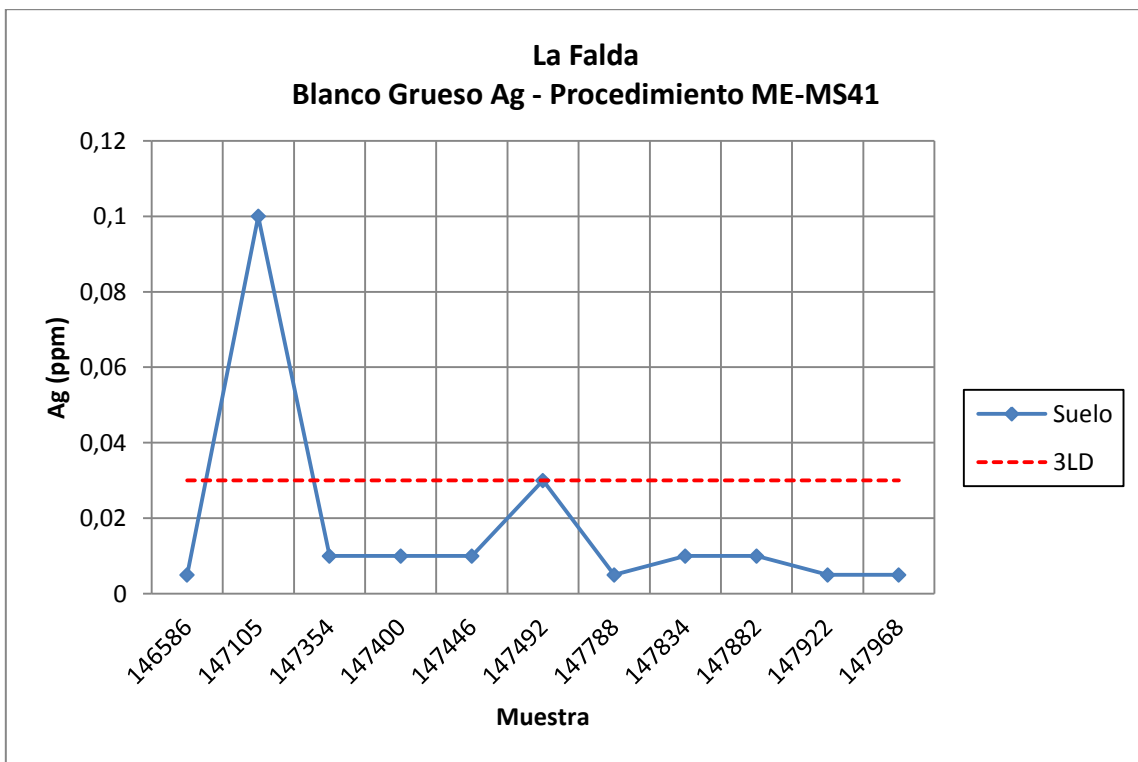


Figura 4.3 Procedimiento de control de Ag en blancos gruesos para muestras de suelo.

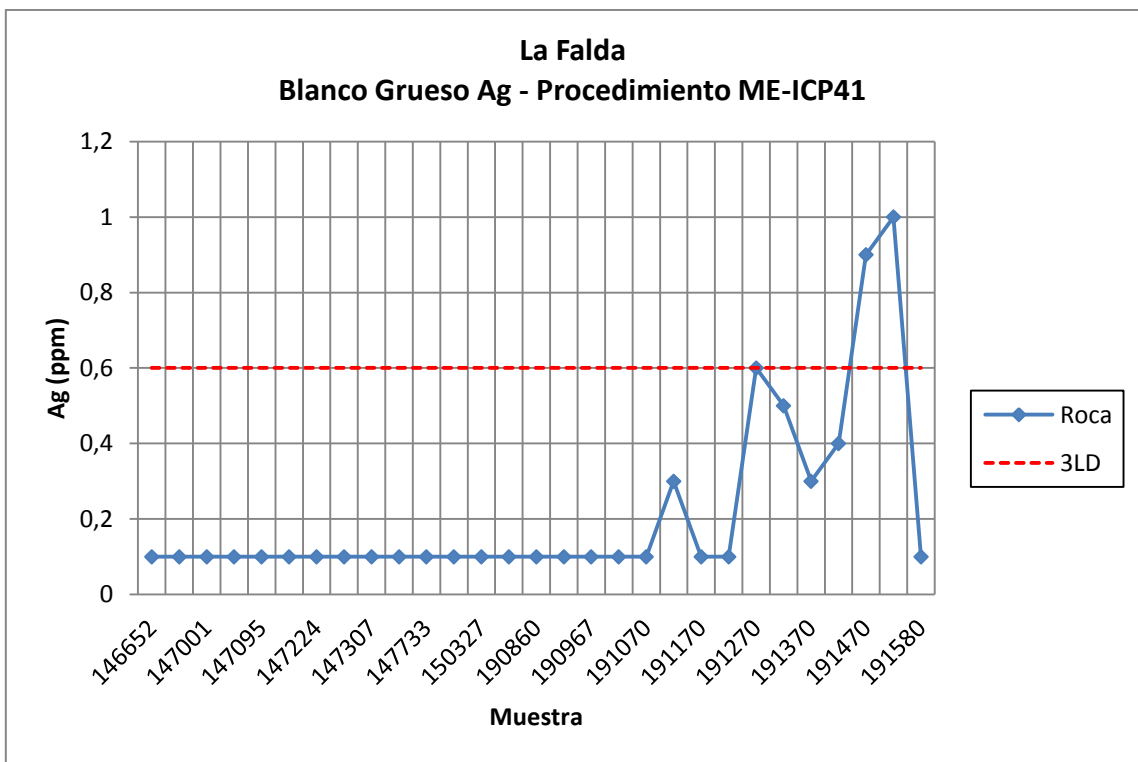


Figura 4.4 Procedimiento de control de Ag en blancos gruesos para muestras de roca.

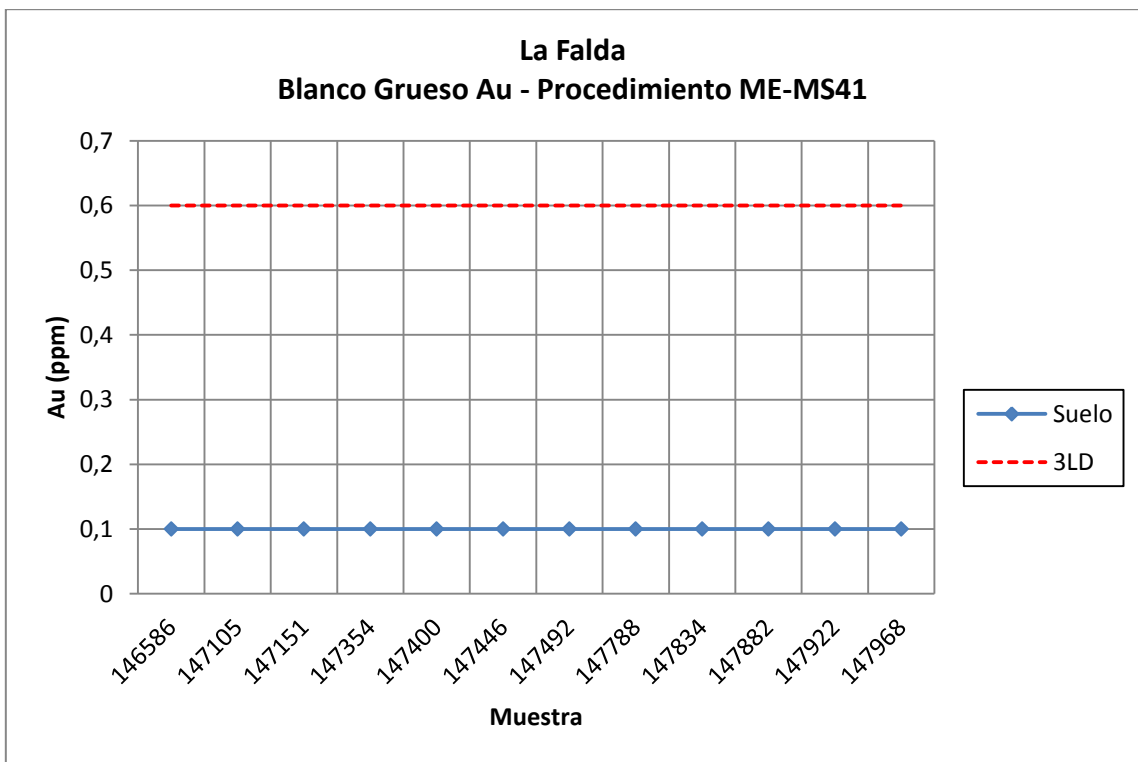


Figura 4.5 Procedimiento de control de Au en blancos gruesos para muestras de suelo.

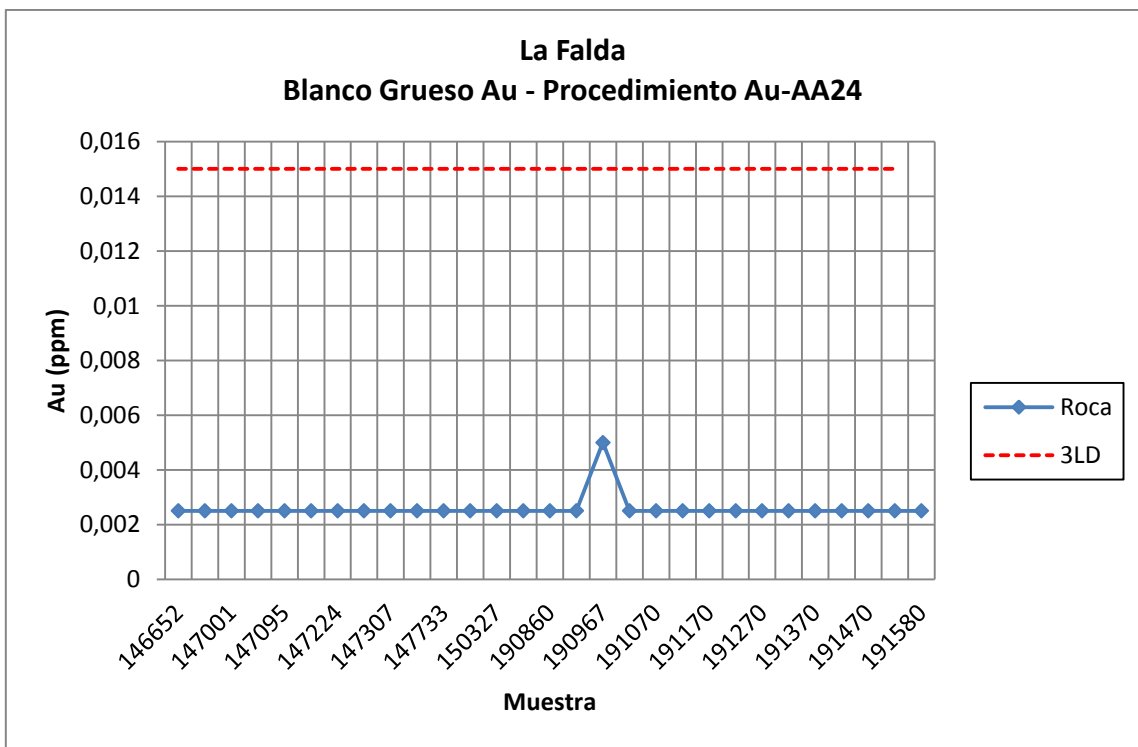


Figura 4.6 Procedimiento de control de Au en blancos gruesos para muestras de roca.

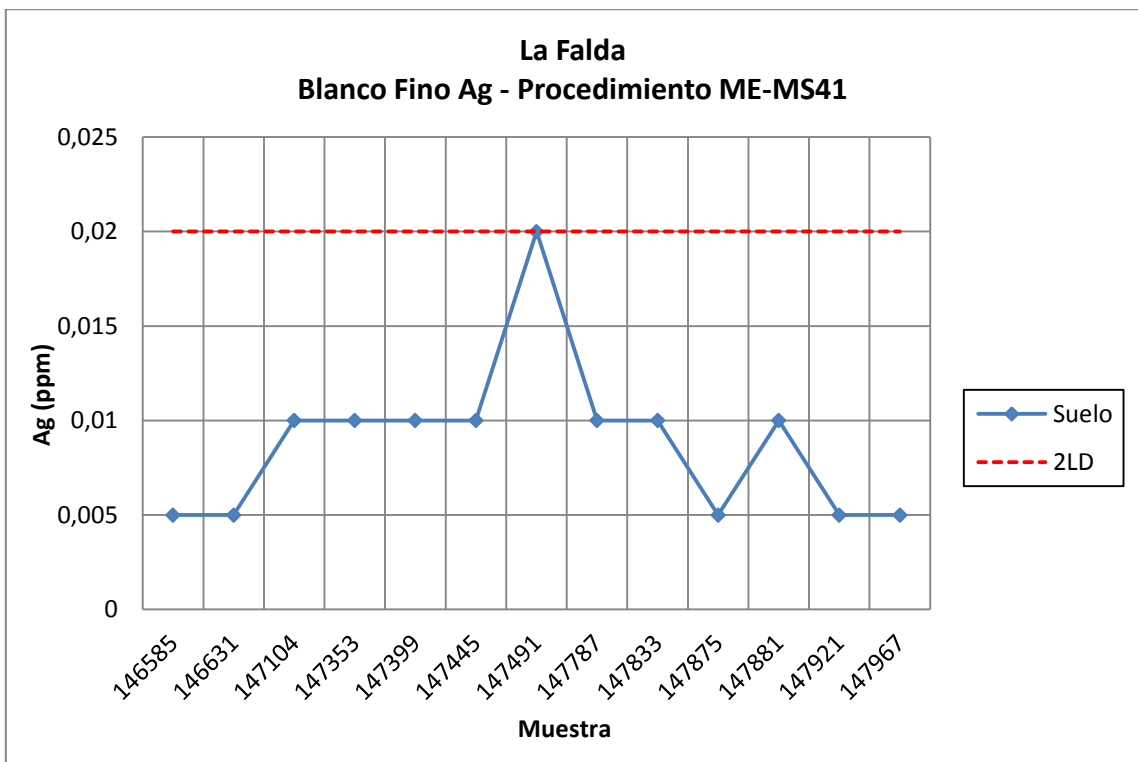


Figura 4.7 Procedimiento de control de Ag en blancos finos para muestras de suelo.

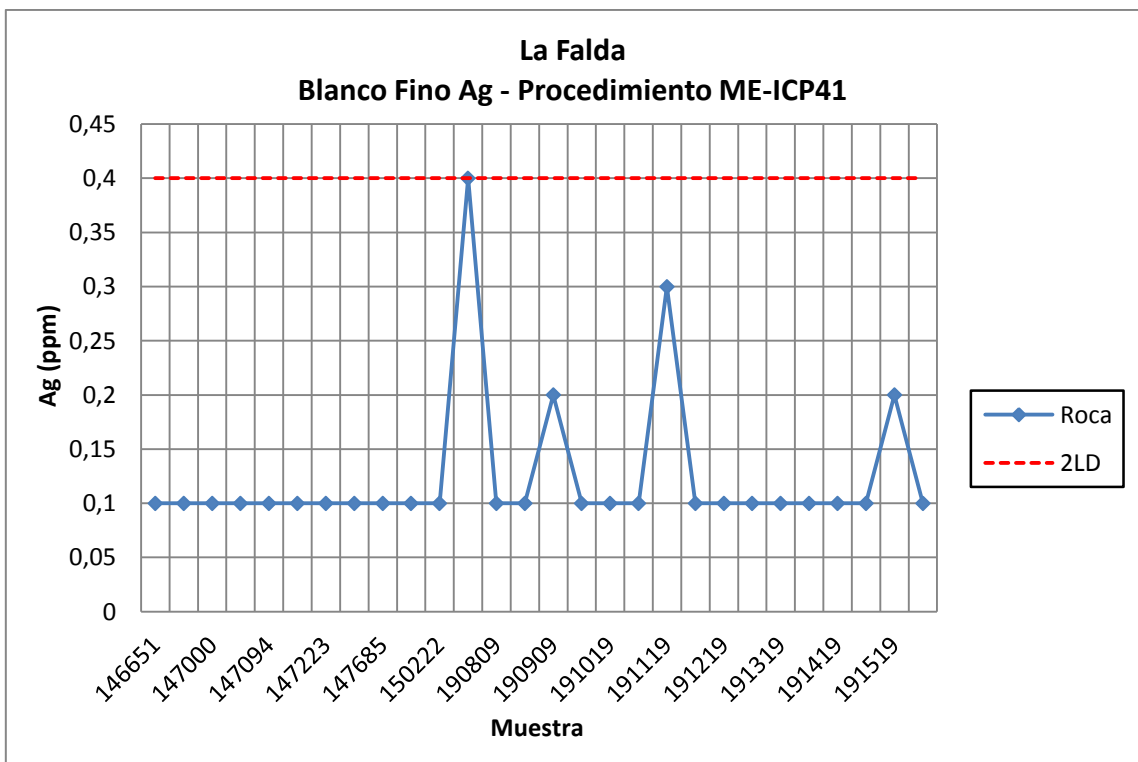


Figura 4.8 Procedimiento de control de Ag en blancos finos para muestras de roca.

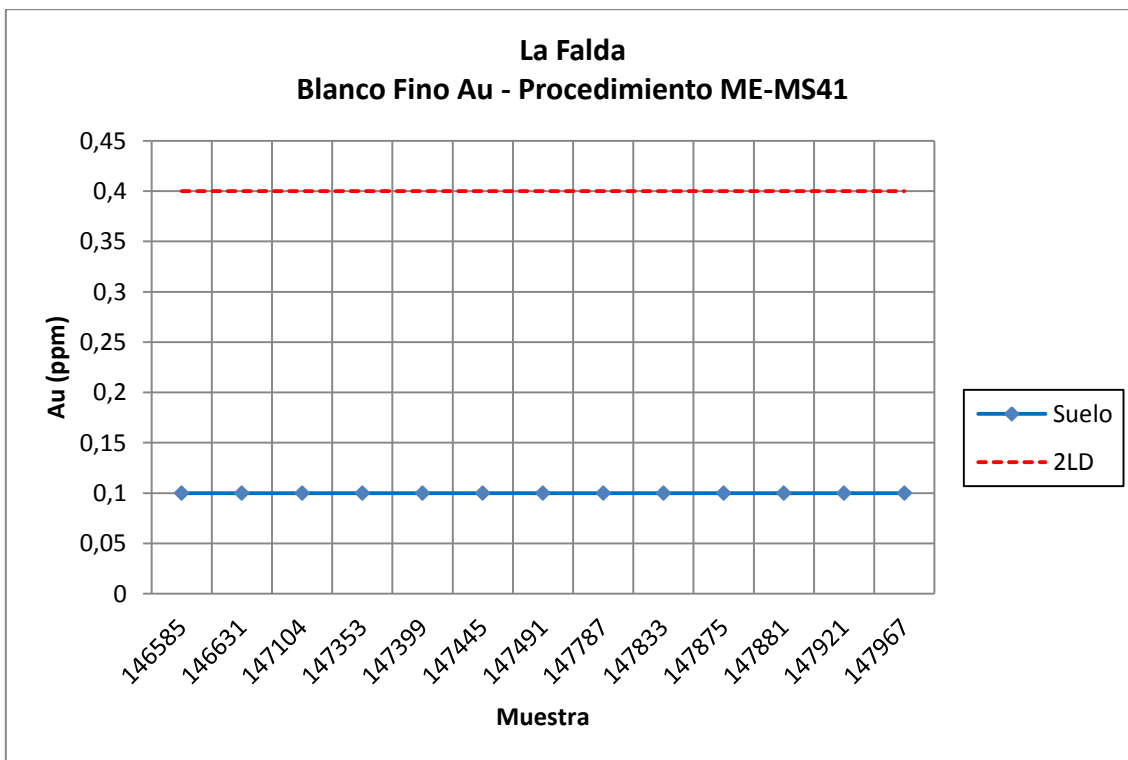


Figura 4.9 Procedimiento de control de Au en blancos finos para muestras de suelo.

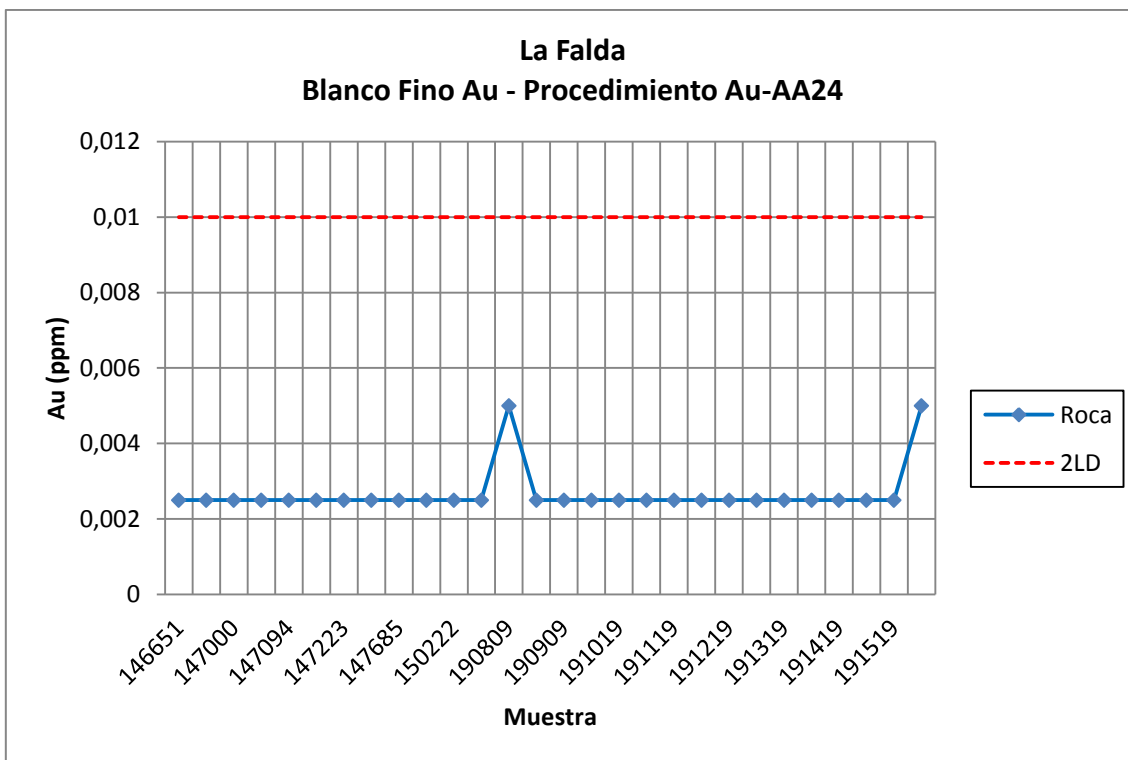


Figura 4.10 Procedimiento de control de Au en blancos finos para muestras de roca.

2. Estándares

Los resultados obtenidos del control de la exactitud de los análisis mediante la inserción de muestras estándares en el muestreo superficial resultaron disímiles. Para el estándar bajo, todos los resultados analíticos se ubicaron dentro el rango aceptable de exactitud dado por la media más dos veces la desviación estándar del material estándar (Fig. 4.11). Sin embargo, en el caso del estándar medio, de las 33 muestras controles hubo cinco que superaron levemente los límites establecidos, lo que representa el 15,15% de los análisis, superando así el 5% tolerable de muestras para considerar aceptable la exactitud de los análisis de laboratorio (Fig. 4.12).

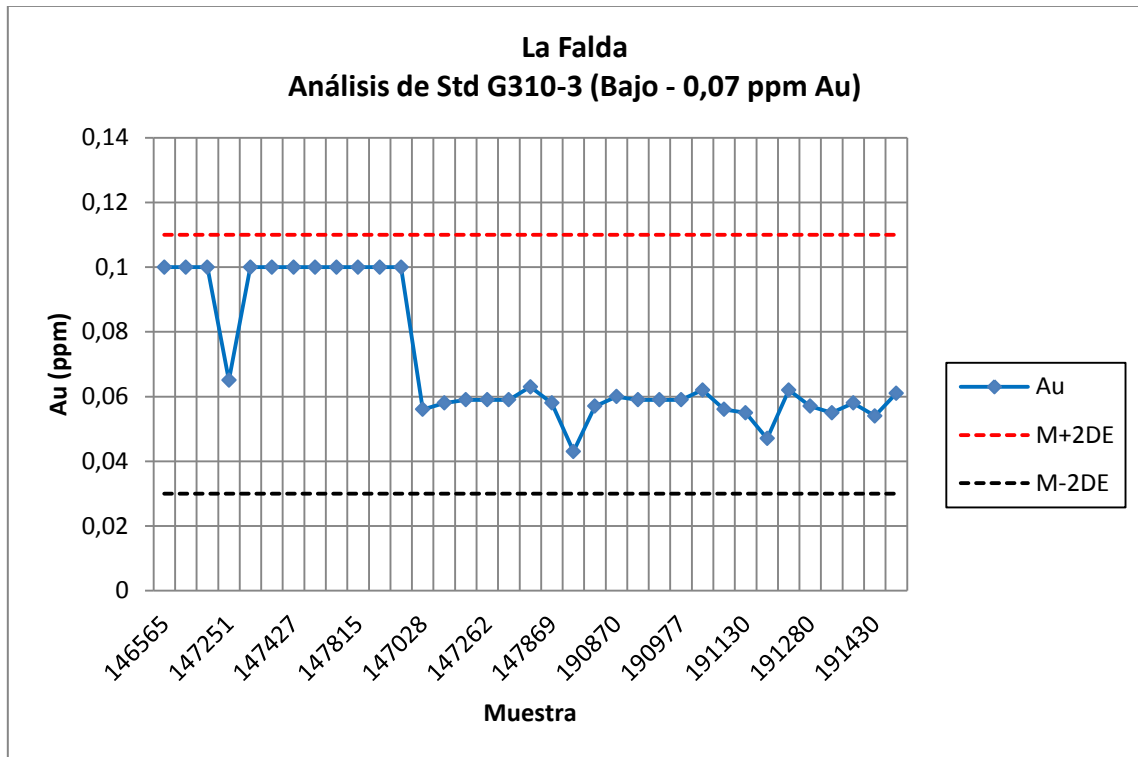


Figura 4.11 Procedimiento de control de Au en blancos finos para muestras de roca.

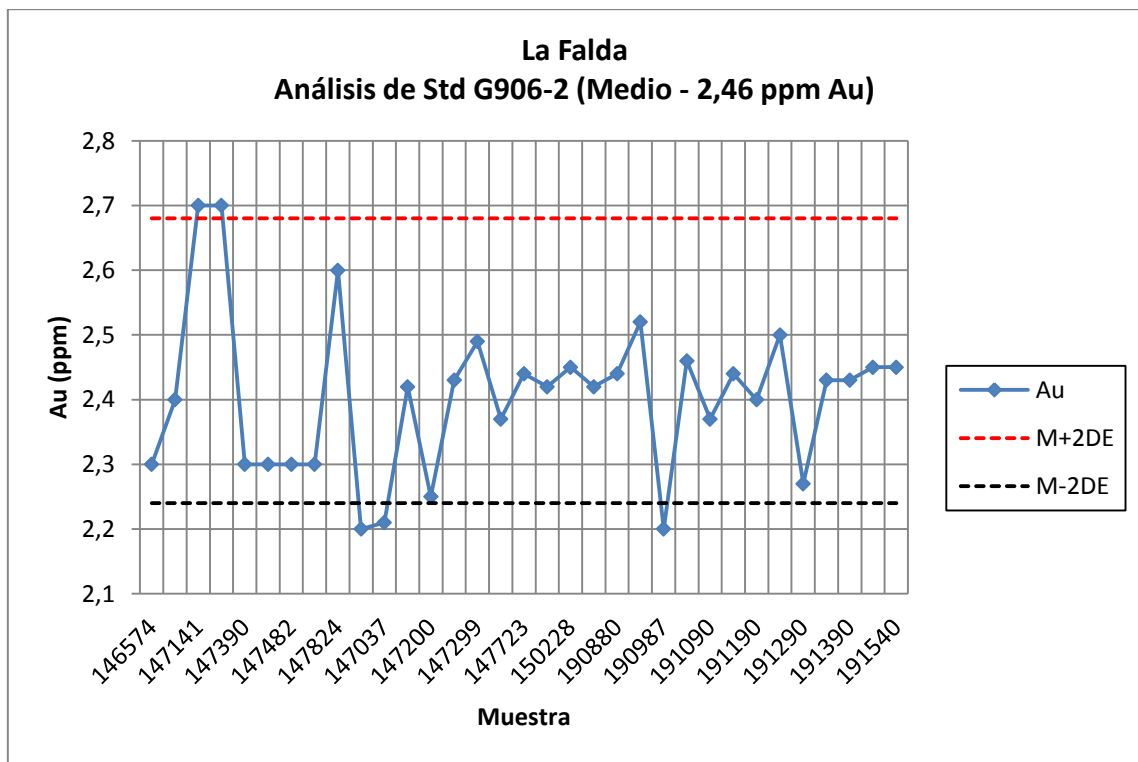


Figura 4.12 Procedimiento de control de Au en blancos finos para muestras de roca.

3. Duplicados

El control de calidad de la precisión analítica aplicado a los duplicados se realizó separadamente para las muestras de suelo y roca. Esto se hizo debido a las diferencias de magnitud en los resultados, cuya explicación se adjudica a las diferencias en los límites de detección de los procedimientos ME-MS41 (suelo) y ME-ICP41 (roca).

En el caso de los duplicados finos, el error relativo porcentual superó el 10% tolerable para plata en los análisis de suelo y roca (28,57% y 34,78%). Para el oro, en suelo todos los pares tuvieron el mismo valor por lo cual se obtuvo un nivel de precisión perfecta. Sin embargo, para las muestras de roca, los pares fuera de rango representaron el 26,09% (Figs. 4.13 a 4.16).

En duplicado grueso, que por razones obvias solo se realizó a muestras de roca, los resultados mostraron niveles de precisión aceptables ($\leq 20\%$) tanto para plata (15,38%) como para oro (0%) (Figs. 4.17 y 4.18).

Finalmente, los duplicados de terreno para oro mostraron niveles de precisión aceptables en suelo y roca. Sin embargo, para plata, tanto suelo como roca mostraron un error relativo porcentual superior al 30% especificado en el protocolo de la empresa. (Figs. 4.21 a 4.24).

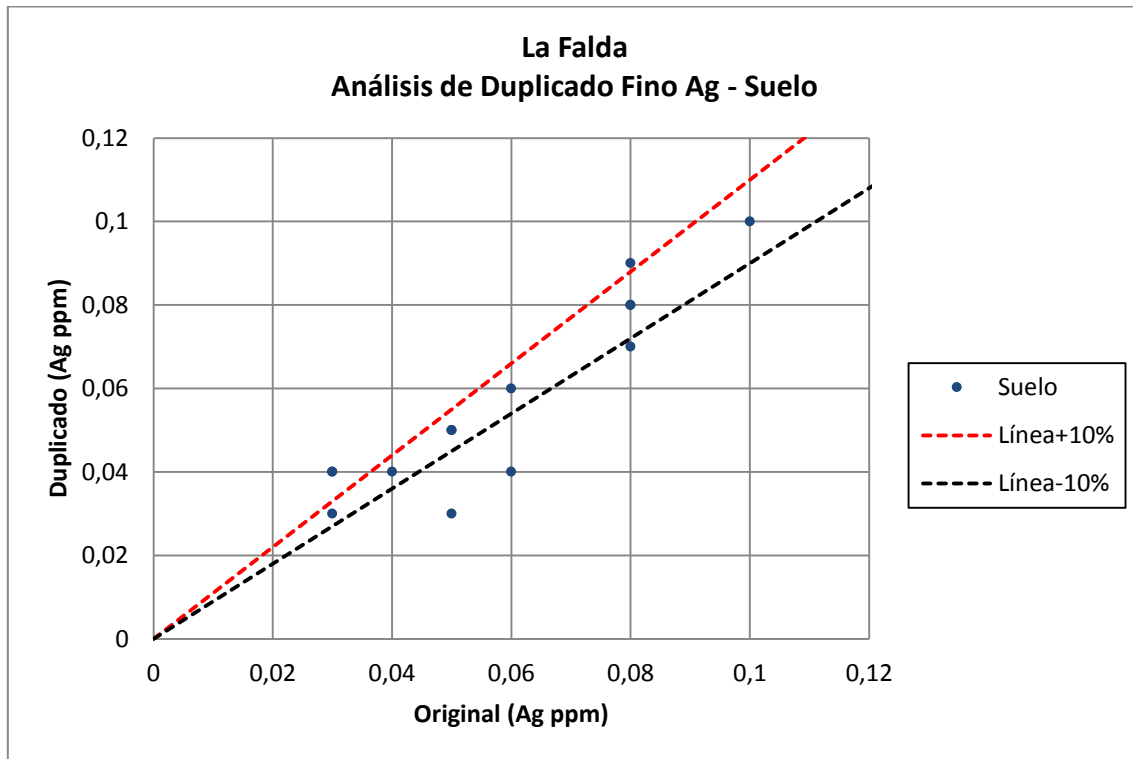


Figura 4.13 Análisis de duplicado fino de Ag en muestras de suelo.

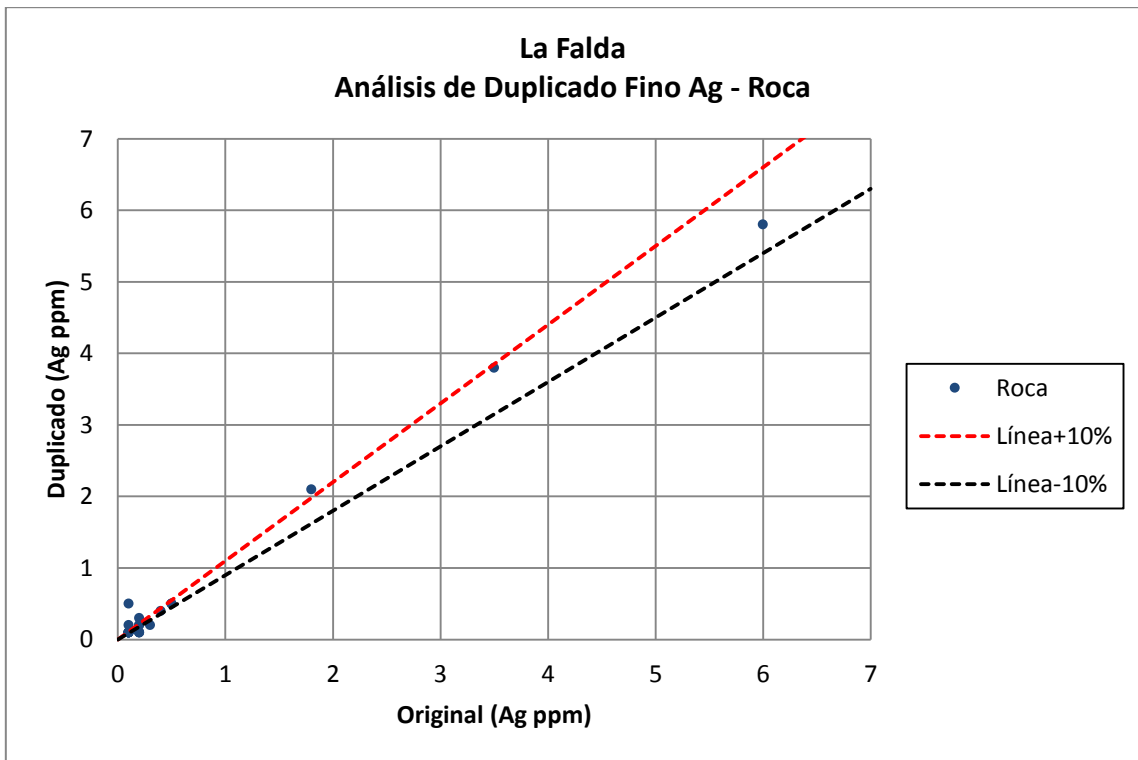


Figura 4.14 Análisis de duplicado fino de Ag en muestras de roca.

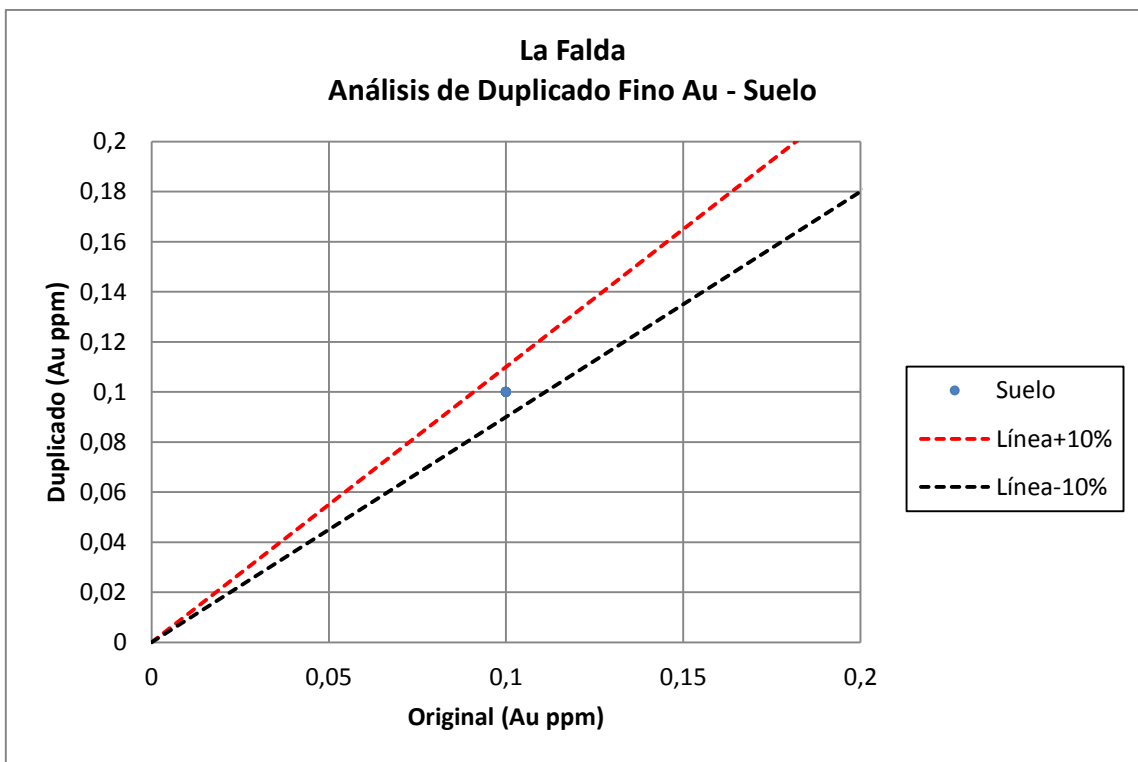


Figura 4.15 Análisis de duplicado fino de Au en muestras de suelo.

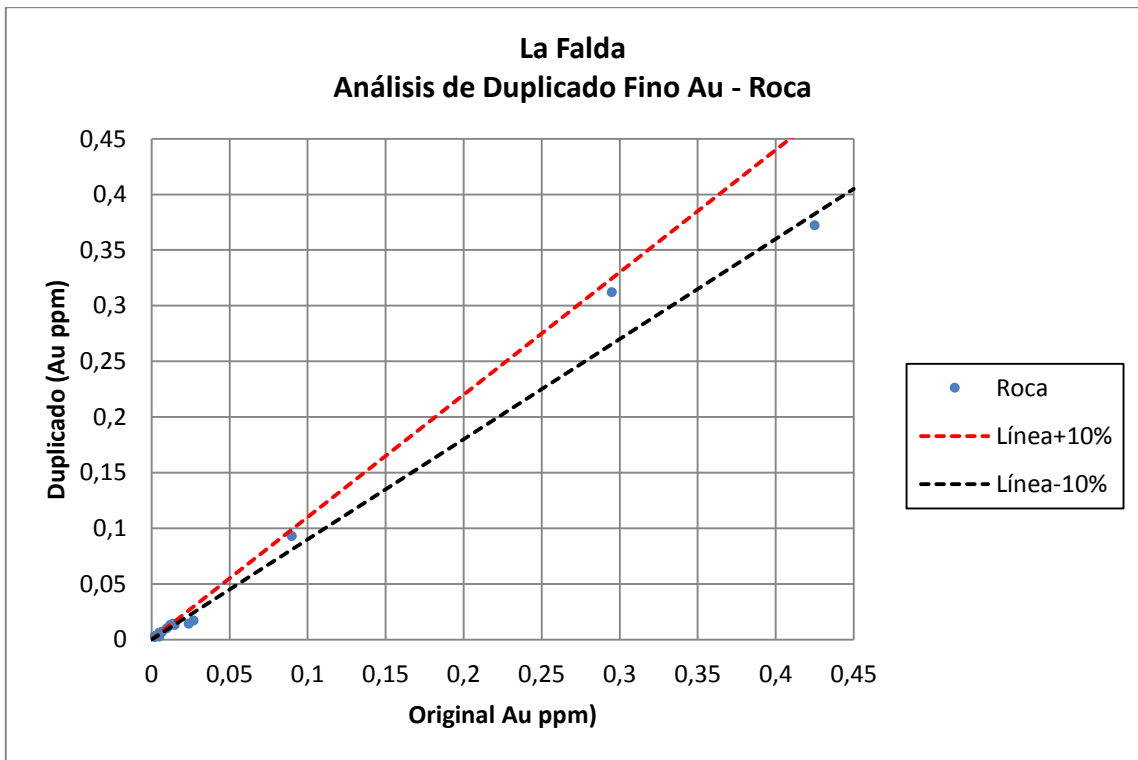


Figura 4.16 Análisis de duplicado fino de Au en muestras de roca.

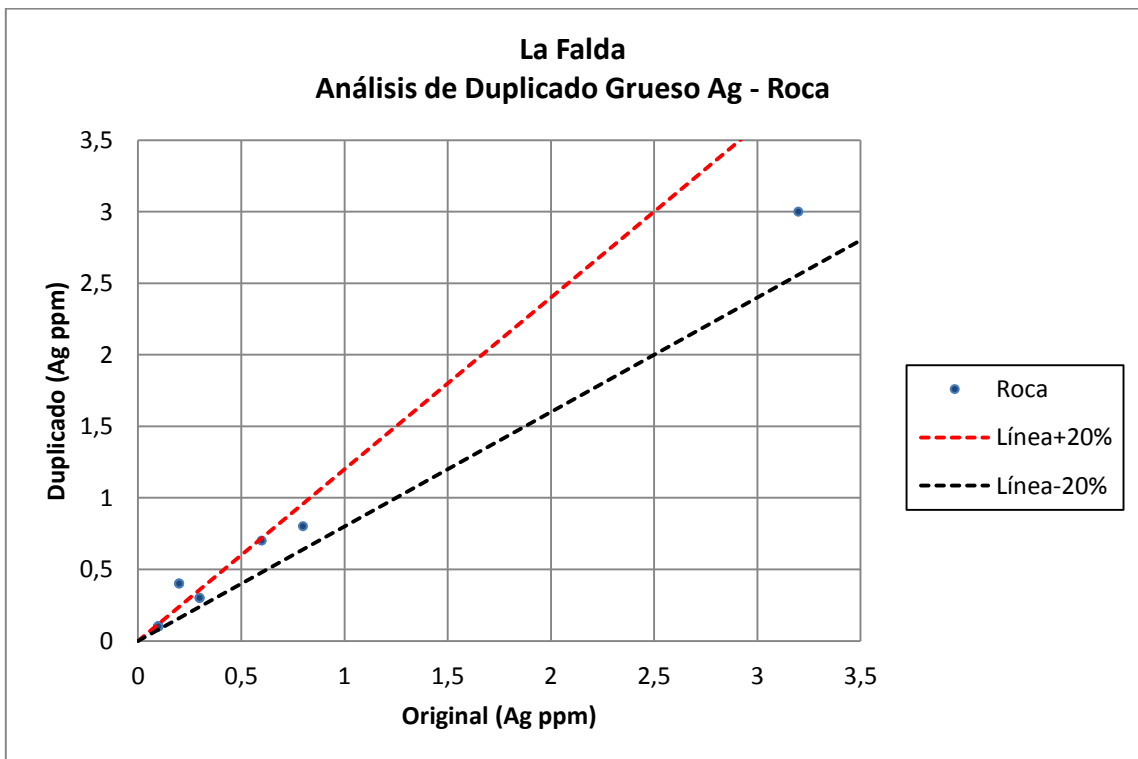


Figura 4.17 Análisis de duplicado grueso de Ag en muestras de roca.

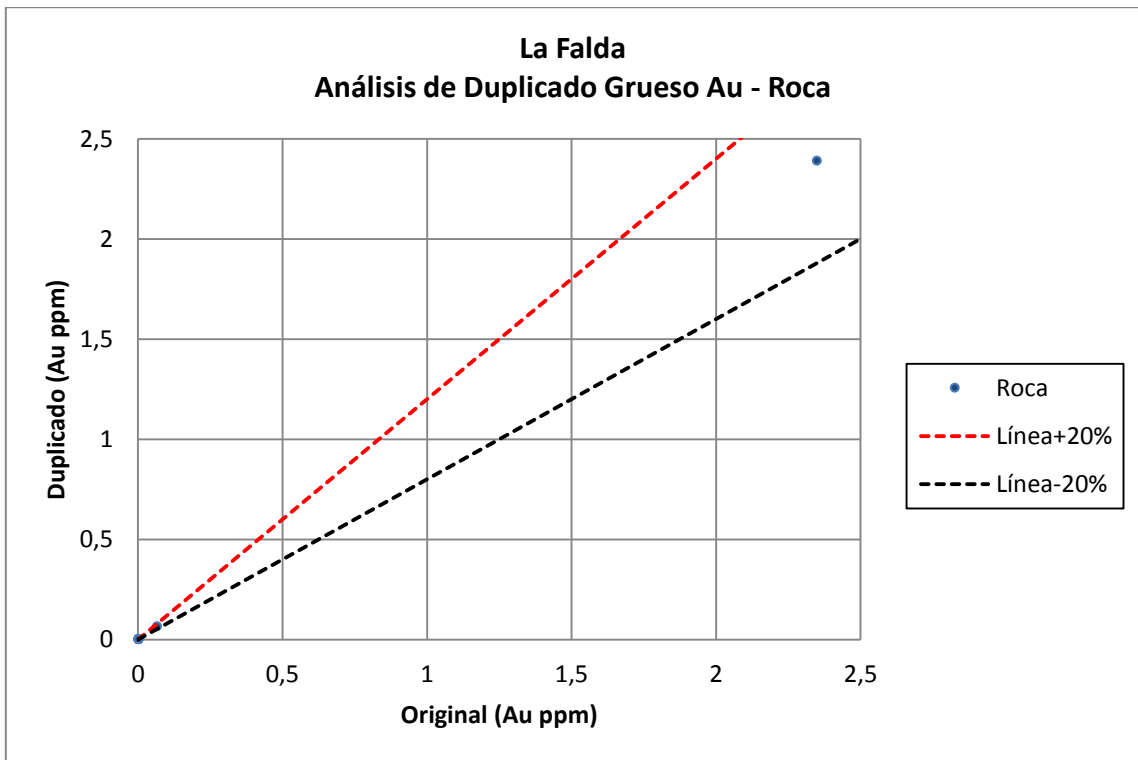


Figura 4.18 Análisis de duplicado grueso de Au en muestras de roca.

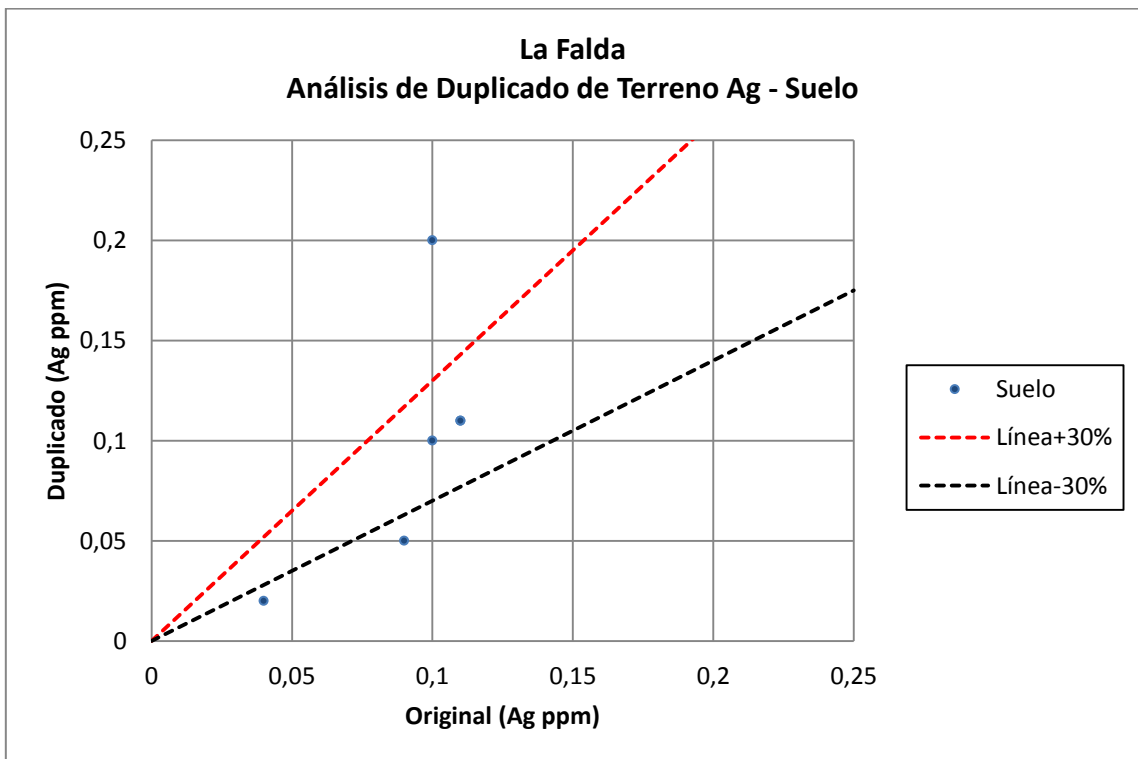


Figura 4.19 Análisis de duplicado de terreno de Ag en muestras de suelo.

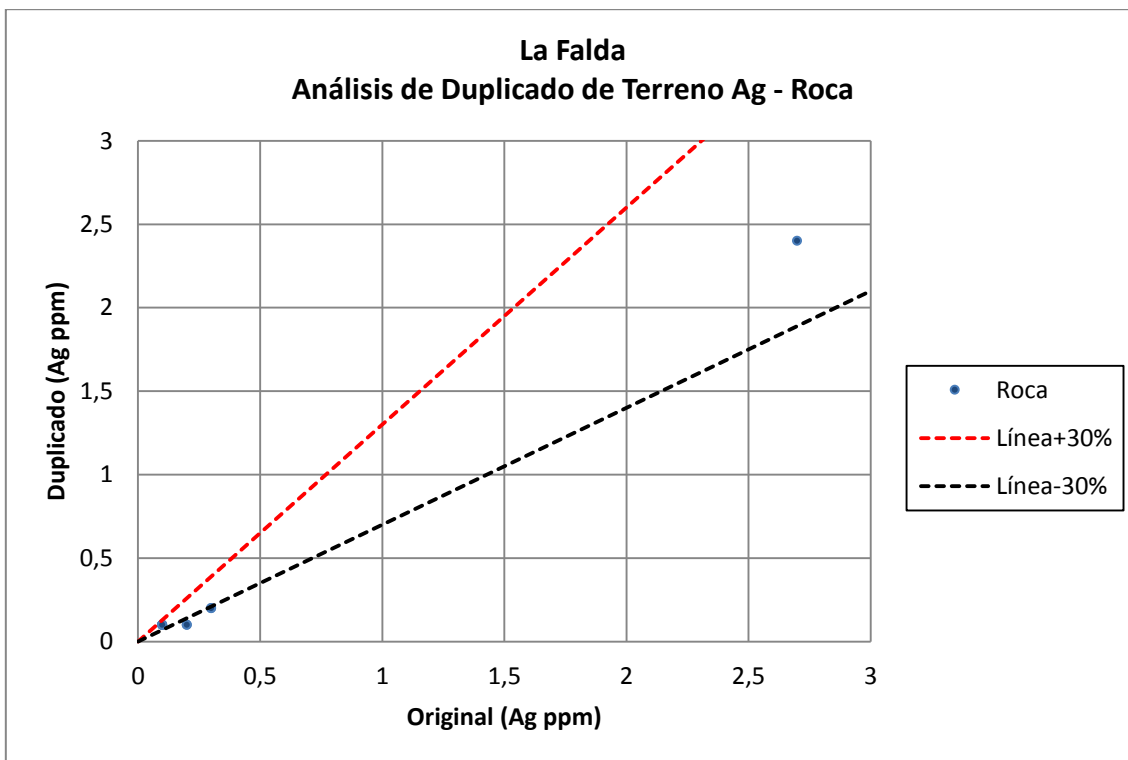


Figura 4.20 Análisis de duplicado de terreno de Ag en muestras de roca.

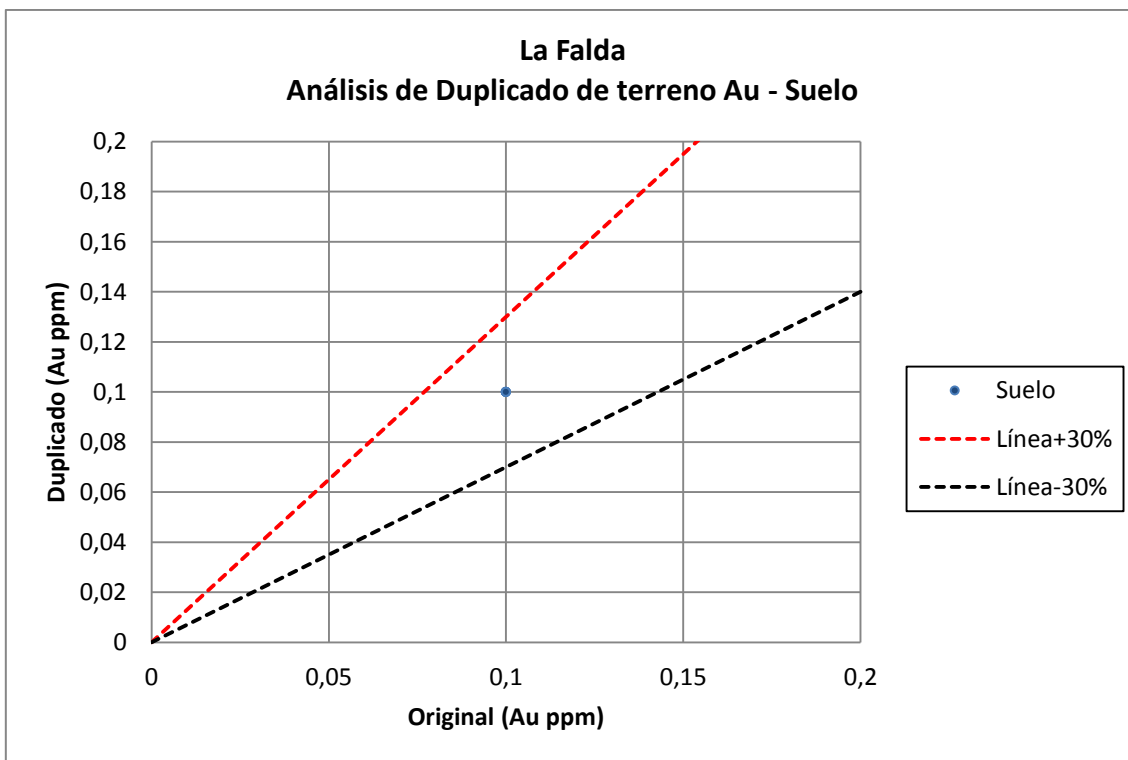


Figura 4.21 Análisis de duplicado de terreno de Au en muestras de suelo.

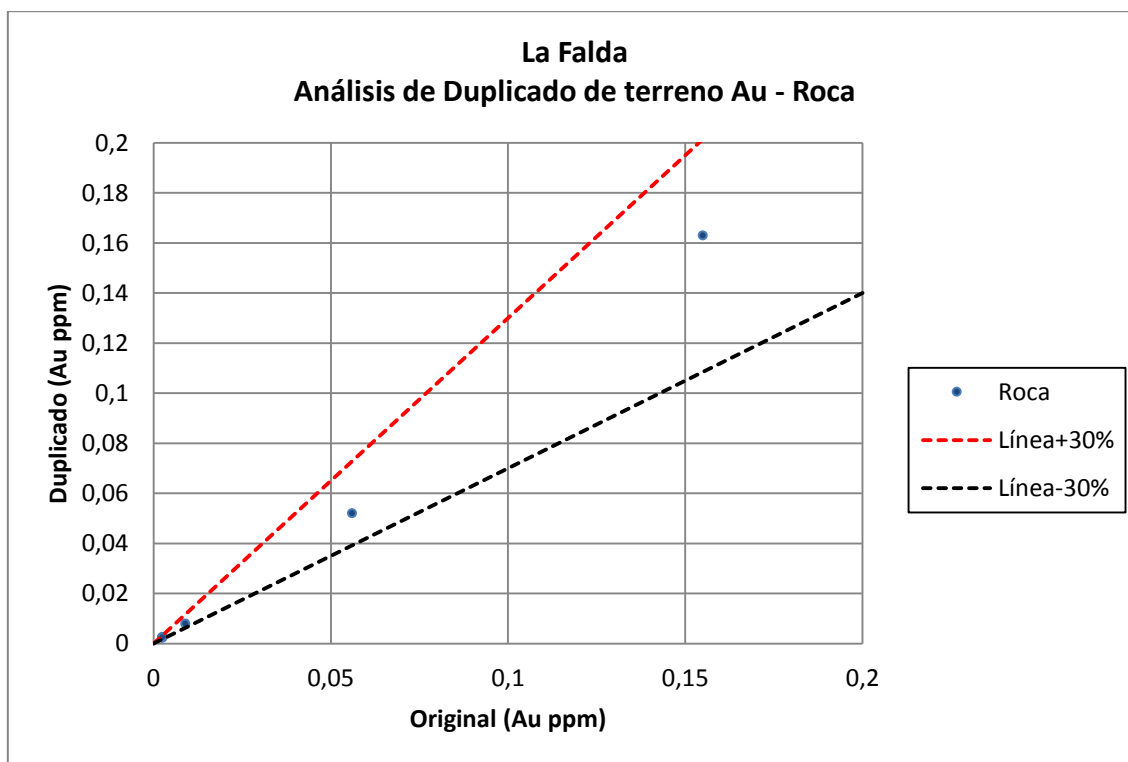


Figura 4.22 Análisis de duplicado de terreno de Au en muestras de roca.

4.4.3 Filtrado de variables según el límite de detección

En los análisis de muestras de suelo y roca, la determinación de los elementos que son analizados y sus respectivos límites de detección dependen del procedimiento analítico utilizado en laboratorio.

Los procedimientos solicitados por Minera Hochschild, detallados en la sección *Procedimientos analíticos*, constan de sets predeterminados de elementos químicos analizados con sus respectivos límites de detección. En el caso de las muestras de suelo, el procedimiento utilizado fue el ME-MS41 para 51 elementos (Tabla 4.3); mientras que para las muestras de roca, el procedimiento utilizado fue el MS-ICP41 para 35 elementos (Tabla 4.4). En el caso del oro, se utilizó tanto en muestras de suelo como de roca el procedimiento Au-AA24 (Tabla 4.5).

Tabla 4.3 Elementos y límites de detección correspondientes según procedimiento ME-MS41 utilizado para muestras de suelo

Elemento	Unidad	Límite de detección inferior	Límite de detección superior	Elemento	Unidad	Límite de detección inferior	Límite de detección superior
Ag	ppm	0,01	100	Mn	ppm	5	50000
Al	%	0,01	25	Mo	ppm	0,05	10000
As	ppm	0,1	10000	Na	%	0,01	10
B	ppm	10	10000	Nb	ppm	0,05	500
Ba	ppm	10	10000	Ni	ppm	0,2	10000
Be	ppm	0,05	1000	P	ppm	10	10000
Bi	ppm	0,01	10000	Pb	ppm	0,2	10000
Ca	%	0,01	25	Rb	ppm	0,1	10000
Cd	ppm	0,01	1000	Re	ppm	0,001	50
Ce	ppm	0,02	500	S	%	0,01	10
Co	ppm	0,1	10000	Sb	ppm	0,05	10000
Cr	ppm	1	10000	Sc	ppm	0,1	10000
Cs	ppm	0,05	500	Se	ppm	0,2	1000
Cu	ppm	0,2	10000	Sn	ppm	0,2	500
Fe	%	0,01	50	Sr	ppm	0,2	10000
Ga	ppm	0,05	10000	Ta	ppm	0,01	500
Ge	ppm	0,05	500	Te	ppm	0,01	500
Hf	ppm	0,02	500	Th	ppm	0,2	10000
Hg	ppm	0,01	10000	Ti	%	0,005	10
In	ppm	0,005	500	Tl	ppm	0,02	10000
K	%	0,01	10	U	ppm	0,05	10000
La	ppm	0,2	10000	V	ppm	1	10000
Li	ppm	0,1	10000	W	ppm	0,05	10000
Mg	%	0,01	25	Y	ppm	0,05	500
Mn	ppm	5	50000	Zn	ppm	2	10000
Mo	ppm	0,05	10000	Zr	ppm	0,5	500

Tabla 4.4 Elementos y límites de detección correspondientes al procedimiento ME-ICP41 utilizado para muestras de roca.

Elemento	Unidad	Límite de detección inferior	Límite de detección superior	Elemento	Unidad	Límite de detección inferior	Límite de detección superior
Ag	ppm	0,2	100	Mn	ppm	5	50000
Al	%	0,01	25	Mo	ppm	1	10000
As	ppm	2	10000	Na	%	0,01	10
B	ppm	10	10000	Ni	ppm	1	10000
Ba	ppm	10	10000	P	ppm	10	10000

Tabla 4.4 (continuación) Elementos y límites de detección correspondientes al procedimiento ME-ICP41 utilizado para muestras de roca.

Elemento	Unidad	Límite de detección inferior	Límite de detección superior	Elemento	Unidad	Límite de detección inferior	Límite de detección superior
Be	ppm	0,05	1000	P	ppm	10	10000
Bi	ppm	0,01	10000	Pb	ppm	0,2	10000
Ca	%	0,01	25	Rb	ppm	0,1	10000
Cd	ppm	0,01	1000	Re	ppm	0,001	50
Ce	ppm	0,02	500	S	%	0,01	10
Co	ppm	0,1	10000	Sb	ppm	0,05	10000
Cr	ppm	1	10000	Sc	ppm	0,1	10000
Cs	ppm	0,05	500	Se	ppm	0,2	1000
Cu	ppm	0,2	10000	Sn	ppm	0,2	500
Fe	%	0,01	50	Sr	ppm	0,2	10000
Ga	ppm	0,05	10000	Ta	ppm	0,01	500
Ge	ppm	0,05	500	Te	ppm	0,01	500
Hf	ppm	0,02	500	Th	ppm	0,2	10000
Hg	ppm	0,01	10000	Ti	%	0,005	10
In	ppm	0,005	500	Tl	ppm	0,02	10000
K	%	0,01	10	U	ppm	0,05	10000
La	ppm	0,2	10000	V	ppm	1	10000
Li	ppm	0,1	10000	W	ppm	0,05	10000
Mg	%	0,01	25	Y	ppm	0,05	500
Mn	ppm	5	50000	Zn	ppm	2	10000
Mo	ppm	0,05	10000	Zr	ppm	0,5	500

Tabla 4.5 Procedimiento Au-AA24 utilizado para determinar la concentración de oro en muestras de suelo y roca

Elemento	Unidad	Límite de detección inferior	Límite de detección superior
Au	ppm	0,005	10

Como parte del control de calidad de la información del proyecto La Falda, se determinó el número de datos con valores bajo el límite de detección de cada variable analizada. Como regla general, las variables con baja respuesta analítica; es decir, aquellas con más del 50% de datos inferiores al límite de detección, deben ser eliminadas de los análisis subsecuentes. No obstante, aquellos elementos que sobrepasen el 50% de datos bajo el límite de detección pero que pertenezcan a alguno de los grupos de elementos asociados a sistemas porfídicos y epitermales,

que son aquellos presentes en la Franja de Maricunga (Tabla 4.6), serán considerados de igual manera en los análisis posteriores.

Tabla 4.6 Elementos trazadores principales de los depósitos tipo pórfido Cu-Au y epitermal cuarzo-alunita y cuarzo-adularia (Mineral Deposit Models, U.S. Geological Survey Bulletin 1693, 1986).

Depósito	Trazadores principales
Porfido Cu-Au	Cu, Au, Ag, Mo, Pb, Zn
Epitermal cuarzo-alunita y cuarzo-adularia	Au, As, Ag, Cu, Sb, Hg, Te, W, Bi

Los resultados del proceso de control de calidad de la base de datos según el límite de detección dejan fuera de los análisis posteriores al elemento Re en el caso de las muestras de suelo (Tabla 4.7); y a los elementos B, Be, Cd, Ga, La y Ti en el caso de las muestras de roca (Tabla 4.8). Cabe señalar que para la base de datos de roca fueron eliminados previamente los elementos Th y U debido a la baja varianza que presentaban, con el 100% de los datos de Th iguales a 10 ppm (bajo el límite de detección) y el U con todos sus datos iguales a 5 y 10 ppm (la mitad del límite de detección y el límite de detección, respectivamente), mientras que en la base de datos de suelo se eliminó el elemento Ta debido a errores de tipeo en los registros de sus valores.

Tabla 4.7 Porcentaje de datos bajo el límite de detección para cada elemento analizado según el procedimiento ME-MS41 utilizado en muestras de suelo.

Elemento	Unidad	Datos totales	Datos < límite de detección	% Datos < límite de detección	Elemento	Unidad	Datos totales	Datos < límite de detección	% Datos < límite de detección
Ag	ppm	447	1	0,22%	Mn	ppm	447	0	0%
Al	%	447	0	0%	Mo	ppm	447	0	0%
As	ppm	447	0	0%	Na	%	447	0	0%
Au	ppm	447	351	78,52%	Nb	ppm	447	9	2,01%
B	ppm	447	22	4,92%	Ni	ppm	447	0	0%
Ba	ppm	447	0	0%	P	ppm	447	0	0%
Be	ppm	447	0	0%	Pb	ppm	447	0	0%
Bi	ppm	447	0	0%	Rb	ppm	447	0	0%
Ca	%	447	0	0%	Re	ppb	447	301	67,34%
Cd	ppm	447	0	0%	S	%	447	1	0,22%
Ce	ppm	447	0	0%	Sb	ppm	447	1	0,22%
Co	ppm	447	0	0%	Sc	ppm	447	0	0%
Cr	ppm	447	2	0,45%	Se	ppm	447	27	6,04%
Cs	ppm	447	0	0%	Sn	ppm	447	0	0%

Tabla 4.7 (continuación) Porcentaje de datos bajo el límite de detección para cada elemento analizado según el procedimiento ME-MS41 utilizado en muestras de suelo.

Elemento	Unidad	Datos totales	Datos < límite de detección	% Datos < límite de detección	Elemento	Unidad	Datos totales	Datos < límite de detección	% Datos < límite de detección
Cu	ppm	447	0	0%	Sr	ppm	447	0	0%
Fe	%	447	0	0%	Te	ppm	447	1	0,22%
Ga	ppm	447	0	0%	Th	ppm	447	0	0%
Ge	ppm	447	24	5,37%	Ti	%	447	14	3,13%
Hf	ppm	447	0	0%	Tl	ppm	447	0	0%
Hg	ppb	447	13	2,91%	U	ppm	447	0	0%
In	ppm	447	1	0%	V	ppm	447	0	0%
K	%	447	0	0%	W	ppm	447	18	4,03%
La	ppm	447	0	0%	Y	ppm	447	0	0%
Li	ppm	447	0	0%	Zn	ppm	447	0	0%
Mg	%	447	0	0%	Zr	ppm	447	0	0%

Tabla 4.8 Porcentaje de datos bajo el límite de detección para cada elemento analizado según el procedimiento ME-ICP41 utilizado en muestras de roca.

Elemento	Unidad	Datos totales	Datos < límite de detección	% Datos < límite de detección	Elemento	Unidad	Datos totales	Datos < límite de detección	% Datos < límite de detección
Ag	ppm	1017	544	53%	K	%	1017	10	1%
Al	%	1017	1	0,1%	La	ppm	1017	552	54%
As	ppm	1017	29	3%	Mg	%	1017	131	13%
Au	ppm	1017	565	56%	Mn	ppm	1017	6	0,6%
B	ppm	1017	704	69%	Mo	ppm	1017	245	24%
Ba	ppm	1017	5	0,5%	Na	%	1017	66	6%
Be	ppm	1017	764	75%	Ni	ppm	1017	345	34%
Bi	ppm	1017	639	63%	P	ppm	1017	1	0,1%
Ca	%	1017	2	0,2%	Pb	ppm	1017	167	16%
Cd	ppm	1017	991	97%	S	%	1017	71	7%
Co	ppm	1017	389	38%	Sb	ppm	1017	635	62%
Cr	ppm	1017	16	2%	Sc	ppm	1017	433	43%
Cu	ppm	1017	6	0,6%	Sr	ppm	1017	1	0,1%
Fe	%	1017	0	0	Ti	%	1017	690	68%
Ga	ppm	1017	672	66%	V	ppm	1017	7	0,7%
Hg	ppb	1017	591	58%	Zn	ppm	1017	110	11%

4.5 Análisis univariable

La primera fase de la interpretación geoquímica es condensar grandes volúmenes de datos numéricos y extraer de estos la información esencial. La manera más objetiva y confiable de hacerlo es estadísticamente (Lepeltier, 1969).

El procedimiento estándar consiste en la obtención de los estadígrafos básicos con el fin de obtener la mayor cantidad de información en relación a las medidas de tendencia central (media, mediana), medidas de dispersión (desviación estándar, varianza, error estándar de la media) y medidas de distribución (coeficiente de asimetría, curtosis) de cada variable en estudio.

4.5.1 Análisis exploratorio de datos

El análisis exploratorio de datos se verifica para variables que poseen un nivel de confianza razonable, y consiste en la aproximación inicial al procesamiento de la base de datos mediante la determinación de estadígrafos básicos y gráficos de distribución univariable. La información obtenida permite la identificación de la distribución estadística de las variables estudiadas.

El total de valores geoquímicos con los que se cuenta fue separado, de acuerdo a su origen y análisis de laboratorio ejecutado, en muestras de suelo y muestras de roca. Por lo tanto, el procesamiento de datos se realiza separadamente en ambos casos.

La información contenida en ambas bases de datos fue procesada, obteniéndose los siguientes estadígrafos como parte del análisis exploratorio de datos:

- Número de datos
- Mínimo
- Máximo
- Media
- Error estándar de la media
- Desviación estándar
- Coeficiente de asimetría
- Curtosis
- Mediana
- Percentiles (5% - 25% - 75% - 95%)

El análisis exploratorio de datos se realizó en tres etapas.

1. La primera etapa consiste en la obtención directa de los estadígrafos básicos e histogramas de los datos numéricos recibidos desde el laboratorio en base aritmética.
2. Posteriormente, se realizó el mismo procedimiento, pero con los datos convertidos a base logarítmica, pues los elementos en geoquímica siguen una distribución normal, o cercana a esta, cuando son transformados a base logarítmica (Ahrens, 1957).
3. Finalmente, en la base de datos logarítmica se identificaron los valores *outliers* univariados mediante la metodología del *boxplot* (Tukey, 1979). En esta, se consideran como datos *outliers* aquellos valores mayores al tercer cuartil más 1,5 veces la distancia intercuartil, y aquellos valores menores al primer cuartil menos 1,5 veces la distancia intercuartil. Una vez identificados los valores *outliers* de cada variable, se evalúa la cantidad de estos en cada muestra de suelo y roca, definiéndose como *muestras outliers* a aquellas con más del 50% de datos *outliers*. En caso de haber, estas se extraen de los análisis posteriores.

1. Muestras de suelo

La base de datos de suelo consta de 447 datos para cada una de las 49 variables que pasaron por el control de calidad según el límite de detección. Los estadígrafos básicos en base aritmética se muestran en Anexo A, Tabla 1. Cabe señalar que no se identificaron muestras *outliers* en la base de datos de suelo.

Respecto a las medidas de tendencia central, las medias de las variables no sufrieron modificaciones importantes con la transformación. Lo mismo ocurre con las medianas, las cuales se mantuvieron prácticamente con los mismos valores luego de obtenerlas con los datos transformados a base logarítmica.

En relación a las medidas de dispersión de los datos, la desviación estándar varió al aplicarse la transformación logarítmica de manera tal que en la mayor parte de los casos, los valores se concentraron entre 1 y 2 (ppm o % según la variable), disminuyendo su valor absoluto.

Finalmente, respecto a las medidas de dispersión, se puede observar que los coeficientes de asimetría, en el caso de la transformación logarítmica de los datos, son más cercanos a cero en comparación con aquellos obtenidos en base aritmética. En 37 de 49 casos, el coeficiente de asimetría disminuyó (en valor absoluto) en base logarítmica, logrando incluso convertir valores de asimetría superiores a 10 en valores menores a 1. En el caso de las 12 variables donde el coeficiente aumentó, resultaron ser solo aumentos decimales. La curtosis también disminuyó en la mayoría de los datos, incluso en 2 órdenes de magnitud, mientras que los aumentos fueron leves.

2. *Muestras de roca*

La base de datos de roca consta de 1.017 datos para cada una de las 26 variables que pasaron por el control de calidad. Los estadígrafos básicos en base aritmética se muestran en Anexo A, Tabla 2. Cabe señalar que no se identificaron muestras *outliers* de roca en la base de datos.

Respecto a las medidas de tendencia central, la media de las variables sufrió variaciones abruptas luego de la transformación logarítmica. La tendencia general es hacia la reducción de los valores de la media luego de la transformación logarítmica. La mediana, por el contrario, se mantiene constante en ambos casos y para todas las variables estudiadas.

En relación a las medidas de dispersión de los datos, la desviación estándar tiene una clara tendencia a la disminución de sus valores producto de las transformaciones y modificaciones aplicadas a la base de datos, lo que implica una menor dispersión de los datos de las variables de estudio.

Finalmente, las medidas de distribución también siguen una tendencia a la disminución en sus valores en términos de valor absoluto, tendiendo a cero en la transformación aplicada a la base de datos. Tanto el coeficiente de asimetría como la curtosis adquieren valores que implican un mejor ajuste a la forma de *campana invertida* que tiene una distribución normal de datos estadísticos.

4.6 Análisis multivariable

El análisis multivariable consiste en un conjunto de métodos estadísticos que permiten el análisis simultáneo de dos o más variables con el objetivo de identificar patrones y relaciones entre estas.

Para evaluar las relaciones que existen entre las variables presentes en la base de datos geoquímica del proyecto La Falda, se utilizaron dos metodologías multivariadas distintas:

1. Matriz de correlación de Pearson (MP)
2. Análisis de Factores (AF)

Dada la condición general de los métodos estadísticos multivariados de que las variables de entrada se distribuyan de manera normal, se utilizó la base de datos con transformación logarítmica, pues fue aquella donde el análisis univariable mostró un mejor ajuste a la distribución normal en la mayor parte de las variables estudiadas.

4.6.1 Matriz de correlación de Pearson

La matriz de correlación de Pearson (MP) es un método de estimación del grado de asociación lineal entre dos variables que utiliza un coeficiente denominado *coeficiente de correlación de Pearson*. Este corresponde al cociente de la covarianza que hay entre dos variables y el producto de sus respectivas desviaciones estándar.

El coeficiente de correlación de Pearson tiene un rango de valores que va de -1 a +1, donde los valores positivos indican una relación directa y los valores negativos indican una relación inversa entre las variables. A su vez, los valores -1 y +1 indican una correlación lineal perfecta entre las variables, mientras que un valor igual a 0 refleja que no existe relación lineal entre las variables.

Al aplicar la metodología de MP a las múltiples variables que presenta la base de datos de estudio, se genera una matriz de correlación cuadrada y simétrica donde cada casilla representa el coeficiente de correlación de Pearson de las dos variables intersectadas en su fila y columna respectivamente.

Como regla general, se acepta que valores superiores a $|0,5|$ indican una asociación significativa, ya sea directa o inversa, entre dos variables. Tomando en consideración esto, se ha

determinado que valores entre |0,5| y |0,7| indican buena correlación, entre |0,7| y |0,9| indican muy buena correlación y valores sobre |0,9| indican una correlación lineal excelente.

La MP completa, tanto para suelo como para roca se encuentra en Anexo B, Tabla 1 y Tabla 2. Sin embargo, en lo sucesivo se presentan los valores de los coeficientes de Pearson para las variables más importantes del presente estudio según el contexto geológico del proyecto.

1. Muestras de suelo

En muestras de suelo se obtuvo la MP para 12 elementos (Tabla 4.9) considerados importantes según la bibliografía consultada (Tabla 4.6), que agrupa los elementos químicos asociados a los tipos de depósito presentes en la Franja de Maricunga.

Tabla 4.9 Matriz de Pearson de trazadores principales de depósitos tipo pórfido Cu-Au y epitermal cuarzo-alunita y cuarzo-adularia (Mineral Deposit Models, U.S. Geological Survey Bulletin 1693, 1986) para muestras de suelo.

	Ag	As	Au	Bi	Cu	Hg	Mo	Pb	Sb	Te	W	Zn
Ag	1											
As	,422	1										
Au	,196	-,005	1									
Bi	,476	,464	,057	1								
Cu	,314	,179	,201	,096	1							
Hg	,210	,084	-,031	-,003	,235	1						
Mo	,464	,334	,405	,289	,378	,093	1					
Pb	,503	,418	,336	,525	,221	,095	,607	1				
Sb	,483	,477	-,055	,394	,529	,204	,278	,333	1			
Te	,425	,487	,123	,509	-,074	,162	,429	,482	,239	1		
W	,033	,064	-,129	-,039	,310	-,017	-,034	-,121	,428	-,233	1	
Zn	,185	,051	,176	-,146	,469	,218	,233	,217	,332	-,281	,409	1

Los pares de elementos con correlaciones significativas son Ag-Pb, Bi-Pb, Bi-Te, Cu-Sb, Mo-Pb. Siendo menos restrictivo, es decir, tomando como significativo un valor del coeficiente de correlación de Pearson superior a 0,4, se agregan los pares Ag-As, Ag-Bi, Ag-Mo, Ag-Sb, Ag-Te, As-Bi, As-Pb, As-Sb, As-Te, Au-Mo, Cu-Zn, Mo-Te, Pb-Te, Sb-W, W-Zn.

2. Muestras de Roca

En la base de datos de roca del proyecto La Falda, se identificaron 10 elementos importantes según lo definido (Tabla 4.6), cuyos valores para la MP se resumen en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10 Matriz de Pearson de trazadores principales de depósitos tipo pórfido Cu-Au y epitermal cuarzo-alunita y cuarzo-adularia (Mineral Deposit Models, U.S. Geological Survey Bulletin 1693, 1986) para muestras de roca.

	Ag	As	Au	Bi	Cu	Hg	Mo	Pb	Sb	Zn
Ag	1									
As	,440	1								
Au	,262	,094	1							
Bi	,606	,249	,150	1						
Cu	-,050	-,010	,623	-,101	1					
Hg	,464	,153	,047	,339	-,075	1				
Mo	-,008	,120	,031	,175	-,016	-,003	1			
Pb	,471	,410	,150	,320	-,052	,198	,116	1		
Sb	,698	,495	,161	,444	-,108	,325	-,079	,431	1	
Zn	-,236	-,296	,230	-,231	,586	-,143	-,058	-,027	-,215	1

Los pares de elementos con correlaciones significativas son Ag-Bi, Ag-Sb, Au-Cu y Cu-Zn. Siendo menos restrictivo, es decir, tomando como significativo un valor del coeficiente de correlación de Pearson superior a 0,4, se agregan los pares Ag-As, Ag-Hg, Ag-Pb, As-Pb, As-Sb, Bi-Sb, Pb-Sb.

4.6.2 Análisis de Factores

El análisis de factores (AF) es una técnica de reducción de datos que sirve para encontrar grupos homogéneos de variables a partir de un conjunto numeroso de estas. Esos grupos homogéneos se forman con variables que se correlacionan significativamente entre sí, procurándose que cada grupo de variables sea independiente de los otros. El AF es, por tanto, una técnica de reducción de la dimensionalidad de los datos. Su fin último es buscar el número mínimo de dimensiones capaces de explicar el máximo de información contenida en los datos.

El AF es una técnica muy sensible al set de datos introducido al análisis. Previo a efectuar el AF, es necesario haber realizado un cuidadoso análisis univariable, recomendándose seguir una serie de pasos descritos en Reimann et al. (2002) para obtener resultados satisfactorios y válidos en geoquímica. A continuación se resumen los pasos previos a seguir en el AF:

1. Aproximar lo más posible las variables a una distribución normal, ya sea mediante una transformación logarítmica o Box-Cox para asegurar la homogeneidad de la varianza.
2. Aplicar estandarización de los datos ingresados al AF. Esto es necesario pues la información contenida en las bases de datos geoquímicas mezclan elementos mayoritarios

(%), menores y trazas (ppm – ppb), por lo cual los elementos menores y traza podrían no tener influencia en el resultado. En este caso, la estandarización garantiza igual influencia de todas las variables en los resultados.

3. Si no se utilizan “métodos robustos” en los análisis, las muestras *outliers multivariables* deberían ser removidas antes de ingresar la base de datos al AF.
4. Para la rotación de factores, es recomendable utilizar un método ortogonal, como la “Rotación Varimax”.
5. Escoger un número de factores bajo, pues da mejores resultados en términos de interpretación.

Siguiendo la metodología planteada por Reimann et al. (2002), se utilizaron las bases de datos depuradas de suelo y roca obtenidas del análisis univariable; es decir, aquellas transformadas a base logarítmica, pues mostraron tener un mejor ajuste a la distribución normal. Estos sets de datos fueron ingresados al software *SPSS Statistics 22* donde se llevaron a cabo los procesos de remoción de muestras *outliers multivariables* y estandarización previa; así como también la extracción de factores y la rotación Varimax posteriores.

4.6.2.1 Remoción de *outliers multivariables* y estandarización

Los *outliers multivariables* son datos que se consideran extraños no por el valor que toman en una determinada variable, sino en el conjunto de aquellas. Son mucho más difíciles de identificar que los *outliers* unidimensionales, dado que no pueden considerarse “valores extremos”, como sucede cuando se tiene una única variable bajo estudio (Gnanadesikan & Kettenring, 1972; Campbell, 1978).

Las muestras *outliers* pueden tener una gran influencia en los resultados arrojados por el AF, pues la estimación de los parámetros en el método se basa en la matriz de correlación o covarianza que expresan la variabilidad conjunta de todas las variables (Pison et al., 1999). Luego, si no se utilizan métodos estadísticos robustos, las muestras *outliers* deben ser removidas previamente antes de ingresar los datos al AF.

Para la identificación de las muestras *outliers multivariables* se utilizó la distancia de Mahalanobis, la cual corresponde a la distancia que tiene cada muestra al centro de la distribución normal multivariable. La distancia de Mahalanobis sigue una distribución Chi-cuadrado, con tantos grados de libertad como variables dependientes hay en el estudio. Se

extrajeron del AF las muestras que presentaron más del 50% de las variables de estudio sobre el percentil 97,5% de sus distancias de Mahalanobis calculadas mediante el software *SPSS Statistics 22*.

La estandarización de cada variable a una media igual a 0 y desviación estándar igual a 1 tiene por objetivo amortiguar el efecto que tiene en el AF la mezcla de datos con unidades de distinto orden de magnitud, lo cual lleva a que aquellos elementos mayoritarios con concentraciones medidas en % y con una varianza mayor no tengan más influencia en el resultado que las muestras cuyas unidades se miden en ppm o incluso ppb.

La estandarización se realizó a las bases de datos con las muestras *outliers multivariantes* removidas mediante el programa *SPSS Statistics 22*.

4.6.2.2 Extracción de factores y rotación Varimax

El AF consta de cuatro fases características: el cálculo de una matriz capaz de expresar variabilidad conjunta de todas las variables, la extracción del número óptimo de factores, la rotación de la solución para facilitar su interpretación y la estimación de las puntuaciones de las variables en las nuevas dimensiones. En el AF se analizó la matriz de correlaciones, extrayéndose un número de factores en la solución factorial a partir de la regla de Kaiser, que utiliza como criterio el tamaño de los autovalores para decidir el número de factores finales. Por defecto, se extrajo aquellos factores con autovalores mayores a la unidad. Finalmente, se aplicó el método Varimax de rotación ortogonal de la solución factorial, el cual minimiza el número de variables que tiene saturaciones altas en cada factor.

El resultado del AF es una tabla de factores constituidos por valores numéricos conocidos como “cargas factoriales”. Cada variable posee una carga factorial que equivale al peso que tiene dentro de cada factor. Se consideraron como representativos de cada factor aquellas variables con una carga factorial mayor o igual a $|0,5|$.

1. Muestras de suelo

El AF en muestras de suelo se realizó a 47 variables. Se excluyeron de los análisis los elementos Hf y La debido a que en la matriz de Pearson los pares Hf-Zr y La-Ce presentaron una excelente correlación positiva (coeficiente de correlación $> 0,9$), por lo cual presentaban buena o

muy buena correlación con los mismos otros elementos, lo que generaría valores redundantes en los factores obtenidos del AF para estos dos pares de elementos.

La metodología utilizada generó 8 factores que explican un 72,026% de la varianza total acumulada. Los factores extraídos se pueden observar en Anexo B, Tabla 3. La Tabla 4.11 muestra la varianza atribuida a cada factor y el total acumulado por cada uno posterior a la rotación Varimax de los factores.

Tabla 4.11 Varianza explicada por cada factor y porcentaje acumulado por cada factor sucesivamente en muestras de suelo.

Varianza total explicada			
Sumas de rotación de cargas al cuadrado			
Factor	Total	% de varianza	% acumulado
1	14,123	30,048	30,048
2	5,569	11,849	41,897
3	5,051	10,747	52,644
4	3,863	8,220	60,864
5	1,505	3,203	64,067
6	1,439	3,062	67,129
7	1,236	2,629	69,758
8	1,066	2,268	72,026

Las variables consideradas representativas de cada factor, que poseen una carga factorial mayor o igual a |0,5| se muestran a continuación:

- **Factor 1 – AF:** Al, Be, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Ga, Ge, In, Li, Mg, Mn, Ni, P, Sc, Th, U, V, Y, Zn
- **Factor 2 – AF:** B, Ca, K, Na, S, Se, Sr. Con valor negativo Nb
- **Factor 3 – AF:** Cr, Cs, Nb, Rb, Ti, W, Zr
- **Factor 4 – AF:** Ag, As, Bi, Pb, Sb
- **Factor 5 – AF:** Fe
- **Factor 6 – AF:** Ba
- **Factor 7 – AF:** Sin variables con altas cargas factoriales
- **Factor 8 – AF:** Sin variables con altas cargas factoriales

Complementariamente se calculó el índice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett para comprobar cuán adecuado fue realizar el AF a la base de datos de suelo. El KMO obtenido fue de 0,878, lo cual indica una buena conveniencia de usar el método a esta base de datos, y la prueba de esfericidad de Bartlett dio una significación igual a 0, por lo que se rechaza la hipótesis nula y por ende el modelo factorial si es pertinente.

2. Muestras de roca

El AF en muestras de roca se realizó a 26 variables. La extracción generó 6 factores que explican el 61,927% de la varianza total acumulada. Los factores extraídos se pueden observar en Anexo B, Tabla 4. La Tabla 4.12 muestra la varianza atribuida a cada factor y el total acumulado por cada uno posterior a la rotación Varimax de los factores.

Tabla 4.12 Varianza explicada por cada factor y porcentaje acumulado por cada factor sucesivamente en muestras de roca.

Varianza total explicada			
Sumas de rotación de cargas al cuadrado			
Factor	Total	% de varianza	% acumulado
1	6,685	25,713	25,713
2	2,679	10,302	36,015
3	2,269	8,727	44,743
4	1,622	6,238	50,980
5	1,562	6,006	56,986
6	1,284	4,940	61,927

Las variables consideradas representativas de cada factor, que poseen una carga factorial mayor o igual a |0,5| se muestran a continuación:

- **Factor 1 – AF:** Al, Co, Cu, Mg, Mn, Ni, P, Sc, V, Zn. Con valor negativo S
- **Factor 2 – AF:** Ag, Bi, Pb, Sb
- **Factor 3 – AF:** Fe, Na, V
- **Factor 4 – AF:** Ca, Na. Con valor negativo Ba
- **Factor 5 – AF:** K. Con valor negativo Cr
- **Factor 6 – AF:** Au, Cu

Complementariamente el análisis KMO dio un valor de 0,854, por lo que es pertinente usar el AF en esta base de datos, y la prueba de esfericidad de Bartlett dio una significación igual a 0, por lo que se rechaza la hipótesis nula y por ende el modelo factorial también es pertinente.

4.7 Análisis de Poblaciones

Los elementos químicos en los materiales terrestres, por lo general, no presentan una distribución unimodal propia de un medio homogéneo. Las fuentes de información geoquímica en la naturaleza están expuestas a procesos periódicos de cambio que alteran continuamente las distribuciones elementales mediante la adición, remoción o intercambio de elementos químicos, ya sea a través de procesos naturales o antropogénicos. Por lo tanto, en la naturaleza es más común la heterogeneidad que la homogeneidad en la distribución de los elementos, lo que se refleja en una polimodalidad de las distribuciones estadísticas de las variables químicas en los materiales terrestres.

El análisis de poblaciones (AP) tiene como objetivo buscar e identificar las subpoblaciones dentro de la población total de datos de cada variable de estudio, con el fin de encontrar el origen de esta desagregación, que en el caso de la exploración geoquímica equivale a la búsqueda del límite para definir las concentraciones anómalas en contraposición con las concentraciones de fondo presentes en la zona de estudio.

4.7.1 Determinación del Umbral Distrital

La determinación del umbral distrital de valores anómalos comienza con la selección de los elementos químicos a los cuales, desde el punto de vista de la exploración geoquímica del proyecto, resulta útil determinar sus valores anómalos para poder establecer trazadores geoquímicos en busca de mineralización de metales de interés económico. Para ello, ya se había definido en las secciones anteriores un set de elementos denominados “importantes” desde este punto de vista, y que agrupa conjuntos de elementos asociados a depósitos tipo pórfido de oro y epitermales, que son los depósitos encontrados en otros sectores de la Franja de Maricunga, y también otro grupo de elementos asociados a Au, Ag y Cu según los resultados de los análisis multivariados realizados anteriormente. Finalmente los elementos considerados como trazadores geoquímicos fueron seleccionados del cruce de los elementos químicos pertenecientes a las fuentes mencionadas anteriormente (Tabla 4.13).

Tabla 4.13 Elementos trazadores de exploración del proyecto La Falda. La selección se hizo en base a bibliografía (Mineral Deposit Models, U.S. Geological Survey Bulletin 1693, 1986), y a los resultados de MP y AF.

**Elementos trazadores en exploración de
La Falda**

Ag, Au, Cu, As, Bi, Mo, Pb, Sb, Te, Zn

Establecidas las variables de estudio, se requiere el reconocimiento de los valores medios de estas en la corteza superior para poder establecer un marco de referencia sobre el cual discernir acerca de qué se considera como valores normales y valores anómalos para cada elemento químico estudiado.

Se generaron tablas con los rangos de medias globales de los elementos escogidos utilizando la información contenida en Taylor (1964), Levinson (1974), Govett (1983) y Wedepohl (1995), tanto para muestreo de suelo como de roca. Se escogieron los valores mínimo y máximo para cada variable contenida en las publicaciones, con el objetivo de abarcar los valores medios globales de cada publicación. Con el fin de tener un marco de referencia más acotado a la zona de estudio, también se añadió la información geoquímica de las medias elementales presentes en el trabajo de Lagos (2010), llevado a cabo en un prospecto de la Franja de Maricunga (Tablas 4.14 y 4.15). Cabe señalar que dado que los elementos definidos “importantes” en cada proyecto no son los mismos, no hay información para todos los elementos definidos como importantes en el proyecto La Falda.

Tabla 4.14 Valores medios globales y de proyectos de la Franja de Maricunga para elementos definidos como importantes en el muestreo de suelo.

Elemento	Rango de medias globales	Lagos (2010)
Ag	0,07 - 0,1	0,12
Au	0,0025 - 0,004	0,015
Cu	14 - 55	54,2
As	1,5 - 7,5	49
Bi	0,09 - 0,17	
Mo	1 - 1,5	1,11
Pb	12,5 - 20	17,6
Sb	0,2 - 0,3	0,84
Te	0,002 - 0,005	
Zn	50 - 70	90

Tabla 4.15 Valores medios globales y de proyectos de la Franja de Maricunga para elementos definidos como importantes en el muestreo de roca.

Elemento	Rango de medias globales	Lagos (2010)
Ag	0,07 - 0,1	0,19
Au	0,0025 - 0,004	0,013
Cu	14 - 55	13,4
As	1,5 - 7,5	40,9
Bi	0,09 - 0,17	
Mo	1 - 1,5	0,79
Pb	12,5 - 20	16,9
Sb	0,2 - 0,3	0,92
Zn	50 - 70	128

El umbral distrital (UD) de cada elemento escogido tiene como fin último establecer el valor límite a partir del cual se definen los valores anómalos en el proyecto La Falda. Se define como *Límite Regional* (LR) al valor que resulta de la suma de la media más dos desviaciones estándar de la media (DEM) (Ec. 1 y 2).

$$DEM = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (1)$$

$$LR = \bar{x} + 2 \times DEM \quad (2)$$

El UD se define como el valor máximo que resulta de la comparación entre el LR, la media global y la media de los proyectos de la Franja de Maricunga (Anexo A, Tablas 1 y 2) para cada elemento químico en estudio.

1. Muestras de suelo

Se realizó el cálculo del LR utilizando los estadígrafos básicos de la base de datos de suelo (Anexo A, Tabla 1), mientras que la obtención del UD se realizó siguiendo la metodología antes planteada (Tabla 4.16).

Tabla 4.16 Determinación del límite regional y umbral distrital para los elementos en muestras de suelo.

Elemento	Rango de medias globales	Lagos (2010)	Límite regional	Umbral distrital
Ag	0,07 - 0,1	0,12	0,23	0,23
Au	0,0025 - 0,004	0,015	0,18	0,18
Cu	14 - 55	54,2	26,8	55
As	1,5 - 7,5	49	30,5	49
Bi	0,09 - 0,17		0,41	0,41
Mo	1 - 1,5	1,11	1,05	1,5
Pb	12,5 - 20	17,6	12,1	20
Sb	0,2 - 0,3	0,84	0,46	0,84
Te	0,002 - 0,005		0,44	0,44
Zn	50 - 70	90	45	90

2. Muestras de roca

Se realizó el cálculo del LR utilizando los estadígrafos básicos de la base de datos de roca (Anexo A, Tabla 2), mientras que la obtención del UD se realizó siguiendo la metodología antes planteada (Tabla 4.17).

Tabla 4.17 Determinación del límite regional y umbral distrital para los elementos en muestras de roca.

Elemento	Rango de medias globales	Lagos (2010)	Límite regional	Umbral distrital
Ag	0,07 - 0,1	0,19	0,49	0,49
Au	0,0025 - 0,004	0,013	0,44	0,44
Cu	14 - 55	13,4	13,4	55
As	1,5 - 7,5	40,9	20,9	40,9
Bi	0,09 - 0,17		1,8	1,8
Mo	1 - 1,5	0,79	1,4	1,5
Pb	12,5 - 20	16,9	8,6	20
Sb	0,2 - 0,3	0,92	1,8	1,8
Zn	50 - 70	128	13	128

4.7.2 Determinación de las poblaciones

La metodología utilizada en la determinación del número de poblaciones de cada elemento trazador tiene como base el trabajo realizado por Lepeltier (1969). Este consiste en la confección de un gráfico de probabilidad (*probability plot*) el cual permite comparar la distribución empírica de los datos introducidos con una distribución normal teórica representada por una recta oblicua en el gráfico. El eje de las abscisas contiene las concentraciones de los elementos en base logarítmica. El eje de las ordenadas representa el porcentaje acumulado de datos menores o iguales al valor ingresado, con una escala no lineal distribuida de manera tal que los valores extremos se visualizan con mayor detalle.

Si se ingresa al gráfico de probabilidad la información de una población con una distribución lognormal, el resultado será una línea recta oblicua. Sin embargo, lo que se observa en la mayoría de los casos cuando se ingresan al gráfico los datos de una variable geoquímica es una línea quebrada y discontinua, lo que sugiere que el set de datos considerado contiene más de una población (Lepeltier, 1969; Reimann et al., 2005). Luego, el análisis de poblaciones consiste en la búsqueda de estos quiebres en la estructura de los datos, los que indican la intersección de dos poblaciones que tendrían un origen geológico distinto. La identificación de los quiebres de pendiente en los gráficos no es un asunto trivial y posee un alto nivel de subjetividad, dependiendo en gran medida de la experiencia del investigador (Reimann, 2005). Es por esto que se han diseñado algoritmos de partición lineal univariable, dentro de los cuales en cartografía es utilizado el procedimiento conocido como “quiebres naturales” (“*natural breaks*”) que se encuentra disponible en algunos programas de sistemas de información geográfica (GIS) (Slocum, 1999).

En el análisis de poblaciones se utilizó la base de datos con transformación logarítmica sin la extracción de los valores *outliers univariates*. Los gráficos de probabilidad fueron confeccionados con el programa *MATLAB 2013b*. Los quiebres naturales fueron identificados mediante el software *ArcGIS 10.1*. Dado que el método necesita como dato de entrada el número de quiebres presentes en el gráfico de probabilidad, se inspeccionó visualmente cada gráfico de probabilidad, determinándose un promedio de entre uno y tres quiebres en la distribución estadística de las variables de interés, lo que equivale a un número de poblaciones entre dos y cuatro.

El criterio para escoger el número óptimo de poblaciones se basó en la búsqueda de la población anómala de cada variable de interés. Esto se realizó ingresando como dato de entrada al software las tres opciones definidas anteriormente, es decir, los caso de uno, dos y tres quiebres que generaron dos, tres y cuatro poblaciones respectivamente. Luego se comparó cada quiebre obtenido con el umbral distrital (UD) de cada variable (Tablas 4.16 y 4.17) y se definió como *Límite de Exploración Recomendado* (LER) al quiebre de pendiente más cercano al UD definido para cada elemento trazador. Con esto se definió como *población anómala* a aquella cuyo límite inferior corresponde al límite de exploración recomendado.

Cabe señalar que la metodología no es estricta pues también se consideró en la elección del LER el contraste generado en la distribución espacial de las poblaciones de cada variable, y también se debe considerar el hecho de que puede haber más de una población anómala en caso de que el quiebre que define la anomalía no sea el mayor.

1. Muestras de suelo

El análisis de poblaciones en la base de datos de muestras de suelo se realizó a los diez elementos químicos definidos como trazadores. Los resultados incluyen el número óptimo de poblaciones según la metodología, los límites inferior y superior de cada población, el valor medio, el porcentaje de datos que aglomera cada de cada una de estas, y el límite de exploración recomendado para el proyecto (Tabla 4.18).

Tabla 4.18 Resultados de análisis de poblaciones en muestras de suelo y determinación del Límite de Exploración Recomendado en el proyecto La Falda para las variables definidas como elementos trazadores. Todos los resultados se encuentran expresados en ppm.

Elemento	N° de Poblaciones	Media	Límite Inferior	Límite Superior	% Población	Lím. De Exploración Recomendado
Ag	3	0,04	0,00	0,05	46,98%	0,13
		0,08	0,05	0,13	47,65%	
		0,26	0,13	2,38	5,37%	
As	3	19,82		26,7	37,81%	56,5
		35,28	26,7	56,8	55,48%	
		97,64	56,8	755	6,71%	
Au	4	0,0025		0,0025	78,52%	0,024
		0,0063	0,0025	0,010	13,65%	
		0,014	0,010	0,024	6,04%	
		0,048	0,024	0,082	1,79%	

Tabla 4.18 (continuación) Resultados de análisis de poblaciones en muestras de suelo y determinación del Límite de Exploración Recomendado en el proyecto La Falda para las variables definidas como elementos trazadores. Todos los resultados se encuentran expresados en ppm.

Elemento	N° de Poblaciones	Media	Límite Inferior	Límite Superior	% Población	Lím. De Exploración Recomendado
Bi	3	0,17		0,23	61,74%	0,62
		0,34	0,23	0,62	32,44%	
		0,82	0,62	8,91	5,82%	
Cu	3	17,70		24,40	41,39%	45,8
		32,92	24,40	45,80	49,66%	
		54,81	45,80	77,00	8,95%	
Mo	3	0,59		0,75	29,08%	1,45
		0,97	0,75	1,45	62,42%	
		2,19	1,45	12,60	8,50%	
Pb	3	8,06		10,5	39,82%	22,7
		13,86	10,5	22,7	53,47%	
		37,61	22,7	215	6,71%	
Sb	4	0,14		0,18	21,92%	0,49
		0,25	0,18	0,30	37,58%	
		0,38	0,30	0,49	46,76%	
		0,62	0,49	1,73	11,19%	
Te	4	0,06		0,10	21,92%	0,6
		0,17	0,10	0,25	37,58%	
		0,39	0,25	0,60	29,53%	
		0,98	0,60	3,14	10,96%	
Zn	4	12,27		19	4,92%	66
		31,09	19	40	25,73%	
		52,77	40	66	58,61%	
		82,92	66	333	10,74%	

2. Muestras de Roca

El análisis de poblaciones del muestreo de rocas en el proyecto La Falda se realizó a 9 de las 10 variables definidas como trazadores, debido a que el método de análisis realizado a roca no incluyó al elemento Te dentro de sus resultados. Los resultados incluyen el número óptimo de variables según la metodología, los límites inferior y superior de cada población, el valor medio y el % de datos que aglomera cada de cada una de esta, y el límite de exploración recomendado para el proyecto (Tabla 4.19).

Tabla 4.19 Resultados de análisis de poblaciones en muestras de roca y determinación del Límite de Exploración Recomendado en el proyecto La Falda para las variables definidas como elementos trazadores. Todos los resultados se encuentran expresados en ppm.

Elemento	N° de Poblaciones	Media	Límite Inferior	Límite Superior	% Población	Lím. de Exploración Recomendado
Ag	2	0,15		0,7	85,15%	0,7
		3,82	0,7	100	14,85%	
As	3	5,60		12	24,48%	162
		24,55	12	162	65,78%	
		448,50	162	10000	9,73%	
Au	3	0,0028		0,008	64,41%	0,116
		0,025	0,008	0,116	22,71%	
		0,60	0,116	10	12,88%	
Bi	4	1,00		1	62,83%	4
		2,75	1	4	26,94%	
		6,69	4	14	7,28%	
		31,60	14	142	2,95%	
Cu	3	3,22		6	27,93%	87
		15,71	6	87	62,24%	
		242,77	87	2730	9,83%	
Mo	3	0,76		1	60,08%	3
		2,23	1	3	33,24%	
		7,45	3	191	6,69%	
Pb	4	1,22		2	23,11%	55
		5,76	2	11	39,04%	
		22,26	11	55	26,35%	
		143,07	55	10000	11,50%	
Sb	3	1,00		1	62,44%	6
		2,82	1	6	28,91%	
		14,11	6	191	8,65%	
Zn	4	1,66		3	25,96%	80
		6,45	3	14	28,32%	
		40,24	14	80	31,27%	
		123,50	80	758	14,45%	

4.8 Distribución espacial

La distribución de los elementos químicos en el espacio se origina mediante la acción de procesos geológicos, geográficos, biológicos, físicos, entre otros. Luego, a partir de análisis de distribución espacial de los elementos se pueden establecer patrones individuales y asociaciones elementales que compartan el mismo comportamiento en su distribución en el espacio para finalmente poder explicar las razones de estos procesos, y poder comparar con el comportamiento de los mismos elementos en otros sectores.

4.8.1 Definición de sectores en la propiedad

Desde febrero del 2012, Minera Hochschild comenzó con la exploración del proyecto La Falda, lo que conllevó a la definición de sectores atractivos desde el punto de vista económico dado por el contexto metalogénico en el que se encuentra inserto el proyecto, que es la Franja de Maricunga.

La mineralización en La Falda está asociada a dos ambientes en particular, los que son:

1. Vetillas de cuarzo bandeado (*BQz*) en *stockwork* y *sheeted veins* en cuerpos intrusivos
2. Estructuras silicificadas (*Qz-Ledges*) y brechas hidrotermales en el *lithocap*

Luego, los sectores definidos como importantes desde el punto de vista económico pertenecen a alguna de estas dos categorías (Fig. 4.23).

4.8.1.1 Intrusivos

1. *Sector de Intrusivos Centrales*: Corresponde a la zona ubicada en el sector central del proyecto, donde aflora el pórfido feldespático (PF) y brecha intrusiva (IBX). En este sector la mineralización se asocia a vetillas de cuarzo bandeado, las cuales cortan con mayor densidad a la brecha intrusiva que al pórfido feldespático. En este sector se produce el cruce de dos *trends* de vetillas de cuarzo bandeado principales, de orientaciones NW y NE respectivamente.

2. *Sector Pomelo*: Corresponde al sector ubicado al noroeste de la zona central del proyecto. Este se encuentra cubierto por material aluvial proveniente de la Cordillera Claudio Gay al oeste de la propiedad, por lo cual fue necesario construir trincheras para realizar el muestreo. La roca muestreada corresponde a una brecha intrusiva con bloques de pórfido feldespático de textura “crowded” (PFg). La mineralización ocurre en vetillas de cuarzo

bandeado alojadas en los bloques de PFg, pero no así en la matriz de la brecha intrusiva. En este sector se produce el cruce de dos trenes de vetillas de cuarzo bandeado principales de orientación NW y NNW respectivamente.

4.8.1.2 Lithocap Este

1. *Qz-Ledges Norte*: Sector ubicado al noreste de la zona central de la propiedad. Corresponde a tres estructuras con alteración *vuggy-silica* y silicificación, con sectores de quemaduras rellenas de alunita y azufre emplazadas en brecha volcánica. La orientación preferente de estas estructuras es ENE. Cortando a los *ledges* se emplazan brechas hidrotermales y vetas de cuarzo-baritina, ubicadas en el techo de las mismas brechas hidrotermales.

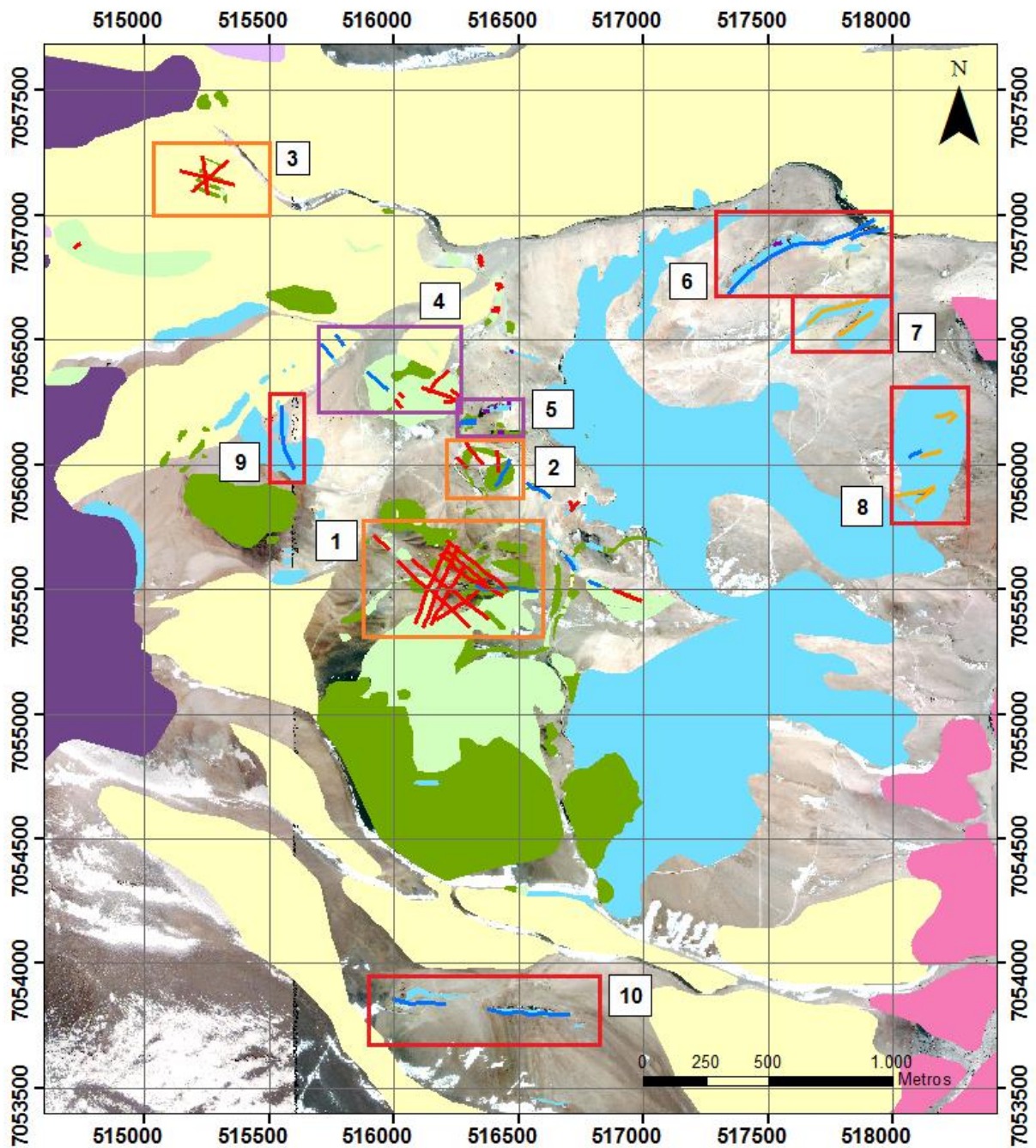
2. *Qz-Ledges Sur*: Corresponde a dos *ledges* de cuarzo, de orientación EW ubicados al sur de la zona central de la propiedad. Las estructuras poseen una alteración *vuggy-silica* con texturas de relleno y reemplazo de cuarzo calcedónico cortando brechas volcánicas. Hay presencia de *floats* de vetas de baritina.

3. *Qz-Ledges Este*: Set de *ledges* de cuarzo que se ubican al este de la zona central de la propiedad, cercana al valle del Río Juncalito, en el límite con las ignimbritas que delimitan la propiedad en el lado oriental. Los *ledges* cortan brecha volcánica y presentan alteración *vuggy silica* y un halo de alteración argílica avanzada. El rumbo promedio de estas estructuras es NE e inclinan desde 40° a 80° al SE.

4. *Qz-Ledges Oeste*: Corresponde a 3 estructuras de orientación EW a ENE, caracterizadas por un sector central de alteración *vuggy-silica* y brechamiento hidrotermal, con un halo externo de alteración cuarzo-caolinita±alunita. Se ubican inmediatamente al noreste del sector de intrusivos centrales. Presentan vetas y brechas craqueladas de baritina-cuarzo cortando las estructuras. La roca caja que alberga estas estructuras es distinta para cada una de estas. Mientras la estructura de más al norte se encuentra emplazada en brecha volcánica, las estructuras sur y oeste se encuentran emplazadas en el pórfido central.

4.8.1.3 Lithocap Oeste

1. *Brecha Oeste*: Subafloramientos de estructuras NW de cuarzo-alunita, emplazadas en rocas volcánicas silicificadas.



Leyenda

Aluvio/Coluvio	Brecha Volcánica	Vts Baritina-Cuarzo-Enargita
Ignimbrita	Brecha Hidrotermal	Brecha Hidrotermal
Tobas Andesítica/Dacítica	Brecha Intrusiva	Ledges de Cuarzo
Dacitas	Porfido Feldespático	Vts Cuarzo Bandeado
Andesitas		

Figura 4.23 Ubicación de los sectores definidos como importantes desde el punto de vista económico en el proyecto La Falda. 1=Trend Alto, 2=Trend Wendy, 3=Pomelo, 4=Cerro Verde, 5=Qz-Ledge Oeste, 6=Cerro Lito Norte, 7=Mansa Brecha, 8=Qz-Ledge Este, 9=Brecha Oeste, 10=Qz-Ledge Sur

4.8.2 Distribución espacial de elementos en muestras de suelo

La distribución espacial de los elementos trazadores en el muestreo de sedimentos finos de talud a través de las dos mallas de suelo superpuestas en la zona central de la propiedad se sintetizó en mapas de contraste univariable, donde cada punto de muestreo está representado por un círculo de color en escala de colores cálidos. El rango de colores va desde el amarillo pálido al rojo. Las tonalidades amarillas indican las poblaciones de menores valores para el elemento en cuestión, mientras que las tonalidades anaranjadas y rojas indican aquellas muestras pertenecientes a las poblaciones definidas como anómalas en los estudios anteriores (Anexo C).

1. Ag

Para el elemento plata fueron definidas tres poblaciones, de las cuales solo una se estableció como anómala. Esta representa al 5,37% de los datos y tiene como límite inferior al límite de exploración recomendado, el cual fue definido en 0,13 ppm (Tabla 4.18). Este valor resultó ser menor al umbral distrital (0,23 ppm), pero se decidió así debido a que el análisis de poblaciones no generó un valor más cercano para 1, 2 y 3 quiebres de pendiente. Por otro lado, un límite de 0,23 ppm daría lugar a una población anómala demasiado reducida como para poder establecer patrones de contraste univariable. Aun así, el límite de exploración recomendado es mayor en casi dos veces al promedio global de plata y en 0,01 ppm a la media de Lagos (2010).

En términos generales, se puede apreciar que el patrón de distribución del elemento plata en la malla de finos de talud abarca el sector periférico externo de la grilla, rodeando a los intrusivos centrales y emplazándose en brecha volcánica. Destaca el sector noreste de la malla, en la cual se ubican las estructuras de *Qz-Ledges Norte* y *Qz-Ledges Este* las cuales explicarían estas anomalías. También hay un clúster de valores anómalos en el sector sureste de la malla en el que no hay registro de alguna estructura importante asociada a mineralización. Finalmente el último clúster de valores anómalos se ubica al oeste de los intrusivos centrales, con un grupo de muestras asociadas a *Brecha Oeste* y otro asociado a roca intrusiva ubicada en *Cerro Verde*, donde también hay registro de una estructura tipo *Qz-Legde* en la ladera oeste, que es precisamente donde se agrupan los valores anómalos de plata (Fig. 4.24).

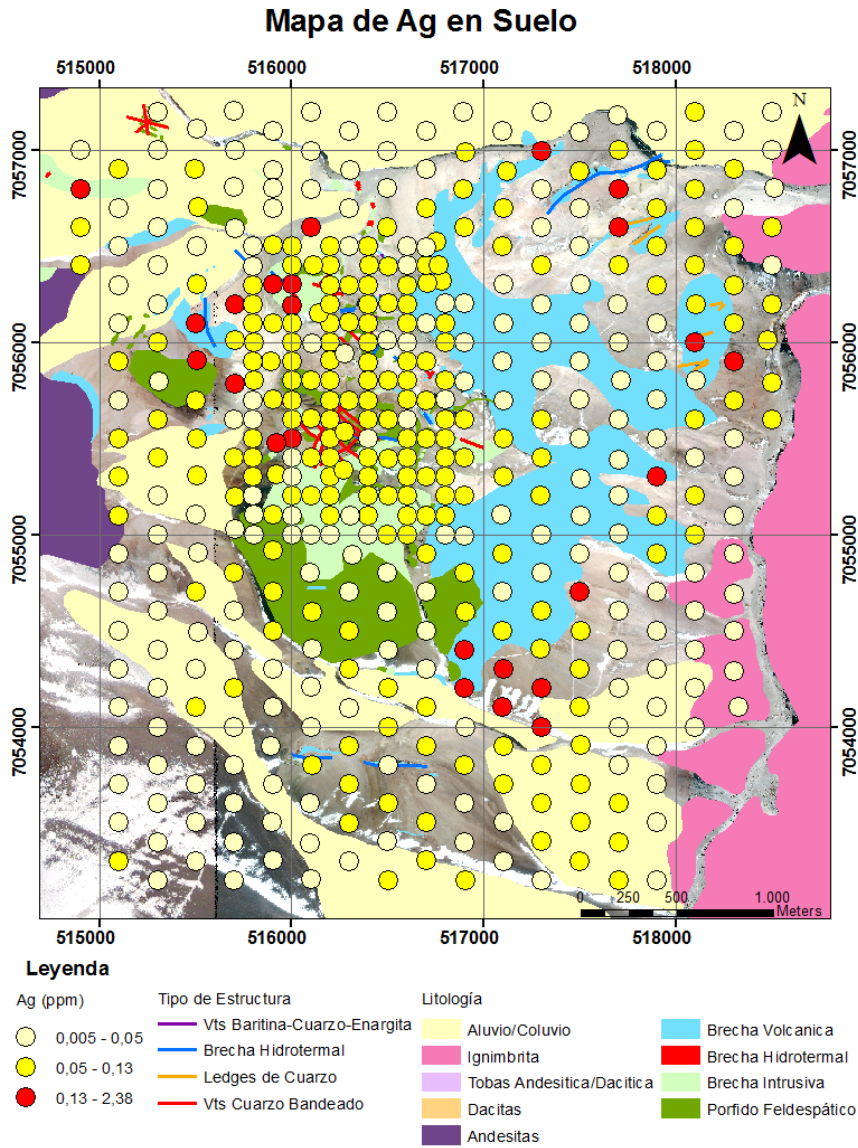


Figura 4.24 Mapa de contraste univariable de Ag en suelo.

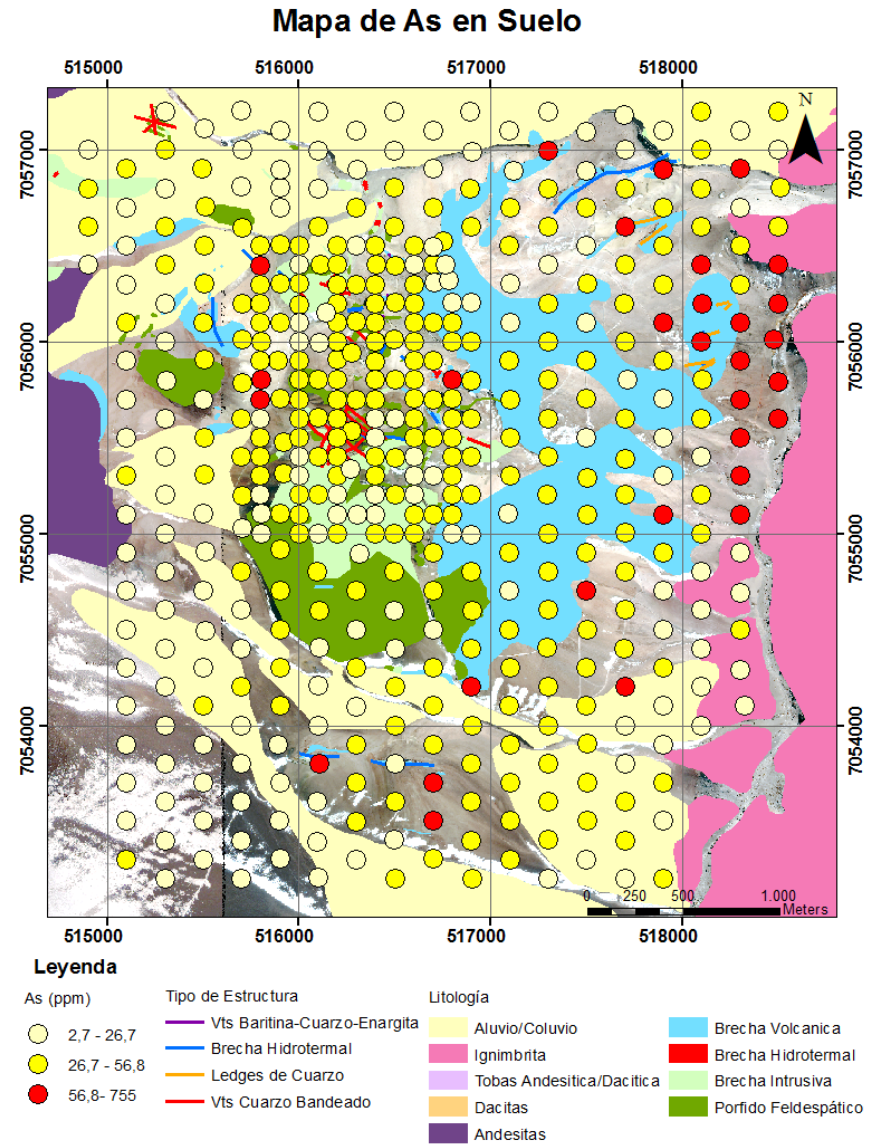


Figura 4.25 Mapa de contraste univariable de As en suelo.

2. As

El elemento arsénico en el proyecto La Falda fue dividido en tres poblaciones, de las cuales aquella de mayores valores fue considerada anómala, con un límite inferior igual al límite de exploración recomendado, equivalente a 56,8 ppm y representando al 6,71% del muestreo de sedimentos finos de talud (Tabla 4.18). Este valor resultó ser mayor al umbral distrital definido para la propiedad (49 ppm) que equivale al valor promedio obtenido de Lagos (2010), y por lo tanto también resulta ser mayor al límite regional definido para el proyecto La Falda (35 ppm) y 13 veces mayor a la media global del elemento en la corteza superior (1,5 – 7,5 ppm).

El patrón de distribución del arsénico en la malla de suelos del proyecto sigue una tendencia similar a la plata, con una concentración de los valores anómalos en los sectores periféricos de la grilla de finos de talud – principalmente el sector este y sur – mientras que en el sector central de intrusivos hay una marcada ausencia de anomalías. El clúster más importante de valores anómalos se ubica al este de la grilla de suelo, asociado al sector definido como *Qz-Ledge Este*, y en menor proporción al *Qz-Ledge Norte*. El sector sur de la malla también posee un grupo de valores anómalos, en gran parte asociado a la presencia del *Qz-Ledge Sur* en el sector, y un par de muestras ubicadas en las cercanías de *Brecha Oeste* (Fig. 4.25).

3. Au

En el caso del oro, el mapa de contraste univariable fue confeccionado para cuatro poblaciones definidas en el sub-capítulo anterior. De estas, solo el par de mayores valores fue definido como anómalo, representando al 7,83% del muestreo total de la malla de suelo, con un límite inferior de la población anómala menor igual al límite de exploración recomendado (Tabla 4.18). El límite de exploración recomendado quedó en 0,024 ppm, un valor bajo el umbral distrital definido en la sección *Análisis de Poblaciones* (0,18 ppm). No obstante, cabe señalar que el valor del umbral distrital es incluso más alto que el valor máximo del muestreo de la malla de suelo en La Falda (0,082 ppm). Luego, al comparar el valor del límite de exploración recomendado con los 0,015 ppm de la media de Lagos (2010) y el rango de medias globales (0,0025 – 0,004), este determinado resulta ser mayor, y capaz de generar un contraste de anomalías que permite delimitar zonas anómalas de oro para el proyecto La Falda.

El patrón de distribución del elemento oro en la malla de sedimentos finos de talud sigue una tendencia de acumulación de anomalías en la zona central de la malla, al contrario de lo

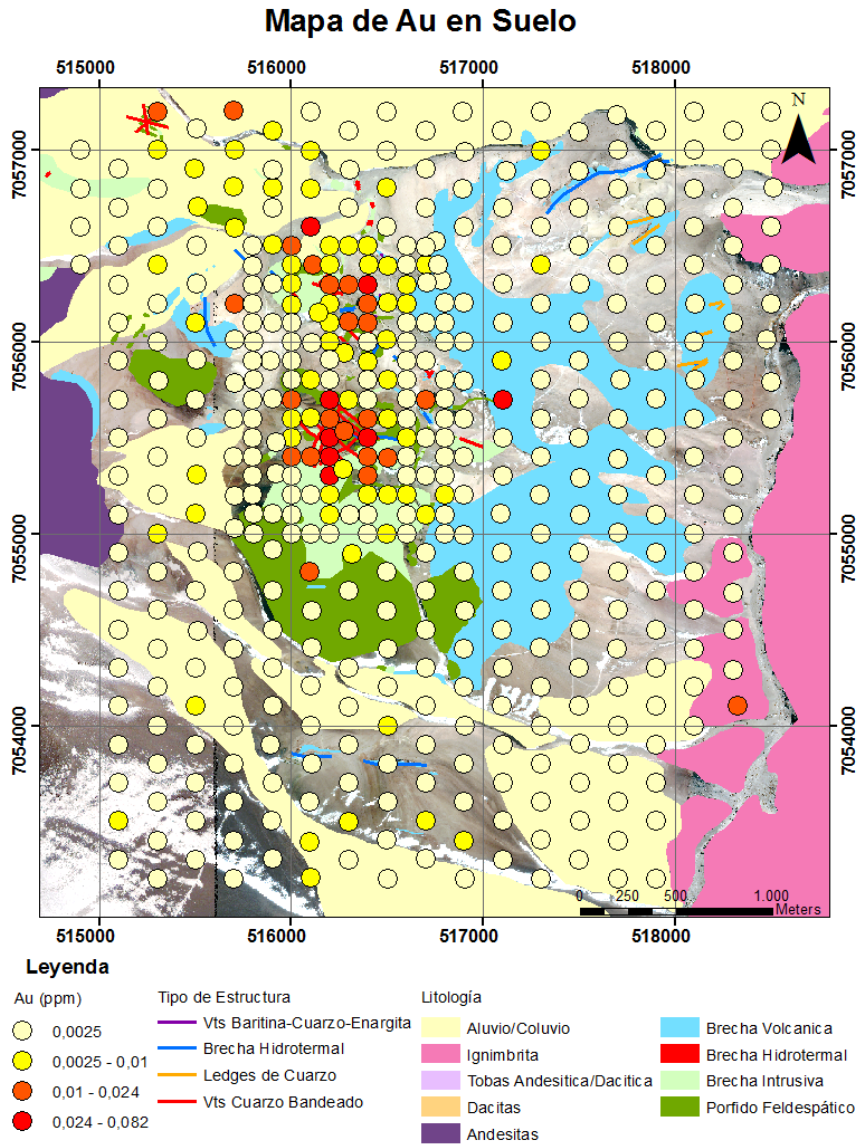


Figura 4.26 Mapa de contraste univariable de Au en suelo.

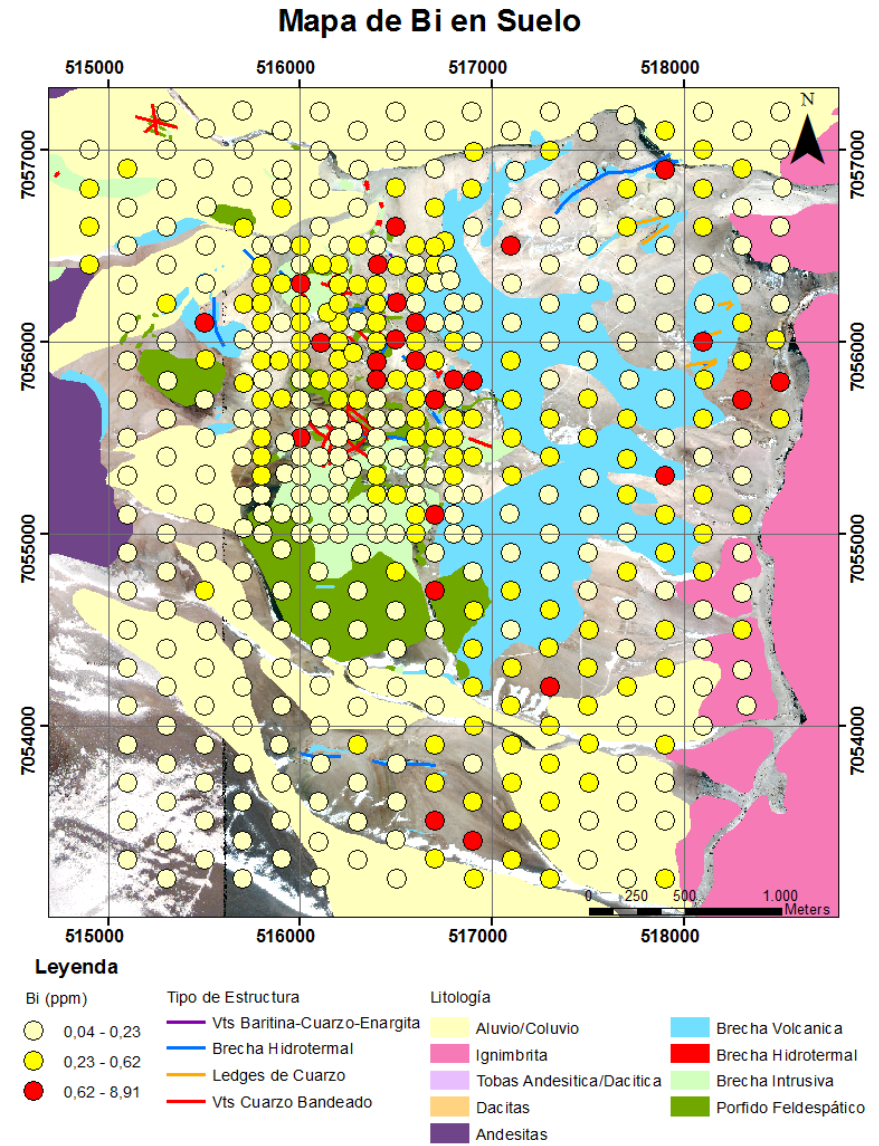


Figura 4.27 Mapa de contraste univariable de Bi en suelo.

ocurrido con la plata y arsénico recién vistos. Son dos las zonas de anomalías principales. La primera ocurre en el sector de intrusivos centrales asociados a vetillas de cuarzo bandeado. La segunda se ubica en el sector de *Qz-Ledges Oeste*; y en parte, la ladera noreste del *Cerro Verde*. También cabe señalar el par de muestras ubicadas en el sector aluvial de *Pomelo*, que marca la presencia del cuerpo intrusivo ubicado bajo la cobertura en esa ubicación (Fig. 4.26).

4. *Bi*

Para el elemento bismuto se generaron 3 poblaciones, de las cuales solo una fue definida como anómala, representando al 5,82% del total de datos. El límite de exploración recomendado se estableció en 0,62 ppm, valor mayor al umbral distrital del elemento en La Falda (0,41 ppm) y aún mayor al rango de medias globales en la corteza terrestre (0,09 – 0,17 ppm).

El patrón de distribución del bismuto en la malla de sedimentos finos de talud posee un esquema irregular, que a grandes rasgos se puede separar en 2 grandes clústeres. El primero se ubica en la periferia de la malla, con una densidad de anomalías baja, ubicada principalmente en el sector este, asociada al *Qz-Ledge Este*. El segundo se concentra en la zona periférica aledaña al centro de la malla, abarcando tanto el sector de *Qz-Ledge Oeste* como los cuerpos intrusivos inmediatamente aledaños. Cabe destacar también un par de valores anómalos asociados a los coluvios provenientes desde el sector *Qz-Ledge Sur* (Fig. 4.27).

5. *Cu*

Los resultados de los análisis para el elemento cobre en el proyecto La Falda fueron agrupados en tres poblaciones de datos, de las cuales solo una fue considerada anómala. Esta representa al 8,95% del muestreo de suelo total y está definida por un límite de exploración recomendado igual a 45,8 ppm. Este valor resulta bajo en comparación con el rango de medias globales presentes en la corteza terrestre (14 – 55 ppm), cuyo valor máximo fue definido como umbral distrital debido al bajo valor del límite regional del proyecto La Falda (26,8 ppm), siendo también más bajo que la media del proyecto Chimberos Este (Lagos, 2010) con 54,2 ppm. Sin embargo, al comparar con valores de otros proyectos presentes en la Franja de Maricunga, como el Distrito Pantanillo (Gamonal, 2007) con 22,77 ppm y Purén Oeste (Álvarez, 2009) con 31,75 ppm, se puede apreciar que los valores de cobre en la zona no son más altos que la media global de la corteza terrestre; y por ende, el límite de exploración recomendado se encuentra dentro del rango de valores propios del contexto geológico de la zona de estudio.

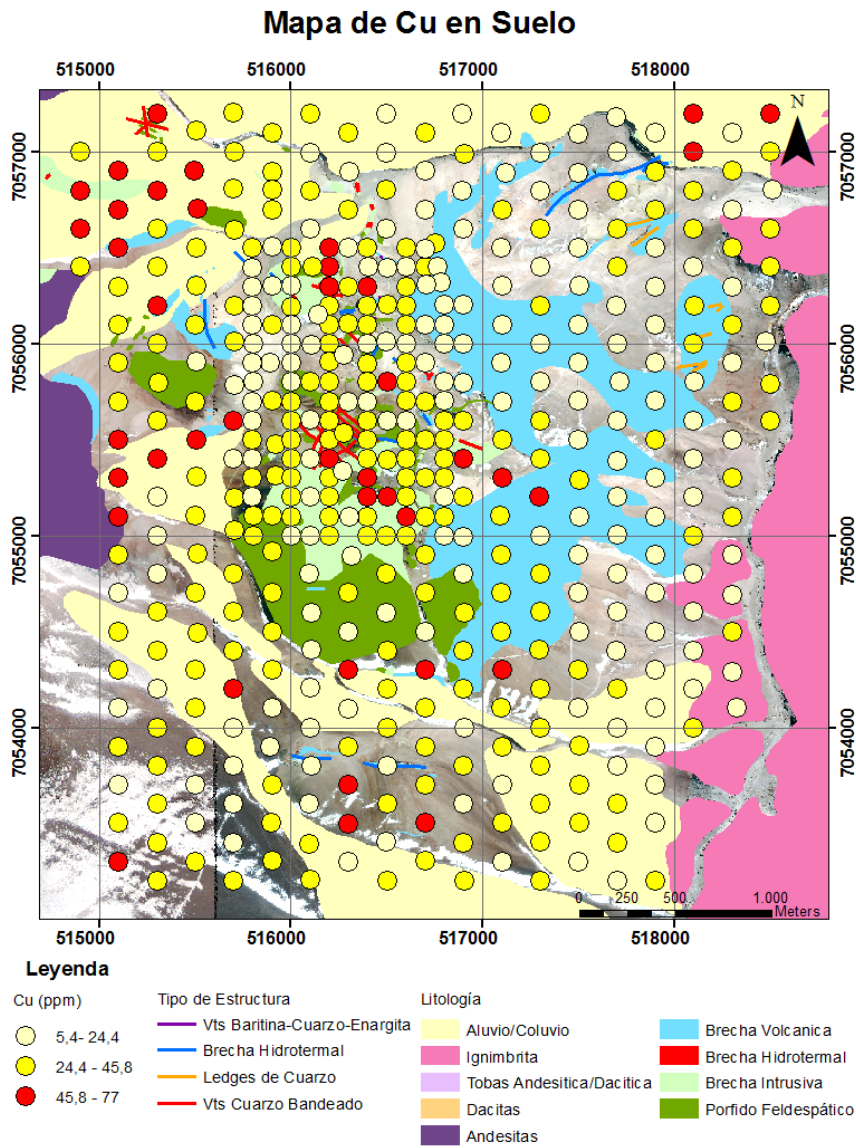


Figura 4.28 Mapa de contraste univariable de Cu en suelo.

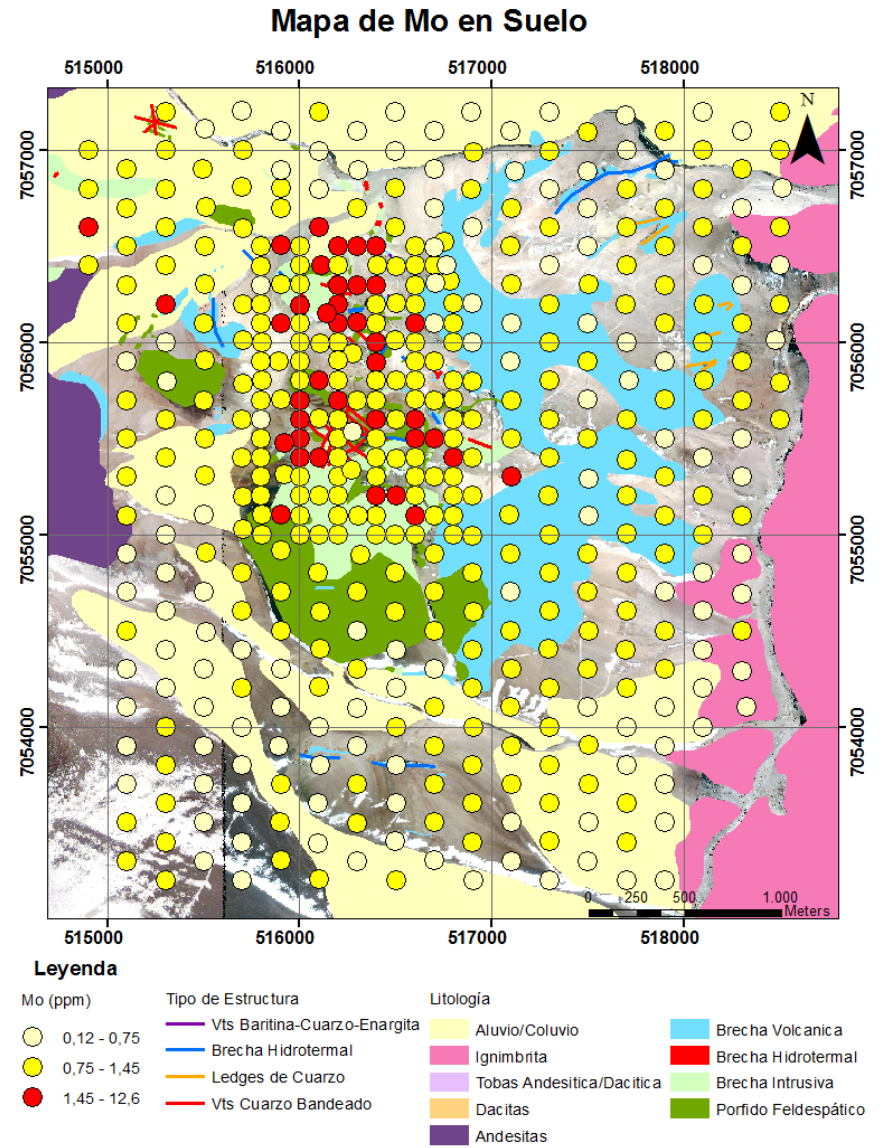


Figura 4.29 Mapa de contraste univariable de Mo en suelo.

Respecto al patrón de distribución de valores anómalos en la malla de finos de talud del proyecto, el cobre se distribuye sin una tendencia clara, con clústeres tanto en la zona de intrusivos centrales, como en algunas estructuras tipo *ledges*, depósitos aluviales y pórfidos periféricos. El mayor clúster se ubica en el sector noroeste de la malla de suelo, en el sector de depósitos aluviales cercano al sector intrusivo de *Pomelo*. Otro clúster importante se ubica en el sector aluvial del oeste de la malla de suelo, donde se reportó presencia de vetillas de cuarzo bandeado (Informe Mensual La Falda, 2013). El sector de intrusivos centrales también presenta un agrupamiento de valores anómalos asociado a esta litología y estilo de mineralización en vetillas de cuarzo bandeado; así como también el sector entre *Cerro Verde* y *Qz-Ledge Oeste* presenta valores anómalos, esta vez para el cobre (Fig. 4.28).

6. *Mo*

Los datos del elemento fueron particionados en tres poblaciones, con un límite de exploración recomendado – que definió la única población anómala – igual a 1,45 ppm, aglomerando a un 8,5% del muestreo total de sedimentos finos de talud. Este valor es levemente inferior al umbral distrital definido (1,5 ppm), pero fue aquel que mejor se ajustó como resultado de la metodología de *natural breaks* utilizada en el análisis de poblaciones. En relación al contexto geológico del proyecto, si bien el límite de exploración recomendado es mayor que la media de Chimberos Este (Lagos, 2010), que es igual a 1,05; también hay que señalar que es menor que los 2,14 ppm del Distrito Pantanillos (Gamonal, 2007). No obstante, los valores no son demasiado disímiles, y este límite genera un buen contraste univariable en el mapa de distribución del molibdeno.

El patrón de distribución espacial del molibdeno en la malla de finos de talud muestra un comportamiento marcado de agrupación de clústeres en la zona central de la grilla, con una distribución similar a la del oro, asociado principalmente a los intrusivos centrales del proyecto. El único sector no asociado al intrusivo central con valores anómalos cercanos es el *Qz-Ledge Oeste*, aunque dada su ubicación, no es posible decir a ciencia cierta si esos valores anómalos se deben a estas estructuras o a material aluvial proveniente desde la ladera oeste de *Cerro Verde*. Cabe señalar que este último clúster descrito tiene una buena correlación con la traza de la falla NW inferida que atraviesa la propiedad, por lo que no se descarta la acción en este sector de un control estructural producto de la estructura NW (Fig.4.29).

7. Pb

Para el elemento plomo fueron definidas tres poblaciones, de las cuales solo una se estableció como anómala. El valor del límite de exploración recomendado para este elemento es 22,7 ppm, el cual supera levemente al umbral distrital (20 ppm) y a las medias de proyectos pertenecientes al mismo contexto geológico, como Chimberos Este (Lagos, 2010) y Distrito Pantanillo (Gamonal, 2007) con 17,6 ppm y 20, 17 ppm respectivamente. La población anómala representa al 6,71% del muestreo de suelo total y presenta una media de 32,92 ppm.

La distribución espacial del plomo en la malla de suelos del proyecto La Falda muestra un comportamiento general marcado por la agrupación de valores anómalos en la zona central, levemente al noreste, distribuidos con una orientación NW, lo que se podría asociar a un posible control estructural que pasa a través de este clúster de valores anómalos. Las anomalías se encuentran asociadas principalmente a rocas intrusivas en el sector de *Cerro Verde* y el *Qz-Ledge Oeste*, pero no se ve asociación con el sector de vetillas de cuarzo bandeado del sector intrusivo central, ni menos en el sector *Pomelo*. En los *ledges* de cuarzo periféricos hay presencia de valores anómalos aislados, específicamente en los *Qz-Ledges Norte, Este y Sur* (Fig. 4.30).

8. Sb

El elemento antimonio fue particionado en cuatro poblaciones, con un límite de exploración recomendado – que definió la única población anómala – igual a 0,49 ppm, aglomerando un 11,19% del muestreo total de sedimentos finos de talud. El valor del límite de exploración recomendado cayó bajo el umbral distrital (0,84 ppm) que fue definido en base a la media del trabajo de Lagos (2010). Sin embargo, con un valor igual a 0,49 ppm se supera al límite regional del proyecto La Falda (0,46 ppm) y al rango de valores medios globales de la corteza superior (0,2 – 0,3 ppm), y lo más importante, genera un buen contraste univariable en el mapa de distribución espacial del elemento.

El patrón de distribución espacial del antimonio en la malla de finos de talud muestra un comportamiento evidente de acumulación de clústeres anómalos en los sectores periféricos de la grilla, con un sector de intrusivos centrales que posee una clara ausencia de valores anómalos. Destacan los sectores de *Qz-Ledges Norte* y *Qz-Ledges Este* con un gran contenido de anomalías; así como también el sector periférico de *Qz-Ledges Sur*. En la zona ubicada inmediatamente al noreste de *Qz-Ledges Sur* hay un clúster con gran cantidad de anomalías sobre depósitos

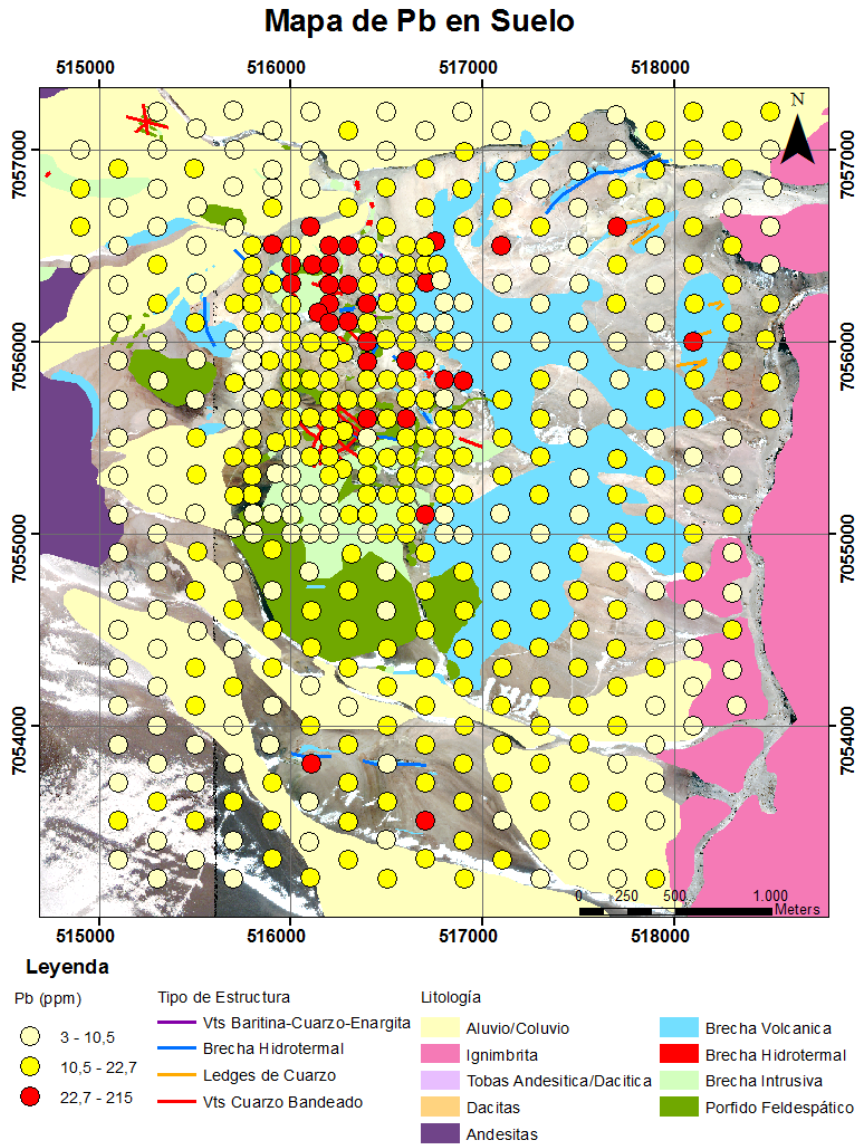


Figura 4.30 Mapa de contraste univariable de Pb en suelo.

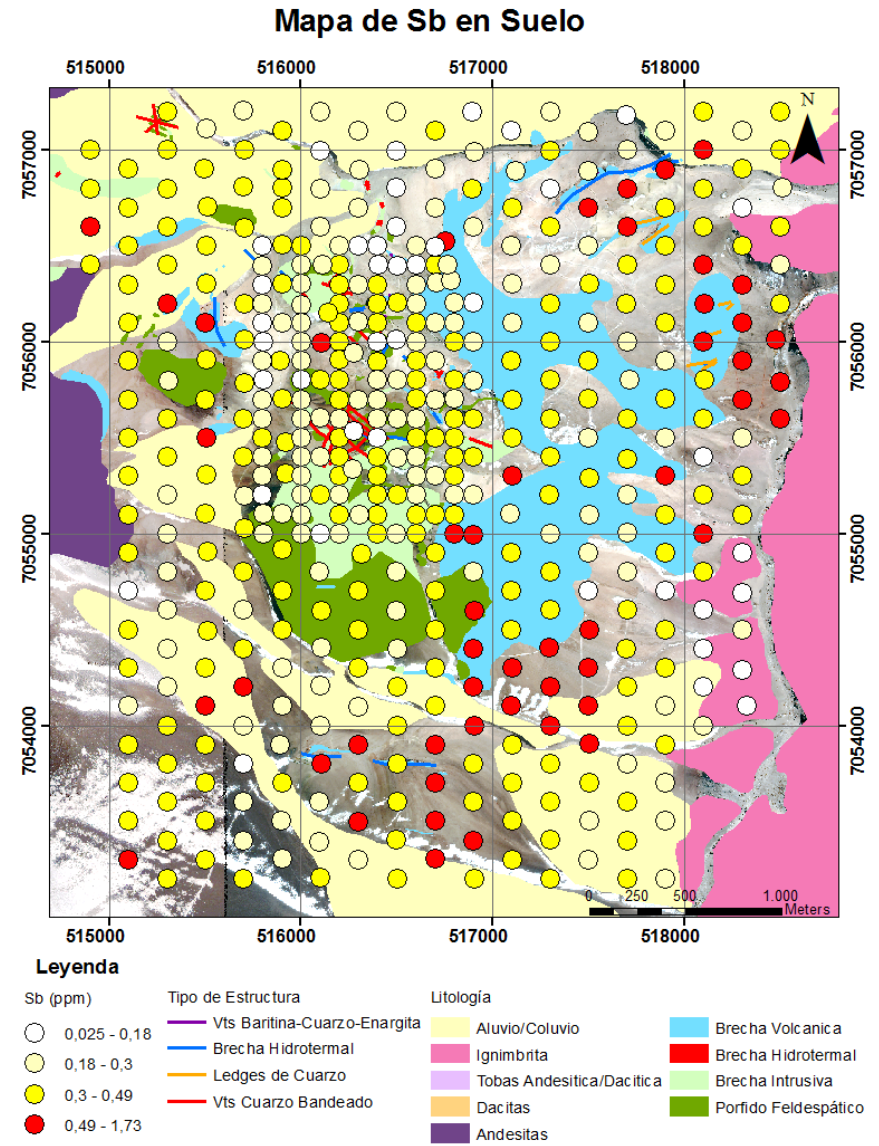


Figura 4.31 Mapa de contraste univariable de Sb en suelo.

aluviales y brecha volcánica en la cual no hay estructuras registradas, lo que podría interpretarse como un posible control estructural de orientación WNW (Fig. 4.31).

9. *Te*

Para el elemento telurio se generaron 4 poblaciones, de las cuales solo una fue definida como anómala, representando el 10,96% del total de datos. El límite de exploración recomendado resultó igual a 0,6 ppm, valor mayor al del límite regional del proyecto La Falda (0,44 ppm) y mucho mayor al rango de medias globales en la corteza terrestre para este elemento.

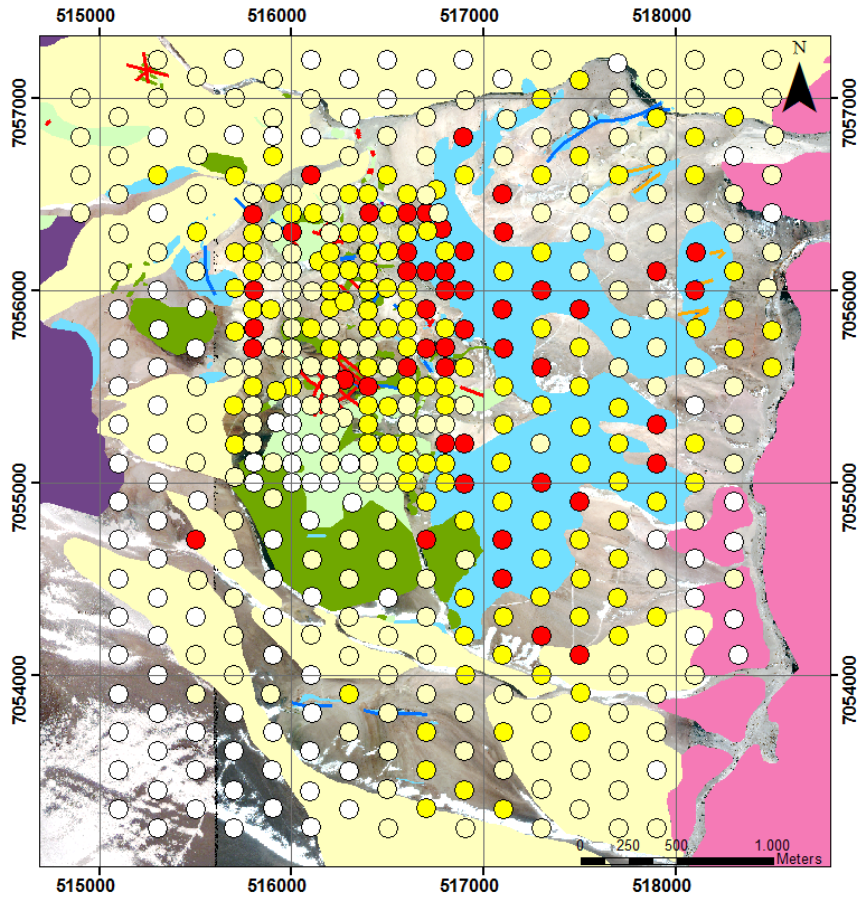
La distribución espacial del telurio en la malla de finos de talud no presenta un patrón evidente como otros elementos. Sin embargo es posible apreciar la estrecha relación que hay entre valores anómalos y la litología de brechas volcánicas, no necesariamente asociadas a *ledges* de cuarzo. De hecho, solo hay un pequeño clúster asociado al *Qz-Ledge Este*, otros clústeres pequeños asociados al *lithocap* oeste (brecha volcánica) y unos pocos valores anómalos presentes en el intrusivo central. Sin embargo, en este último se puede notar claramente la anomalía negativa de telurio, principalmente en la brecha intrusiva. Las observaciones anteriormente realizadas permiten inferir que este elemento cumple mejor la función de trazador litológico o de alteración que de trazador de mineralización de metales de interés económico (Fig. 4.32).

10. *Zn*

Los resultados de los análisis para el elemento zinc en el proyecto La Falda fueron agrupados en cuatro poblaciones de datos, de las cuales solo una fue considerada anómala. El límite de exploración recomendado es igual a 71 ppm, valor menor al umbral distrital (90 ppm) definido según la media de zinc en Lagos (2010), pero superior al límite regional del proyecto L, y levemente superior al rango de medias globales de zinc en la corteza terrestre (50 – 70 ppm).

La distribución espacial del zinc presenta un patrón de anomalías distribuidas principalmente en el sector central del proyecto, abarcando al sector de intrusivos centrales y al sector periférico cercano que lo rodea, constituyendo un halo periférico en la zona de mineralización en vetillas de cuarzo. En menor medida, hay también presencia de anomalías de zinc en los sectores de *Qz-Ledges Norte, Este y Sur* (Fig. 4.33).

Mapa de Te en Suelo



Legenda

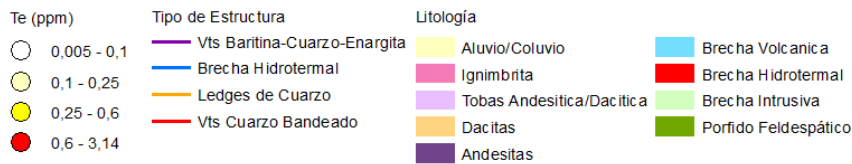
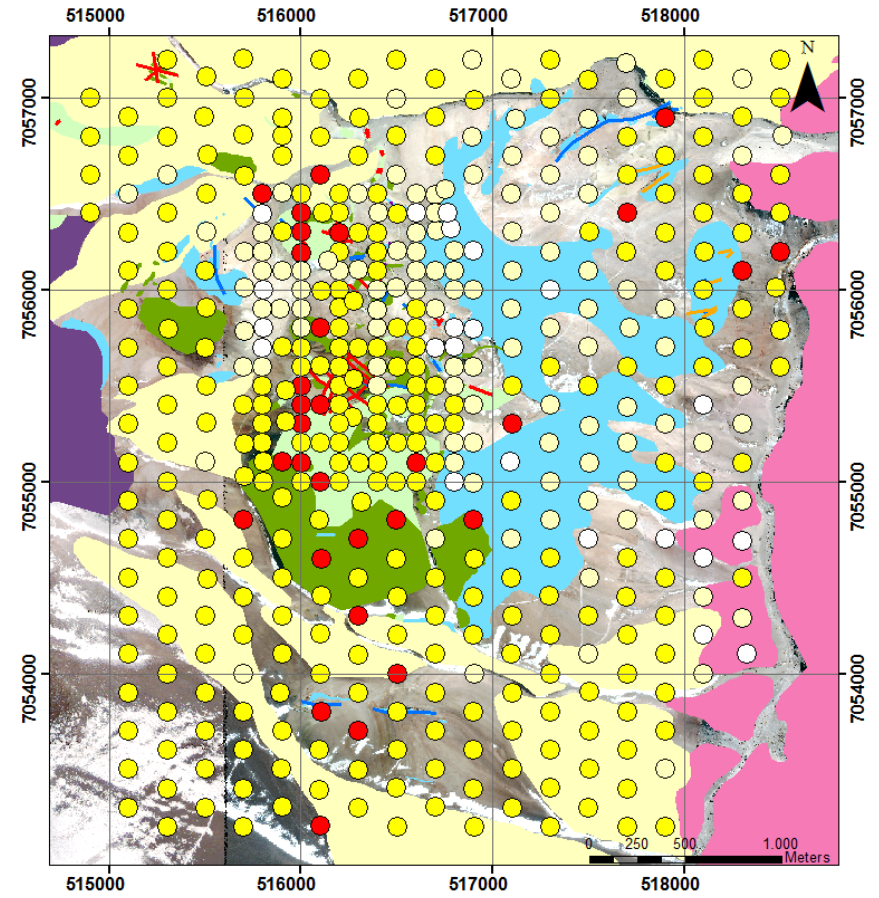


Figura 4.32 Mapa de contraste univariable de Te en suelo.

Mapa de Zn en Suelo



Legenda

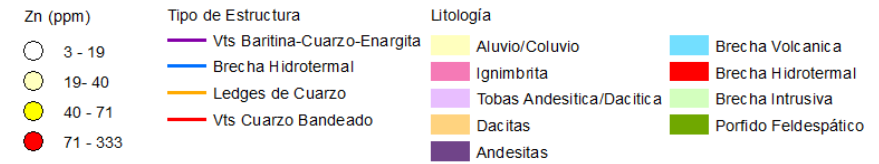


Figura 4.33 Mapa de contraste univariable de Zn en suelo.

4.8.3 Distribución espacial de elementos en muestras de roca

El muestreo de roca realizado en el proyecto La Falda se llevó a cabo mediante la extracción de muestras de afloramientos naturales de roca, caminos y trincheras. Debido a que el muestreo de roca no es sistemático y se centra en la obtención de la información geoquímica de zonas puntuales que permiten la extracción de fragmentos de roca, los resultados son muy útiles en la caracterización de estructuras geológicas con un nivel de detalle que la malla de suelos no puede lograr, por lo cual fue utilizado como complemento, individualizando anomalías (Anexo D).

1. Ag

Para el elemento plata se definieron dos poblaciones, de las cuales aquella de mayores valores corresponde a la población anómala, la que representa al 14,85% del total de muestras analizadas. El límite de exploración recomendado, equivalente al límite inferior de la población anómala, tiene un valor igual a 0,7 ppm. Este límite resultó ser mayor al umbral distrital definido para el proyecto La Falda (0,49 ppm). Lo mismo ocurre al compararlo con la media de los proyectos Chimberos Este (Lagos, 2010) y Purén Oeste (Álvarez, 2009), donde las medias del elemento son 0,19 ppm y 0,17 ppm respectivamente.

En términos de la distribución espacial de los valores anómalos, se puede observar que las anomalías de plata se ubican preferentemente en los blancos periféricos de la propiedad, con una marcada ausencia de valores elevados en la zona de los intrusivos centrales, y una concentración elevada en las zonas de *ledges* de cuarzo y brechas hidrotermales (Tabla 4.20) (Fig. 4.34).

Tabla 4.20 Estadísticas de anomalías de plata clasificadas por sub-sectores definidos en el proyecto La Falda.

Sector	Sub-Sector	Núm. de Muestras Totales	Núm. de Muestras Anómalas	Porc. de Muestras Anómalas	Media Total (ppm)	Media Anomalías (ppm)
Intrusivos Centrales	Trend Alto	54	2	3,70%	0,12	4,43
	Trend Wendy	48	5	10,42%	0,15	1,63
	C° Verde	27	11	40,74%	0,62	4,83
Pomelo		107	1	0,93%	0,19	1,50
Qz-Ledges Norte	Mansa Brecha	47	25	53,19%	1,19	6,52
	C° Lito Norte	21	10	47,62%	0,74	1,89

Tabla 4.20 (continuación) Estadísticas de anomalías de plata clasificadas por sub-sectores definidos en el proyecto La Falda.

Sector	Sub-Sector	Núm. de Muestras Totales	Núm. de Muestras Anómalas	Porc. de Muestras Anómalas	Media Total (ppm)	Media Anomalías (ppm)
Qz-Ledges Sur		56	11	19,64%	0,25	2,17
Qz-Ledges Este		95	46	48,42%	0,86	2,48
Qz-Ledges Oeste		28	11	39,29%	0,67	4,42
Brecha Oeste		24	15	62,50%	2,55	14,71

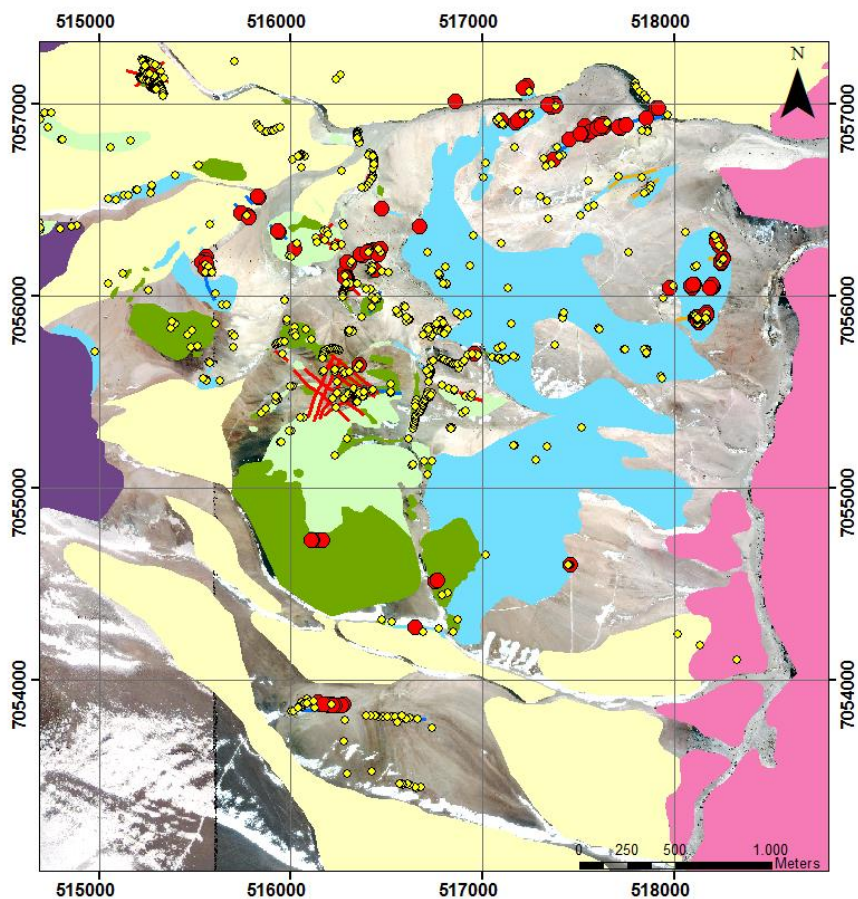
En términos de proporción de valores anómalos, los sub-sectores con un porcentaje de anomalías mayor al de la población anómala del proyecto son *Brecha Oeste*, *Mansa Brecha*, *Qz-Ledges Este*, *Cerro Lito Norte*, *Cerro Verde* y *Qz-Ledges Oeste*. Todos estos poseen una media total superior a la media del proyecto (0,24 ppm). Sin embargo, al comparar la media de las anomalías presentes en cada sector con la media de la población anómala del proyecto, solo *Brecha Oeste*, *Mansa Brecha*, *Cerro Verde* y *Qz-Ledge Oeste* superan los 3,82 ppm. De todos los sectores, destaca por sobre los demás el blanco *Brecha Oeste*, con el 62,5% de las muestras anómalas y una media de 2,55 ppm, la que se eleva a 14,71 ppm al considerar solo las anomalías de plata. También cabe señalar que los valores anómalos en *Cerro Verde* están asociados a la brecha hidrotermal presente en la ladera oeste y noroeste.

2. As

Para el elemento arsénico se definieron tres poblaciones, de las cuales aquella de valores mayores corresponde a la población anómala, representando al 9,73% del total de muestras analizadas. El límite de exploración recomendado, equivalente al límite inferior de la población anómala, tiene un valor igual a 162 ppm. Este límite resultó ser mayor al umbral distrital definido para el proyecto La Falda (40,9 ppm) que corresponde a la media de Lagos (2010) en el proyecto Chimberos Este, pues el límite regional de proyecto solo alcanzó los 20,9 ppm. No obstante, no ocurre lo mismo al compararlo con los proyectos Pantanillo (Gamonal, 2007) y Purén Oeste (Álvarez, 2009), los cuales poseen medias para el elemento arsénico de 312,88 ppm y 760,3 ppm respectivamente.

En términos de la distribución espacial de los valores anómalos del muestreo de roca, se puede observar que las anomalías de arsénico se distribuyen preferentemente en blancos

Mapa de Ag en Roca

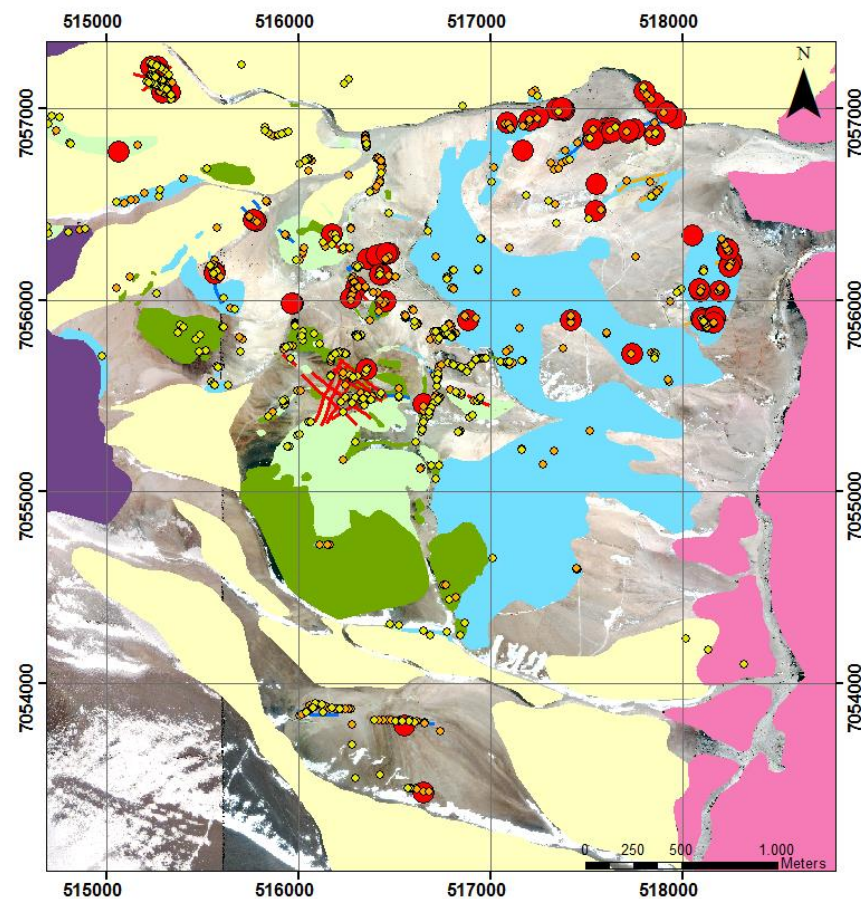


Leyenda



Figura 4.34 Mapa de contraste univariable de Ag en roca.

Mapa de As en Roca



Leyenda



Figura 4.35 Mapa de contraste univariable de As en roca.

periféricos y su densidad es cercana a cero en las zonas asociadas a intrusivos, siguiendo un patrón similar al de la plata (Fig. 4.35).

Tabla 4.21 Estadísticas de anomalías de arsénico clasificadas por sub-sectores definidos en el proyecto La Falda.

Sector	Sub-Sector	Núm. De Muestras Totales	Núm. De Muestras Anómalas	Porc. De Muestras Anómalas	Media Total (ppm)	Media Anomalías (ppm)
Intrusivos						
Centrales	Trend Alto	54	1	1,85%	6,89	763,00
	Trend Wendy	48	4	8,33%	48,07	308,69
	C° Verde	27	4	14,81%	33,04	222,29
Pomelo		107	4	3,74%	10,87	207,86
Qz-Ledges Norte	Mansa Brecha	47	20	42,55%	105,73	602,13
	C° Lito Norte	21	8	38,10%	104,45	552,96
Qz-Ledges Sur		56	2	3,57%	17,32	248,03
Qz-Ledges Este		95	31	32,63%	99,06	297,46
Qz-Ledges Oeste		28	13	46,43%	216,41	2203,19
Brecha Oeste		24	2	8,33%	27,90	197,27

En cuanto al porcentaje de valores anómalos, los sub-sectores con una proporción de anomalías mayor que la población anómala del proyecto son *Qz-Ledges Oeste*, *Mansa Brecha*, *Cerro Lito Norte* y *Qz-Ledges Este*. Todos estos poseen una media total superior a la media del proyecto (20,9 ppm). Sin embargo, al comparar la media de las anomalías presentes en cada sector con la media de la población anómala del proyecto, solo *Qz-Ledges Oeste*, *Mansa Brecha* y *Cerro Lito Norte* superan los 448,5 ppm. De todos los sectores, destaca por sobre los demás el blanco *Qz-Ledges Oeste*, con el 46,43% de las muestras anómalas y una media de 216,41 ppm, la que se eleva a 2203,2 ppm al considerar solo las anomalías de arsénico; es decir, casi cinco veces la media de la población anómala del proyecto y trece veces el límite de exploración recomendado. Estas se concentran en estructuras de vetillas y vetas de baritina-cuarzo-enargita presentes en la estructura *Mellizas Norte* y *Mellizas Sur* (Tabla 4.21).

3. Au

Para el elemento oro se definieron tres poblaciones, de las cuales aquella de mayores valores corresponde a la población anómala. Esta agrupa al 12,88% del total de muestras analizadas. El límite de exploración recomendado, equivalente al límite inferior de la población anómala, tiene un valor igual a 0,116 ppm. Este límite resultó ser menor al umbral distrital

definido para el proyecto La Falda (0,44 ppm), que es igual al límite regional del proyecto. No obstante, al compararlo con la media del muestreo de trincheras del proyecto Chimberos Este (Lagos, 2010), el límite de exploración recomendado resulta ser bastante mayor (0,013 ppm). Finalmente, el valor de 0,116 ppm genera un buen contraste de anomalía para poder definir sub-sectores importantes en el proyecto.

La distribución general del oro en La Falda se puede describir como concentrada en la zona central de la propiedad, abarcando tanto al sector de intrusivos centrales como a las estructuras de cuarzo y brechas hidrotermales aledañas, y un clúster anómalo en las trincheras de *Pomelo*, al noroeste de la zona central (Fig. 4.36).

Tabla 4.22 Estadísticas de anomalías de oro clasificadas por sub-sectores definidos en el proyecto La Falda.

Sector	Sub-Sector	Núm. De Muestras Totales	Núm. De Muestras Anómalas	Porc. De Muestras Anómalas	Media Total (ppm)	Media Anomalías (ppm)
Intrusivos Centrales	Trend Alto	54	13	24,07%	0,038	0,356
	Trend Wendy	48	7	14,58%	0,010	0,136
	C° Verde	27	6	22,22%	0,040	0,372
Pomelo		107	61	57,01%	0,175	0,688
Qz-Ledges Norte	Mansa Brecha	47	4	8,51%	0,009	0,203
	C° Lito Norte	21	1	4,76%	0,011	0,241
Qz-Ledges Sur		56	1	1,79%	0,005	0,827
Qz-Ledges Este		95	0	0,00%	0,004	0,000
Qz-Ledges Oeste		28	22	78,57%	0,458	0,933
Brecha Oeste		24	7	29,17%	0,026	0,435

Respecto al porcentaje de valores anómalos, los sub-sectores con una proporción de anomalías mayor que la población anómala del proyecto son *Qz-Ledges Oeste*, *Pomelo*, *Brecha Oeste*, *Trend Alto* y *Cerro Verde*. Todos estos poseen una media total superior a la media del proyecto (0,0093 ppm). Sin embargo, al comparar la media de las anomalías presentes en cada sector con la media de la población anómala del proyecto (0,6 ppm), solo *Qz-Ledges Oeste* y *Pomelo* superan este valor, haciéndolos los sub-sectores más promisorios del proyecto, principalmente las vetillas de cuarzo bandeado del blanco *Pomelo* (Tabla 4.22).

4. Bi

Para el elemento bismuto se definieron cuatro poblaciones, de las cuales, las dos de mayores valores corresponden a las poblaciones anómalas, representando en conjunto al 10,23% del total de muestras analizadas. El límite de exploración recomendado, equivalente al límite inferior de la población anómala menor, tiene un valor igual a 4 ppm. Este límite resultó ser mayor al umbral distrital definido para el proyecto La Falda (1,8 ppm) que corresponde al límite regional de proyecto. De los proyectos comparables, solo Gamonal (2007) tiene la información del valor medio para el bismuto en roca, equivalente a 3,8 ppm.

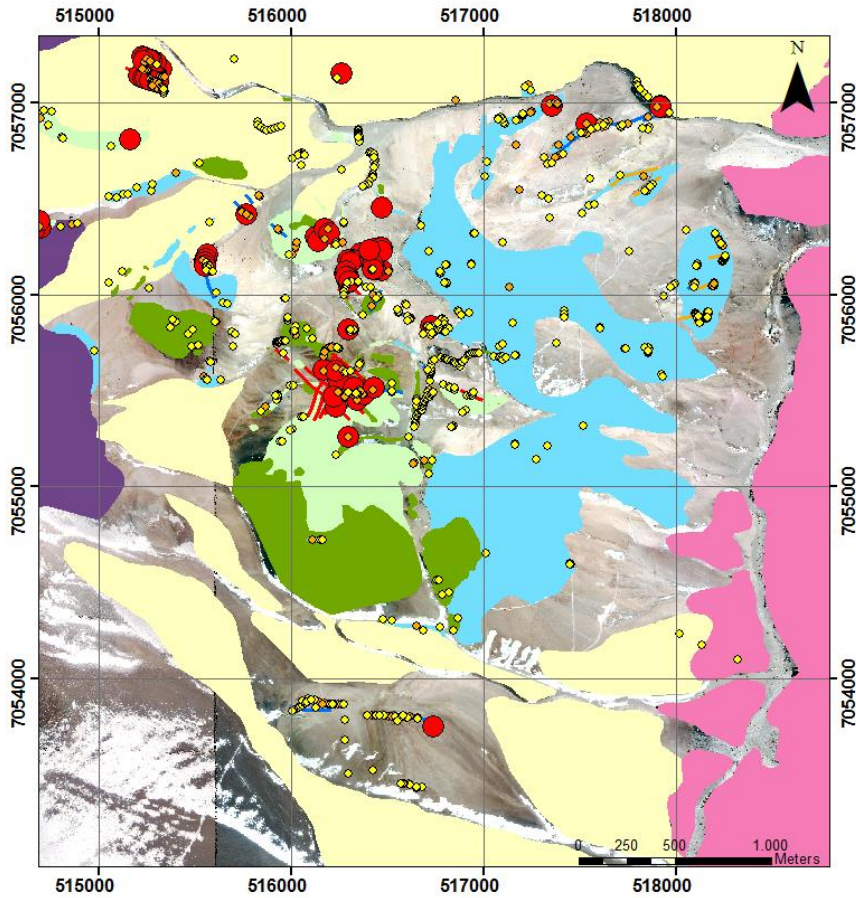
En términos de la distribución espacial de los valores anómalos del muestreo de roca, se puede observar que los valores anómalos de bismuto se distribuyen preferentemente en estructuras periféricas siguiendo un patrón similar al de la plata y arsénico (Fig. 4.37).

Tabla 4.23 Estadísticas de anomalías de bismuto clasificadas por sub-sectores definidos en el proyecto La Falda.

Sector	Sub-Sector	Núm. De Muestras Totales	Núm. De Muestras Anómalas	Porc. De Muestras Anómalas	Media Total (ppm)	Media Anomalías (ppm)
Intrusivos						
Centrales	Trend Alto	54	0	0,00%	1,12	0,00
	Trend Wendy	48	6	12,50%	1,50	9,99
	C° Verde	27	8	29,63%	2,65	18,93
Pomelo		107	3	2,80%	1,60	5,00
Qz-Ledges Norte	Mansa Brecha	47	9	19,15%	2,25	12,91
	C° Lito Norte	21	6	28,57%	2,76	27,65
Qz-Ledges Sur		56	10	17,86%	2,51	7,44
Qz-Ledges Este		95	18	18,95%	2,03	10,40
Qz-Ledges Oeste		28	4	14,29%	1,72	9,35
Brecha Oeste		24	12	50,00%	5,28	19,04

En cuanto al porcentaje de valores anómalos, los sub-sectores con proporción de anomalías mayor que la población anómala del proyecto son *Brecha Oeste*, *Cerro Verde*, *Cerro Lito Norte*, *Mansa Brecha*, *Qz-Ledges Este* y *Qz-Ledges Sur*. Estos poseen una media total superior a la media del proyecto (1,64 ppm). Al comparar la media de las anomalías de cada sector con la media común de ambas poblaciones anómalas del proyecto, solo los sub-sectores *Brecha Oeste*, *Cerro Verde*, *Cerro Lito Norte* y *Mansa Brecha* superan los 10,47 ppm. No obstante, ningún blanco resultó mayor a los 31,6 ppm de media de la población anómala superior.

Mapa de Au en Roca

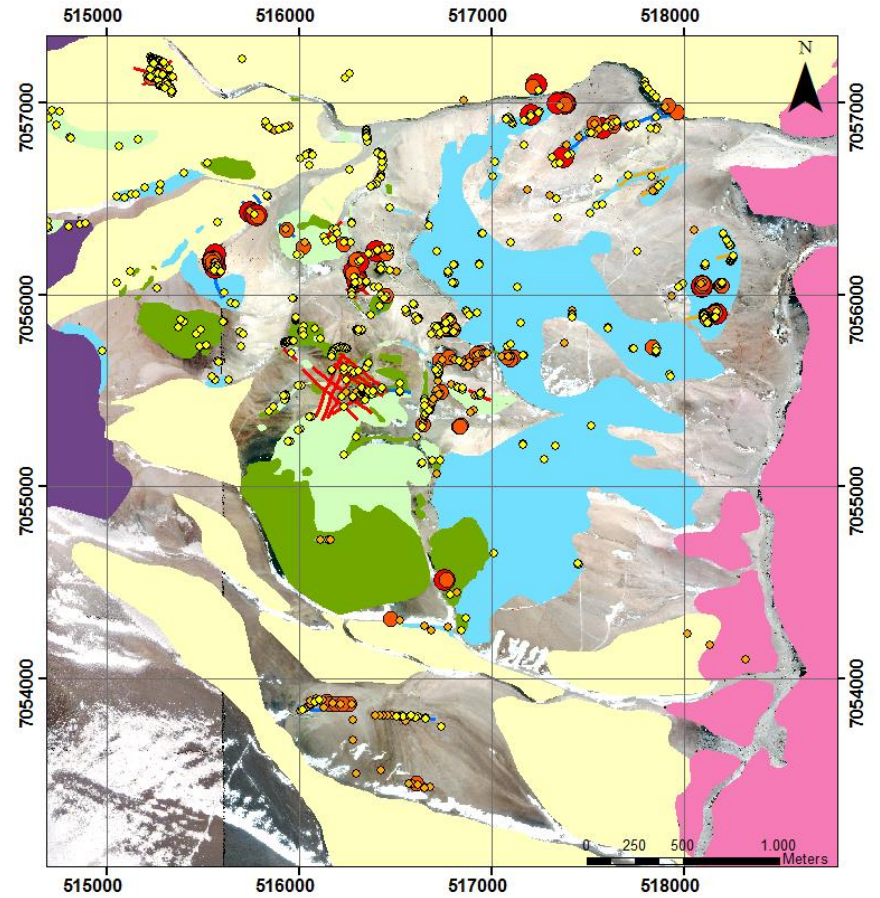


Leyenda



Figura 4.36 Mapa de contraste univariable de Au en roca.

Mapa de Bi en Roca



Leyenda



Figura 4.37 Mapa de contraste univariable de Bi en roca.

De todos los sectores, destaca el blanco *Brecha Oeste*, con la mitad de las muestras anómalas y una media total de 5,28 ppm que es mayor incluso al límite de exploración recomendado; y *Cerro Lito Norte*, con una media de población anómala de 27,65 ppm (Tabla 4.23).

5. Cu

Para el elemento cobre se definieron tres poblaciones, de las cuales solo la de mayores valores corresponde a la población anómala. Esta equivale al 9,83% del total de muestras analizadas. El límite de exploración recomendado, equivalente al límite inferior de la población anómala, tiene un valor igual a 87 ppm. Este límite resultó ser mayor al umbral distrital definido para el proyecto La Falda (55 ppm) y que el límite regional del proyecto, cuyo valor asciende a 13,4 ppm. Al ser comparado con la media de los proyectos Chimberos Este (Lagos, 2010), Purén Oeste (Álvarez, 2009) y Pantanillo (Gamonal, 2007), el límite de exploración recomendado resulta ser bastante mayor a los 54,2 ppm (en pórfido dacítico), 31,75 ppm y 23,12 ppm respectivamente, generando un buen contraste univariable en el mapa para definir patrones geoquímicos.

La distribución general del cobre en el proyecto se puede describir como concentrada en la zona central de la propiedad, abarcando tanto al sector de intrusivos centrales como a las estructuras de cuarzo y brechas hidrotermales aledañas en el sector de *Qz-Ledges Oeste*, con una concentración anómala destacada en las trincheras de *Pomelo*, al noroeste de la zona central, similar a lo ocurrido con el oro (Fig. 4.38).

Tabla 4.24 Estadísticas de anomalías de cobre clasificadas por sub-sectores definidos en el proyecto La Falda.

Sector	Sub-Sector	Núm. de Muestras Totales	Núm. de Muestras Anómalas	Porc. de Muestras Anómalas	Media Total (ppm)	Media Anomalías (ppm)
Intrusivos Centrales	Trend Alto	54	11	20,37%	42,22	126,97
	Trend Wendy	48	2	4,17%	18,82	157,04
	C° Verde	27	7	25,93%	29,76	135,84
Pomelo		107	68	63,55%	117,03	286,87
Qz-Ledges Norte	Mansa Brecha	47	3	6,38%	9,88	184,61
	C° Lito Norte	21	0	0,00%	13,32	0,00
Qz-Ledges Sur		56	0	0,00%	4,12	0,00
Qz-Ledges Este		95	0	0,00%	4,89	0,00
Qz-Ledges Oeste		28	4	14,29%	21,23	408,35
Brecha Oeste		24	0	0,00%	9,94	0,00

Respecto al porcentaje de valores anómalos, los sub-sectores con una proporción de anomalías mayor que la población anómala del proyecto son *Pomelo*, *Cerro Verde*, *Trend Alto* y *Qz-Ledges Oeste*. Todos estos poseen una media total superior a la media del proyecto (13,2 ppm). Sin embargo, al comparar la media de las anomalías presentes en cada sector con la media de la población anómala del proyecto (0,6 ppm), solo *Pomelo* y *Qz-Ledges Oeste* superan este valor. Cabe señalar que en el blanco *Qz-Ledge Oeste* se encuentra el valor máximo de cobre (2730 ppm) por lo cual las medias de este set de estructuras de vetillas de baritina-cuarzo-enargita son bastante altas debido a la baja cantidad de muestras presentes en este sector, y no resulta comparable a *Pomelo* en importancia respecto a los resultados del cobre en el proyecto, lo que se puede observar mejor en los *boxplots* del elemento por sector (Anexo D, Figs. 10 – 18).

6. Mo

Para el elemento molibdeno se definieron tres poblaciones, de las cuales aquella de mayores valores corresponde a la población anómala, representando al 6,69% del total de muestras analizadas. El límite de exploración recomendado, equivalente al límite inferior de la población anómala, tiene un valor igual a 3 ppm. Este límite duplicó al umbral distrital definido para el proyecto La Falda (1,5 ppm) que corresponde al máximo del rango de medias globales, pues el límite regional de proyecto alcanzó solo 1,4 ppm y en Chimberos Este 0,79 ppm. No obstante, no ocurre lo mismo al compararlo con los proyectos Pantanillo (Gamonal, 2007) y Purén Oeste (Álvarez, 2009), los cuales poseen medias para el molibdeno de 4,05 ppm y 3,32 ppm respectivamente.

La distribución espacial del molibdeno en la propiedad no posee un patrón claro y reconocible a simple vista, pues hay una atomización de los valores anómalos en sectores periféricos definidos y no definidos. Sin embargo, es claro el clúster presente en el sector de *Trend Wendy* y *Cerro Verde* (Fig. 4.39).

Tabla 4.25 Estadísticas de anomalías de molibdeno clasificadas por sub-sectores definidos en el proyecto La Falda.

Sector	Sub-Sector	Núm. De Muestras Totales	Núm. De Muestras Anómalas	Porc. De Muestras Anómalas	Media Total (ppm)	Media Anomalías (ppm)
Intrusivos Centrales	Trend Alto	54	3	5,56%	0,78	6,50
	Trend Wendy	48	14	29,17%	2,57	18,78
	C° Verde	27	3	11,11%	1,46	10,48

Tabla 4.25 (continuación) Estadísticas de anomalías de molibdeno clasificadas por sub-sectores definidos en el proyecto La Falda.

Sector	Sub-Sector	Núm. De Muestras Totales	Núm. De Muestras Anómalas	Porc. De Muestras Anómalas	Media Total (ppm)	Media Anomalías (ppm)
Pomelo		107	5	4,67%	1,26	5,65
Qz-Ledges Norte	Mansa Brecha	47	3	6,38%	0,86	10,94
	Cerro Lito Norte	21	1	4,76%	1,30	6,00
Qz-Ledges Sur		56	0	0,00%	1,18	0,00
Qz-Ledges Este		95	2	2,11%	0,87	6,71
Qz-Ledges Oeste		28	3	10,71%	1,43	7,83
Brecha Oeste		24	0	0,00%	0,75	0,00

En cuanto al porcentaje de valores anómalos, los sub-sectores con una proporción de anomalías mayor que la población anómala del proyecto son *Trend Wendy*, *Cerro Verde* y *Qz-Ledges Oeste*. Los tres sectores poseen una media total superior a la media del proyecto (1,26 ppm). Sin embargo, al comparar la media de las anomalías presentes en cada sector con la media de las poblaciones anómalas del proyecto, solo los sub-sectores *Trend Wendy* y *Cerro Verde* superan los 7,45 ppm.

Como se había mencionado, la distribución espacial del molibdeno en la propiedad no presenta un patrón claro e identificable fácilmente mediante inspección visual. Sin embargo hay ciertas características que si sobresalen. Una de ellas es la acumulación de la población con contraste de anomalía mayor en el blanco *Trend Wendy*, específicamente su sector NW, cercano al sector *Qz-Ledges Oeste* y asociado a vetillas de cuarzo bandeado, el cual también ha estado asociado a altas concentraciones de oro y relativamente altas concentraciones de plata y cobre. Destaca también la baja densidad de muestras anómalas en los blancos asociados a los sectores intrusivos de *Pomelo* y *Trend Alto*. En general, las anomalías se presentan en pequeños grupos puntuales situados en la periferia del área central de la propiedad, la mayoría no asociada a ningún sector en particular dentro del proyecto, lo cual se puede interpretar gruesamente como un halo proximal de anomalías de molibdeno alrededor del intrusivo central.

7. Pb

Para el elemento plomo se definieron cuatro poblaciones, de las cuales aquella de mayores valores corresponde a la población anómala. Esta equivale al 11,5% del total de

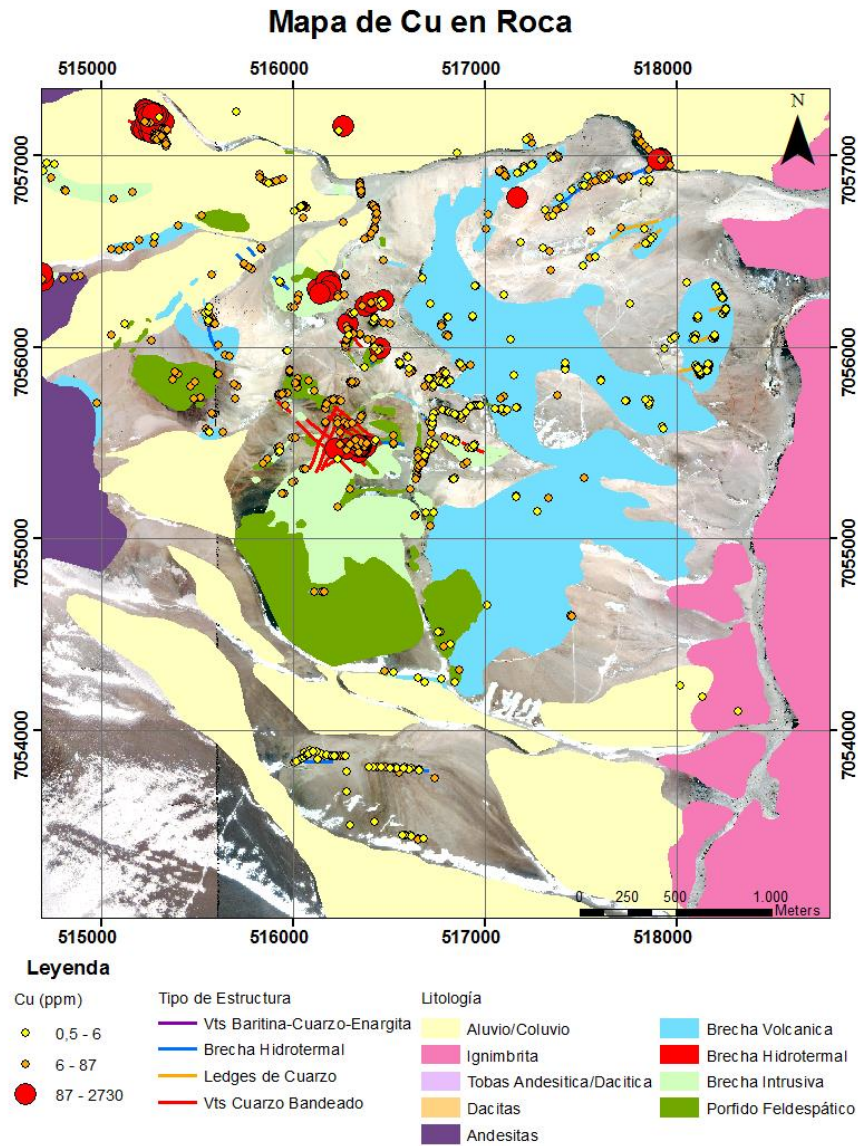


Figura 4.38 Mapa de contraste univariable de Cu en roca.

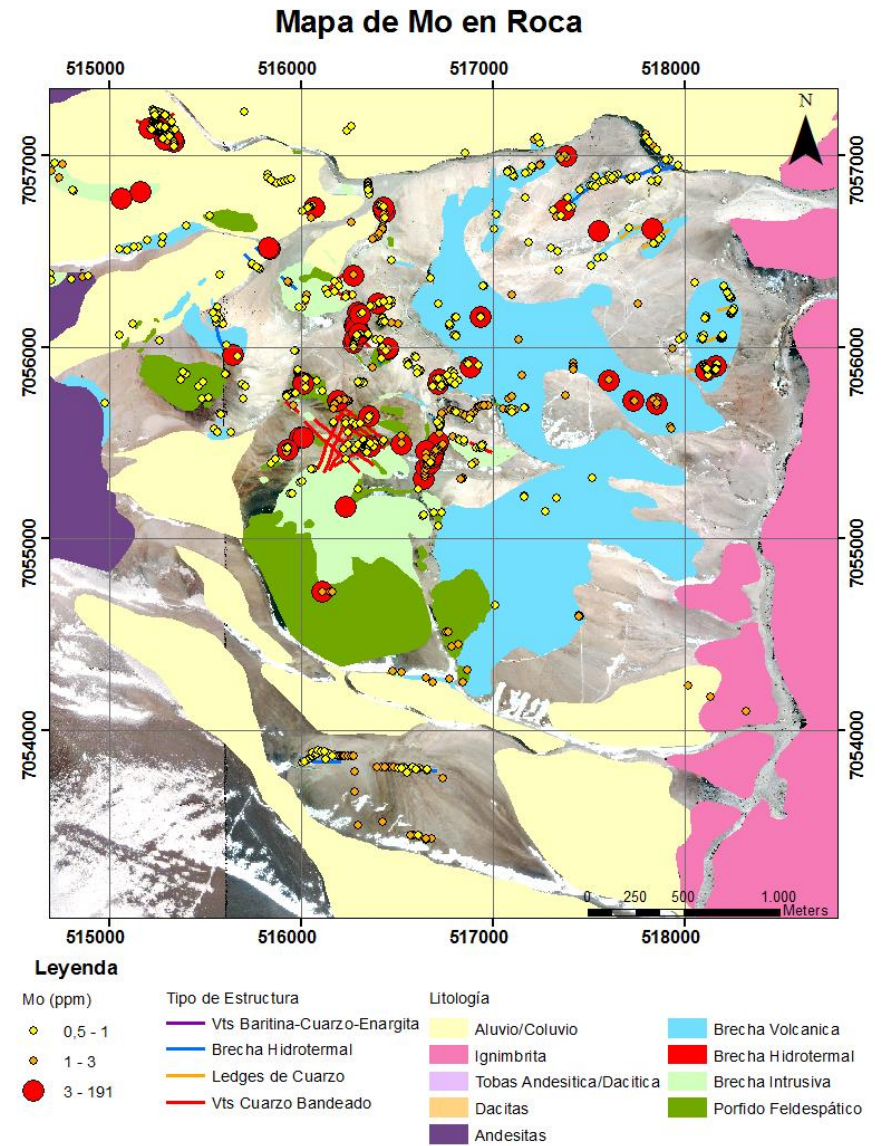


Figura 4.39 Mapa de contraste univariable de Mo en roca.

muestras analizadas. El límite de exploración recomendado, equivalente al límite inferior de la población anómala, tiene un valor igual a 55 ppm. Este límite resultó ser mayor al umbral distrital definido para el proyecto La Falda (20 ppm), que es igual al valor máximo del rango de medias globales, pues el límite regional del proyecto solo alcanzó los 8,6 ppm. No obstante, no ocurre lo mismo al compararlo con los proyectos Pantanillo (Gamonal, 2007) y Purén Oeste (Álvarez, 2009), los cuales poseen medias para el plomo de 60,37 ppm y 132,16 ppm respectivamente.

En términos de la distribución espacial de los valores anómalos del muestreo de roca, se puede observar que los valores anómalos de plomo se distribuyen preferentemente en estructuras periféricas siguiendo un patrón similar al de la plata y bismuto (Fig. 4.40).

Tabla 4.26 Estadísticas de anomalías de plomo clasificadas por sub-sectores definidos en el proyecto La Falda.

Sector	Sub-Sector	Núm. De Muestras Totales	Núm. De Muestras Anómalas	Porc. De Muestras Anómalas	Media Total (ppm)	Media Anomalías (ppm)
Centrales	Trend Alto	54	0	0,00%	8,11	0,00
	Trend Wendy	48	16	33,33%	35,45	41,06
	C° Verde	27	12	44,44%	48,38	188,99
Pomelo		107	7	6,54%	5,55	74,31
Qz-Ledges Norte	Mansa Brecha	47	10	21,28%	8,40	149,89
	C° Lito Norte	21	9	42,86%	37,54	143,96
Qz-Ledges Sur		56	4	7,14%	8,31	131,42
Qz-Ledges Este		95	25	26,32%	28,15	118,24
Qz-Ledges Oeste		28	2	7,14%	16,16	108,36
Brecha Oeste		24	17	70,83%	116,65	173,68

En cuanto al porcentaje de valores anómalos, los sub-sectores con una proporción de anomalías mayor que la población anómala del proyecto son *Brecha Oeste*, *Cerro Verde*, *Cerro Lito Norte*, *Trend Wendy*, *Qz-Ledges Este* y *Mansa Brecha*. Todos estos poseen una media total superior a la media del proyecto (8,32 ppm). Al comparar la media de las anomalías presentes en cada sector con la media de la población anómala del proyecto (143,07 ppm), solo el subsector de *Qz-Ledges Este* resulta inferior. De todos los sectores, destaca el blanco *Brecha Oeste* y *Cerro Verde (ledges)* por sus altos valores medios totales y anómalos en conjunto con la proporción de muestras anómalas que agrupan ambos sectores en el proyecto.

8. Sb

Para el elemento antimonio se definieron tres poblaciones, de las cuales aquella de mayores valores corresponde a la población anómala, representando al 8,65% del total de muestras analizadas. El límite de exploración recomendado, equivalente al límite inferior de la población anómala, tiene un valor igual a 6 ppm el cual triplica al umbral distrital definido para el proyecto La Falda (1,8 ppm) que corresponde al límite regional del proyecto. Respecto a los demás proyectos comparables de la zona, si bien el límite regional definido supera la media de Chimberos Este (Lagos, 2010), resulta bajo en comparación con Pantanillos (Gamonal, 2007) y Purén Oeste (Álvarez, 2009) que poseen medias de 15,88 ppm y 12,6 ppm respectivamente.

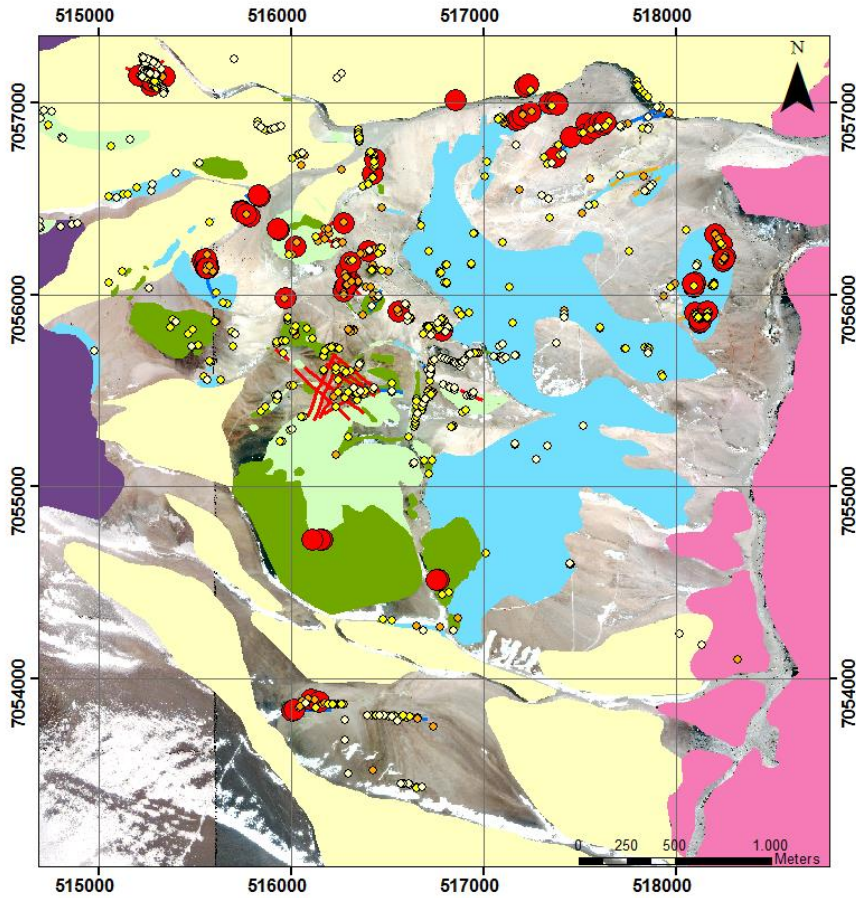
En términos de la distribución espacial de los valores anómalos del muestreo de roca, se puede observar que los valores anómalos de antimonio se distribuyen preferentemente en estructuras periféricas siguiendo un patrón similar al de la plata, arsénico, bismuto y plomo. También destaca la ausencia de valores anómalos en los sectores asociados a intrusivos (Fig. 4.41).

Tabla 4.27 Estadísticas de anomalías de antimonio clasificadas por sub-sectores definidos en el proyecto La Falda.

Sector	Sub-Sector	Núm. De Muestras Totales	Núm. De Muestras Anómalas	Porc. De Muestras Anómalas	Media Total (ppm)	Media Anomalías (ppm)
Intrusivos						
Centrales	Trend Alto	54	1	1,85%	1,11	34,00
	Trend Wendy	48	0	0,00%	1,19	0,00
	C° Verde	27	7	25,93%	2,40	11,83
Pomelo		107	0	0,00%	1,40	0,00
Qz-Ledges Norte	Mansa Brecha	47	15	31,91%	3,07	14,22
	C° Lito Norte	21	5	23,81%	2,14	10,41
Qz-Ledges Sur		56	9	16,07%	2,79	11,14
Qz-Ledges Este		95	25	26,32%	3,93	11,31
Qz-Ledges Oeste		28	8	28,57%	4,12	29,48
Brecha Oeste		24	12	50,00%	6,10	14,21

En cuanto al porcentaje de valores anómalos, los sub-sectores con una proporción de anomalías mayor que la población anómala del proyecto son *Brecha Oeste*, *Mansa Brecha*, *Qz-Ledges Oeste*, *Qz-Ledges Este*, *Cerro Verde* y *Cerro Lito Norte*. Todos estos poseen una media total superior a la media del proyecto (1,7 ppm). Sin embargo, al comparar la media de las

Mapa de Pb en Roca

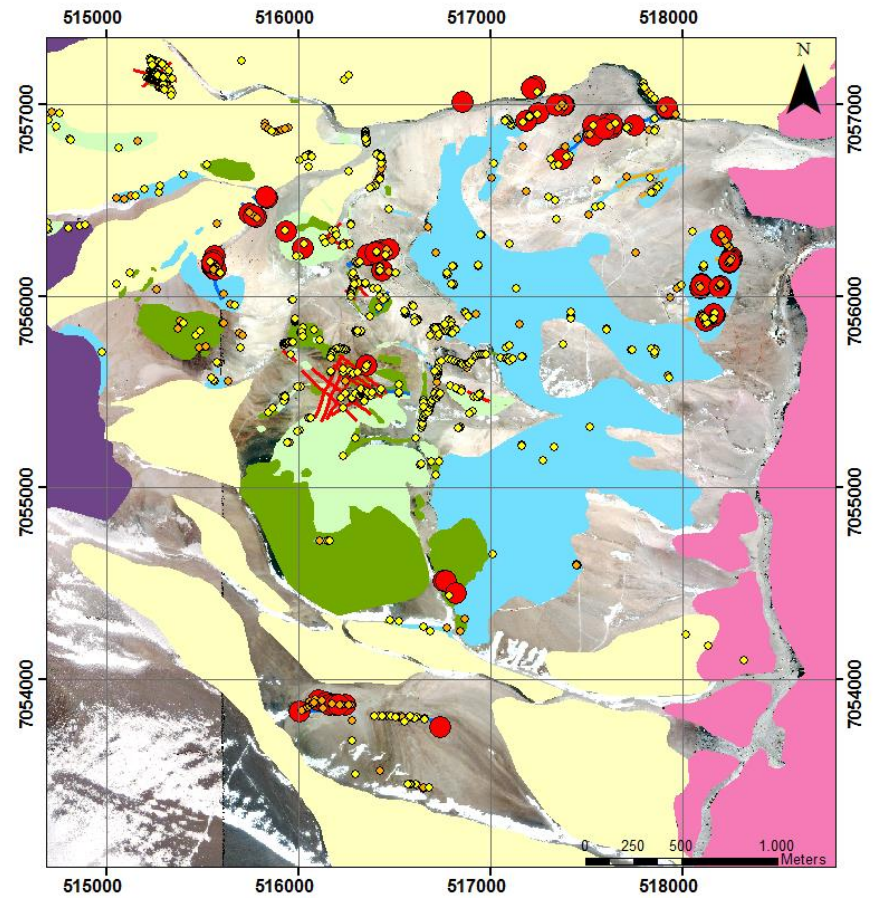


Legenda



Figura 4.40 Mapa de contraste univariable de Pb en roca.

Mapa de Sb en Roca



Legenda



Figura 4.41 Mapa de contraste univariable de Sb en roca.

anomalías presentes en cada sector con la media de la población anómala del proyecto, solo *Brecha Oeste*, *Qz-Ledges Oeste* y *Mansa Brecha* superan los 14,11 ppm. De todos los sectores, destaca por sobre los demás el blanco *Brecha Oeste*, con el 50% de las muestras anómalas y *Qz-Ledge Oeste*, con una media de anomalías igual a 29,48 ppm que es cinco veces superior al límite de exploración recomendado.

9. Zn

Para el elemento zinc se definieron cuatro poblaciones, de las cuales solo la de mayores valores corresponde a la población anómala. Esta equivale al 14,45% del total de muestras analizadas. El límite de exploración recomendado, equivalente al límite inferior de la población anómala, tiene un valor igual a 80 ppm. Este límite resultó ser menor al umbral distrital definido para el proyecto La Falda (128 ppm) equivalente a la media del proyecto Chimberos Este (Lagos, 2010). Al ser comparado con la media de los proyectos Pantanillo (Gamonal, 2007) y Purén Oeste (Álvarez, 2009), el límite de exploración recomendado resulta ser mayor a la media del primero (13,47 ppm) y menor a la media del segundo (487,96 ppm).

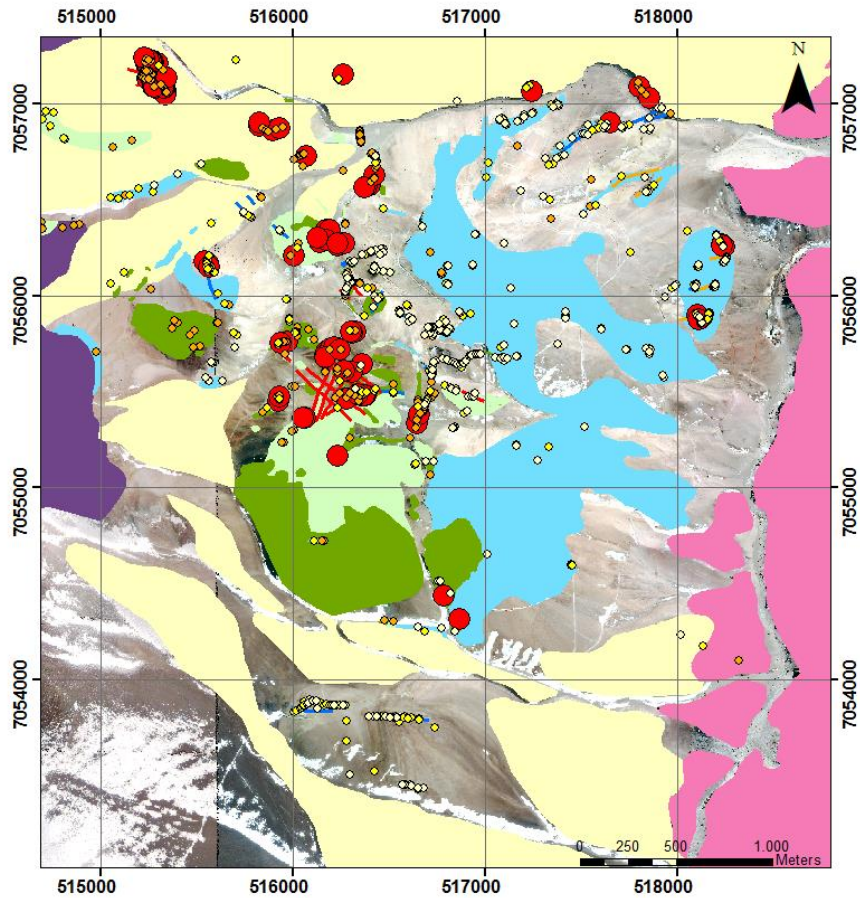
La distribución general del zinc en el proyecto se puede describir como concentrada en la zona central de la propiedad y en los sectores periféricos asociados a intrusivos, abarcando tanto al sector de rocas intrusivas centrales como al sector de *Pomelo*, al noroeste de la zona central. Los sectores periféricos muestran una baja densidad de valores anómalos (Fig. 4.42).

Tabla 4.28 Estadísticas de anomalías de zinc clasificadas por sub-sectores definidos en el proyecto La Falda.

Sector	Sub-Sector	Núm. De Muestras Totales	Núm. De Muestras Anómalas	Porc. De Muestras Anómalas	Media Total (ppm)	Media Anomalías (ppm)
Intrusivos						
Centrales	Trend Alto	54	14	25,93%	37,21	125,48
	Trend Wendy	48	0	0,00%	7,91	0,00
	C° Verde	27	11	40,74%	42,81	184,02
Pomelo		107	67	62,62%	88,20	113,93
Qz-Ledges Norte	Mansa Brecha	47	1	2,13%	3,50	463,00
	C° Lito Norte	21	0	0,00%	3,99	0,00
Qz-Ledges Sur		56	0	0,00%	3,38	0,00
Qz-Ledges Este		95	7	7,37%	6,71	170,71
Qz-Ledges Oeste		28	0	0,00%	2,19	0,00
Brecha Oeste		24	3	12,50%	20,16	128,36

Respecto al porcentaje de valores anómalos, los sub-sectores con una proporción de anomalías mayor que la población anómala del proyecto son *Pomelo*, *Cerro Verde* y *Trend Alto*. Todos estos poseen una media total superior a la media del proyecto (12,33 ppm). Sin embargo, al comparar la media de las anomalías presentes en cada sector con la media de la población anómala del proyecto (123,5 ppm), solo *Cerro Verde* y *Trend Alto* superan este valor. Destaca el blanco *Pomelo* debido a la densidad de valores anómalos de zinc que ostenta, aunque la media de estos no logra superar a la media de la población anómala del proyecto. También el blanco *Cerro Verde* alberga una gran proporción de anomalías, aunque lo que destaca más aun es la media de sus datos anómalos, con una media de 184,2 ppm que es mayor en más de dos veces al límite de exploración recomendado y está asociado al stock de vetillas de cuarzo bandeado en su ladera este.

Mapa de Zn en Roca



Leyenda

Zn (ppm)	Tipo de Estructura	Litología	
○ 1 - 3	— Vts Baritina-Cuarzo-Enargita	Aluvio/Coluvio	■ Brecha Volcanica
◇ 3 - 14	— Brecha Hidrotermal	■ Ignimbrita	■ Brecha Hidrotermal
◇ 14 - 80	— Ledges de Cuarzo	■ Tobas Andesitica/Dacitica	■ Brecha Intrusiva
● 80 - 758	— Vts Cuarzo Bandeado	■ Dacitas	■ Porfido Feldespático
		■ Andesitas	

Figura 4.42 Mapa de contraste univariable de Zn en roca.

Capítulo 5

Discusiones

5.1 Aspectos de la metodología

El procesamiento de las bases de datos de suelo y roca del proyecto La Falda se realizó siguiendo los lineamientos generales de la metodología estándar utilizada en exploración geoquímica. Este incluyó la aplicación del protocolo de Minera Hochschild en relación a la aplicación de controles, y la aplicación de metodologías sugeridas en la bibliografía, las cuales se llevaron a cabo con los recursos computacionales con los que se contaba al momento del procesamiento estadístico de la información.

Antes de iniciar el procesamiento de la información se llevó a cabo el protocolo de control de calidad de Minera Hochschild para las variables oro y plata. Los resultados obtenidos en los análisis de precisión y exactitud fueron insuficientes para garantizar la confiabilidad de los datos según los criterios establecidos por la empresa. En el caso de la exactitud, los resultados de los análisis ejecutados a las muestras estándares resultaron satisfactorios para el estándar bajo, pero no ocurrió lo mismo con el estándar medio, donde un 15,15% de los valores (5 datos) se ubicó fuera del rango establecido. Ahora bien, si se mira con detención la información, se puede observar que los datos utilizados por la empresa para los análisis de oro en suelo difieren en una cifra significativa al compararlos con los estándares insertados entre las muestras de roca. De esto se puede inferir que el procedimiento analítico tabulado para suelo y roca no fue el mismo, y dado que para el estándar bajo todas las muestras de suelo poseen el mismo valor (0,1 ppm), es muy probable que en la base de datos de controles de la empresa, los estándares insertados entre las muestras de suelo tengan los resultados obtenidos mediante el procedimiento ME-MS41 – cuyo límite de detección es igual a 0,2 ppm – y no mediante el procedimiento Au-AA24 preestablecido para los análisis de oro en el proyecto. Lo anteriormente señalado no garantiza que las cuatro muestras de suelo (de las cinco totales fuera de rango) que fueron analizadas con el procedimiento ME-MS41 se ubiquen en realidad dentro de los límites aceptables, pero existe la posibilidad de que así sea debido a la aproximación decimal que tiene este método, a diferencia del Au-AA24 que tiene cifras significativas hasta la centésima, al igual que las muestras estándares y su desviación estándar ($2,46 \pm 0,11$ ppm).

Respecto a la precisión, los resultados del control de calidad tampoco fueron satisfactorios para los análisis de duplicados finos en oro y plata, y de duplicados de terreno solo en plata. Ahora bien, se puede apreciar que hay una acumulación elevada de pares fuera de rango que se ubican en los valores cercanos al límite de detección del procedimiento utilizado según el elemento correspondiente. En este caso, la aproximación de los análisis resulta determinante, pues la diferencia entre valores aproximados inmediatamente contiguos en estos rangos de valores tan bajos implican inmediatamente diferencias mayores al 30% en el error relativo porcentual. Sin embargo, dada la elevada cantidad de pares con precisión deficiente en pares alejados del límite de detección, el problema se puede adjudicar al laboratorio, agudizado por las bajas concentraciones que muestran en general los metales preciosos. Independiente de esto, se sugiere evaluar realizar cambios en el protocolo de controles de la empresa o analizar la posibilidad de un segundo laboratorio.

Respecto a la metodología aplicada en el análisis univariable, se comenzó con la inspección unidimensional de las variables con el fin de determinar la distribución estadística de los datos geoquímicos. Esto es de suma importancia, pues en caso de que la información de los elementos presentes en la base de datos no siga una distribución normal, se debe buscar una transformación de tal manera de lograr la normalidad, dado que los análisis de correlación, análisis de factores, análisis discriminantes y múltiples *tests* estadísticos se basan en la presunción de una distribución normal de los datos ingresados. Ahrens (1953) propuso la distribución lognormal como propia de los datos geoquímicos, la cual aún hoy se mantiene como la transformación más utilizada en el procesamiento de la información geoquímica, y es la que se utilizó en el presente trabajo. Sin embargo, la información geoquímica rara vez muestra una distribución de este tipo (McGrath & Loveland, 1992). Primero, la información geoquímica posee una dependencia espacial, y en general los datos con esta dependencia no se distribuyen de manera normal. Más aún, este tipo de información se basa en medidas imprecisas y con variadas fuentes potenciales de error involucradas en el muestreo, preparación de las muestras y análisis. Los elementos traza están a menudo plagados de problemas de límite de detección; es decir, un número sustancial de muestras no están caracterizadas por valores realmente medidos. Adicionalmente, la precisión de las medidas cambia con la concentración de los elementos, siendo menor la precisión mientras menores sean los valores. Finalmente, la existencia de *muestras outliers* es muy característica en este tipo de datos, lo que genera distribuciones

fuertemente asimétricas y que incluso tienen su origen en una población diferente a la del resto de los datos (Reimann & Filzmoser, 1999).

La aplicación de la transformación logarítmica a la base de datos de La Falda logró mejorar los aspectos de asimetría en la distribución de todas las variables, en relación a la data sin transformar. Es más, se obtuvieron excelentes resultados en aquellas variables con asimetrías bajas, y dado que no se detectaron *muestras outliers* según la metodología de *boxplots* (Tukey, 1979) – aunque si se descubrieron datos *outliers* individuales en cada variable – se puede asegurar una distribución, a lo menos, muy cercana a la normal en la mayoría de las variables. Sin embargo, aquellas variables con una alta asimetría dada por una alta densidad de datos bajo el límite de detección, que además contienen una gran proporción de valores cercanos a este límite, por lo que poseen aproximaciones gruesas en sus resultados, no lograron una distribución semejante a la normal. No obstante, la transformación logarítmica aun así mejoró el ajuste normal en relación a los datos sin transformar; por lo cual, dentro de las posibilidades, la transformación lognormal fue la mejor opción. Ahora bien, se recomienda utilizar en los análisis univariados métodos no-paramétricos, los cuales no necesitan asumir propiedades de los datos previamente; y métodos robustos, que no se ven afectados por valores *outliers*, los cuales están incluidos en ciertos programas estadísticos para lograr un mejor ajuste normal (Reimann & Filzmoser, 1999).

En relación a la estadística multivariable, se ha demostrado en la práctica que el método de análisis de factores detecta de mejor manera los procesos comunes que determinan el comportamiento de las variables geoquímicas, versus otros métodos como el análisis de componentes principales (Reimann et al., 2002). En los análisis efectuados se siguió la metodología de preparación previa al análisis de factores según lo sugerido por Reimann et al. (2002), la cual consiste en la aproximación de los datos a una distribución normal univariable (realizada en el *Capítulo 4.4 Análisis univariable*), la estandarización de cada variable a media cero y desviación estándar igual a la unidad, la remoción de las muestras *outliers* en caso de no utilizar métodos robustos y la aplicación de una rotación ortogonal de los factores extraídos. Nuevamente, uno de los tópicos que aporta a la discusión de la validez del método escogido se centra en la normalidad de los datos, aunque esta vez se refiere a la normalidad multivariable. En el caso del análisis de factores, la distribución normal multivariable no es una condición estricta, pero al estar basado en la matriz de correlación, este método es afectado por la normalidad de las variables; y más aún, a la presencia de muestras *outliers multivariados* (Reimann et al., 2002).

Dado que la no-normalidad de los datos fue parcialmente corregida en el análisis univariable, el problema se centró en la identificación de las muestras *outliers multivariables* capaces de afectar a la matriz de correlación (Pison et al., 1999). En el *Capítulo 4.5 Análisis Multivariable* se computaron las distancias de Mahalanobis en la base de datos con el objetivo de identificar valores y muestras *outliers multivariables* y retirarlas de la base de datos previo a la extracción de factores. Se siguió la metodología básica de comparar variable por variable la distancia al núcleo de la nube de datos multivariable y finalmente extraer aquellas muestras con más de la mitad de los datos superiores al percentil 97,5%.

Respecto a la dimensionalidad del análisis de factores, uno de los primeros requerimientos para obtener resultados estables en el análisis es que haya un número suficiente de muestras para el número de variables relacionadas (Reimann et al., 2002). Se han sugerido múltiples reglas entre las que destaca $n > p^2 + 3p + 1$ (Le Maitre, 1982) (donde n es el número de muestras y p el número de variables). Esta regla la cumplen las muestras de roca, donde el número de muestras posterior a la remoción de *outliers multivariables* quedó en 958, y el número de variables introducidas es de 26, por lo cual la inecuación resulta ser $958 > 755$. Sin embargo, en el caso del suelo, la inecuación no se cumple ($434 > 2351$), por lo cual, en base a este criterio, los resultados del análisis de factores en roca resultan ser más robustos que los resultados en suelo.

Finalmente, en relación al análisis de poblaciones, la elección del valor límite (*threshold*) a partir del cual se considera una población como anómala fue derivada a la metodología de *natural breaks* del software *ArcGIS* con el fin de mantener la objetividad en la definición de este valor crítico. La metodología de los quiebres naturales (Lepeltier, 1969; Reimann et al., 2005) se mantuvo a lo largo de todos los análisis, conservándose el criterio de definir el límite como producto de un quiebre o inflexión en la gráfica de distribución acumulada, buscando el mejor ajuste al valor del umbral distrital definido con las estadísticas básicas de cada variable, los rangos globales de concentración de cada elemento en la corteza terrestre y los valores de otros proyectos presentes en la Franja de Maricunga. Cabe señalar que también se consideró el contraste univariable generado en los mapas de distribución univariable para decidir el valor del límite de exploración recomendado, aunque siempre manteniendo la elección de este límite como resultado de un quiebre en el gráfico de distribución acumulada, lo que da robustez a los resultados obtenidos y por ende aseguran una correcta interpretación espacial de los datos.

5.2 Discusiones de los resultados geoquímicos

A continuación se discuten los resultados geoquímicos obtenidos de la aplicación de los análisis estadísticos univariados, multivariados y de distribución espacial a los elementos definidos como trazadores de suelo y roca en el proyecto La Falda. Como resumen, cabe recordar que el muestreo de suelo se realizó en dos mallas concéntricas dispuestas en la zona central de la propiedad, abarcando al sector de intrusivos centrales y rocas volcánicas contiguas, así como también los depósitos aluviales provenientes desde los sectores altos de la Cordillera Claudio Gay por el oeste, y en menor medida, las ignimbritas del sector del Río Juncalito, en el este de la propiedad. Respecto al muestreo de roca, este se enfocó en el centro alterado de la propiedad, aunque también fueron abarcadas zonas periféricas no alteradas ubicadas al norte y sur de la propiedad.

5.2.1 Análisis univariable

Los resultados del muestreo de la malla de sedimentos finos de talud y el muestreo de roca superficial generaron valores bajos en general para los elementos de interés. En el caso de la malla de suelo, los elementos cuyas medias de muestreo total no sobrepasaron el rango de medias globales para la corteza superior fueron Ag, Au, Cu, Mo, Pb, Zn. Solo los elementos As y Sb registraron una media mayor al rango de medias globales establecido (Tabla 4.14). Esto podría deberse a que los rangos de medias globales definidos en el presente trabajo fueron construidos utilizando información de medias globales de roca y suelo, y no solo suelo, y por lo general se ha dado en el muestreo del proyecto que los resultados de suelo son menores que los resultados de roca, por lo cual el rango de medias globales establecido podría haber resultado demasiado alto como para compararse con muestras de suelo. Sin embargo, al tomar las medias de los prospectos de la Franja de Maricunga: Chimberos Este (Lagos, 2010), Dorado Oeste (Álvarez, 2009) y Pantanillo (Gamonal, 2007), se puede concluir que las medias de los elementos trazadores en el muestreo de suelo son bajas en el contexto geológico local. Respecto al muestreo de roca, los elementos Ag, As, Au, Bi y Sb se encuentran por sobre el rango de medias globales para la corteza superior; mientras que los elementos Cu, Mo, Pb y Zn registran medias que se ubican bajo este rango. Esto ya evidencia el bajo contenido de Cu y Mo de la zona de estudio, lo cual es una característica común de los depósitos tipo pórfido de oro (Sillitoe, 2000).

Respecto a la media de las poblaciones anómalas definidas para cada variable, en el caso del suelo, el Cu aún se mantiene bajo el rango de medias globales. Los demás elementos sobrepasan el límite superior del rango, aunque en general con aumentos discretos. No obstante, cuando se consideran las muestras de roca, se observan aumentos de mayor magnitud.

En el caso del Au en roca, la población anómala definida según el límite de exploración recomendado de 0,116 ppm, posee una media de 0,6 ppm; y el Cu, con un límite relativamente bajo de 87 ppm, posee una media de 242,77 ppm en la población anómala. El Mo obtuvo un límite de anomalía de 3 ppm y una media de población anómala de 7,45 ppm. Al comparar estos resultados con la litogeoquímica de los prospectos porfídicos de Marte y Lobo, que han sido definidos como pórfidos ricos en oro, se tiene lo siguiente: el Cu en los pórfidos Marte y Lobo registra valores promedio de 500 y 1.200 ppm respectivamente; mientras que para Mo, los valores son 46 y 7-10 ppm respectivamente, los cuales han sido considerados como valores bajos, y por tanto, se concluye el carácter de pórfido aurífero de ambos depósitos (Vila & Sillitoe, 1991). Luego, al comparar las proporciones de los elementos Au – Cu – Mo presentes en las muestras anómalas de La Falda, las cuales se encuentran asociadas principalmente a la litología intrusiva, se puede extrapolar que el proyecto posee características geoquímicas de pórfido rico en oro de la Franja de Maricunga (Fig. 5.1).

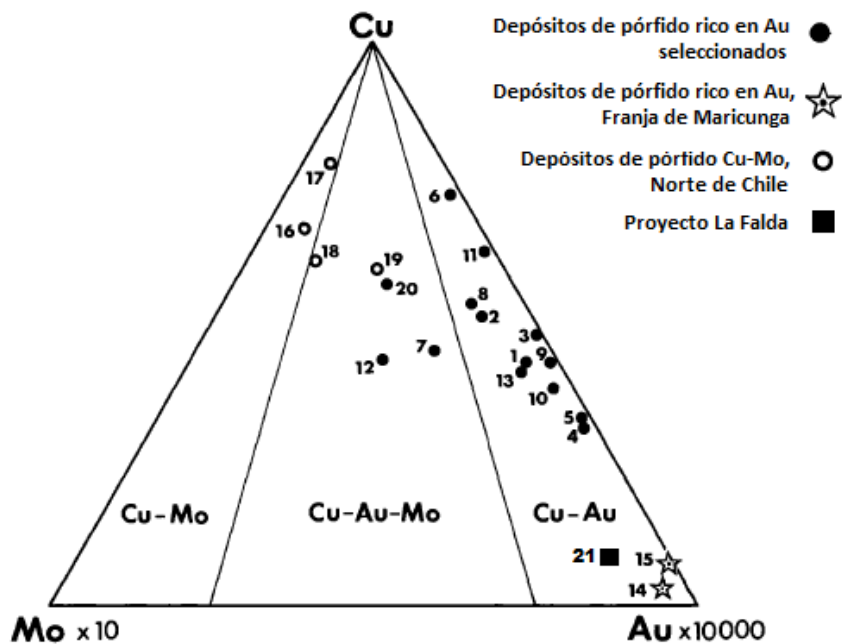


Figura 5.1 (Modificado de Vila & Sillitoe (1991)) Diagrama ternario Cu-Au-Mo para pórfidos ricos en oro de la Franja de Maricunga, otros depósitos asociados y depósitos tipo pórfido Cu-Mo del norte de Chile. Multiplicación de

factores utilizada por Kesler (1973) y subsecuentes investigadores. Los campos ocupados por pórfidos Cu-Mo, Cu-Au-Mo y Cu-Au definidos por Cox & Singer (1988). Depósitos: 1=Panguna, Papua Nueva Guinea, 2=Ok Tedi, Papúa Nueva Guinea, 3=Mamut, Malasia, 4=Dizon, Filipinas, 5=Santo Tomás II, Filipinas, 6=Galore creek, Columbia Británica, 7=Morrison, Columbia Británica, 8=Bell Copper, Columbia Británica, 9=Mount Polley, Columbia Británica, 10=Fish Lake, Columbia Británica, 11=Afton, Columbia Británica, 12=Bingham, Utah, 13=Bajo de la Alumbra, Argentina, 14=Marte, 15=Lobo, 16=Quebrada Blanca, 17=Chuquicamata, 18=El Salvador, 19=Potrerillos, 21=La Falda.

5.2.2 Análisis multivariable

En relación al análisis multivariable, los resultados obtenidos en muestras de suelo no arrojaron ningún factor en el cual la carga factorial del Au fuese significativa. El elemento Cu tampoco obtuvo una carga factorial significativa en ningún factor extraído en estos análisis. El factor asociado a mineralización de metales en suelo correspondió al cuarto factor, en el cual los elementos Ag – As – Bi – Pb – Sb lograron altas cargas factoriales, lo que implica una correlación en cuanto a su comportamiento estadístico. Los prospectos de la Franja de Maricunga, en relación a la geoquímica de suelo, poseen asociaciones de elementos similares a la obtenida en La Falda en los sectores relacionados a las estructuras epitermales de los *lithocaps* con alteración argílica avanzada (Vila & Sillitoe, 1991).

El análisis multivariable en roca permitió la extracción de dos factores asociados a mineralización de metales. El primero corresponde al segundo factor, el cual agrupó a los elementos Ag – Bi – Pb – Sb. El segundo corresponde al sexto factor, el cual registra la asociación Au – Cu. La asociación Ag – Bi – Pb – Sb es, a falta del As, la misma que fue extraída en el análisis de factores aplicado a la malla de suelo, lo que indica una buena correspondencia estadística entre muestras de suelo y *chips* de roca. Como ya se explicó anteriormente, esta asociación metálica estaría asociada a las estructuras de *ledges* de cuarzo y brechas hidrotermales asociadas al *lithocap* de alteración argílica avanzada que se da en gran parte de los prospectos de la Franja de Maricunga, aunque en general la mineralización no es lo suficientemente alta como para considerarse económica (Muntean & Einaudi, 2001).

Comparativamente, en el prospecto Aldebarán, los sectores de *Vein Zone* y *Catedral Peak* están afectados por la alteración hidrotermal de tipo argílica avanzada (Vila & Sillitoe, 1991). La primera, corresponde a una zona que gradúa en altura hacia una zona de vetillas de cuarzo calcedónico acompañadas de baritina y – en algunos casos – azufre. Adicionalmente, en este sector se cuenta con la presencia de vetillas subordinadas y finas de piritita-calcopiritita, galena y

esfalerita. En *Catedral Peak* la alteración argílica avanzada es aún más fuerte, donde las vetas de baritina-cuarzo residual contienen altos valores de Ag y As, lo que sumado a la presencia de escorodita, presume la ocurrencia de enargita. Las asociaciones de elementos en estos sectores incluyen, desde el sector más bajo de *Vein Zone* hasta el sector más elevado de *Catedral Peak* la siguiente zonación geoquímica (Vila & Sillitoe, 1991):

- Ag – Pb – Zn – Cu – Sb – Au – Hg – As
- As – Ag
- Hg – Au – Sb – Zn – Ag

En el prospecto Marte, el *lithocap* con alteración argílica avanzada tiene una signatura geoquímica que incluye los elementos As – Pb – Mo – Hg – Bi, donde los cuatro primeros reflejan las pequeñas cantidades de enargita, galena, molibdenita y cinabrio que han sido registradas en el *lithocap*, mientras que el Bi estaría asociado a bismutinina y otros minerales relacionados, que son frecuentes en sectores con alteración argílica avanzada asociados a Au (Vila et al., 1991; Ransome, 1909). Los ejemplos de estructuras de *vuggy-silica* remanentes de la alteración argílica avanzada se amplían a La Pepa, donde estas estructuras incluyen apariciones locales de enargita y altos valores de Au (Vila & Sillitoe, 1991; Muntean & Einaudi, 2001); y también hay registro de este tipo de alteración y mineralización en Lobo, Valy y Refugio (Vila & Sillitoe, 1991).

Ahora, la asociación Au – Cu en La Falda se da en los sectores de vetillas de cuarzo bandeado ya definidos, y también en el sector de *Qz-Ledge Oeste*. Esto demuestra la correlación de elevadas concentraciones de Au y Cu asociadas a este tipo de vetillas que también se da en los prospectos de la Franja de Maricunga definidos como depósitos de tipo pórfido de oro, como son Refugio, Marte, Lobo y Valy (Vila & Sillitoe, 1991).

En definitiva, el análisis de factores en muestras de suelo y roca entrega un factor asociado a mineralización en estructuras de tipo *ledges* de cuarzo en la zona del *lithocap*, el cual se ubica en los sectores más periféricos del área muestreada, vale decir, el sector oriental de los intrusivos centrales, donde las unidades de brecha volcánica con alteración argílica avanzada se encuentran ampliamente distribuidas. Mientras tanto, solo en roca, se obtiene como resultado un factor relacionado a la mineralización de tipo porfídico en rocas intrusivas, asociado al *stockwork*

de vetillas de cuarzo bandeado en una correlación elemento químico versus estructura que es común en los depósitos de tipo pórfido aurífero de la Franja de Maricunga.

Respecto a los factores no asociados a mineralización, los resultados obtenidos en suelo para los dos factores que representan la mayor varianza, permiten interpretar relaciones litológicas y de alteración hidrotermal con el mapa geológico del proyecto La Falda. El factor 1 asociado a suelo (30% de la varianza) representa la asociación Al-Be-Cd-Ce-Co-Cr-Cs-Ga-Ge-In-Li-Mg-Mn-Ni-P-Sc-Th-U-V-Y-Zn. Cuando se plotean los valores de este factor en el mapa de la malla de suelo, es posible interpretar una zonación de valores altos y bajos que se corresponde muy bien con el mapa geológico del proyecto (Fig. 5.2). En este, es posible observar que los mayores valores se asocian al sector central y oeste del mapa, abarcando la zona de rocas intrusivas y rocas volcánicas frescas de la Cordillera Claudio Gay, mientras que los valores menores se asocian al sector de brechas volcánicas (*lithocap*). Esto resulta evidente por cuanto incluso en el sector oeste hay un clúster de valores bajos asociados al sector de *lithocap* oeste. El factor 1 de roca posee una asociación de elementos equivalente a la de suelo, y al plotear las cargas factoriales, se reafirma lo mencionado anteriormente, por lo que es posible decir que el factor 1 del análisis factorial se interpreta como un factor litológico asociado a rocas compuestas por minerales máficos (Fig. 5.3).

En relación al factor 2 de suelo (11,85% de la varianza), este representa la asociación B-Ca-K-Na-S-Se-Sr. En el mapa, los valores mayores de este factor se ubican en el sector oriente del proyecto, específicamente la zona de *lithocap*, y también hay fuerte presencia en el sector cercano a *Qz-Ledges Oeste* y *Trend Wendy*, así como también en el sector de *lithocap* oeste (Fig. 5.4). Estos sectores presentan alteración argílica y el análisis espectral de varias muestras asociadas al *lithocap* arrojó presencia de alunita (sódica, cálcica y potásica), dickita, caolinita y jarosita. Estos minerales de alteración presentan en su composición los elementos que conforman al factor 2 de suelo, lo que implicaría que este correspondería a un factor asociado a alteración argílica, lo que también explicaría la ausencia de valores altos en las rocas frescas de la Cordillera Claudio Gay y los intrusivos de tipo pórfidos. No hay un factor equivalente en los análisis de roca.

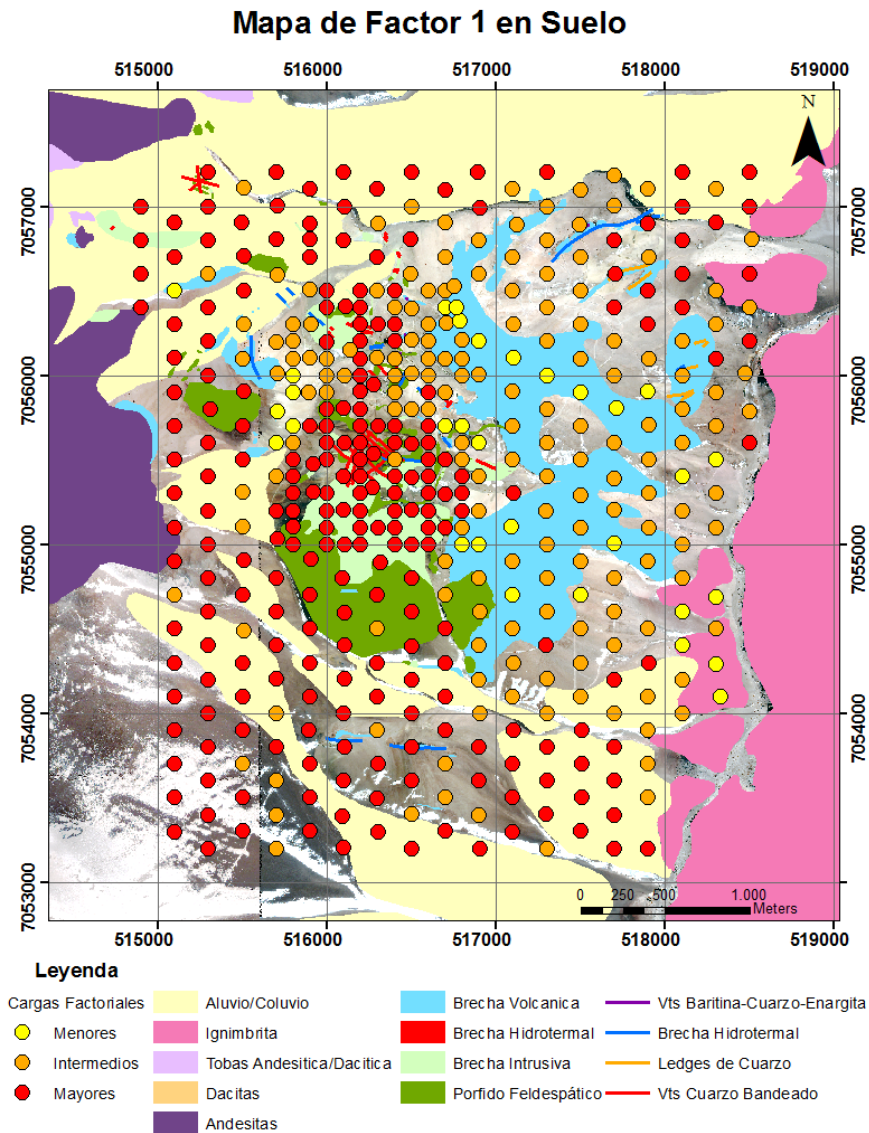


Figura 5.2 Mapa del factor 1 en suelo

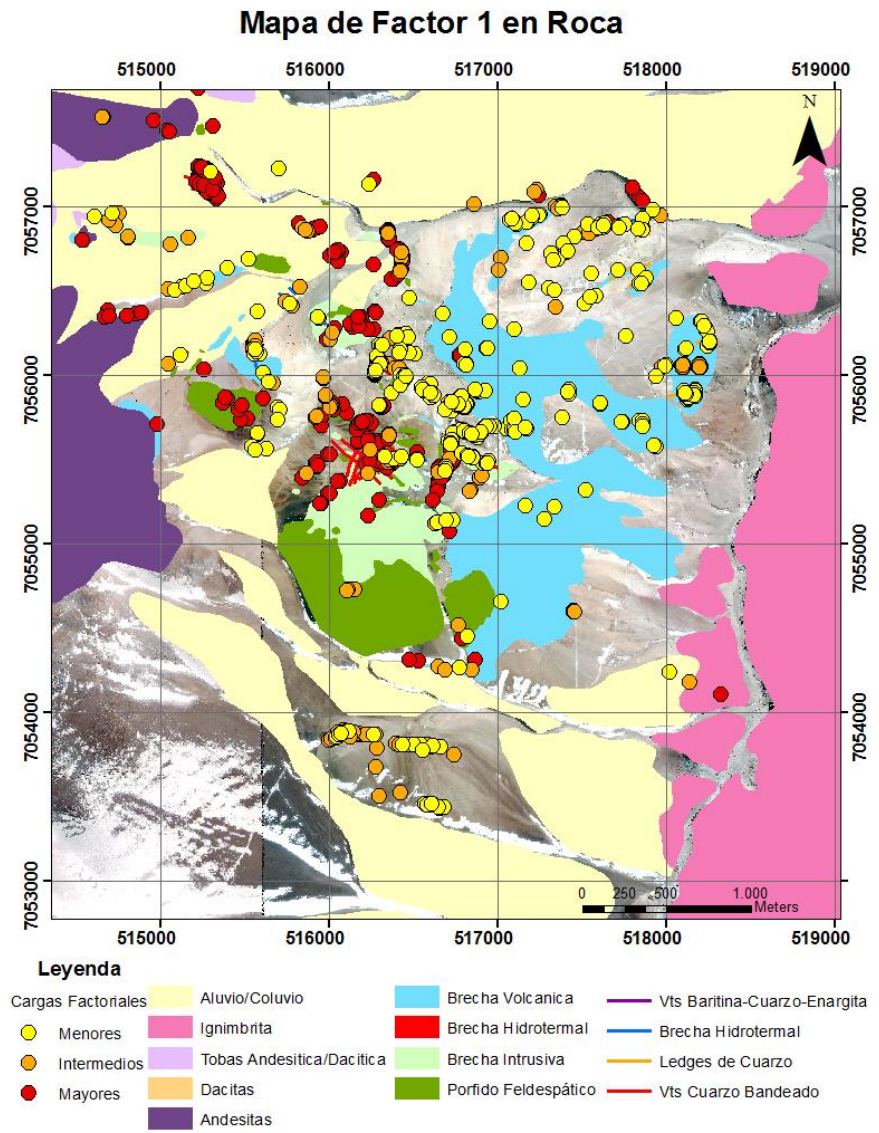


Figura 5.3 Mapa del factor 1 en roca

Mapa de Factor 2 en Suelo

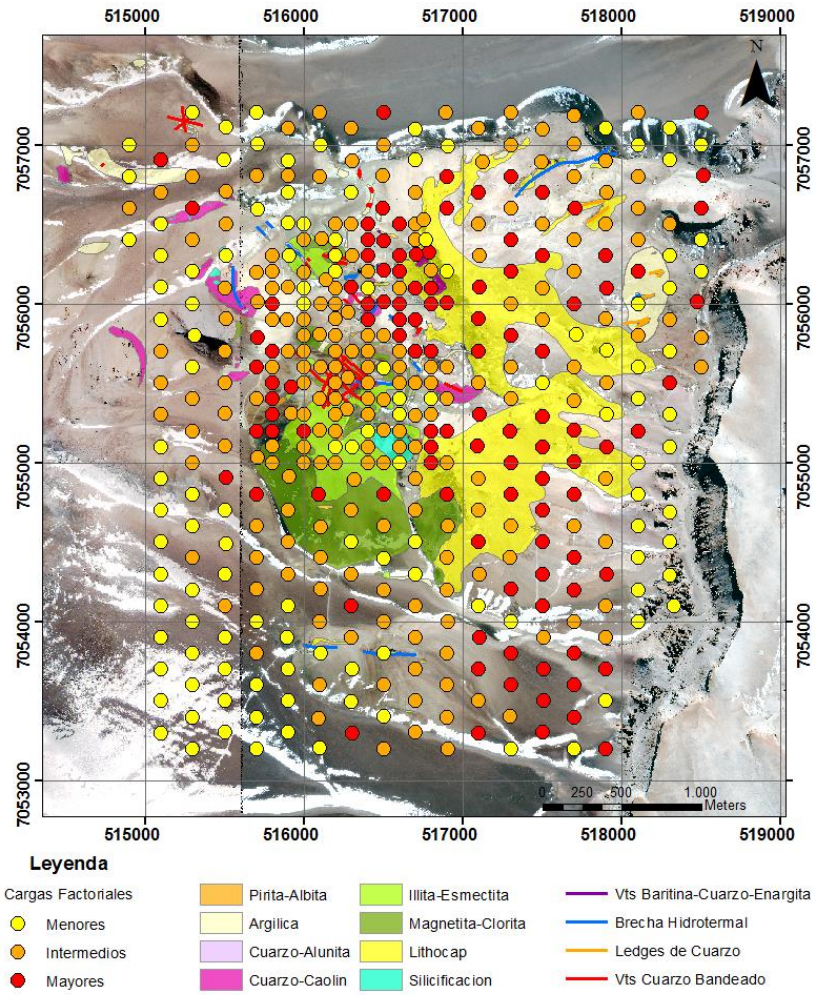


Figura 5.4 Mapa del factor 2 en suelo

5.2.3 Análisis de poblaciones y distribución espacial

El análisis de poblaciones y la distribución espacial de las poblaciones anómalas definidas permitieron generar una zonación geoquímica en el proyecto La Falda, agrupando a los elementos en tres zonas caracterizadas por asociaciones elementales que de acuerdo a su distribución en el proyecto, se interpretan en función de la geología, alteración y mineralización del área de estudio. Estas zonas son:

1. *Zona de Intrusivos*: Au – Cu – Mo – (Zn)
2. *Zona de Transición*: Bi – Mo – Pb – Zn – (Ag) – (Au) – (Cu)
3. *Zona de Lithocap*: Ag – As – Sb – (Bi) – (Pb)

La *zona de intrusivos* engloba a los sectores definidos como *Trend Alto*, *Trend Wendy* y *Pomelo*, los cuales corresponden a rocas porfídicas y brechas intrusivas que poseen alteración magnetita-clorita y sobreimposiciones de alteración argílica. Albergan mineralización principalmente en vetillas de cuarzo bandeado. Correspondería al sector de depósito tipo pórfido aurífero.

La *zona de transición* comprende los sectores de *Cerro Verde* y *Qz-Ledge Oeste*, los cuales se encuentran en el límite entre las litologías intrusivas y las brechas volcánicas. En esta zona, la sobreimposición de alteraciones es evidente, y la mineralización se da tanto en vetillas de cuarzo bandeado como en estructuras de *ledges* de cuarzo y brechas hidrotermales con vetas de baritina que cortan a los *ledges*.

La *zona de lithocap* abarca los sectores de alteración argílica avanzada que se ubican en las brechas volcánicas de los sectores periféricos de la malla de suelo. Por el este comprende los sectores de *Mansa Brecha*, *Cerro Lito Norte*, *Qz-Ledge Este*, *Qz-Ledge Sur*; y por el oeste, el sector de *Brecha Oeste*. En esta zona, la mineralización de metales se ubica principalmente en las estructuras de *ledges* de cuarzo y brechas hidrotermales sobreimpuestas.

Las zonaciones definidas son comparables con la distribución espacial de los elementos en el prospecto Aldebarán, donde a las ya mencionadas *Vein Zone* y *Catedral Peak*, se agrega la zonación de Cu – Au – Mo de Cerro Casale. Esta asociación también delimita los *stockworks* en Refugio, Marte, Lobo y Valy; aunque la anomalía de Mo en los tres últimos es más extensa que la de Au y Cu (Vila & Sillitoe, 1991).

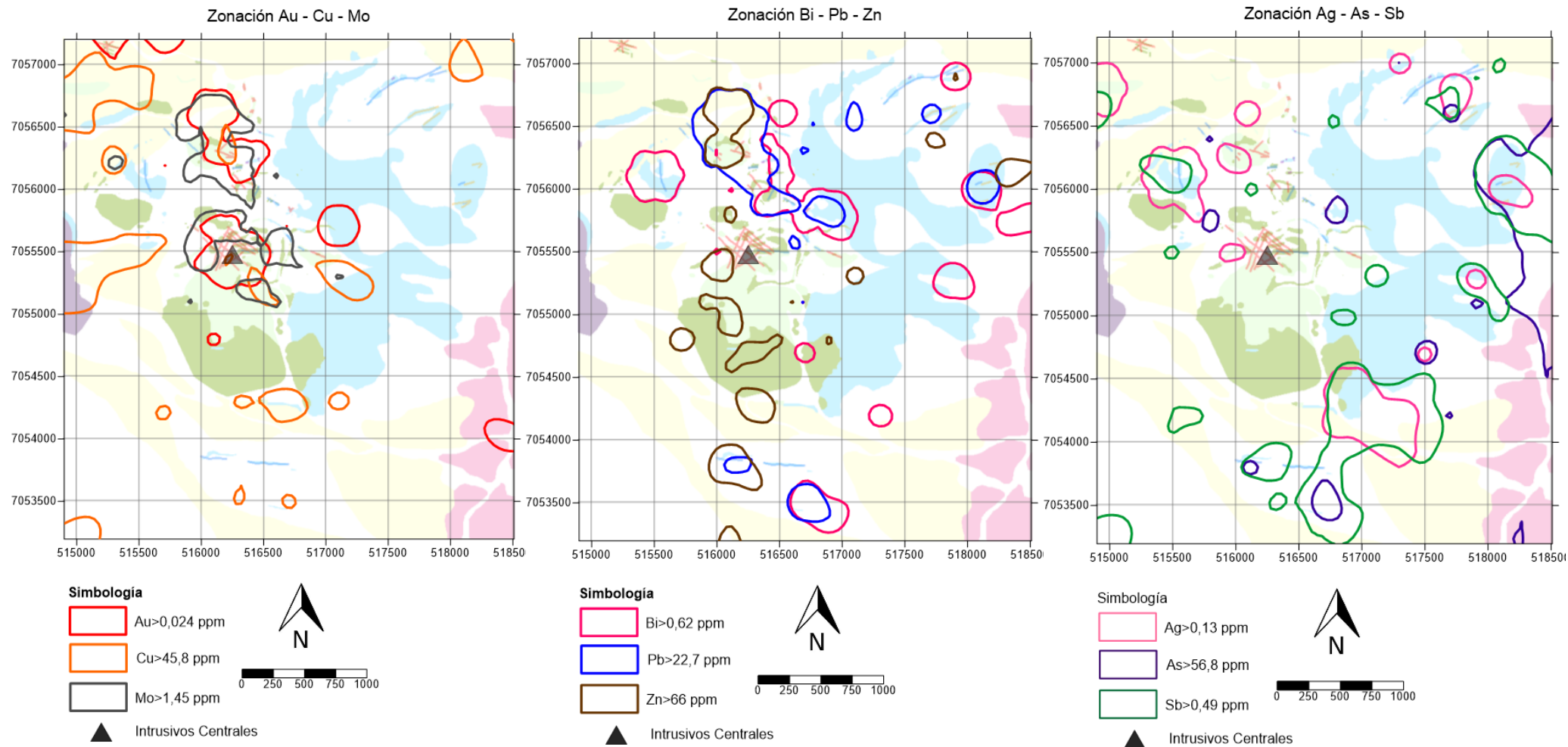


Figura 5.5 Mapas de asociaciones principales definidas por el procesamiento geoquímico de la información

5.3 Aspectos de la Geología Local

A continuación se discuten las características geológicas del proyecto La Falda, lo cual incluye las litologías mapeadas, tipos de alteración definidos y estilos de mineralización asociados, para comparar estos atributos con aquellos definidos en la bibliografía como propios de los sistemas de tipo pórfido rico en oro en general, y aquellos pertenecientes a la Franja de Maricunga en particular, con el fin de establecer – a partir de la geología, alteración y mineralización – una correlación con los modelos planteados para este tipo de depósitos que permitan explicar las observaciones geológicas registradas en el proyecto.

La fuente de información de este sub-capítulo son los informes mensuales del proyecto La Falda, de los cuales se tiene registro desde enero del 2012 hasta abril del 2013.

5.3.1 Geología

Según la bibliografía, los depósitos tipo pórfido ricos en oro poseen un rango de composiciones que va desde diorita calcoalcalina, cuarzo-diorita y tonalita, hasta cuarzo monzonita calcoalcalina, monzonita alcalina y sienita. Contienen feldespato y minerales máficos (hornblenda y biotita) \pm fenocristales de cuarzo en una masa fundamental aplítica a afanítica (Sillitoe, 2000). En la Franja de Maricunga, aparecen generalmente en el núcleo de volcanes erosionados, en asociación con áreas de alteración hidrotermal.

En el proyecto La Falda fueron definidas tres unidades asociadas a pórfidos. Todas se ubican en el sector central de la propiedad y fueron clasificadas como:

- Pórfido feldespático (PF)
- Pórfido feldespático *crowded* (PFg)
- Pórfido cuarzo-feldespático (PFq)

La composición general de las unidades porfídicas definidas en la zona de estudio es diorítica. Estos cuerpos están conformados principalmente por cristales de plagioclasa y minerales máficos, donde predominan las anfíbolas por sobre biotita. En el caso del PFq se tiene presencia de fenocristales de cuarzo (<5%). Luego, las unidades porfídicas descritas en el proyecto se encuentran en el rango de litologías asociadas a depósitos de tipo pórfido de oro de la Franja de Maricunga.

En el proyecto La Falda, rodeando a la zona central intrusiva se dispone una secuencia de rocas volcánicas que incluyen brechas volcánicas, lavas y tobas de composición andesítica. Esta secuencia se asocia a los restos de una morfología volcánica parcialmente preservada, donde la zona central porfídica correspondería al núcleo del antiguo estratovolcán. La configuración recién descrita es común dentro de los depósitos de pórfidos ricos en oro debido al emplazamiento somero en la corteza terrestre que tienen estos cuerpos intrusivos (Cox & Singer, 1988; Muntean & Einaudi, 2000). Se estima que tres cuartos de los depósitos mundiales de pórfido de oro más importantes contienen remanentes de secuencias volcánicas coetáneas. Las secuencias son, en general, de composición andesítica a dacítica, y donde se conserva la topografía, constituyen estratovolcanes (Sillitoe, 2000).

En relación a las estructuras, en la Franja de Maricunga los centros volcánicos y la mineralización asociada, formados en épocas no compresivas, exhiben un claro control estructural de alto buzamiento en los azimuts NW, NE y EW; siendo el primero de estos el predominante (Davidson & Mpodozis, 1991; Vila & Sillitoe, 1991; Vila et al., 1991; Oviedo et al., 1991; Kay et al., 1994; Mpodozis et al., 1995; Sillitoe et al., 2013). En relación a esto, en el proyecto La Falda se midió el rumbo de las estructuras de *trends* de vetillas de cuarzo bandeado, estructuras de *ledges* de cuarzo y brechas hidrotermales aflorantes. Los resultados indican la presencia de lineamientos en las tres direcciones principales de la Franja de Maricunga, predominando los lineamientos NW asociados principalmente a los *trends* de vetillas de cuarzo bandeado y brechas hidrotermales en el sector central. Las vetillas también siguen un *trend* NE y un tercero NNE, siendo los sectores más prospectivos aquellos donde hay un cruce de estas dos direcciones. Finalmente, las estructuras de *ledges* de cuarzo se disponen en la dirección EW, con leves inflexiones ENE

5.3.2 Alteración y mineralización

En el proyecto La Falda, la alteración hidrotermal se encuentra acotada espacialmente al sector central de la propiedad, en un área que va desde los cuerpos centrales intrusivos hasta los sectores aledaños de rocas volcánicas asociadas. En las zonas más externas, las rocas se encuentran frescas y sin ninguna evidencia de interacción con fluidos hidrotermales emanados desde el sector mencionado. Litológicamente, los pórfidos, brecha intrusiva y brecha volcánica presentan evidencias de alteración hidrotermal; mientras que las lavas y tobas de niveles

superiores se encuentran eminentemente frescas, al igual que los depósitos de ignimbrita, lo que implica una disposición posterior a los eventos hidrotermales.

Las asociaciones minerales de alteración encontradas en el proyecto permiten inferir eventos de alteración primarios producidos a diferentes niveles de profundidad, y procesos de sobreimposición (*telescoping*) sobre alteraciones primarias.

En el sector de intrusivos centrales se ha definido la alteración magnetita – clorita \pm pirita. Esta se presenta en los afloramientos de pórfido feldespático alterando exclusivamente a esta litología. La alteración varía de débil a fuerte, otorgándole a la roca un color negro a verde oscuro y un magnetismo intenso en ciertos sectores. En esta litología ocurre mineralización de oro en *stockworks* de vetillas de cuarzo bandeado. Para esta asociación de alteración se han interpretado dos posibles orígenes:

El primero indica que la asociación correspondería al resultado del proceso de sobreimposición ocurrido en la parte superior de los pórfidos, cuya alteración primaria sería potásica, con biotita y magnetita hidrotermal diseminada. El proceso de sobreimposición de la alteración argílica en depósitos de pórfido de oro es común, especialmente en el sector superior de los *stocks* porfídicos. Esto ocurre en el prospecto Marte, donde las texturas de roca preexistentes se preservan aun en áreas de alteración argílica intermedia, y se infiere que esta se ha sobreimpuesto a la alteración potásica más temprana. Esta última, en profundidad permanece distinguible a pesar del reemplazo de clorita por biotita en la masa fundamental y biotita de alteración (Vila et al., 1991). En Caspiche, también se registra la sobreimposición de la alteración argílica avanzada en la zona superior de la brecha volcánica y pórfidos, donde mucha de la biotita permanece estable aunque se encuentra localmente alterada a clorita (Sillitoe, 2013). La hipótesis anterior se reafirma con la identificación de biotita secundaria en sondajes llevados a cabo en el proyecto (comunicación escrita).

La segunda hipótesis es que la alteración magnetita – clorita \pm pirita sea una asociación de alteración propilítica, tal como ocurre en Refugio, específicamente en el depósito Verde, el cual posee una asociación de alteración clorita – magnetita – albita asociada a los centros intrusivos, y a una zona con anomalías de Au > 0,5 ppm. En esta, los fenocristales máficos de los pórfidos son completamente reemplazados por mezclas de clorita – magnetita fina que destruyen la forma de los cristales primarios. La pirita representa cantidades menores (<1% vol.) aunque hacia los

bordes crece su proporción a expensas de magnetita. Dado que no se ha detectado la presencia de la textura de biotita secundaria cloritizada en Verde, los autores concluyen que los cuerpos mineralizados nunca desarrollaron alteración potásica (Muntean & Einaudi, 2000).

La asociación de minerales illita – esmectita \pm pirita se interpreta como alteración argílica intermedia. En La Falda, esta se encuentra acotada al sector de brechas intrusivas, dándole una coloración verde clara y una textura arcillosa a la roca. Si bien no hay registros bibliográficos específicos de esta asociación presente en otros prospectos de la Franja de Maricunga, dado que en general se la engloba dentro de las arcillas en la asociación argílica intermedia definida como “sericita – arcilla – clorita”, en Sillitoe (2000) se la clasifica como una asociación propia de este tipo de alteración.

Finalmente, la alteración argílica avanzada, ampliamente distribuida en La Falda, incluye la asociación cuarzo – caolinita, cuarzo – alunita y *vuggy silica*, conformando el *lithocap* del proyecto. Este se encuentra cortado por estructuras de *ledges* de cuarzo de gran magnitud y con un control estructural EW en su emplazamiento. Hay registros de esta alteración y estructuras en Caspiche (Sillitoe, 2013), Refugio (Muntean & Einaudi, 2000, Muntean & Einaudi, 2001), Aldebarán (Vila & Sillitoe, 1991; Muntean & Einaudi, 2001), entre otros. Las estructuras de *ledges* de cuarzo son típicas de depósitos epitermales de alta sulfuración en todo el mundo (Muntean & Einaudi, 2001). Contienen cuarzo – alunita – pirita – rutilo y caolinita local, así como también zonas centrales de *vuggy silica*, como ocurre en La Falda. La alunita en La Falda se observó con un hábito “hojoso”, el cual es catalogado como propio de alunita hipógena (Hedenquist et al., 2000). Excepto por La Pepa, en los demás prospectos, estas estructuras son sub-económicas. En La Falda, solo el *Qz-Ledge Oeste* presenta buenas perspectivas para Au. En esta, la media total obtenida fue de 0,458 ppm.

5.4 Modelo geológico descriptivo

A continuación se procede con la aplicación de un modelo geológico simplificado que permita explicar los resultados geoquímicos obtenidos del procesamiento de la base de datos del muestreo de suelo y roca superficial en el proyecto La Falda.

El modelo base utilizado corresponde al descrito en Vila & Sillitoe (1991), en el cual se realiza una generalización de los prospectos estudiados en base a la geología, control estructural, roca caja, secuencias intrusivas y procesos de alteración-mineralización. Dado que las características geológicas y geoquímicas del proyecto La Falda poseen una buena correlación con aquellas de los depósitos tipo pórfidos auríferos de la Franja de Maricunga, es factible interpolar el proyecto dentro del modelo descriptivo.

En el contexto de la Franja de Maricunga, las interpretaciones de relaciones geológicas, patrones de alteración hidrotermal, geoquímica y geomorfología volcánicas sugieren que los complejos intrusivos de la zona fueron erosionados en diferentes grados (Vila & Sillitoe, 1991; Sillitoe, 2000). Según esto los depósitos pueden dividirse en:

1. Aquellos cuyos ápices del *stock* porfídico se exponen bajo los remanentes de la estructura volcánica original (Marte, Valy, Santa Cecilia y La Pepa), donde estos relictos volcánicos desarrollaron una alteración argílica avanzada y permanecen como el *lithocap* (Vila & Sillitoe, 1991).
2. Aquellos cuyos techos volcánicos fueron removidos por erosión profunda (Lobo y Esondido), donde la alteración argílica avanzada se presenta solo como sobreimposición en vetillas y brechas hidrotermales. Se infieren niveles profundos de stocks en Amalia, Refugio y Cerro Casale, donde la alteración potásica no se presenta afectada ni obliterada por alteración argílica avanzada, y la alteración argílica avanzada se encuentra ausente (Vila & Sillitoe, 1991).

Las características geológicas, de alteración y estructuras presentes en el proyecto La Falda permiten asociarlo al primer grupo de prospectos, con una buena preservación del *lithocap* y una sobreimposición de alteración argílica en la zona del *stock* porfídico.

En el modelo descriptivo utilizado, se registra una zona de transición caracterizada por vetillas polimetálicas en el intervalo que se ubica entre el *stockwork* porfídico y la zona de

alteración argílica avanzada principal. En este intervalo hay presencia de alteración sericítica en asociación con turmalina en el prospecto Aldebarán (Vila & Sillitoe, 1991). En La Falda no hay registro de alteración sericítica ni tampoco de una zona caracterizada por la presencia de vetillas polimetálicas. En contraposición, la alteración argílica avanzada se superpone directamente sobre el *stock* porfídico, aunque de todas formas la signatura geoquímica revela que la *Zona de transición* definida en La Falda posee la asociación anómala Bi – Mo – Pb – Zn – (Ag) – (Au) – (Cu), lo que podría indicar trazas de mineralización polimetálica de galena – esfalerita – molibdenita – bismutinita.

En la Franja de Maricunga, las zonas más superficiales de la alteración argílica avanzada se caracterizan por asociaciones donde abundan el ópalo, cristobalita y azufre nativo. Esto se da en los prospectos más elevados de la franja, como Soledad y algunos relictos en Marte. También el elemento Hg posee anomalías en los niveles someros del *lithocap* bien preservado, con ausencia de metales base. En Aldebarán, *Catedral Peak* es una zona rica en Hg – S (Vila & Sillitoe, 1991). En La Falda, si bien el Hg no se utilizó en los análisis de poblaciones ni de distribución espacial, dado que no se correlacionó con los metales de importancia económica, al plotear sus valores anómalos, estos se concentran en el sector de *ledges* de cuarzo de *Cerro Lito Norte*, *Mansa Brecha* y *Qz-Ledge Este*, lo cual es consistente con lo planteado por el modelo, y permite inferir que en La Falda hay relictos de la zona superior del *lithocap* en el sector más lejano de la *Zona de lithocap* definida para el proyecto, al extremo este del proyecto, donde se presenta la asociación Ag – As – Sb.

La mineralización de tipo pórfido se da en los stockworks de vetillas de cuarzo bandeado, los cuales albergan los mayores tenores de Au en el proyecto La Falda y en la mayor parte de los prospectos porfídicos pertenecientes a la Franja de Maricunga. La mineralización de carácter epitermal se da en cuerpos estructuralmente controlados de cuarzo calcedónico residual, el cual comúnmente exhibe brechización hidrotermal. Estas estructuras cortan al *lithocap*, trayendo consigo baritina, azufre nativo y enargita. Sin embargo, la presencia de estos *ledges* de cuarzo no implica necesariamente mineralización económica de oro y/o plata.

Finalmente, en base a la geoquímica aplicada al modelo descriptivo de pórfidos de oro de la Franja de Maricunga, se concluye que el proyecto La Falda corresponde a un depósito de pórfido de oro, con mineralización en *stockworks* de vetillas de cuarzo bandeado en el *stock* porfídico, con alteración argílica intermedia superpuesta, que grada hacia el exterior a un

lithocap que en su parte inferior posee mineralización polimetálica en trazas y que en su parte superior posee estructuras de *ledges* de cuarzo con mineralización de Au leve, y presencia de Hg en la zona más externa de alteración argílica avanzada.

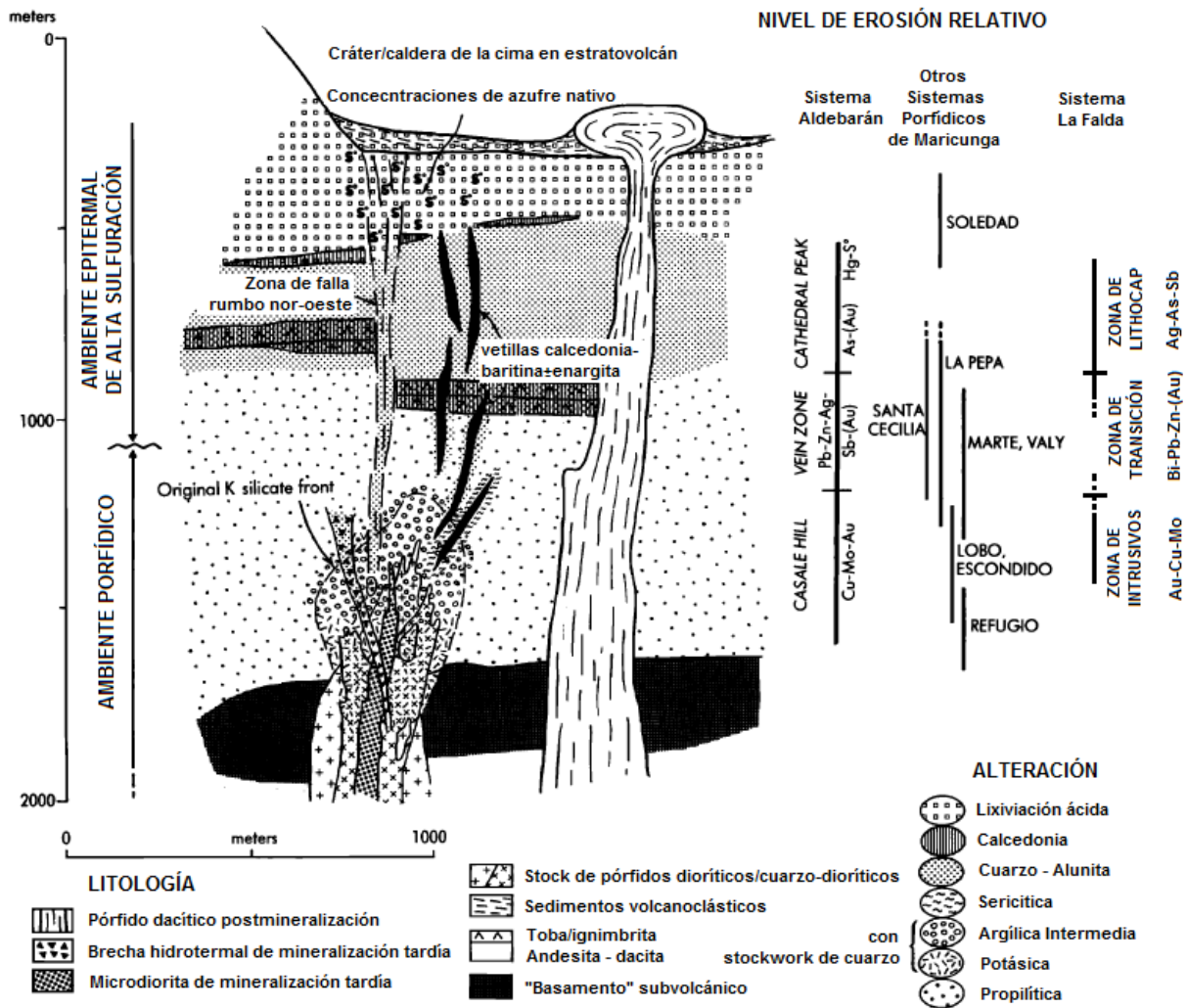


Figura 5.6 Aplicación del modelo descriptivo de Vila & Sillitoe (1991) en el proyecto La Falda, en base a los resultados del procesamiento geoquímico.

Capítulo 6

Conclusiones

Las conclusiones que se presentan a continuación se fundamentan en los resultados obtenidos de los análisis geoquímicos y su integración con la información geológica, de alteración, mineralización y de estructuras presentes en el proyecto La Falda, sumado a la información obtenida desde la bibliografía asociada a otros prospectos de la Franja de Maricunga, y utilizando el modelo geológico descriptivo desarrollado.

La mineralización de oro en el proyecto La Falda se encuentra restringida el sector central de la propiedad, donde los mejores valores se registraron en el sector *Qz-Ledge Oeste* y el sector *Pomelo*. Este par representa los dos estilos de mineralización asociados al proyecto.

El sector central de La Falda correspondería geomorfológicamente a los restos de un estratovolcán, con un núcleo porfídico y los restos del edificio volcánico alterados pervasivamente, conformando el *lithocap* del prospecto.

Los resultados indican que el proyecto La Falda consiste en un sistema de pórfido rico en oro, con un estilo de mineralización en *stockwork* de vetillas de cuarzo bandeado tipo Maricunga, las cuales siguen un rumbo principal NW así como también las direcciones NE y EW, que corresponden a los mismos lineamientos regionales que se han descrito en la Franja de Maricunga.

Se infiere que el sistema intrusivo presenta una sobreimposición de alteración argílica en su zona superior aflorante, que altera a la brecha intrusiva a illita – esmectita, y a los pórfidos a magnetita – clorita. Si bien la asociación mineral illita – esmectita se clasifica dentro del grupo de la alteración argílica intermedia, esto no ocurre con la alteración magnetita – clorita. Esta asociación se ha interpretado como una cloritización de la biotita producto de la sobreimposición recién señalada, o la otra opción que se tiene es que sea el halo interno de la alteración propilítica propia del pórfido.

El sistema intrusivo gradúa hacia el exterior a la zona del *lithocap* con alteración argílica avanzada; el cual, en el sector cercano al sistema intrusivo, posee mineralización metálica en

trazas inferida a partir de la geoquímica, mientras que en el sector externo posee mineralización en estructuras de *ledges* de cuarzo, con mineralización de Au leve y restringida a solo un set de *ledges* (*Qz-Ledge Oeste*), el cual está asociado a brechas hidrotermales con vetas de baritina cortando la zona central más elevada. Estas estructuras están orientadas en dirección EW, siguiendo el lineamiento regional mencionado previamente.

Los resultados geoquímicos permitieron definir tres zonas, caracterizadas por la distribución espacial de las asociaciones elementales obtenidas desde el análisis de factores, tomando en consideración solo los valores anómalos definidos en el análisis de poblaciones. La asociación Au – Cu – Mo se concentra en el sector del pórfido gradando hacia la zona de transición. Esta última tiene como asociación principal a Bi – Pb – Zn. Finalmente, la zona distal del *lithocap* tiene como asociación principal Ag – As – Sb concentrada en las estructuras de *ledges*.

Teniendo estos antecedentes en consideración se concluye que la mineralización de oro principal en el proyecto La Falda tiene como trazadores geológicos a las litologías intrusivas, con alteración argílica sobreimpuesta, y en estructuras de *stockwork* de vetillas de cuarzo bandeado. Como mineralización de nivel secundario se incluye como trazadores geológicos la exploración de estructuras de *ledges* de cuarzo, con alteración argílica avanzada, en vetas de baritina y/o enargita.

Como trazadores geoquímicos, se concluye que la mineralización de oro en vetillas de cuarzo bandeado está asociada a anomalías de Cu y Mo, con un halo periférico de Bi – Pb – Zn. En caso de buscar mineralización de Au en estructuras de mineralización epitermal del *lithocap*, la asociación Ag – As – Sb indica las zonas de *ledges* de cuarzo en el proyecto.

7. Bibliografía

Ahrens, L. 1957. The lognormal distribution of the elements - a fundamental law of geochemistry. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 11, N° 4.

Álvarez, M., 2009. Geología, alteración y mineralización de Au-Ag del proyecto Purén Oeste, Franja de Maricunga, Región de Atacama, Chile. *Memoria de Título, Departamento de Geología, Universidad de Chile.*

Campbell C., 1978. Soil organic carbon, nitrogen and fertility. *Soil Organic Matter (Edited by Schnitzer M. and Khan S. U.)*, pp. 173-271. Elsevier, Amsterdam.

Castillo, P., 2012. Análisis geoestadístico de geoquímica y organo geoquímica aplicado en exploraciones mineras. *Tesis de Magíster, Departamento de Geología, Universidad de Chile.*

Clavero, J., Mpodozis C. and Gardeweg M., 1997. Mapa geológico del área del Salar de Wheelwright, Región de Atacama, escala 1:100.000. *SERNAGEOMIN, Mapas Geológicos.*

Cox, D. and Singer, D. 1986. Mineral Deposit Models. *U.S. Geological Survey Bulletin 1693*, 1986, 379 pp.

Cox, D. and Singer, D. 1988. Distribution of gold in porphyry copper deposits. *U.S. Geological Survey Open-File Report 88-46*, 22 pp.

Davidson, J. and Mpodozis, C., 1991. Regional geologic setting of epithermal gold deposits, Chile. *Economic Geology*, v. 86, pp. 1174-1186.

Gamonal, S., 2007. Exploración minera del Distrito Pantanillo, Franja de Maricunga, Región de Atacama, Chile. *Memoria de Título, Departamento de Geología, Universidad de Chile.*

Gnanadesikan & Kettenring, 1972. Robust estimates, residuals, and outlier detection with multiresponde data. *Biometrics*, v. 28, pp. 81 – 124.

Govett, G., editor. 1983. Handbook of Exploration Geochemistry, Volume 3. *Rock Geochemistry in Mineral Exploration. Elsevier Science Publishers, Amsterdam. 461 pp.*

Juliá C., Montecinos S., Maldonado A., 2008. Características climáticas de la Región de Atacama. *Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile, pp. 25 – 42.*

Kay, S.M., Mpodozis, C., Tittler, A., and Cornejo, P., 1994. Tertiary magmatic evolution of the Maricunga mineral belt in Chile. *International Geologic Reviews*, v. 36, pp. 1079-1112.

Köppen, W. 1948. Climatología. *Fondo de Cultura Económica, México.*

Lagos, R., 2010. Exploración minera del proyecto Chimberos Este, Distrito Esperanza, Región de Atacama, Chile. *Memoria de Título, Departamento de Geología, Universidad de Chile.*

Le Maitre, R., 1982. Numerical Petrology. *Elsevier, Amsterdam.*

Lepeltier, C., 1969. A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation. *Economic Geology*, v. 64, pp. 538-550.

Levinson, A., 1974, Introduction to exploration geochemistry. *Applied Publishing Ltd., Calgary, 611 pp.*

McGrath & Loveland, 1992. The soil geochemical atlas of England and Wales. *Blackie Academic & Professional, 1st edition, 101 pp.*

Mercado, M. 1982. Hoja Laguna del Negro Francisco, región de Atacama, 1:100.000. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geol. Chile, n°56, 73 pp.*

Muntean, J. and Einaudi, M. 2000. Porphyry Gold Deposits of the Refugio District, Maricunga Belt, Northern Chile. *Economic Geology*, v 95, N° 7, pp. 1445-1472.

Muntean, J. and Einaudi, M., 2001. Porphyry-epithermal transition: Maricunga belt, northern Chile. *Economic Geology*, v. 96, pp. 743-772.

Pison, G., Rousseeuw, P.J., Filzmoser, P. and Croux, C., 1999. Factor Analysis in a Robust Way. *Univ. Antwerp, Belgium: [http://win-www.uia.ac.be/u/statis/\(preprint\)](http://win-www.uia.ac.be/u/statis/(preprint)).*

Ransome, F., 1909. Geology and ore deposits of Gloldfield, Nevada. U.S. *Geological Survey Prof. Paper 66, 258 p.*

Reimann, C. and Filzmoser, P., 1999. Normal and lognormal data distribution in geochemistry: death of a myth. Consequences for the statistical treatment of geochemical and environmental data. *Environmental Geology*, v.9, pp 1001- 1014.

Reimann, C., Filzmoser, P. and Garrett, R.G., 2002. Factor analysis applied to regional geochemical data: Problems and possibilities. *Applied Geochemistry* 17 (2), 185-206.

Reimann, C., Filzmoser, P., Garret, R., 2005. Background and threshold: critical comparison of methods of determination. *Science of the Total Environment*, Vol. 346, pp 1-16.

Sillitoe, R.H., 1979. Some thoughts on gold-rich porphyry copper deposits. *Mineralium Deposits*, v. 14, p. 161-174.

Sillitoe, R.H., 2000. Gold-Rich porphyry deposits: Descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery. *SEG Reviews*, v. 13, pp 315-345.

Slocum T., 1999. Thematic cartography and visualization. Upper Saddle River, NJ7. *Prentice Hall*.

Stanley, C. and Lawie, D., 2007. Average relative error in geochemical determination: Clarification, calculation, and a plea for consistency. *Exploration and Mining Geology*, v. 16, pp. 265-274.

Taylor, S.R. (1964). Abundance of chemical elements in the continental crust; a new table. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 28(8), pp. 1273-1285.

Tukey, J., 1977. Exploratory data analysis. *Addison-Wesly, Reading*.

Vila, T. and Sillitoe, R.H., 1991. Gold-rich porphyry systems in the Maricunga belt, northern Chile. *Economic Geology*, v. 86, pp. 1238-1260.

Wedepohl, H., 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volume 59, Issue 7, April 1995, pp. 1217-1232.

ANEXOS

ANEXO A

CAPÍTULO 4.5 Análisis Univariable

Tabla 1a Análisis exploratorio de datos para las muestras de la malla de suelo, proyecto La Falda.

Elemento	Unidad	Mín.	Máx.	Media	Error std. media	Desv. estándar	Coef. asimetría	Curtosis	Percentil				
									5%	25%	Mediana	75%	95%
Ag	ppm	0,005	2,38	0,06	0,085	1,80	1,16	7,66	0,03	0,04	0,06	0,08	0,15
Al	%	0,21	2,3	1,08	0,066	1,39	-1,19	2,90	0,61	0,91	1,14	1,32	1,686
As	ppm	2,7	755	30,37	0,08	1,67	1,42	10,30	15,7	23,3	29,9	37,6	59,58
Au	ppm	0,0025	0,082	0,0033	0,0880	1,86	2,49	6,35	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,013
B	ppm	5	60	13,06	0,08	1,59	0,48	0,15	7	10	10	20	30
Ba	ppm	30	540	121,87	0,07	1,42	0,14	1,52	70	100	120	150	220
Be	ppm	0,06	1,59	0,38	0,071	1,50	-0,78	1,95	0,17	0,31	0,41	0,49	0,66
Bi	ppm	0,04	8,91	0,23	0,087	1,84	1,61	6,02	0,11	0,16	0,21	0,29	0,72
Ca	%	0,1	8,05	0,80	0,087	1,84	1,08	1,98	0,42	0,56	0,68	1	3,27
Cd	ppm	0,01	0,6	0,15	0,074	1,56	-1,54	6,74	0,07	0,12	0,15	0,19	0,26
Ce	ppm	3,06	62	22,79	0,07	1,51	-1,52	4,25	10,74	19,65	24,8	28,9	38,68
Co	ppm	0,8	52,4	6,60	0,07	1,57	-0,90	3,02	2,6	5,3	7,3	8,6	11,36
Cr	ppm	0,5	23	6,99	0,08	1,59	-1,61	5,62	3	6	7	9	13
Cs	ppm	0,37	15,4	3,64	0,076	1,60	-0,68	2,08	1,58	2,77	3,84	5,01	6,94
Cu	ppm	5,4	77	26,66	0,07	1,54	-0,33	0,34	13,08	20,1	27,1	36,3	53,92
Fe	%	0,75	9,52	2,91	0,061	1,29	-1,36	6,84	2,062	2,66	2,98	3,28	4,07
Ga	ppm	1,09	9,2	4,80	0,063	1,33	-1,55	4,23	2,81	4,33	5	5,7	6,79
Ge	ppm	0,025	0,18	0,08	0,068	1,44	-1,42	2,62	0,025	0,07	0,08	0,1	0,12
Hf	ppm	0,02	0,52	0,17	0,083	1,75	-0,67	0,49	0,06	0,12	0,18	0,26	0,38
Hg	ppm	0,005	1,7	0,04	0,102	2,16	0,04	2,57	0,01	0,03	0,05	0,06	0,13
In	ppm	0,0025	0,111	0,024	0,0690	1,46	-0,53	4,37	0,013	0,02	0,025	0,029	0,044
K	%	0,05	0,45	0,15	0,067	1,41	0,07	0,34	0,08	0,12	0,15	0,18	0,27
La	ppm	1,4	31,8	10,31	0,07	1,53	-1,33	3,49	4,78	8,8	11,1	13,1	18,76
Li	ppm	1,7	54,2	16,74	0,07	1,55	-0,82	2,39	7,38	13,6	17,3	21,9	30,96
Mg	%	0,03	1,06	0,30	0,077	1,64	-0,80	1,82	0,12	0,23	0,3	0,4	0,6
Mn	ppm	8	1670	381,75	0,08	1,68	-1,58	8,26	142,8	315	410	511	753,2

Tabla 1b Análisis exploratorio de datos para las muestras de la malla de suelo, proyecto La Falda.

Elemento	Unidad	Mín.	Máx.	Media	Error std.	Desv.	Coef.	Curtosis	Percentil				
					media	estándar	asimetría		5%	25%	Mediana	75%	95%
Mo	ppm	0,12	12,6	0,90	0,073	1,55	0,53	8,20	0,5	0,73	0,87	1,08	1,652
Na	%	0,02	0,46	0,07	0,0773	1,63	0,81	0,80	0,04	0,05	0,06	0,09	0,18
Nb	ppm	0,025	0,46	0,14	0,0791	1,67	-0,60	1,16	0,06	0,1	0,14	0,19	0,306
Ni	ppm	0,3	17,8	4,82	0,073	1,55	-1,91	6,62	2,1	4,1	5,3	6,3	7,86
P	ppm	30	3040	871,71	0,07	1,48	-2,20	14,36	474	750	930	1070	1346
Pb	ppm	3	215	11,94	0,08	1,60	1,28	5,26	6,2	9	11,4	14,8	26,22
Rb	ppm	3,4	37	11,16	0,07	1,42	-0,04	0,38	6,3	8,9	11	14,1	19,3
S	%	0,005	8,08	0,27	0,150	3,17	0,54	0,41	0,06	0,13	0,21	0,53	2,884
Sb	ppm	0,025	1,73	0,32	0,072	1,53	-0,65	3,87	0,15	0,25	0,33	0,41	0,58
Sc	ppm	0,6	8,6	2,56	0,070	1,48	-0,56	0,93	1,24	2	2,6	3,4	4,4
Se	ppm	0,1	2,3	0,43	0,084	1,77	-0,49	1,09	0,1	0,3	0,4	0,6	1
Sn	ppm	0,2	6,1	0,65	0,069	1,46	0,72	5,27	0,4	0,5	0,7	0,8	1,1
Sr	ppm	9,4	447	95,10	0,07	1,52	-0,24	4,47	56,26	77,5	93,2	113	193,9
Te	ppm	0,005	3,14	0,21	0,117	2,47	-0,11	0,53	0,05	0,11	0,21	0,39	0,912
Th	ppm	0,4	13,3	2,21	0,07	1,48	-0,25	2,25	1,1	1,8	2,3	2,8	4
Ti	%	0,0025	0,164	0,04	0,11	2,31	-1,11	1,54	0,007	0,025	0,041	0,066	0,1046
Tl	ppm	0,02	2,47	0,17	0,07	1,53	0,50	7,09	0,09	0,14	0,17	0,21	0,336
U	ppm	0,06	1,4	0,33	0,07	1,49	-0,46	1,60	0,17	0,26	0,34	0,43	0,556
V	ppm	8	138	52,88	0,07	1,53	-1,09	2,17	22,4	44	56	69	93
W	ppm	0,025	1,02	0,10	0,07	1,54	-0,68	4,05	0,05	0,08	0,1	0,12	0,16
Y	ppm	0,74	13,15	4,77	0,07	1,50	-1,32	2,41	2,04	3,95	5,23	6,26	7,58
Zn	ppm	3	333	45,00	0,08	1,59	-1,18	5,95	19,4	37	50	58	74,6
Zr	ppm	0,7	21,4	6,11	0,09	1,85	-0,61	0,60	2,1	4,2	6,2	9,3	15,3

Tabla 1b Análisis exploratorio de datos para las muestras de la malla de suelo, proyecto La Falda.

Elemento	Unidad	Mín.	Máx.	Media	Error std. media	Desv. estándar	Coef. asimetría	Curtosis	Percentil				
									5%	25%	Mediana	75%	95%
Ag	ppm	0,1	100	0,24	0,122	3,89	2,01	3,98	0,1	0,1	0,1	0,4	5,44
Al	%	0,005	4,91	0,53	0,105	3,34	-0,70	-0,18	0,068	0,23	0,71	1,41	2,352
As	ppm	1	10000	20,63	0,141	4,51	0,74	1,05	2	8	16	48	305
Au	ppm	0,0025	10	0,0093	0,215	6,85	1,48	1,21	0,0025	0,0025	0,0025	0,022	0,797
Ba	ppm	5	3160	96,33	0,092	2,92	0,27	0,09	20	50	90	190	690
Bi	ppm	1	142	1,64	0,070	2,24	2,07	5,10	1	1	1	2	7,20
Ca	%	0,005	8,5	0,42	0,106	3,38	-0,13	-0,11	0,05	0,18	0,47	0,87	3,31
Co	ppm	0,5	257	1,97	0,120	3,83	0,44	-0,99	0,5	0,5	1	7	14
Cr	ppm	0,5	51	5,23	0,075	2,40	-0,26	-0,05	1	3	5	10	22
Cu	ppm	0,5	2730	13,20	0,118	3,77	0,81	1,18	2	6	12	21	224,4
Fe	%	0,27	38,1	2,72	0,066	2,10	0,06	0,55	0,74	1,86	2,82	3,82	10,65
Hg	ppm	0,5	126	0,76	0,061	1,95	2,97	13,84	0,5	0,5	0,5	1	2,00
K	%	0,005	2,08	0,10	0,092	2,94	-0,36	0,07	0,01	0,06	0,11	0,21	0,54
Mg	%	0,005	3,66	0,06	0,195	6,23	0,24	-1,33	0,005	0,01	0,04	0,33	1,02
Mn	ppm	2,5	24800	108,27	0,126	4,02	0,36	0,17	14	42	82	312	1010
Mo	ppm	0,5	191	1,263	0,068	2,17	1,28	4,42	0,5	1	1	2	4,000
Na	%	0,005	1,66	0,06	0,100	3,18	-0,28	-0,08	0,005	0,03	0,06	0,14	0,372
Ni	ppm	0,5	70	1,55	0,089	2,84	0,48	-0,76	0,5	0,5	1	4	8
P	ppm	5	10000	332,55	0,126	4,00	-0,50	-0,84	30	100	560	1050	1520
Pb	ppm	1	10000	8,32	0,144	4,58	0,58	0,33	1	3	8	20	127,2
S	%	0,005	10	0,24	0,218	6,94	-0,41	-0,71	0,005	0,06	0,33	1,05	3,51
Sb	ppm	1	191	1,70	0,073	2,34	1,92	4,13	1	1	1	2	11
Sc	ppm	0,5	15	1,28	0,082	2,60	0,37	-1,50	0,5	0,5	1	4	5,2
Sr	ppm	0,5	1620	71,43	0,078	2,49	0,18	1,53	18,8	41	64	122	354,8
V	ppm	0,5	425	18,15	0,109	3,46	-0,68	-0,36	2	8	24	51	76
Zn	ppm	1	758	12,33	0,155	4,94	0,03	-1,19	1	3	11	53	123,2

ANEXO B

CAPÍTULO 4.6 Análisis Multivariable

Tabla 1a Matriz de Pearson en muestras de suelo

	Ag	Al	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Hf	Hg	In	K	La
Ag	1																					
Al	,128	1																				
As	,465	-,034	1																			
Au	,218	,146	,018	1																		
B	,233	,151	,496	,037	1																	
Ba	,294	,463	,164	,150	,040	1																
Be	,185	,771	-,038	,193	,066	,415	1															
Bi	,484	-,071	,452	,078	,216	,269	,045	1														
Ca	,147	,201	,387	,078	,578	-,091	,182	,030	1													
Cd	,069	,266	,144	-,040	-,015	,130	,359	,055	,005	1												
Ce	,197	,558	-,028	,198	-,067	,352	,706	,050	,070	,234	1											
Co	,138	,612	-,104	,143	-,076	,314	,757	,033	-,030	,496	,675	1										
Cr	-,076	,328	-,119	-,121	-,095	,080	,299	-,059	-,169	,471	,273	,628	1									
Cs	-,073	,353	-,049	-,132	,033	-,029	,328	-,179	,017	,692	,137	,409	,493	1								
Cu	,328	,324	,188	,200	-,099	,148	,359	,169	-,048	,366	,381	,434	,320	,262								
Fe	,179	,181	,126	,139	-,068	,221	,253	,152	-,074	,021	,403	,464	,384	-,051	,262	1						
Ga	,022	,727	-,049	-,022	,046	,252	,541	-,102	-,001	,305	,450	,591	,587	,383	,333	,452	1					
Hf	-,270	,306	-,376	-,292	-,113	-,104	,230	-,272	-,180	,453	,024	,386	,675	,659	,123	-,047	,470	1				
Hg	,162	,087	,052	,012	-,087	,175	,145	-,020	,041	,069	,147	,179	,014	-,072	,200	,096	,113	-,057	1			
In	,336	,526	,250	,159	,114	,314	,547	,193	,145	,257	,549	,559	,309	,265	,462	,451	,492	,122	,190	1		
K	,331	,217	,525	,078	,577	,334	-,012	,230	,443	-,185	,006	-,238	-,279	-,244	-,055	,032	,102	-,363	,018	,097	1	
La	,188	,547	-,013	,222	-,058	,393	,681	,084	,063	,245	,979	,630	,208	,125	,370	,370	,428	-,020	,147	,522	,024	1

Tabla 1b Matriz de Pearson en muestras de suelo

	Ag	Al	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Hf	Hg	In	K	La	Li
Li	,266	,614	,327	,050	,476	,198	,545	,124	,375	,540	,310	,471	,365	,580	,289	,039	,511	,369	-,001	,393	,295	,324	1
Mg	,208	,745	,068	,202	,159	,266	,769	-,025	,182	,445	,627	,735	,385	,471	,442	,213	,621	,333	,115	,558	,064	,632	,772
Mn	,134	,465	-,074	,204	-,099	,205	,669	-,008	-,012	,496	,615	,832	,456	,460	,344	,351	,454	,307	,145	,509	-,276	,542	,459
Mo	,464	,127	,365	,303	,198	,242	,187	,337	,177	-,037	,305	,199	-,050	-,182	,362	,365	,101	-,421	,099	,291	,299	,308	,111
Na	,282	,088	,249	,067	,400	,184	-,071	,161	,313	-,235	-,012	-,236	-,298	-,270	-,147	-,037	-,151	-,289	,051	-,010	,617	,000	,066
Nb	-,246	-,214	-,342	-,261	-,352	-,216	-,145	-,109	-,440	,247	-,200	,147	,525	,370	,082	,011	,098	,628	-,135	-,085	-,581	-,198	-,090
Ni	,035	,567	-,079	,028	-,019	,211	,613	-,006	-,053	,626	,542	,857	,831	,569	,464	,344	,635	,605	,080	,495	-,194	,503	,571
P	,187	,483	-,029	,275	-,163	,320	,606	,110	,013	,105	,765	,687	,309	,096	,425	,619	,418	-,054	,079	,560	-,094	,737	,188
Pb	,546	,122	,488	,216	,179	,398	,250	,605	,173	,137	,323	,252	-,037	-,149	,285	,250	,032	-,381	,054	,364	,324	,366	,258
Rb	-,035	,538	,095	-,184	,268	,217	,306	-,118	,138	,376	,174	,311	,529	,535	,237	,086	,557	,598	-,059	,285	,295	,150	,602
S	,337	-,190	,517	,137	,519	-,112	-,239	,262	,657	-,384	-,224	-,405	-,488	-,480	-,147	-,071	-,323	-,605	,041	-,089	,645	-,215	,010
Sb	,395	,071	,416	-,067	,069	,106	,137	,368	,010	,394	,078	,221	,386	,276	,528	,149	,244	,202	,144	,341	,044	,062	,344
Sc	,118	,817	-,046	,119	,072	,373	,765	-,077	,124	,393	,665	,794	,522	,414	,442	,279	,688	,433	,184	,601	,022	,638	,578
Se	,344	,023	,490	,176	,386	,126	,026	,278	,432	-,049	,104	-,088	-,217	-,235	,034	,085	-,047	-,440	,090	,104	,524	,115	,206
Sn	-,153	,387	-,204	-,031	-,134	,108	,373	-,146	-,156	,276	,253	,481	,562	,405	,253	,304	,527	,553	,004	,320	-,284	,237	,243
Sr	,373	,272	,450	,183	,460	,332	,205	,332	,424	-,129	,145	-,079	-,292	-,179	,000	,064	-,006	-,412	,031	,200	,617	,167	,219
Te	,445	-,241	,521	,122	,370	,136	-,203	,540	,297	-,201	-,185	-,334	-,349	-,479	-,105	-,037	-,279	-,602	,114	-,069	,515	-,144	-,018
Th	,001	,446	-,051	-,011	-,028	,268	,509	,013	-,041	,377	,563	,612	,517	,413	,364	,283	,492	,495	,046	,441	-,119	,553	,452
Ti	-,240	,098	-,359	-,277	-,260	-,148	,059	-,230	-,342	,423	,046	,415	,777	,571	,075	,174	,386	,862	-,080	,081	-,432	-,021	,187
Tl	,122	-,041	,416	-,180	,330	,113	-,090	,382	,116	,290	-,141	-,065	,108	,199	,015	,017	,046	,118	-,035	,122	,316	-,145	,193
U	-,076	,523	-,117	-,066	-,036	,204	,523	-,083	-,076	,421	,408	,617	,629	,533	,336	,221	,562	,682	,026	,371	-,191	,395	,521
V	-,013	,337	-,110	-,151	-,144	,134	,388	-,017	-,172	,482	,388	,723	,890	,488	,375	,509	,624	,603	,078	,394	-,340	,332	,355
W	,104	,065	,149	-,111	,092	-,111	,085	,071	-,009	,487	,070	,260	,477	,527	,265	,044	,200	,450	-,105	,185	-,127	,052	,394
Y	,077	,654	-,116	,104	-,072	,276	,725	-,102	,018	,563	,713	,856	,615	,482	,477	,316	,618	,475	,153	,513	-,165	,697	,538
Zn	,154	,620	,017	,099	-,043	,253	,735	-,015	,071	,543	,697	,872	,657	,470	,455	,506	,669	,409	,160	,623	-,172	,674	,540
Zr	-,236	,305	-,335	-,271	-,088	-,091	,225	-,239	-,155	,483	,050	,400	,703	,658	,158	-,022	,473	,980	-,072	,127	-,322	,011	,406
Ge	,005	,434	-,210	,004	-,086	,096	,394	-,061	-,007	,276	,517	,472	,383	,332	,264	,282	,477	,314	,093	,368	-,088	,478	,328

Tabla 1c Matriz de Pearson en muestras de suelo

	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	S	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr	Ge
Mg	1																									
Mn	,722	1																								
Mo	,215	,107	1																							
Na	-,132	-,290	,180	1																						
Nb	-,125	,071	-,304	-,398	1																					
Ni	,689	,723	,100	-,217	,301	1																				
P	,532	,580	,408	-,085	-,120	,536	1																			
Pb	,201	,214	,516	,143	-,258	,118	,355	1																		
Rb	,417	,164	-,107	,060	,160	,563	,053	-,081	1																	
S	-,264	-,419	,330	,582	-,544	-,484	-,196	,279	-,232	1																
Sb	,228	,184	,181	-,096	,264	,338	,049	,346	,263	-,067	1															
Sc	,829	,640	,146	-,061	-,060	,778	,632	,103	,548	-,343	,166	1														
Se	,035	-,143	,381	,411	-,463	-,118	,069	,357	-,019	,570	,066	,030	1													
Sn	,385	,395	-,133	-,306	,359	,525	,292	-,096	,384	-,519	,140	,439	-,318	1												
Sr	,058	-,114	,425	,631	-,518	-,139	,170	,424	,009	,565	,021	,056	,460	-,286	1											
Te	-,279	-,347	,348	,394	-,422	-,396	-,197	,456	-,314	,693	,143	-,356	,596	-,477	,455	1										
Th	,562	,497	,030	-,172	,277	,663	,515	,145	,464	-,405	,225	,620	-,126	,453	-,032	-,395	1									
Ti	,184	,388	-,340	-,304	,704	,606	,069	-,310	,453	-,625	,199	,296	-,391	,464	-,451	-,545	,418	1								
Tl	-,136	-,107	-,008	,285	,112	,089	-,199	,207	,358	,160	,325	-,105	,091	,017	,189	,217	,085	,091	1							
U	,585	,480	-,078	-,230	,365	,740	,412	-,020	,591	-,486	,216	,657	-,232	,564	-,110	-,500	,827	,540	,120	1						
V	,471	,570	,024	-,340	,514	,798	,456	,054	,410	-,527	,402	,590	-,266	,510	-,286	-,411	,581	,714	,076	,641	1					
W	,239	,297	,067	-,217	,464	,454	,067	,048	,352	-,221	,474	,157	-,133	,280	-,157	-,109	,300	,495	,252	,317	,433	1				
Y	,783	,723	,127	-,228	,155	,865	,598	,118	,451	-,485	,239	,846	-,043	,452	-,055	-,410	,685	,446	-,107	,710	,690	,282	1			
Zn	,760	,816	,135	-,246	,136	,808	,617	,234	,362	-,382	,359	,752	-,086	,450	-,072	-,331	,629	,410	-,043	,620	,767	,327	,844	1		
Zr	,335	,300	-,415	-,239	,627	,638	-,035	-,334	,655	-,577	,239	,443	-,397	,532	-,375	-,571	,521	,855	,154	,695	,622	,464	,492	,434	1	
Ge	,390	,376	-,024	-,044	,082	,446	,415	,042	,276	-,270	,105	,459	-,085	,330	,026	-,248	,354	,333	-,001	,336	,425	,163	,480	,481	,332	1

Tabla 2 Matriz de Pearson en muestras de roca

	Ag	Al	As	Au	Ba	Bi	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Sc	Sr	V	Zn
Ag	1																									
Al	-,439	1																								
As	,440	-,351	1																							
Au	,262	-,044	,094	1																						
Ba	,201	-,015	,192	,044	1																					
Bi	,606	-,296	,249	,150	,094	1																				
Ca	-,237	,318	-,285	,015	-,304	-,155	1																			
Co	-,332	,646	-,404	,187	,096	-,249	,320	1																		
Cr	,137	-,254	-,060	,204	,084	-,012	-,154	,012	1																	
Cu	-,050	,373	-,010	,623	,001	-,101	,173	,503	,089	1																
Fe	,066	,211	,288	,052	-,014	,101	,055	,084	-,164	,294	1															
Hg	,464	-,231	,153	,047	,040	,339	-,096	-,176	,072	-,075	-,030	1														
K	-,034	,428	,075	-,151	-,100	,022	,087	,051	-,400	-,025	,444	-,117	1													
Mg	-,327	,728	-,442	,175	,034	-,282	,421	,796	,083	,525	,133	-,157	,103	1												
Mn	-,130	,339	-,267	,254	,161	-,159	,214	,772	,316	,396	,020	-,083	-,148	,650	1											
Mo	-,008	-,004	,120	,031	,146	,175	-,003	,002	-,118	-,016	,113	-,003	,077	-,070	-,028	1										
Na	-,176	,316	-,063	-,036	-,485	-,088	,350	,063	-,188	,132	,409	-,187	,464	,227	-,075	-,044	1									
Ni	-,198	,492	-,342	,216	,145	-,200	,164	,756	,243	,431	-,056	-,155	-,069	,644	,645	-,029	-,050	1								
P	-,265	,621	-,100	,154	,077	-,224	,236	,606	-,095	,495	,418	-,238	,326	,673	,419	,058	,361	,452	1							
Pb	,471	-,151	,410	,150	,194	,320	-,187	-,148	-,130	-,052	,209	,198	,280	-,195	-,080	,116	-,011	-,160	,020	1						
S	,163	-,354	,328	-,345	-,290	,116	,090	-,616	-,290	-,468	,096	,113	,274	-,553	-,581	,038	,264	-,653	-,354	,186	1					
Sb	,698	-,415	,495	,161	,175	,444	-,245	-,348	,180	-,108	,030	,325	-,103	-,304	-,119	-,079	-,160	-,222	-,273	,431	,115	1				
Sc	-,334	,745	-,381	,225	,022	-,274	,303	,751	,077	,549	,174	-,198	,126	,841	,580	-,090	,262	,621	,734	-,222	-,596	-,311	1			
Sr	-,023	,300	,228	-,076	,009	-,068	,136	,021	-,296	,061	,287	-,130	,485	,088	-,116	,046	,412	-,039	,488	,220	,259	-,026	,191	1		
V	-,182	,687	-,131	,108	-,017	-,144	,267	,508	-,018	,504	,591	-,135	,312	,645	,348	-,027	,403	,378	,655	-,117	-,341	-,195	,680	,210	1	
Zn	-,236	,675	-,296	,230	,102	-,231	,298	,811	,083	,586	,257	-,143	,085	,829	,708	-,058	,155	,677	,645	-,027	-,586	-,215	,779	,099	,650	1

Tabla 3a Análisis de factores realizado al muestreo de malla de suelo.

	Factor							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Ag	,126	,195	-,167	,575	,114	,057	-,037	,004
Al	,817	,279	,024	-,059	,153	,290	-,127	,211
As	-,018	,377	,065	,621	-,020	-,071	-,156	-,004
Au	,184	,056	-,438	,118	-,011	-,055	,006	,021
B	,032	,713	,099	,144	-,136	-,081	-,140	,129
Ba	,340	,083	-,147	,251	,171	,650	,028	,045
Be	,870	,060	-,119	,045	,001	,156	-,108	,021
Bi	-,071	,144	-,068	,691	,006	,133	,095	-,084
Ca	-,047	,717	-,201	,010	-,022	-,435	-,049	,025
Cd	,550	-,089	,449	,239	-,003	-,093	-,317	-,218
Ce	,868	-,069	-,096	,093	-,034	,158	,134	-,197
Co	,898	-,174	,065	,033	,170	-,080	,070	-,064
Cr	,579	-,252	,567	,035	,282	-,072	,064	,113
Cs	,503	-,099	,539	,020	-,214	-,121	-,332	,033
Cu	,425	-,145	-,045	,389	,188	-,143	-,032	,224
Fe	,474	,147	,028	,317	,575	-,001	,389	,019
Ga	,685	,191	,277	,069	,482	,070	-,017	,228
Ge	,633	,071	,185	,050	,202	,074	,049	-,154
Hg	,090	,006	-,037	,079	,340	,057	-,016	-,013
In	,616	,059	-,002	,343	,066	,115	,055	,203
K	-,083	,785	-,096	,187	,091	,314	-,037	,205
Li	,659	,384	,282	,159	-,152	-,064	-,370	,132
Mg	,896	,066	-,060	,021	-,029	-,033	-,288	,176
Mn	,810	-,294	,067	,077	-,005	-,118	-,197	-,103
Mo	,245	,277	-,420	,438	,177	-,078	,180	,002
Na	-,112	,680	-,046	,036	-,017	,287	,249	-,190
Nb	,010	-,561	,618	,024	-,055	-,216	,239	-,052
Ni	,844	-,170	,367	,040	,099	-,067	,002	,047
P	,824	,030	-,171	,175	,179	,071	,316	-,103
Pb	,220	,151	-,346	,685	-,029	,148	,156	-,085
Rb	,432	,268	,575	-,090	-,013	,189	-,081	,486
S	-,378	,766	-,283	,224	,020	-,231	,110	-,029
Sb	,153	-,062	,318	,702	,222	-,103	-,119	,133
Sc	,891	,062	,039	-,131	,155	,088	-,043	,239
Se	-,039	,574	-,228	,251	,176	-,023	-,031	-,053
Sn	,380	-,253	,260	-,097	,028	-,001	,026	,228
Sr	,188	,706	-,255	,271	,054	,238	,189	-,135
Te	-,388	,469	-,218	,483	,199	,043	-,046	-,203
Th	,706	-,112	,263	,052	-,174	,104	,265	,128
Ti	,356	-,405	,753	-,198	,090	-,092	,006	-,004
Tl	-,062	,344	,462	,460	,004	,162	,076	-,007

Tabla 3b (continuación de 3a) Análisis de factores realizado al muestreo de malla de suelo.

	Factor							
	1	2	3	4	5	6	7	8
U	,704	-,132	,390	-,048	-,158	,073	,182	,297
V	,638	-,295	,489	,098	,369	-,134	,139	,070
W	,367	-,163	,514	,215	-,119	-,227	-,117	-,013
Y	,934	-,136	,135	-,018	,098	-,012	-,014	-,012
Zn	,894	-,173	,149	,138	,142	-,065	-,023	,006
Zr	,426	-,196	,749	-,270	-,060	-,042	-,031	,164

Tabla 4 Análisis de factores realizado al muestreo de roca.

	Factor					
	1	2	3	4	5	6
Ag	-,160	,879	,027	-,095	-,059	,084
Al	,695	-,305	,239	,165	,330	-,068
As	-,386	,362	,386	-,344	,096	,064
Au	,233	,212	-,016	,006	-,088	,775
Ba	,186	,160	-,049	-,697	,070	-,038
Bi	-,176	,558	-,038	-,026	,078	,094
Ca	,276	-,145	-,014	,518	,079	,000
Co	,897	-,206	-,053	,029	,074	,099
Cr	,129	,117	-,098	-,115	-,632	,104
Cu	,514	-,118	,292	,028	-,050	,658
Fe	,069	,091	,741	,037	,142	,115
Hg	-,077	,379	-,083	-,021	-,082	-,032
K	,046	,081	,428	,195	,591	-,156
Mg	,885	-,180	,122	,197	-,031	,042
Mn	,766	-,007	-,085	-,055	-,224	,091
Mo	-,043	-,011	-,027	-,130	,237	,070
Na	,037	-,099	,505	,628	,162	-,022
Ni	,773	-,116	-,099	-,060	-,113	,109
P	,649	-,206	,474	,020	,241	,085
Pb	-,071	,557	,167	-,172	,333	,042
S	-,690	,120	,133	,307	,259	-,281
Sb	-,182	,735	,101	-,167	-,202	-,033
Sc	,837	-,248	,216	,135	-,019	,096
Sr	,057	,005	,435	,086	,453	-,137
V	,585	-,138	,610	,149	-,040	,086
Zn	,883	-,081	,213	,034	-,036	,117

ANEXO C

CAPÍTULO 4.8 Distribución espacial roca, *boxplots* por blanco

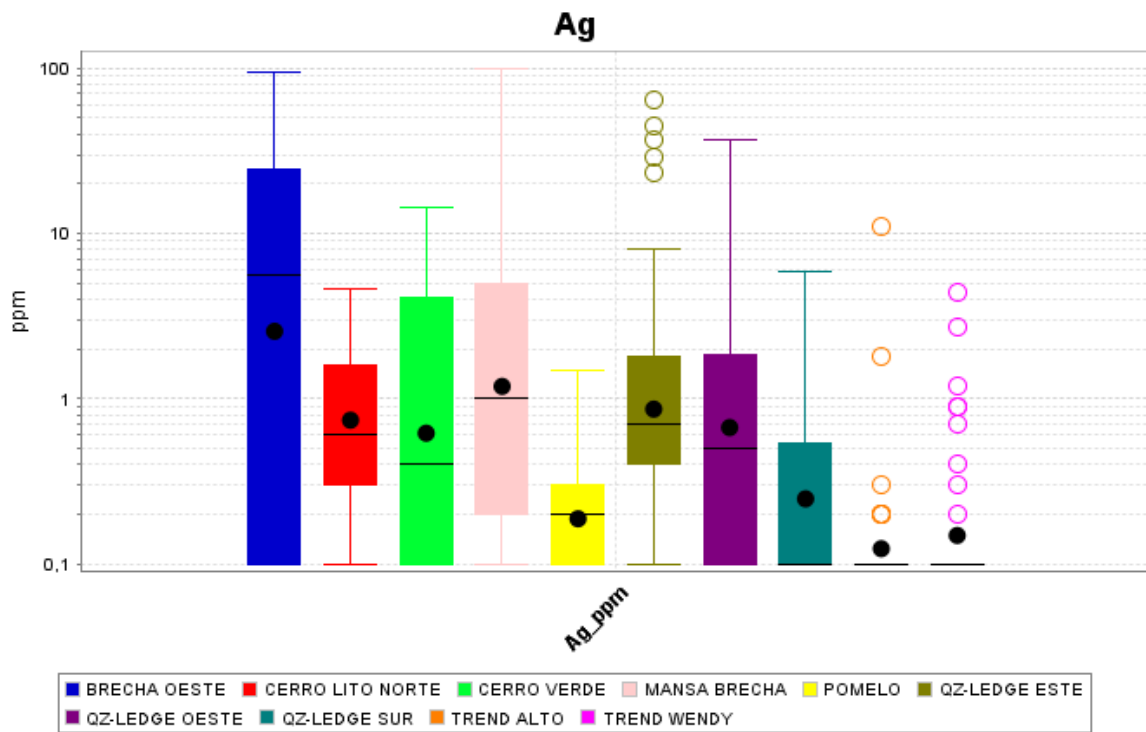


Figura 10 Diagrama de caja para el elemento Ag en muestras de roca, desagregado por sector.

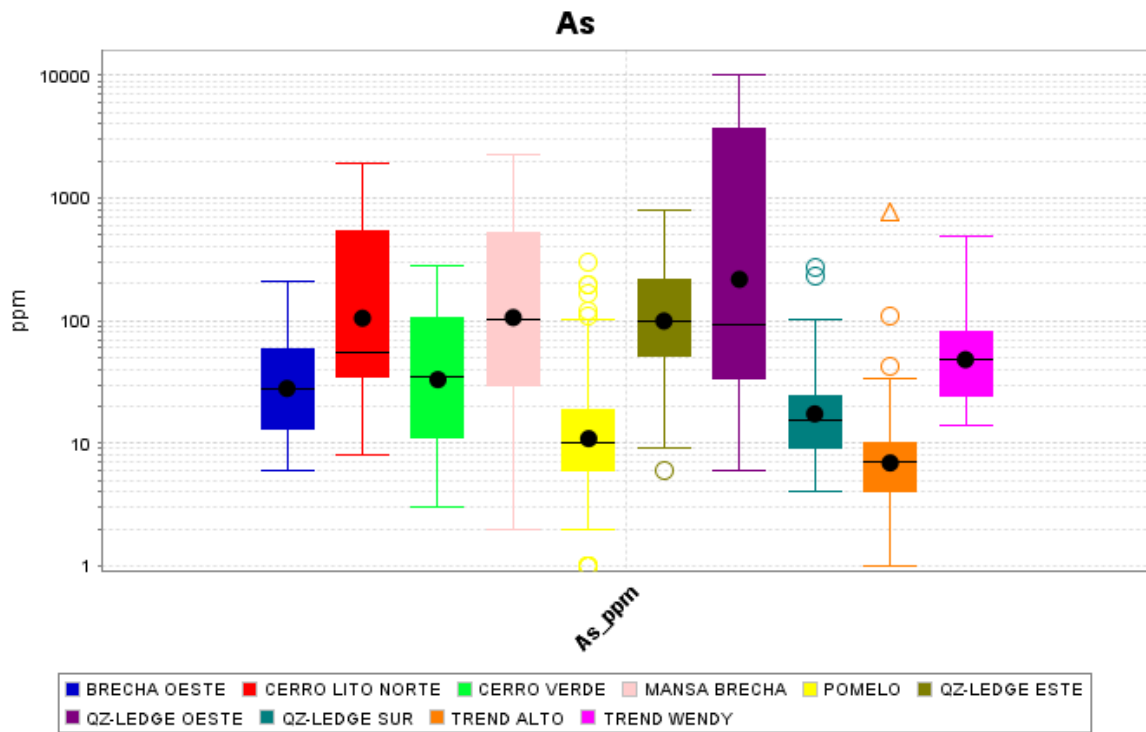


Figura 11 Diagrama de caja para el elemento As en muestras de roca, desagregado por sector.

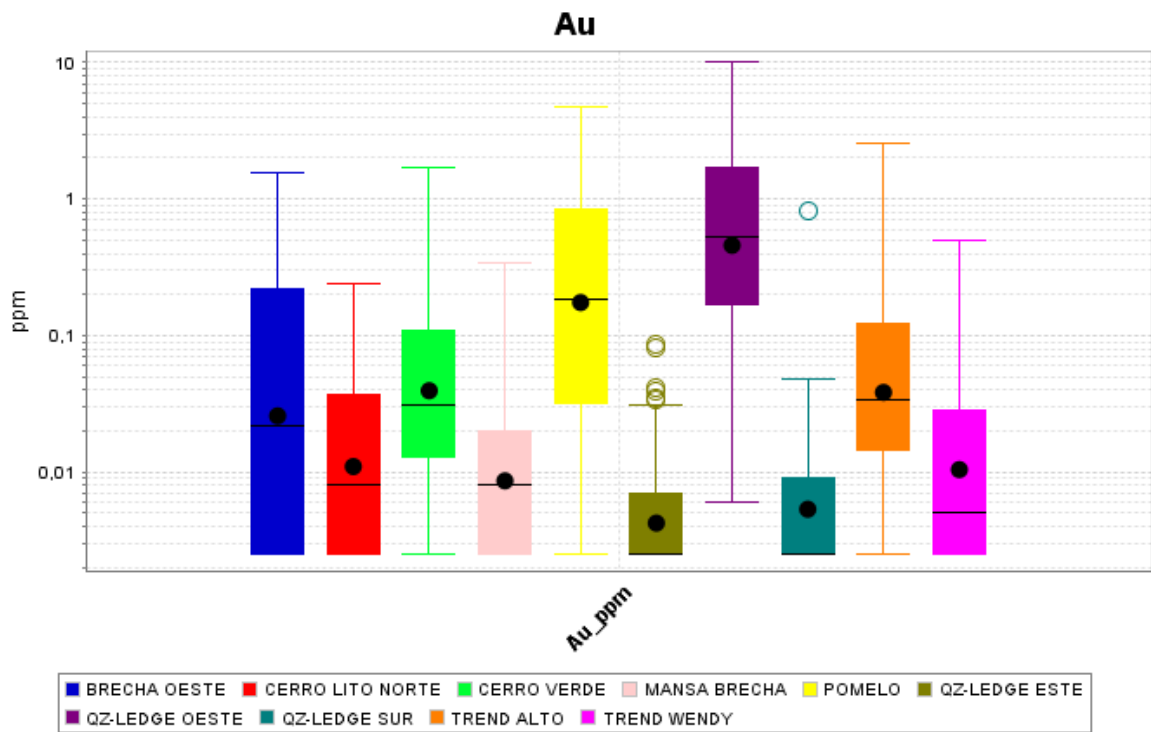


Figura 12 Diagrama de caja para el elemento Au en muestras de roca, desagregado por sector.

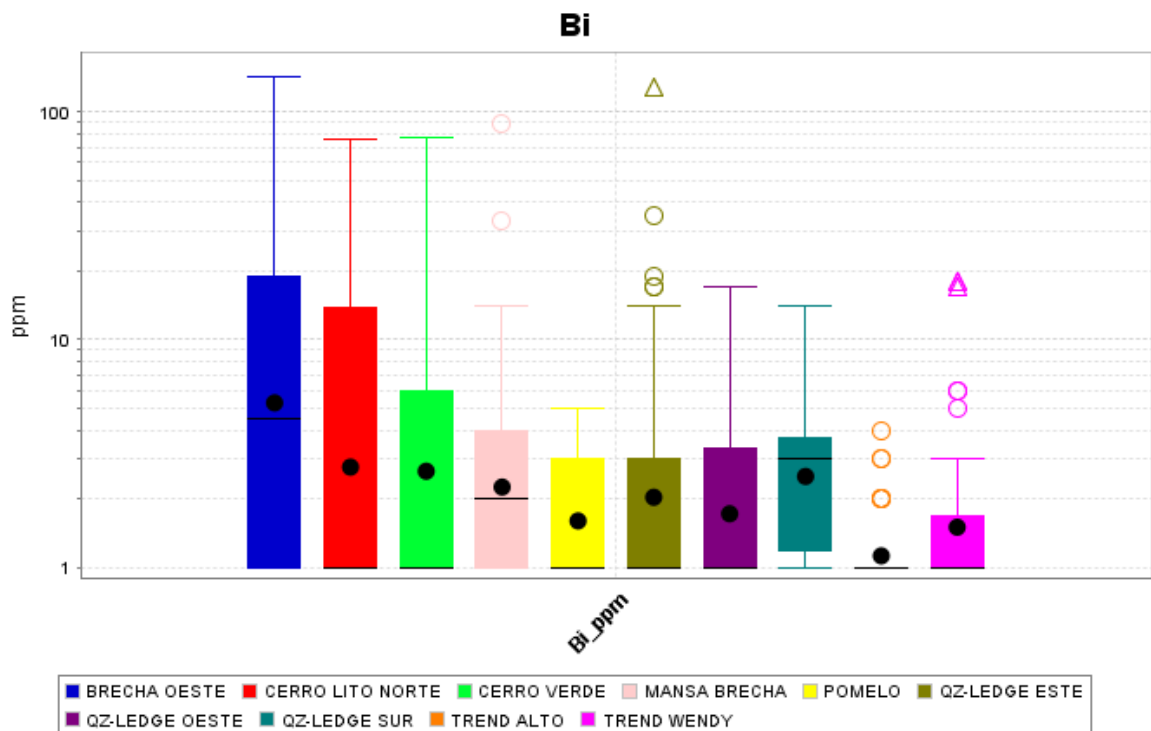


Figura 13 Diagrama de caja para el elemento Bi en muestras de roca, desagregado por sector.

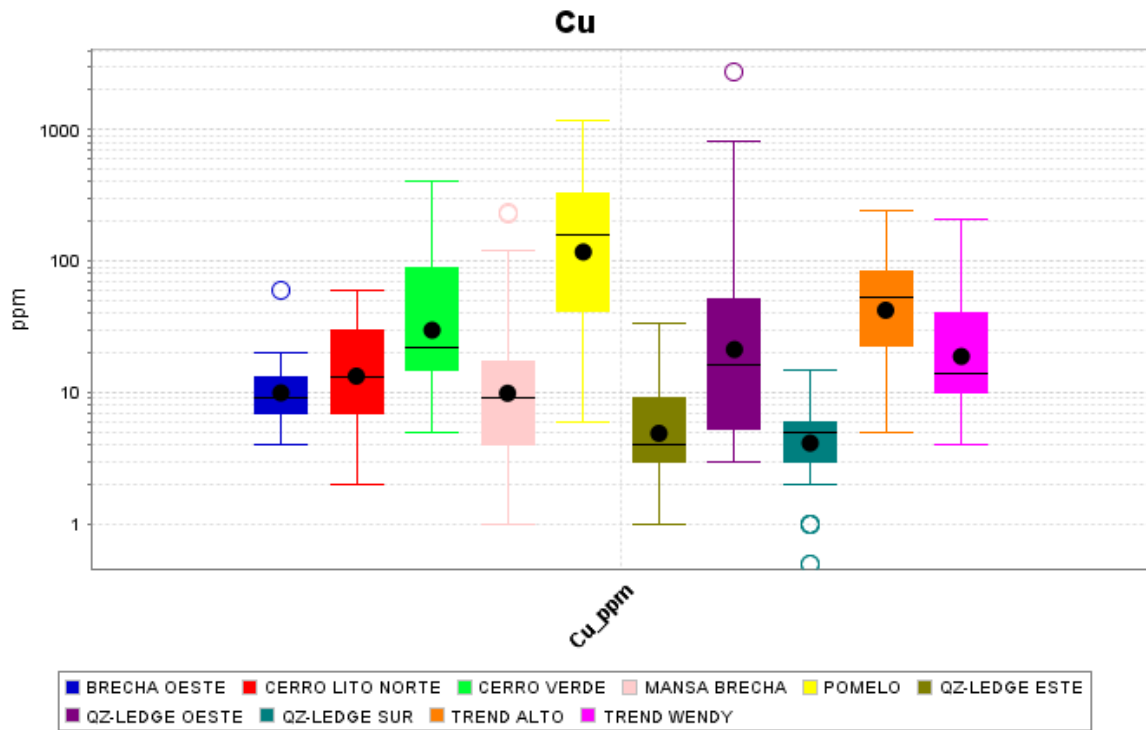


Figura 14 Diagrama de caja para el elemento Cu en muestras de roca, desagregado por sector.

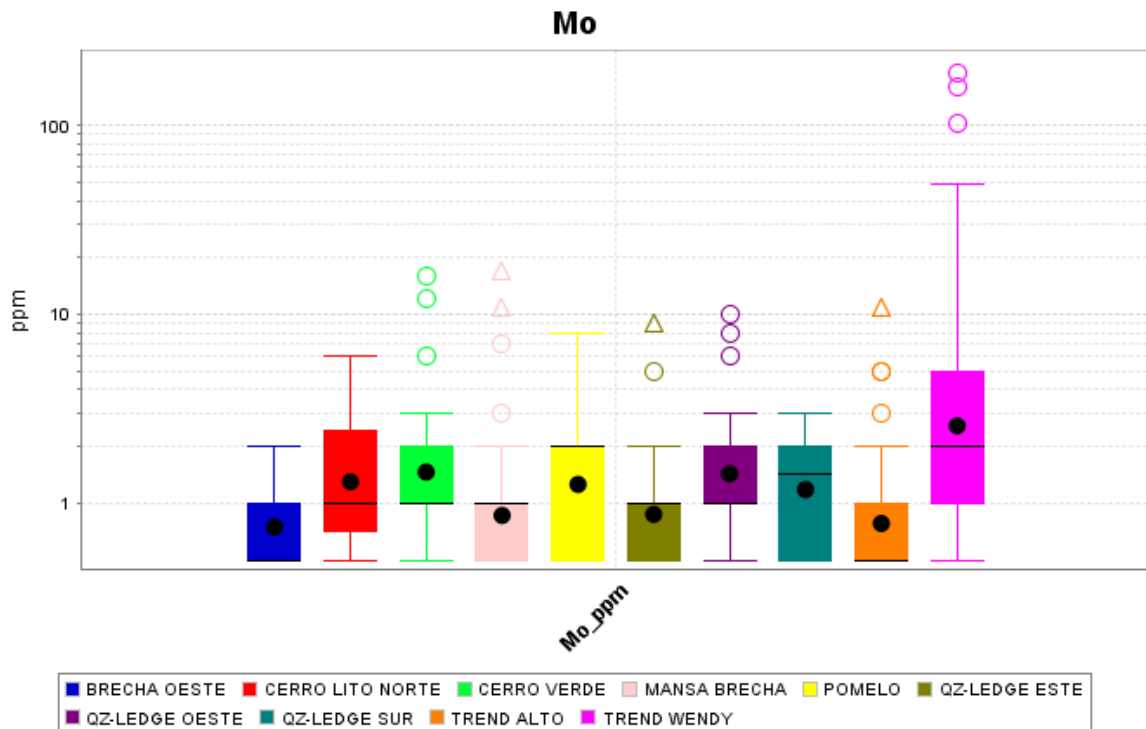


Figura 15 Diagrama de caja para el elemento Mo en muestras de roca, desagregado por sector.

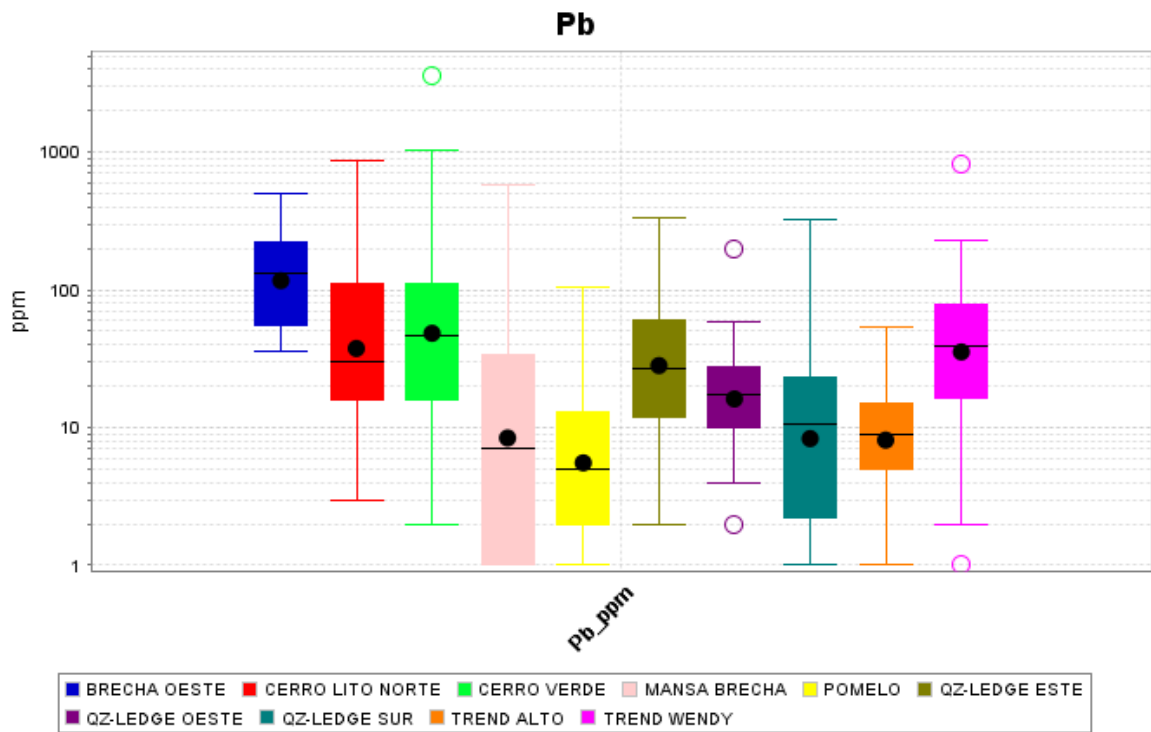


Figura 16 Diagrama de caja para el elemento Pb en muestras de roca, desagregado por sector.

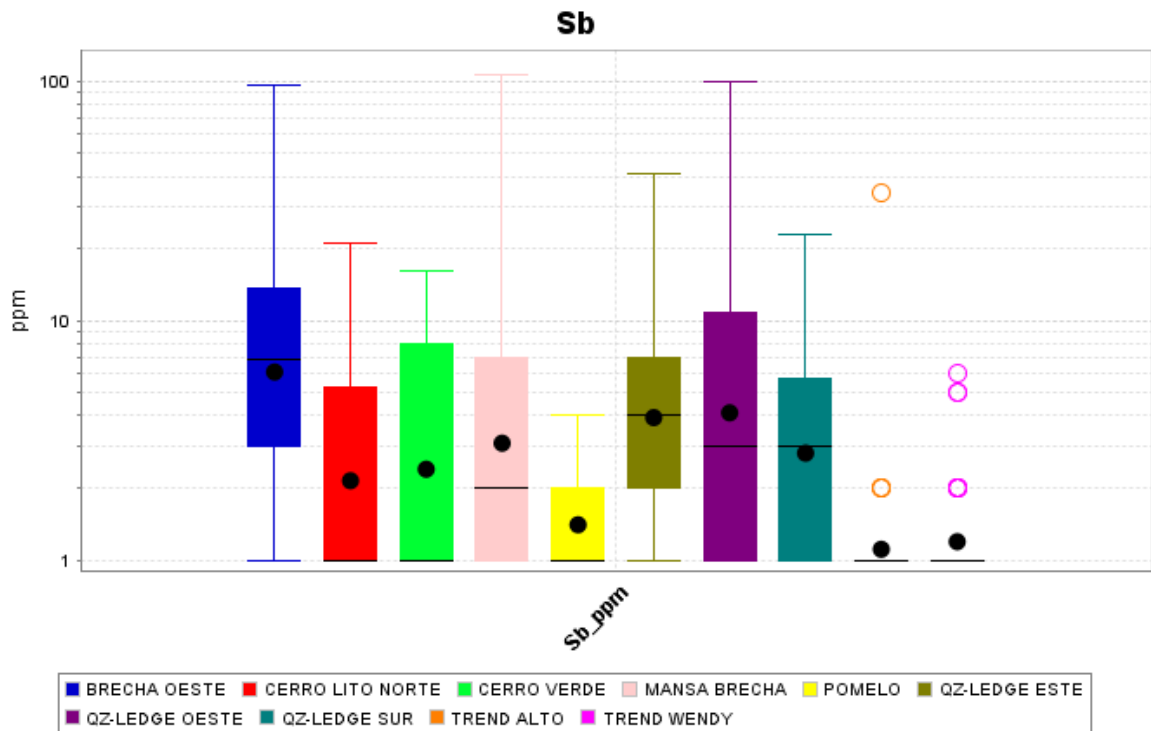


Figura 17 Diagrama de caja para el elemento Sb en muestras de roca, desagregado por sector.

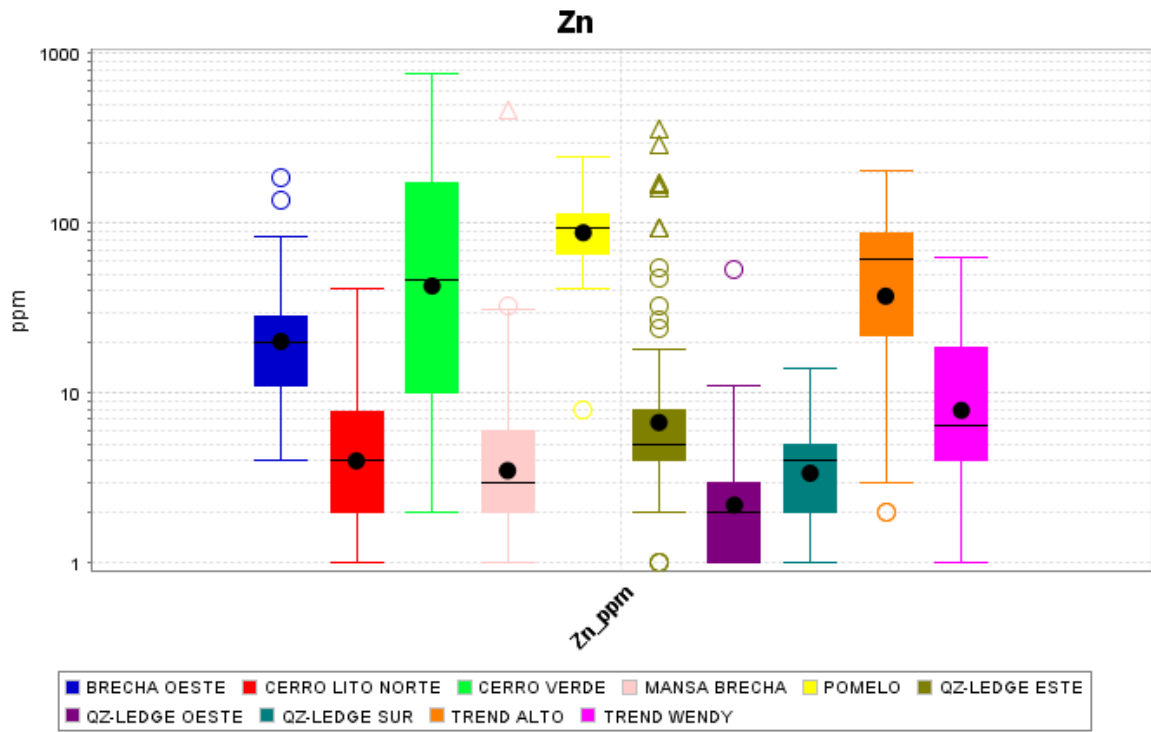


Figura 18 Diagrama de caja para el elemento Zn en muestras de roca, desagregado por sector.