



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

# **COMPARACIÓN GEOQUÍMICA DE LAS ZONAS DE ALTERACIÓN HIDROTERMAL EL PLOMO Y ORTIGA, DISTRITO LOS BRONCES, ANGLO AMERICAN CHILE.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

ARNOLD ADALBERTO SCHWARTINSKY ABAD.

PROFESOR GUÍA:  
VÍCTOR MAKSAEV JURCHUC.

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS  
KATJA DECKART

ESTE TRABAJO HA SIDO FINANCIADO POR ANGLO AMERICAN CHILE.

SANTIAGO DE CHILE  
2015

## Resumen

El Plomo y Ortiga se ubican al oeste del yacimiento Río Blanco-Los Bronces, el cual se ubica dentro de la franja Mioceno - Plioceno de pórfidos de Chile central entre las latitudes 33° y 35° S inmediatamente al sur de la zona de "flat-slab". El Plomo se ubica a 4 km del rajo abierto de Los Bronces y se ha distinguido biotita secundaria localizada, junto con raíces epitermales controladas estructuralmente, brechas hidrotermales de turmalina-cuarzo, junto con diferentes cuerpos porfídicos no mineralizados. Ortiga se encuentra ubicado 9 km al W de la mina Los Bronces y corresponde a un sistema epitermal de alta sulfuración como impronta de un sistema tipo pórfido Cu-Mo en profundidad. El presente trabajo tiene por objetivo una comparación geoquímica y, si es posible, genética de las zonas de alteración El Plomo y Ortiga y a la vez determinar un modelo conceptual del prospecto El Plomo. Consiste en el análisis de 548 muestras analizadas mediante ICP-MS, de las cuales 317 se tomaron en El Plomo y 231 en Ortiga.

En la zona de pueden apreciar rocas de la secuencia volcánica de La Formación Farellones (22 – 11 Ma) la cual sobreyace por una discordancia progresiva a la secuencias volcano-clásticas de la Formación Abanico (36 - 16,1 Ma) y diferentes cuerpos intrusivos Miocenos desde plutones de dimensiones batolíticas (Ej. Batolito San Francisco), hasta stocks relativamente pequeños dispersos en una faja norte-sur. Para la geoquímica se realizaron análisis univariable y multivariable mediante Análisis de componentes principales (ACP). En El Plomo el análisis univariable se desprende que los elementos Cu, S, As, Al, Fe, Mg, Ni, Sr, Li, Ca, Co presentan una tendencia NW a NNW sobre una zona de fallas NNW. La zona no presenta anomalías de Cu (<175 ppm), sin embargo, el Pb y Zn muestran anomalías importantes de hasta 224 ppm y 603 ppm. La relación Cu/[Pb+Zn] muestra una zonación de un centro enriquecido en Cu con un halo enriquecido en Pb-Zn. En Ortiga el ACP arrojó el componente As, Au, Sr, Mo, Te, Fe, Bi, Se, Tl, Sb, conjunto de elementos característicos de un sistema epitermal de alta sulfidización proximal a la fuente de los fluidos hidrotermales. Los elementos Mg, Al, Li, Zn, Co, Y, Ni, V, Mn, Sc, Ca, Ga, Ce, La, Cu presentan anomalías negativas en las zonas de argílico avanzado marcando claramente el límite con la zona argílica.

En Ortiga la asociación de alta sulfidización encontrada mediante ACP (As-Au-Sr-Mo-Te-Fe-Bi-Se-Tl-Sb) indica que existen 2 zonas proximales al origen de los fluidos hidrotermales. La distribución de los elementos de alta sulfuración inmóviles en condiciones ácidas en Ortiga como el As, Hg, As/Pb y de elementos móviles como Cu, Pb, Zn, Fe en conjunto con los estudios hechos con SWIR implican que una de estas dos zonas es la más proximal a la fuente de los fluidos hidrotermales, aumentando la probabilidad de la existencia de un sistema pórfido cuprífero en profundidad.

Tanto El Plomo como Ortiga presentan zonaciones típicas de un sistema hidrotermal tipo porfídico Cu-Cu/Mo y representan distintas partes en un pórfido.

## **Agradecimientos**

Deseo agradecer a mi profesor guía Dr. Víctor Maksaev por sus sugerencias y aportes en este trabajo, a los profesores que tuve durante estos 6 años de estudio por su disposición a enseñar.

A la empresa Anglo American por financiar esta memoria, don Jorge Zamorano, Jefe de Exploraciones de Los Bronces y Marcial Pablo, Geólogo de exploraciones de Los Bronces por el apoyo, sugerencias y por facilitar el personal de terreno y apoyo logístico.

A los ayudantes de terreno Mauricio, Marcos y Pedro por el apoyo en la campaña de muestreo en los alrededores de Los Bronces y a Víctor Carmona por facilitar los mapas y secciones de la zona.

Agradezco enormemente la municipalidad de Puente Alto por financiar mis 6 años de estudios.

A mis compañeros y amigos de Universidad por su apoyo y los valiosos momentos vividos.

Agradezco a mi madre y familia quienes me apoyaron incondicionalmente durante toda la carrera.

## TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción .....	1
1.1	Introducción .....	1
1.2	Objetivos .....	2
1.2.1	Objetivo general.....	2
1.2.2	Objetivos específicos .....	2
1.3	Ubicación zona de estudio .....	2
1.4	Historia de la propiedad y trabajos previos .....	3
1.5	Metodología .....	6
1.5.1	Etapa de gabinete I .....	6
1.5.2	Etapa de terreno I .....	6
1.5.3	Etapa de gabinete II .....	6
1.5.4	Etapa en terreno II.....	6
1.5.5	Etapa de gabinete IV .....	6
1.6.	Plan de trabajo .....	7
2.	Marco Geológico.....	8
2.1.	Estratigrafía.....	8
2.1.1.	Formación Abanico (Aguirre, 1960).....	8
2.1.2.	Formación Farellones (Klohn, 1960) .....	9
2.1.3.	Ambiente de acumulación de las formaciones Abanico y Farellones	9
2.1.4.	Depósitos Recientes .....	9
2.2.	Rocas Intrusivas.....	10
2.2.1.	Unidad Intrusiva I .....	10
2.2.2.	Unidad Intrusiva II.....	10
2.3.	Geología estructural .....	10
2.3.1.	Fallas norte - sur .....	11
2.3.2.	Fallas noroeste .....	11
2.3.3.	Fallas noreste.....	11
2.3.4.	Campos de Stress Regional .....	11
2.3.5.	Modelo Estructural RB – LB .....	12

2.4. Ambiente de Formación.....	16
3. Geología Local .....	19
3.1. Litología .....	19
3.1.1. Unidades estratificadas.....	19
3.1.1.1. Rocas Volcánicas Efusivas (RVE) .....	19
3.1.1.2. Rocas Piroclásticas (RPC) .....	19
3.1.1.3. Rocas Volcanoclásticas (RVC) .....	20
3.1.1.4. Depósitos no consolidados.....	20
3.1.1.5. Correlaciones.....	21
3.1.2. Unidades intrusivas.....	23
3.1.2.1. Unidad Intrusiva A (UIA) .....	24
3.1.2.2. Unidad Intrusiva B (UIB) .....	24
3.1.2.2.1. Sub-Unidad Pre-Alteración (SUPA) .....	24
3.1.2.2.2. Sub-Unidad Post-Alteración (SUPR).....	24
3.1.2.3. Correlaciones.....	25
3.2. Geología Estructural .....	26
3.2.1. Generalidades .....	26
3.2.2. Estructuras de primer orden.....	28
3.2.3. Estructuras de segundo orden .....	29
3.2.4. Estructuras de tercer orden.....	31
3.2.5. Interpretación geológica. ....	33
4. Geología económica: Alteración y mineralización .....	35
4.1. Alteración.....	35
4.1.1. Alteración Clorita - Magnetita .....	38
4.1.2. Alteración Sódico - Cálcica / Tardimagmática I .....	38
4.1.3. Alteración Sódico - Cálcica - Potásica / Tardimagmática II .....	39
4.1.4. Alteración Clorita - Epidota .....	40
4.1.5. Alteración Cuarzo - Sericita .....	41
4.1.6. Alteración Argílica Avanzada .....	42
4.1.7. Alteración Argílica Intermedia.....	44
4.2. Cuerpos de Brecha .....	46

4.2.1.	Brecha de Magnetita .....	46
4.2.2.	Brecha de Turmalina .....	47
4.3.	Zonación de la Alteración .....	48
4.4.	Paragénesis .....	49
5.	Procedimiento de terreno .....	52
5.1	Toma de muestras.....	52
5.2	Ubicación de muestras .....	53
6.	Aseguramiento y Control de Calidad (QA/QC) .....	56
6.1	Toma de muestras.....	56
6.2	Preparación de muestras .....	59
6.3	Análisis químico .....	59
7.	Geoquímica .....	62
7.1.	Geoquímica El Plomo .....	65
7.1.1.	Estadística univariable y análisis espacial.....	65
7.1.2.	Estadística multivariable: análisis de componentes principales.....	67
7.2.	Geoquímica Ortiga.....	71
7.2.1.	Estadística univariable y análisis espacial .....	71
7.2.2.	Estadística Multivariable: Análisis de componentes principales.....	76
8.	Discusiones .....	79
8.2.	Ortiga .....	83
8.3.	Comparación Plomo-Ortiga .....	89
9.	Conclusiones.....	90
10.	Recomendaciones y sugerencias.....	92
11.	Bibliografía .....	93
12.	ANEXOS .....	102
12.1.	Descripción de muestras .....	102
12.2.	Tablas y gráficos .....	106
12.3.	Mapas de distribución El Plomo .....	121
12.4.	Mapas de distribución Ortiga.....	128

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 7.1: Límites de detección muestras enviadas a SGS. ....	63
Tabla 7.2: Límites de detección muestras enviadas a ACME. ....	64
Tabla 7.3: Componentes Principales muestras El Plomo y porcentaje de la varianza. ...	70
Tabla 7.4: Componentes y varianza total explicada en Ortiga. Obtenido con software SPSS Statistics de IBM. ....	77
Tabla 11.1.1: Descripción de muestras El Plomo. ....	102
Tabla 11.2.1: Varianza con respecto al promedio en El Plomo, en rojo las muestras que no pasaron el filtro de 20 % de varianza con respecto al promedio. Obtenida con SPSS Statistics. Las diferencias en los dos métodos se debe a diferencias de magnitud notables entre los laboratorios (SGS y ACME) que dificultan el análisis. ....	108
Tabla 11.2.2: Varianza con respecto al promedio en Ortiga, en rojo las muestras que no pasaron el filtro de 20 % de varianza con respecto al promedio. Obtenida con SPSS Statistics. Las diferencias en los dos métodos se deben a diferencias de magnitud notables entre los laboratorios (SGS y ACME) que dificultan el análisis. ....	109
Tabla 11.2.3: Tabla de correlaciones elementos de El Plomo. Obtenida con SPSS Statistics. ....	110
Tabla 11.2.4: Tabla de correlaciones elementos Ortiga. Obtenida con SPSS Statistics. ....	111
Tabla 11.2.5: Varianza total explicada geoquímica El Plomo. Obtenida con SPSS Statistics. ....	112
Tabla 11.2.6: Componentes principales muestras El Plomo a 5 componentes extraídos. Obtenida con SPSS Statistics. En amarillo se destacan los elementos correspondientes a cada componente. ....	112
Tabla 11.2.7: Matriz de componentes principales para muestras de Ortiga a 11 componentes extraídos. Obtenida con SPSS Statistics de IBM. En amarillo se destacan los elementos correspondientes a cada componente hasta el componente 3. ....	113
Tabla 11.2.8: Histogramas de elementos de El Plomo. Obtenidos con SPSS Statistics. ....	114
Tabla 11.2.9: Histogramas de elementos en Ortiga. Obtenidos con SPSS Statistics. .	117

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Zona de estudio de El Plomo y Ortiga. En rojo se muestran las áreas donde se realizan las mallas geoquímicas. ....	3
Figura 2.1: Geología regional: (a) Contexto geotectónico global. (b) Mapa geológico de los Andes de Chile Central y Argentina. Se muestran las distintas unidades geomorfológicas y las principales fallas activas durante el Neógeno. (c) Sección geológica simplificada a la latitud de Santiago. El oroclino del Maipo delimita la faja corrida y plegada del Aconcagua (AFTB) y la de Malargue (MFTB). Las velocidades de movimiento absoluto de placas en (a) son de Gripe y Gordon (2002), mientras que las figuras (b) y (c) son basadas en los trabajos del Servicio Geológico Minero Argentino (1997), Servicio Nacional de Geología y Minería (2002), Giambiagi et al. (2003), y Fock et al. (2005). Tomado de Farías et al. (2008). ....	13
Figura 2.2: Orientación de las estructuras en superficie: izquierda: Imagen Landsat tomada de Frikken (2004), se muestran las distintas orientaciones de las estructuras. En amarillo se muestran los datos estructurales de Álvarez (1999). Derecha: Ubicación de falla San Francisco (FSF) y falla Río Blanco (FRB), imagen tomada de Skarmeta et al. (2000). ....	14
Figura 2.3: Ubicación de la Zona Volcánica Central (CVZ), el segmento de subducción plana y la Zona Volcánica Sur (SVZ). Las líneas continuas indican la profundidad actual (en km) del plano de Benioff (Cahill e Isacks, 1992). Las regiones en gris representan alturas sobre 3 km. Se muestra además la actual posición de la Dorsal Juan Fernández y las franjas metalíferas de Maricunga, El Indio y Pelambres – El Teniente. Modificada de Parada et al. (2007). ....	15
Figura 2.4: Modelo estructural para la intrusión del complejo ígneo Río Blanco (Modificado de Frikken, 2004). Izquierda: Inversión tectónica y fracturamiento de la zona comprendida entre FSF y FRB. Derecha: Erosión e intrusión del BSF en la zona fracturada previamente. ....	16
Figura 3.1: Mapa geológico de El Plomo (Zamorano, 2011). ....	22
Figura 3.2: Mapa geológico de Ortiga. Eggers, 2008. ....	23
Figura 3.3: Foto interpretación de la zona de estudio: en rojo se representan las fallas inversas NS y lineamientos NW de basamento, ambas son de primer orden. En azul se muestra el lineamiento NNW y la relación que poseen con la zona de alteración hidrotermal (elipses rojas), corresponden a estructuras de segundo orden por estar subordinadas a las fallas inversas NS. En amarillo se distinguen las fallas normales NE y la dirección que presentan los cuerpos individualmente, corresponden a las estructuras de tercer orden por encontrarse subordinadas a las estructuras NNW. ....	27
Figura 3.4: Fotos tomadas con orientación norte a) Falla inversa de rumbo NS, manteando al oeste, ubicada al norte del Cordón de Los Españoles. b) Falla inversa N20°E/30°NW, manteando al oeste, ubicada al NW del área de estudio, en la Qda. Del Arrayán. Tomada de Eggers, 2008. ....	28
Figura 3.5: Vetillas NS (magnetita - actinolita) con halo de albita. En rojo se muestra la posición de sigma 1. En verde se muestra la posición de sigma 3, que refleja la dirección de extensión del jog. Sigma 2 es perpendicular al plano. En azul se muestran los vectores de movimiento dextral NS. ....	29
Figura 3.6: Imagen satelital distrital que muestra las estructuras de 1er y 2do orden. En negro se muestran las fallas NS inversas, las flechas negras están sobre el bloque	



cabalgante. En rojo se destacan los lineamientos NW de primer orden. En amarillo se destacan los lineamientos NNW de segundo orden.....	30
Figura 3.7: Estructura NNW que controla el emplazamiento de los cuerpos silicificados. ....	31
Figura 3.8: Indicadores de movimiento en fallas: a) Estrías y escalones que evidencian movimiento normal en una falla EW / 65°S b) Falla N65°E / 75°NW con estrías y escalones de movimiento transcurrente dextral. c) Falla N75°E / 75°SE presentando escalón de movimiento transcurrente dextral. d) Falla N50°E / 36°SE con estrías y escalones que evidencian movimiento transcurrente dextral. ....	32
Figura 3.9: Dique andesítico EW / 90° emplazado sintectónicamente a través de una falla con movimiento sinistral. ....	33
Figura 4.1: Panorámicas de las zonas de estudio: a) foto tomada hacia el norte en la quebrada de Riecillos, b) foto tomada hacia el WSW desde el Cordón de El Plomo (Eggers, 2008), se observan las anomalías de color de las zonas de estudio. ....	35
Figura 4.2: Mapa de alteración de Ortiga. En Rojo se destacan las celdas de alteración hidrotermal. ....	36
Figura 4.3: Mapa geológico de El Plomo con alteración y estructuras. ....	37
Figura 4.4: Vetillas: a) Vetillas de Actinolita (Act) de 8 mm de espesor y forma sinuosa. Tiene halo de alteración de Albita (Alb) b) Anfíboles reemplazados por Clorita (Chl), vetilla de Pirita (Py) con bordes de Chl. ....	38
Figura 4.5: Fotomicrografías tomadas con objetivo de 10X de alteración sódico-cálcica. a) Muestra 35759, se observan vetillas con epidota. b) Muestra 35537, epidota sobre plagioclasas.....	39
Figura 4.6: Fotomicrografías de la muestra 35778, nicoles cruzados. Se observa biotita secundaria alterando a anfíboles. Se observan además minerales opacos que corresponde a magnetita. a) Objetivo de 10X. b) Objetivo 50X.....	40
Figura 4.7: a) Afloramiento secuencia volcánica andesítica con desarrollo de alteración clorita – epidota. b) Brecha volcánica andesítica con alteración clorita – epidota. ....	40
Figura 4.8: Fotomicrografía muestra 35596, nicoles cruzados, objetivo 10X. Se observa la asociación clorita – epidota – calcita en una lava andesítica.....	41
Figura 4.9: Fotografía de la celda 3. Se observa la magnitud de la alteración argílica avanzada. Se distingue además una zona lixiviada rica en hematita (coloración roja). .	42
Figura 4.10: a) Veta N80°E / 90° de Alunita (Al) cristalina. b) Vetilla de Hematita (Hem) con sutura central de Al. Además se observan vetillas de Al cortando a la vetilla anterior. Se postula para la vetilla de Hem – Al, que ésta era originalmente una vetilla de Magnetita la cual se oxido a Hematita y finalmente la Alunita utilizó la estructura previa. ....	43
Figura 4.11: a) Cuerpo de sílice masiva (Silica cap) desarrollada en una zona de alteración argílica avanzada (AA). b) Vetilla de yeso cristalino (hipógeno) desarrollada en AA. ....	44
Figura 4.12: Ejemplos de textura de brechas freáticas, se observa una silicificación intensa.....	44
Figura 4.13: Alteración argílica controlada por estructuras NE. ....	45
Figura 4.14: a) Vista general de una zona con alteración Argílica, al fondo se observa alteración Argílico Avanzada. Al centro se observa un pórfido andesítico post-alteración. b) Mayor detalle del rectángulo en rojo, donde se muestra la mayor pervasividad de la alteración argílico intermedia en tobas. ....	46

Figura 4.15: a) y b) Brechas con matriz de Magnetita y cantidades subordinadas de Turmalina. ....	47
Figura 4.16: Brecha con matriz de Turmalina, los clastos intrusivos presentan alteración cuarzo – sericita y presenta oquedades producto de la silicificación. ....	47
Figura 4.17: Distribución esquemática de asociaciones minerales observadas en terreno .....	48
Figura 4.18: Modificado de Sillitoe (1993). Relaciones de tiempo – profundidad de los tipos de alteración hidrotermal en sistemas de pórfidos cupríferos. ....	50
Figura 4.19: Modificado de Corbett y Leach, 1998. Generación de los distintos tipos de alteración según la evolución de temperatura y pH de los fluidos. Se desarrollan de manera sincrónica. La flecha verde muestra la evolución de los fluidos para las alteraciones tardimagmáticas de acuerdo a la disminución de la temperatura desde la alteración sódica – cálcica + potásica a la propilítica. La flecha amarilla indica la evolución de los fluidos a media que se enfrían y aumentan su acidez, desarrollando alteración argílica avanzada en los niveles apicales del sistema. ....	51
Figura 5.1: Detalle de muestras tomadas en El Plomo durante las campañas del 2011 y 2012. ....	54
Figura 5.2: Detalle de muestras tomadas en Ortiga en campañas 2008 y 2012. ....	55
Figura 6.1: Gráficos de dispersión para duplicados de terreno. En el eje X se muestra la muestra original y en el eje Y el duplicado. La unidad de medición está señalada en el título de gráfico. ....	57
Figura 6.2: Continuación Figura 6.1. ....	58
Figura 6.3: Gráficos muestran la concentración de los blancos insertados. Cada barra representa una muestra blanco analizada por el laboratorio. Línea roja muestra valor máximo aceptable. Gráficos obtenidos con Acquire. ....	60
Figura 6.4: Continuación Figura 6.3 .....	61
Figura 6.5: Gráfico muestra la concentración de cada estándar analizado. Líneas rojas muestran límites inferior y superior aceptables. Obtenido con Acquire. ....	61
Figura 7.1: Distribución de los elementos más relevantes en El Plomo. Círculos grandes representan las mayores concentraciones. ....	68
Figura 7.2: Distribución de los elementos más importantes en Ortiga. El tamaño de los círculos representa la concentración. ....	73
Figura 7.3: Distribución de elementos en un litocap de acuerdo al origen de los fluidos hidrotermales. Tomado de Cooke et al., 2006. ....	78
Figura 8.1: Distribución geoquímica del azufre, se observa la clara tendencia NW a NNW. ....	80
Figura 8.2: Mapa muestra razón Cu/ (Pb+Zn) y las zonaciones producidas. Círculos mayores indican que hay mayor cantidad de cobre con respecto al plomo y cinc. Se muestran las 3 zonas de interés. ....	82
<b>Figura 8.3:</b> Razón As/Zn presenta valores crecientes hacia las zonas con alteración argílico avanzado. ....	86
Figura 8.4: distribución de Cu, Fe, Pb, Zn. Se observa que las mayores concentraciones de estos elementos se dan en la celda 1 (norte). Se observa además que el Zn presenta valores decrecientes hacia el lothocap. ....	88
Figura 11.2.1: Gráficos de dispersión para duplicados "gruesos" de preparación. En la ordenada se muestran los duplicados y en la abscisa la muestra original. Gráficos obtenidos con Acquire. ....	106

Figura 11.2.2: Gráficos de dispersión para duplicados "finos" de preparación. En la ordenada se muestran los duplicados y en la abscisa la muestra original. Gráficos obtenidos con Acquire.....	107
Figura 11.3.1: Distribución de elementos con respecto a la alteración y litología en El Plomo.....	121
Figura 11.4.1: distribución de elementos con respecto a la alteración en Ortiga. ....	128

# 1. Introducción

## 1.1 Introducción

Los depósitos de tipo pórfido de cobre y molibdeno son uno de los sistemas hidrotermales más estudiados y uno de los mejor entendidos sobre todo por constituir enormes volúmenes de minerales de relevancia económica. Estos pueden albergar enormes cantidades sulfuros de cobre-hierro y hierro diseminados, en vetillas, vetas, stockwork y brechas. Su exploración en un principio se restringió solo a depósitos expuestos poco profundos, donde se analizaban anomalías de color producidas por la alteración hidrotermal y supérgena, pero con el tiempo se han ido agotando los pórfidos que afloran en superficie, teniendo que comenzar a explorar depósitos bajo cobertura, los cuales a menudo se encuentran a mayor profundidad y su exploración es más costosa. Sin embargo, la exploración de estos depósitos cubiertos ha tenido importantes resultados (Ej.: Spence, Toki, Cadia Este, Pebble Este, Hugo Dummett, entre otros). Es aquí donde la geoquímica juega un rol importante como herramienta en exploración minera de primer orden.

La alteración hidrotermal, producto de la interacción de la roca de caja con fluidos hidrotermales, meteóricos y la combinación de estos, está acompañada de intercambios catiónicos (fluido-roca) y cambios en la condiciones de presión, temperatura, pH, fO<sub>2</sub>, fS, etc. que cambian la estabilidad de los minerales primarios, generando nuevos minerales y asociaciones minerales estables a esas condiciones. Estas asociaciones minerales son características de cada tipo de alteración, así que poder identificarlas es clave para establecer patrones de zonación y determinar direcciones de exploración. El reconocimiento de patrones de zonación de elementos, dentro y fuera de los pórfidos (Jerome, 1966; Chaffee, 1976; Jones, 1992), ha guiado en el descubrimiento de varios sistemas porfídicos. Se ha encontrado que los elementos como el Co, Cu, S, Se, Mn, Ti, Rb, Zn, Be y Li pueden ser útiles para determinar direcciones de exploración para localizar depósitos cubiertos (Chafee, 1976). Estudios posteriores han identificado, además, que algunos pórfidos de Cu/Cu-Mo presentan una zonación pasando de un centro rico en Cu/Cu-Mo a una zona rica en Pb-Zn a un halo más distal compuesto por Au-Ag/Au-As-Sb (Babcock et al., 1995; Lang y Eastoe, 1988; Sillitoe, 2010; Kouzmanov y Pokrovski, 2012).

El Plomo y Ortiga se ubican al oeste del yacimiento Rio Blanco-Los Bronces. En El Plomo se ha distinguido biotita secundaria localizada, junto con raíces epitermales controladas estructuralmente, brechas hidrotermales de turmalina-cuarzo, junto con diferentes cuerpos porfídicos no mineralizados. Las edades (<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar) obtenidas para la alteración hidrotermal en biotita secundaria y en sericita son de 10,1 ± 0.1 y 10,6 ± 0.2 Ma respectivamente (Deckart et al., 2014).

El término "raíces epitermales" lo definiremos a las zonas que presentan alteración hidrotermal argílico y argílico avanzada controlada estructuralmente por fallas. La

alteración de estas zonas es acotada espacialmente dado que corresponderían a los conductos en profundidad de un sistema epitermal.

Ortiga se encuentra ubicado 9 km al W de la mina Los Bronces y corresponde a una zona de alteración de carácter epitermal de alta sulfuración como impronta de un sistema tipo pórfido Cu-Mo en profundidad según Eggers (2008). Se habría generado en un graben tectónico en compresión, delimitado por fallas inversas de rumbo NS. La edad  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  obtenida para la alteración argílica avanzada fue de 12,3 +/- 0,1 Ma, se encuentra fuera del ciclo magmático - hidrotermal productivo del distrito (8.2 - 4.5 Ma, Toro y Sprohne, 2007; 7,5- 4,5 Ma, Toro et al., 2009; 6,3 - 4,4 Ma, Deckart et al., 2013; 8,4 - 4,5 Ma, Deckart et al., 2014) y de la Mina Rio Blanco - Los Bronces (6,3 – 4,3 Ma; Deckart et al., 2005). Lo que, en principio, disminuye su potencial como sistema de mineralización económica de Cu-Mo (Eggers, 2008).

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

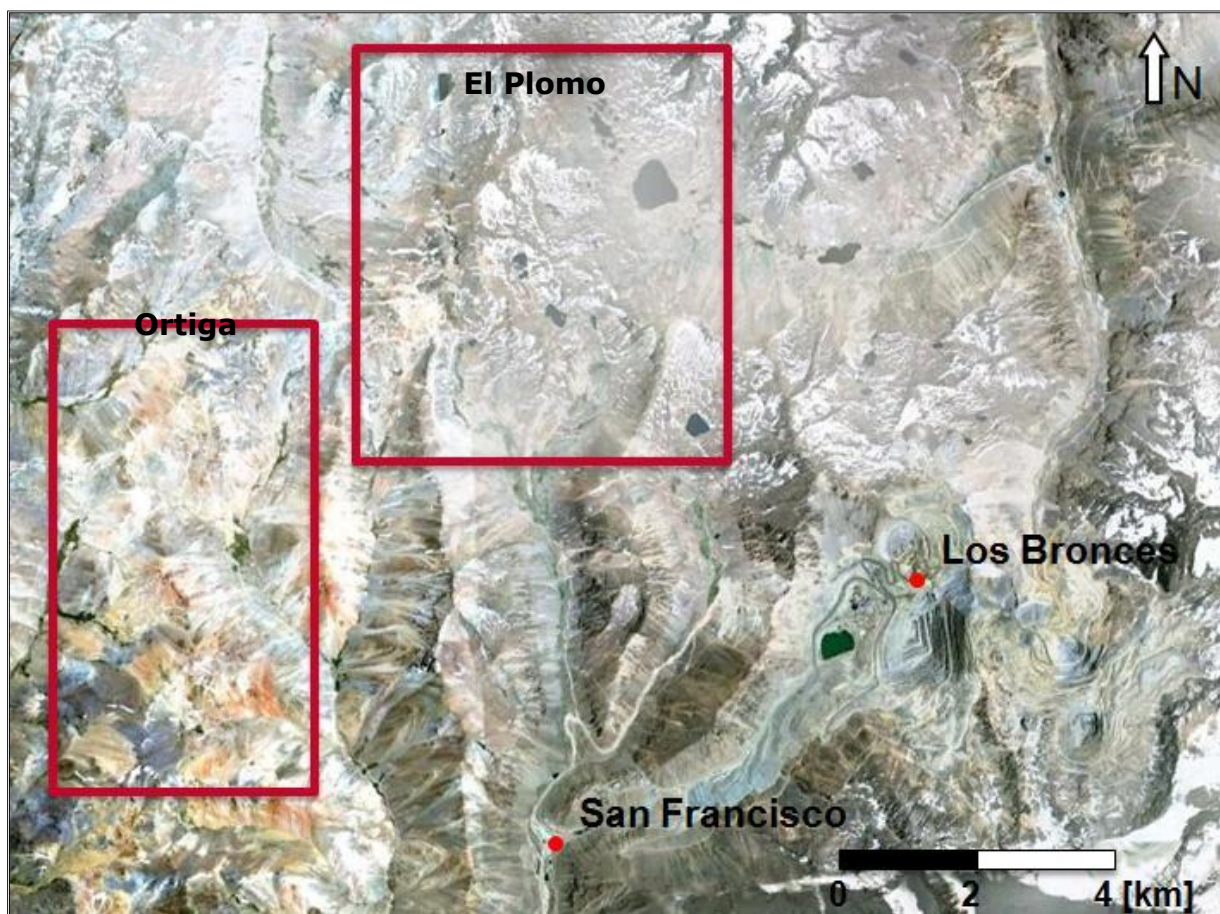
Realizar una comparación geoquímica de las zonas de alteración hidrotermal El Plomo y Ortiga y, en lo posible, establecer una zonación de elementos que permita visualizar posibles vectores de exploración geológica en las áreas de El Plomo y Ortiga.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Analizar la geoquímica y relacionar la distribución de elementos guías con litología, alteración, mineralización, estructuras y asociaciones minerales.
2. Determinar el comportamiento geoquímico y asociaciones de elementos guías para la exploración de pórfidos cupríferos en el área de estudio.
3. Determinar diferencias y similitudes en términos de movilidad de elementos entre El Plomo y Ortiga.
4. Determinar si es que existe una relación espacial y/o temporal y/o estructural entre los dos sistemas de alteración.

## **1.3 Ubicación zona de estudio**

El Plomo se encuentra ubicado 5 km al NW de la mina Los Bronces, Para acceder a la zona de estudio se toma camino a Farellones hasta el kilómetro 15, luego se toma el camino que va a la mina Los Bronces, una vez pasado localidad de San Francisco se accede por camino a la zona de Riecillos hasta llegar a El Plomo. Ortiga se encuentra ubicado a 9 km al W de la mina y para acceder a la zona se tiene que cruzar por el túnel Ortiga que esta antes de llegar a la localidad de San Francisco (Figura 1.1).



**Figura 1.1:** Zona de estudio de El Plomo y Ortiga. En rojo se muestran las áreas donde se realizan las mallas geoquímicas.

#### 1.4 Historia de la propiedad y trabajos previos

Los Bronces se comenzó a explotar como mina desde 1862, cuando se descubrió con el nombre de "mineral Los Bronces", siendo explotada por grupos de pirquineros que extraían mineral de los sistemas de vetas que afloran en la zona. En el año 1916 Compañía Minera Disputada de las Condes comenzó con la explotación industrial del yacimiento. Posteriormente Minera y Metalurgia Peñarroya adquirió la compañía en 1952, la cual sería comprada luego por la Empresa Nacional de Minería (ENAMI) en 1972. En 1978 Exxon adquirió la mayoría de las acciones de la empresa. Al año siguiente se construyó la nueva planta concentradora San Francisco con una capacidad de producción de 4.800 toneladas diarias. Finalmente en el año 2002 Anglo American adquirió Disputada de las Condes, pasando a formar parte de sus operaciones y dando inicio al Proyecto Desarrollo Los Bronces, el que permitirá aumentar su producción a un promedio de 400.000 toneladas de cobre fino al año a contar del 2011.

En el área de Ortiga se han hecho múltiples estudios:

- En un principio ha sido explorado por oro (Barassi, 1985), donde se realizó un mapeo geológico a escala 1:10.000 en un área de 2x3 km. Además se realizaron

estudios de inclusiones fluidas y geoquímica no detectando valores anómalos de oro descartando futuros trabajos en la zona.

- Luego en 1995 Alfaro Minería y Exploraciones Ltda. realizaron una evaluación económica del área por oro mediante geoquímica y petrografía concluyendo que el prospecto Ortiga corresponde a un desarrollo hidrotermal abortado cuyas características de alteración-mineralización fueron poco persistentes en el tiempo. No recomendaron trabajos geológicos adicionales en el área.
- Sillitoe (1995) realizó una visita al sector este del Prospecto Ortiga y confirmó la presencia de un sistema de alteración tipo lithocap en rocas volcánicas andesíticas asociado a pórfidos cupríferos. Reconoció el desarrollo de una amplia zona de alteración de cuarzo-alunita y supone la presencia de pirofilita-sericita-dickita. Sillitoe concluye que en Ortiga no se desarrolló mineralización económica de Au y Cu de alta sulfidación, debido a que los resultados geoquímicos anteriores (Alfaro, 1995) no revelaron valores anómalos para Au y As. No justifica futuros trabajos en la zona. Sin embargo, reconoció el potencial prospectivo para un sistema tipo pórfido en profundidad.
- A partir de octubre de 1999 se realizó un proyecto de Joint-Venture entre BHP y Disputada. La evaluación de BHP definió un sistema porfídico sulfurado, aflorando en 2,5 a 3 km<sup>2</sup>, desarrollado dentro y alrededor de apófisis granodioríticas multifásicas, ubicado en el margen oeste del Batolito San Francisco de edad Miocena. Por medio de geoquímica de suelo se determinaron anomalías de Cu (100 ppm a 330 ppm) y Mo (11 ppm a 101 ppm). El modelo conceptual generado a partir de la alteración y los datos geoquímicos de suelo correspondió al de un pórfido de cobre con el nivel de erosión en el halo filico-pirítico, estimando que el cuerpo de mena estaría a unos pocos cientos de metros bajo la zona de alteración. En base a esta hipótesis desarrollaron un programa de sondajes poco profundos, totalizando 1200 m. El más profundo llegó a los 372 m. No obtuvieron interceptos económicos. A partir de este programa de exploración concluyeron que los mayores valores de Cu ocurrieron en una zona de débil enriquecimiento de covelina de 40 m a 60 m de potencia; los cuerpos de brecha cuarzo-turmalina cortados en profundidad no desarrollan mayor mineralización que en superficie; el target puede ser la porción superior de un sistema porfídico productivo de cobre, pero de ser así pareciera estar cortado por un plutón estéril de granodiorita; las posibilidades se restringen a mineralización hipógena de menor tonelaje hacia el norte; un segundo centro de mineralización – anomalía geoquímica (100 - 258 ppm Cu) se encuentra entre 4 a 6 km al sur del área sondeada, donde fueron identificados cuerpos de brecha cuarzo-turmalina dentro de una zona de cuarzo-sericita.
- Tomas Eggers (2008) realizó un mapeo geológico 1:10.000 en la zona, más un muestreo geoquímico en los lithocap y estudio de inclusiones fluidas definiendo 5

celdas de alteración argílica avanzada (lithocap) con un control estructural NE que corresponden a un sistema epitermal de alta sulfidación, estimando además, que el telescopio alcanzó valores de 1 a 2 km, relacionándolo a uno o varios eventos de colapso volcánico producto de la actividad hidrotermal y los procesos de erosión y alzamiento. Se postuló mediante litogeoquímica que el sistema de alteración corresponde a la impronta de un sistema porfídico (Cu-Mo) en profundidad. Finalmente estudios geocronológicos permitieron determinar una edad para la alteración argílica avanzada de  $12,3 \pm 0,1$  Ma, lo cual disminuiría su potencial económico, dado que se encontraría fuera del ciclo magmático-hidrotermal del distrito.

- Marcial Pablo (2011) realizó una malla geoquímica en la celda 1 definida por Eggers y análisis espectrales (SWIR) donde se comprobaron las conclusiones hechas por Eggers (2008) aunque no se encuentran asociaciones geoquímicas directas que indiquen un sistema tipo pórfido cuprífero, pero si permiten delimitar el centro de la Celda 1 con valores anómalos de elementos inmóviles y deprimidos valores de elementos inmóviles. Lo anterior sumado a los valores de absorción de alunita (PIMA, SWIR), vectorizan al centro del área sin embargo son solo indicadores de temperatura y no fertilidad. Finalmente se sugieren estudios Geofísicos y de sondajes para cruzar el lithocap para determinar la existencia de un pórfido Cu-Mo en profundidad

En el sector de El Plomo se cuenta con pocos estudios:

- En el año 2007 el grupo de Cristian Sprohnlé realizó un mapeo de la zona este de El Plomo entre las quebradas de Riecillos y Dolores, determinando diferentes cuerpos intrusivos y pórfidos pero sin resultados concluyentes. En esta misma campaña se realizaron dataciones (Deckert et al., 2014) en biotita secundaria ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ), sericita ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ) y en zircones (U/Pb) para determinar la edad de la alteración y el emplazamiento de los cuerpos porfídicos, obteniéndose edades entre 10,9 a 10,7 Ma para el emplazamiento, entre 10,8 y 9,9 Ma para la alteración hidrotermal situándolo fuera del ciclo magmático-hidrotermal del distrito.
- Marcial Pablo y Arnold Schwartinsky (2011) realizaron una campaña geoquímica en El Plomo con el fin de determinar patrones en superficie que permitan determinar vectores de exploración en El Plomo. Se encontraron algunos lineamientos NW-SE en la zona relacionado a estructuras en superficie junto con asociaciones de elementos como Pb-Mn-Zn y anomalías de Zn-Pb, pero sin una relación clara con respecto al cobre. Se propuso extender la malla geoquímica al SE junto con un mapeo geológico a escala 1:5.000.
- En el mismo año Jorge Zamorano realizó un mapeo geológico a escala 1:5.000 del área encontrando algunos cuerpos de brechas hidrotermales de turmalina-



cuarzo con alteración cuarzo-sericita y unos cuerpos con alteración argílica y albitización en la parte NE,

## **1.5 Metodología**

### **1.5.1 Etapa de gabinete I**

Esta etapa se realizó durante la práctica profesional II en el mes de Febrero del 2011. Consistió en determinar la zona de interés mediante imágenes satelitales con "Google Earth" y observaciones en terreno en El Plomo. Se estableció la malla de muestreo cada 200 m y se definió el protocolo de muestreo para rocas y suelo (5.- Procedimientos), posteriormente se preparó la campaña de terreno.

### **1.5.2 Etapa de terreno I**

Se desarrolló durante el mes de febrero del 2011 y consistió en la toma de 166 muestras para análisis químico multi-elemento por ICP-MS (141 muestras de roca y 25 muestras de suelo) en el sector de El Plomo. En la Figura 5.1 se muestra el detalle de las muestras tomadas durante las campañas de terreno del 2011 y 2012 en El Plomo.

### **1.5.3 Etapa de gabinete II**

Se realizó un informe post práctica profesional sobre los resultados obtenidos en El Plomo. Se extendió la malla de muestreo hacia el SE en El Plomo.

Luego se recopiló toda la información posible de la zona de estudio en publicaciones, informes, memorias y mapas geológicos. Se facilitan los resultados del muestreo geoquímico realizado anteriormente en Ortiga en el 2011 (140 muestras, ver sección 5).

Posteriormente se desarrolló la logística para las dos campañas de terreno en El Plomo y Ortiga y se establece la malla de muestreo junto con los protocolos de muestreo geoquímico de rocas y suelo.

### **1.5.4 Etapa en terreno II**

El trabajo en terreno se realizó durante Enero y Febrero del 2012 con una duración de tres semanas, durante las cuales se realizó el muestreo geoquímico en El Plomo y Ortiga. En total se tomaron 242 muestras para análisis químico multi-elementos por ICP-MS (151 muestras en El Plomo y 91 muestras en Ortiga, ver sección 5).

### **1.5.5 Etapa de gabinete IV**

Una vez obtenido los resultados, se procedió con el control de calidad (QA/QC) y se utilizaron herramientas de geo-estadística, como estadística univariable, multivariable y

análisis de componentes principales, combinados con datos geológicos de litología, alteración y estructuras para determinar el comportamiento geoquímico, zonaciones de elementos y anomalías de contraste en el sector de El Plomo y Ortiga. Finalmente, se realizaron comparaciones geoquímicas.

## **1.6. Plan de trabajo**

Se planificó una salida a terreno de 2 semanas, para lo cual fue necesaria una semana previa de trabajo de gabinete para determinar zonas de interés, malla de muestreo y protocolo de muestreo. Por razones meteorológicas no se pudo realizar en invierno producto que la zona se encuentra cubierta de nieve. Una semana posterior al terreno para organizar y ordenar las muestras para análisis químico. Luego de enviar las muestras, se trabajó en la recopilación de datos para la confección de los mapas geológicos y de alteración, para luego redactar la parte inicial del informe, mientras se esperaban los resultados de los análisis químicos. Llegados los resultados de los análisis, se procedió a procesar e integrar los datos de acuerdo a los conocimientos de geo-estadística, se realizaron análisis discusiones y conclusiones.

## **2. Marco Geológico**

EL yacimiento Rio Blanco - Los Bronces pertenece a la franja mineralizada del Mioceno superior - Plioceno ubicada en la Cordillera Principal de Chile central entre las latitudes 32° y 35°S (Sillitoe y Perelló, 2005), sobre la actual zona de transición entre el segmento de subducción horizontal “flat slab”, (Figura 2.1) de los Andes chileno-argentinos y la zona con subducción normal de los Andes del sur (Pardo et al., 2002).

En La zona de estudio afloran rocas volcánicas de edad Miocena correspondientes a las formaciones Abanico y Farellones. La Formación Farellones corresponde a una secuencia volcánica presenta una potencia de 2500 m y está compuesta principalmente por basaltos (lavas y sills), andesitas, dacitas con intercalaciones tobáceas y riolitas que en su conjunto representan un cordón de 20 Km. de ancho (Klohn, 1960, Thiele, 1980; Rivano et al., 1990). Sobreyace a la Formación Abanico (Aguirre, 1960), la cual consiste en una secuencia volcano-sedimentaria con andesitas y rocas sedimentarias continentales de edad Eoceno medio – superior – Mioceno medio.

### **2.1. Estratigrafía**

#### **2.1.1. Formación Abanico (Aguirre, 1960)**

Unidad litoestratigráfica constituida por lavas básicas a intermedias, rocas piroclásticas ácidas, e intercalaciones sedimentarias continentales (fluviales, aluviales y lacustres), formando lentes de hasta 500 m de espesor (Charrier et al., 2002; Nyström et al., 2003). Se encuentra deformada y afectada por metamorfismo de muy bajo grado (Aguirre, 1960; Thiele, 1980; Levi et al., 1989). Esta Formación se encuentra afectada por numerosas intrusiones de filones manto y lacolitos andesíticos los que aumentan su espesor, sin embargo el espesor del conjunto se ha estimado aproximadamente en 3000m. A escala regional, las rocas de la Formación Abanico se disponen en dos franjas norte-sur separadas por los afloramientos de la Formación Farellones.

De acuerdo a numerosas dataciones radiométricas y estudios de fauna fósil se le asigna una edad Eoceno medio-superior – Mioceno medio (Wyss et al., 1994; Charrier et al., 1996, 2002; Gana et al., 1997; Sellés, 1999; Fuentes et al., 2000; Sellés et al., 2000; Fuentes et al., 2002).

En algunos sectores, esta unidad, se encuentra de manera concordante con la Formación Farellones y en otras partes se encuentran discordantes. De acuerdo a Charrier et al. (2002), el contacto con la sobreyacente Formación Farellones correspondería a una discordancia progresiva, diacrónica entre los 22 y 12 Ma.

### **2.1.2. Formación Farellones (Klohn, 1960)**

Sucesión compuesta de lavas, tobas e ignimbritas con intercalaciones de brechas. Las lavas manifiestan un claro dominio sobre las tobas y brechas, mientras que la alternancia de rocas volcanoclásticas más finas, en tramos de 4 a 5 metros, producen una marcada estratificación en la sucesión (Thiele, 1980).

A esta Formación se le asigna una edad Miocena, de acuerdo a las dataciones radiométricas disponibles (Drake et al., 1976; Vergara y Drake, 1978; Beccar et al., 1986; Sellés, 1999; Aguirre et al., 2000; Fuentes, 2004). El espesor reportado para la Formación Farellones es de 2.500 m, aumentado por los numerosos mantos intrusivos y lacolitos del Mioceno superior-Plioceno que la intruyen (Thiele, 1980; Rivano et al., 1990). Esta formación sobreyace a la Formación Abanico entre los 32°S hasta los 35°S y su techo corresponde a la actual superficie de erosión (Thiele, 1980; Rivano et al., 1990).

### **2.1.3. Ambiente de acumulación de las formaciones Abanico y Farellones**

Según Charrier et al., (1994) el ambiente de formación de las formaciones Abanico Farellones correspondería a una cuenca extensional de edad cenozoica, hipótesis que es confirmada por Kay et al. (2005), que afirman que la formación Abanico se acumuló en una cuenca suavemente extensional. Plantearon además, que estas cuencas se habrían desarrollado durante el Eoceno tardío hasta el Oligoceno tardío, invirtiéndose recién durante el Mioceno. No obstante, Fock (2005) indica que si hubo extensión, esta no fue particularmente significativa y no es esencial para explicar las estructuras de la Cordillera de Chile central.

Con respecto a la Formación Farellones, su acumulación se habría producido en torno a centros volcánicos mayores. Los volcanes de la Formación Farellones extruyen durante la inversión de la cuenca extensional donde se depositó la Formación Abanico (Godoy et al., 1999). Finalmente, la acumulación de la Formación Farellones habría estado controlada por la inversión tectónica de la cuenca donde fue depositada la Formación Abanico, generando discordancias sintectónicas locales causadas por la reactivación de fallas (Charrier et al., 2002).

### **2.1.4. Depósitos Recientes**

Se agrupa bajo esta denominación, a un conjunto de sedimentos del Holoceno no consolidados constituidos en términos generales por arenas y gravas, cuyos depósitos forman una serie de relieves definidos como Depósitos de Terrazas, Morrenas, Escombro de Falda y Conos de Deyección.

## **2.2. Rocas Intrusivas**

En la Alta Cordillera de Chile central entre los 32° y 34° S, existen diferentes cuerpos intrusivos Miocenos desde plutones de dimensiones batolíticas (Ej. Batolito San Francisco), hasta stocks relativamente pequeños dispersos en una faja norte-sur.

Thiele (1980), agrupó las rocas intrusivas presentes en la región en dos unidades sobre la base de sus características petrográficas y estructurales:

### **2.2.1. Unidad Intrusiva I**

Representada por los intrusivos de mayor extensión en el sector y que intruyen hasta la Formación Farellones. Los cuerpos intrusivos más importantes de esta unidad son (de W a E):

La Obra (río Maipo frente a depresión central) con una edad K/Ar en biotita de 24 Ma (Aguirre et al, 1974) mientras que Kay y Kurtz (1995) por el método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en hornblenda proponen una edad de 21.6 Ma; Disputada (parte superior del batolito San Francisco); San Gabriel (junta de ríos Volcán, Yeso y Maipo) con edades entre 10,6 y 13,9 Ma; La Gloria (rio Colorado); Colina (Portezuelo de Colina) que por método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  determinan una edad de 11,4 Ma (Kay y Kurtz, 1995) y las últimas edades que determinan la cristalización dan edades en  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  entre  $11.2 \pm 0.1$  Ma y  $14.7 \pm 0.1$  Ma (Deckart et al., 2010).

### **2.2.2. Unidad Intrusiva II**

Representada por stocks, lacolitos, filones manto y diques, que cortan incluso a la Formación Farellones. Están compuestos principalmente por microgranodioritas, pórfidos dioríticos, dacitas y andesitas.

Además existen otros cuerpos intrusivos pequeños aislados y filones transversales, de composición andesítica y dacítica de texturas afaníticas y porfíricas (Thiele 1980).

## **2.3. Geología estructural**

Se reconocen tres dominios estructurales, presentes a escala regional, distrital y de depósito. Estas orientaciones son: norte-sur, noreste y noroeste (Rivano, 1995; Skarmeta et al., 2000).

### **2.3.1. Fallas norte - sur**

Destaca la Zona de Falla Pocuro (ZFP), la cual separa la depresión central (Fm. Las Chilcas) del dominio cordillerano (Fm. Abanico) (Figura 2.1). La ZFP está caracterizada por distintos indicadores cinemáticos, brechas tectónicas y zonas de alteración hidrotermal, indicando que ha sido reactivada durante varios eventos de deformación. Esta falla alcanzaría, a la latitud de Santiago, un salto inverso de 1,1 km entre los 8,5 a 4 Ma (Farías et al., 2008).

La falla El Fierro, al este de la ZFP, es de alto ángulo y mantea al oeste. Corresponde a una antigua falla normal que controló el desarrollo de la cuenca de Abanico y que fue posteriormente invertida durante el cierre de la cuenca (Skarmeta et al., 2000; Charrier et al., 2002).

Las Fallas Río Blanco (FRB) y San Francisco (FSF), cuyas trazas definen los valles homónimos, controlan el emplazamiento del depósito RB-LB (Skarmeta et al., 2000). Son inversas de alto ángulo. La FRB mantea al este, mientras que la FSF mantea al oeste (Skarmeta et al., 2000). Al igual que otras fallas norte-sur, se considera que corresponden a fallas normales, posteriormente reactivadas como fallas inversas (Skarmeta et al., 2000; Charrier et al., 2002).

### **2.3.2. Fallas noroeste**

Presentan indicadores cinemáticos (estrías, medias lunas) evidenciando comportamiento normal, inverso y de rumbo. Representan reactivaciones diferentes durante un mismo evento deformativo y/o registran distintos eventos deformativos. Su frecuencia se intensifica en las mismas zonas donde existen estructuras noreste, indicando un carácter conjugado entre ambas (en Frikken, 2004). Cortan a todas las unidades de RB-LB, incluso al complejo riolítico La Copa (3,9 – 4,9 Ma; Serrano et al., 1996; Deckart et al., 2005).

### **2.3.3. Fallas noreste**

Muestran un sentido de movimiento normal, son conjugadas con las noroeste y al igual que estas, cortan a todas las unidades del distrito RB-LB (Frikken, 2004).

### **2.3.4. Campos de Stress Regional**

Lavenu y Cembrano (1999) determinaron en rocas de la costa, a los 34° S, un régimen extensional para el Mioceno medio. Los indicadores cinemáticos de fallas pliocenas, indican una orientación E-W para sigma 1 (s1). Consecuentemente, el Plioceno representa un periodo de acortamiento normal al arco en Chile Central (Lavenu y Cembrano, 1999). Para el Pleistoceno – Holoceno, al sur de la zona de subducción

plana, se distingue dos estados de stress simultáneos. En el ante-arco la dirección de acortamiento fue NS a NNE-SSW, mientras que en el intra-arco el estado de stress fue transpresivo, con s1 NE-SW (Lavenu y Cembrano, 1999).

### **2.3.5. Modelo Estructural RB – LB**

Para la formación de grandes sistemas porfídicos se requiere la presencia de estructuras efectivas para el transporte de grandes cantidades de magma y fluidos hacia la corteza superior (Richards, 2003). En RB-LB la arquitectura del yacimiento está definida, a todas las escalas, por las tres orientaciones estructurales descritas anteriormente. La interacción entre estos tres sistemas, en respuesta al acortamiento E-W, se considera como responsable de la concentración de la actividad magmática – hidrotermal en el distrito (Frikken, 2004). El yacimiento está localizado entre dos fallas NS de basamento y cortado por fallas NW y NE del Mio-Plioceno (Figura 2.2) (Skarmeta et al., 2000).

Tanto la FSF como la FRB terminan en el complejo intrusivo Río Blanco (Figura 2.3), Skarmeta et al. (2000) interpreta que ambas fallas actuaron como una estructura "pull-apart", aumentando la porosidad y permeabilidad de la zona interior (Figura 2.4). Consecuentemente se ha postulado que el yacimiento RB-LB se formó en un pilar tectónico en compresión (Skarmeta et al., 2000).

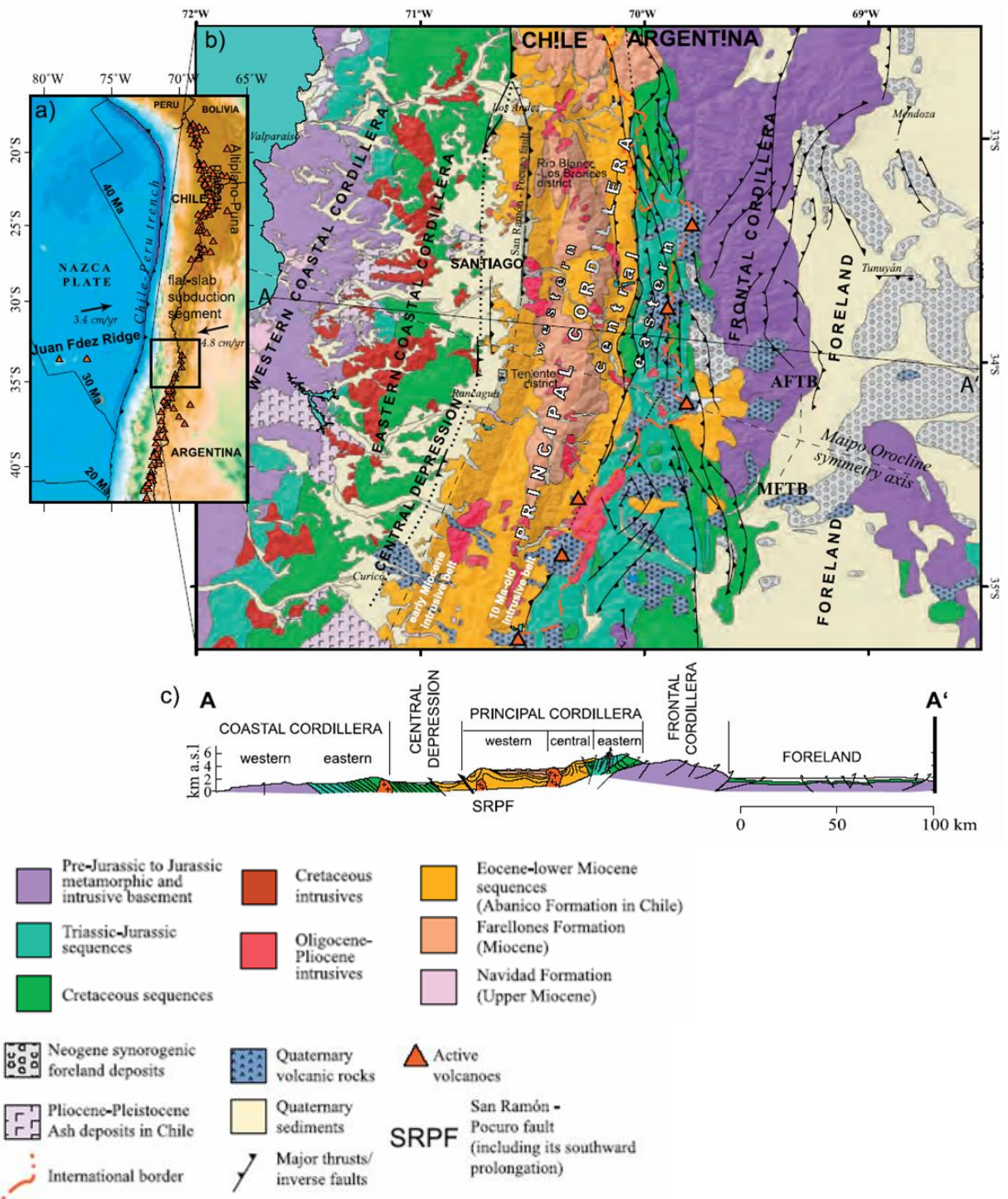


Figura 2.1: Geología regional: (a) Contexto geotectónico global. (b) Mapa geológico de los Andes de Chile Central y Argentina. Se muestran las distintas unidades geomorfológicas y las principales fallas activas durante el Neógeno. (c) Sección geológica simplificada a la latitud de Santiago. El oroclino del Maipo delimita la faja corrida y plegada del Aconcagua (AFTB) y la de Malargue (MFTB). Las velocidades de movimiento absoluto de placas en (a) son de Gripe y Gordon (2002), mientras que las figuras (b) y (c) son basadas en los trabajos del Servicio Geológico Minero Argentino (1997), Servicio Nacional de Geología y Minería (2002), Giambiagi et al. (2003), y Fock et al. (2005). Tomado de Farías et al. (2008).



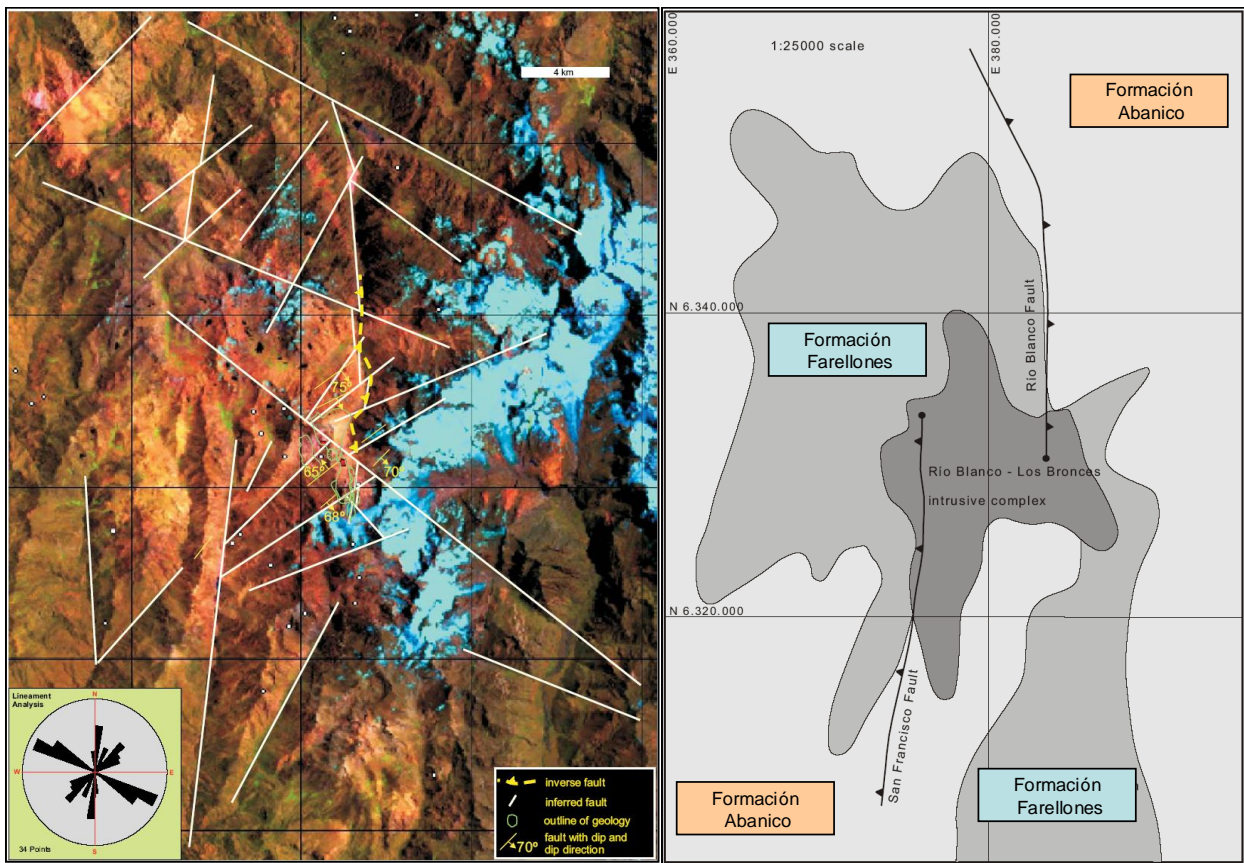
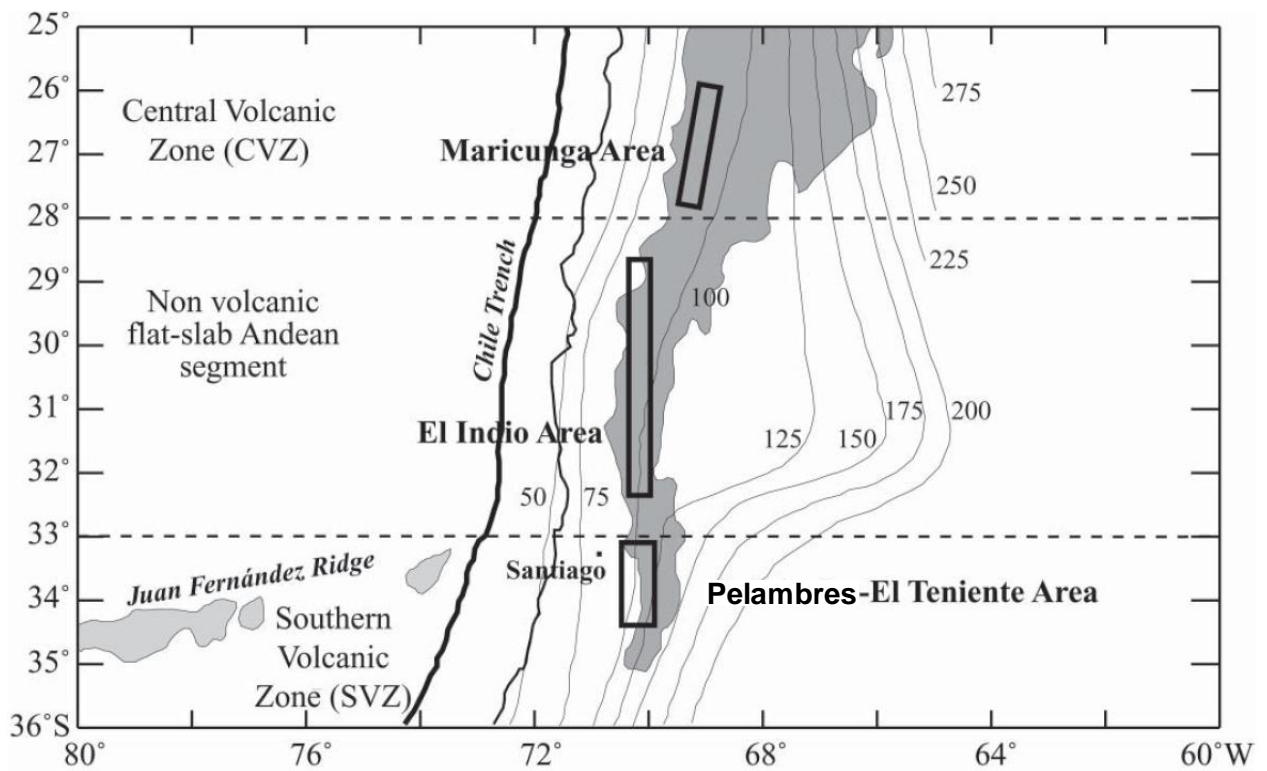
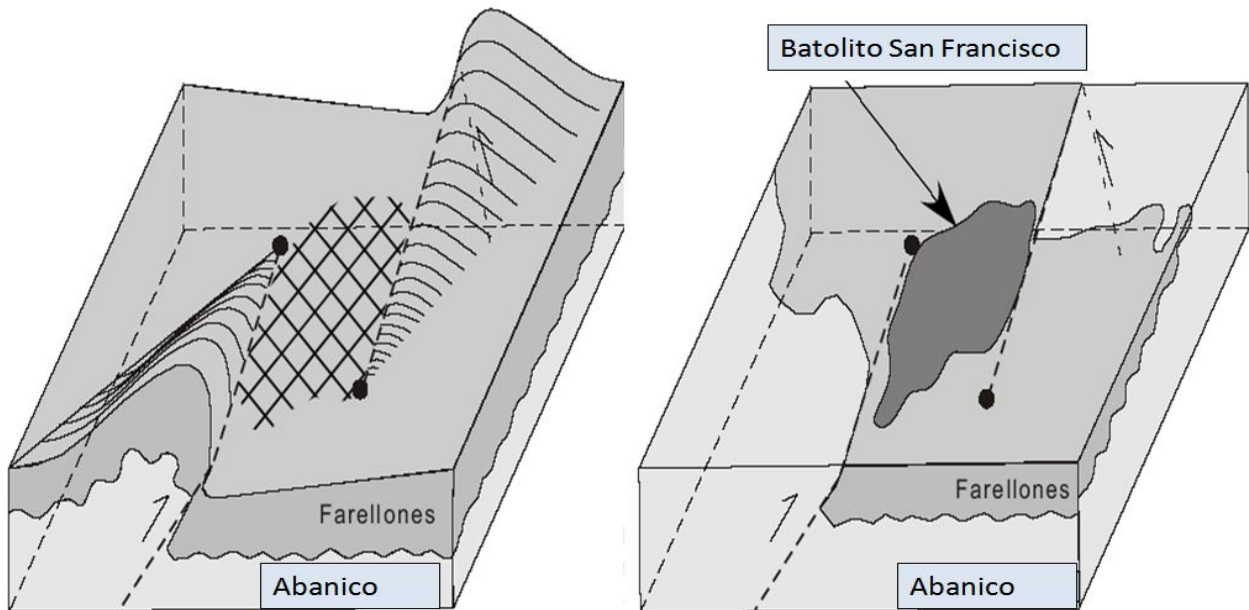


Figura 2.2: Orientación de las estructuras en superficie: izquierda: Imagen Landsat tomada de Frikken (2004), se muestran las distintas orientaciones de las estructuras. En amarillo se muestran los datos estructurales de Álvarez (1999). Derecha: Ubicación de falla San Francisco (FSF) y falla Río Blanco (FRB), imagen tomada de Skarmeta et al. (2000).



**Figura 2.3:** Ubicación de la Zona Volcánica Central (CVZ), el segmento de subducción plana y la Zona Volcánica Sur (SVZ). Las líneas continuas indican la profundidad actual (en km) del plano de Benioff (Cahill e Isacks, 1992). Las regiones en gris representan alturas sobre 3 km. Se muestra además la actual posición de la Dorsal Juan Fernández y las franjas metalíferas de Maricunga, El Indio y Pelambres – El Teniente. Modificada de Parada et al. (2007).



**Figura 2.4:** Modelo estructural para la intrusión del complejo ígneo Río Blanco (Modificado de Frikken, 2004). Izquierda: Inversión tectónica y fracturamiento de la zona comprendida entre FSF y FRB. Derecha: Erosión e intrusión del BSF en la zona fracturada previamente.

## 2.4. Ambiente de Formación

El Plomo y Ortiga se ubican en la franja de pórfidos del Mioceno superior –Plioceno localizada en la Cordillera Principal de Chile central, entre las latitudes 32 y 35° S, sobre la actual zona de transición entre el segmento de subducción horizontal de los Andes chileno-argentinos y la zona con subducción inclinada de los Andes del sur (Pardo et al., 2002) (Figura 2.3).

En esta franja se encuentran tres de los pórfidos de Cu-Mo más grandes del mundo: Los Pelambres - El Pachón (Cooke et al., 2005), Río Blanco – Los Bronces, El Teniente y un número significativo de prospectos menores, siendo, actualmente, el distrito Río Blanco - Los Bronces el más grande del mundo. El basamento de estos yacimientos corresponde a una potente secuencia volcano-sedimentaria del Eoceno superior - Mioceno inferior que se acumuló en una cuenca extensional de intra-arco, de margen activo, y limitada por fallas normales de extensión regional (Charrier et al., 2002). En el área de estudio estos depósitos están representados por la Formación Abanico (36-16 Ma) (Gana y Wall, 1997; Charrier et al., 1996, 2002; Wyss et al., 1994; Kay y Kurtz, 1995; Nystrom et al., 2003; Muñoz et al., 2006) (Figura 2.2). La evolución andina en Chile central (33 – 35° S) comprende varios periodos de extensión y contracción (Charrier et al., 1996, 2002). El último evento extensional ocurrió en el Eoceno – Oligoceno, formando la cuenca donde se depositó la Formación Abanico (Charrier et al., 2002, 2005). Esta unidad fue afectada luego, y durante las etapas finales de su acumulación, por varias fases de deformación compresiva, produciendo la inversión de

la cuenca volcano-tectónica y un consiguiente alzamiento y engrosamiento cortical (Kay y Kurtz, 1995; Kurtz et al., 1997; Burns y Jordan, 1999; Charrier et al., 2002).

Las fases tectónicas deben ser concebidas como el resultado de la acumulación de efectos deformativos (incluyendo alzamiento), durante episodios rápidos o duraderos de incremento en la razón de convergencia. Un episodio de deformación compresiva, bien documentado, ocurrió entre los 21 Ma a 16 Ma (Charrier et al., 2002), evidenciado por el desarrollo de depósitos sintectónicos. Las inconformidades locales encontradas dentro de la Formación Abanico pueden interpretarse como deformación incremental o como acomodación gradual de la corteza superior, debido a la interacción entre la placa oceánica y el margen continental. Evidentemente la deformación no ocurrió simultáneamente a lo largo de toda la región, pero sí coincide con el periodo de aumento en la razón de convergencia entre la placa de Nazca y la Sudamericana, entre los 26 Ma y 15 Ma (Pardo-Casas y Molnar, 1987; Somoza, 1998). La inversión tectónica ocurrida entre los 21 a 16 Ma (Charrier et al., 2002) se traslapa temporalmente con alzamiento, erosión y acumulación de sedimentos sintectónicos asociados, entre los 20 Ma a 8 Ma, y con el corrimiento del volcanismo hacia el retro-arco, entre los 19 y 15 Ma (Ramos et al., 2002).

Una vez que este estadio de deformación terminó, el volcanismo continuó con la acumulación de la Formación Farellones (22 – 11 Ma) (Serrano et al., 1996; Aguirre et al., 2000; Fuentes, 2004; Deckart et al., 2005) (Figura 2.2). La mayoría de las edades K-Ar publicadas para la Formación Farellones, caen en el rango de 18 a 15 Ma (Beccar et al., 1986; Vargas et al. 1988), coincidente con el periodo de mayor intensidad y volumen de la Formación Farellones (Vargas et al., 1988). Edades U-Pb en zircón de 16,8 y 17,2 Ma, para dos muestras de andesitas ubicadas en las cercanías del yacimiento RB-LB, confirman una edad Mioceno medio para la Formación Farellones (Deckart et al., 2005). Las relaciones estratigráficas entre las formaciones son complejas debido a la estrecha relación entre volcanismo y tectonismo en Chile central (Drake et al., 1982; Charrier et al., 2002). Según Charrier et al. (2002) correspondería a una discordancia progresiva, diacrónica entre los 22 y 16 Ma.

Diversos granitoides agrupados bajo el nombre de Batolito San Francisco (20,1 – 7,4 Ma) (Edades K-Ar: Serrano et al., 1996), intruyen a la Formación Farellones y unidades más viejas (Figura 2.2). Kurtz et al. (1997) obtuvieron un rango de edad similar por el método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , entre 19,8 y 5,3 Ma. Basados en edades  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  y en relaciones de corte, Deckart et al., (2005) distinguieron en el área del yacimiento RB-LB tres unidades intrusivas; unidad pre-alteración, correspondiente a la roca caja de la mineralización, una unidad de pórfidos tardíos que precede la mineralización, y una unidad post-mineralización. Para la primera propusieron que los intrusivos se emplazaron en por lo menos dos episodios diferentes; a los ~12 Ma (granodiorita Río Blanco) y entre los 8,4 – 8,2 Ma (granodiorita Cascada y Diorita). La unidad de pórfidos tardíos varía entre los 6,3 Ma (pórfido cuarzo monzonítico, PQM) y los 5,2 Ma (Pórfido Don Luís). La unidad post-mineralización entregó una edad de 4,9 Ma (domo dacítico Río Blanco), muy cercana a las edades K-Ar (biotita) del Complejo La Copa (3,9 – 4,9 Ma; Serrano et al.,

1996). Edades Re-Os en molibdenita, entre los 5,4 – 6,3 Ma (Mathur et al., 2001) se traslapan temporalmente con las edades  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  de los pórfidos tardíos. Las edades  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en biotita y feldespato potásico hidrotermal, obtenidas por Deckart et al. (2005) definen un rango entre los 4,4 – 5,3 Ma, con máximos estadísticos a los 5,26; 5,12; 4,6 (mayor evento) y 4,4 Ma. Esta concentración de edades  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  es más notoria entre los 4,8 – 4,6 Ma, sugiriendo un importante reseteo del sistema  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , luego de la intrusión del Domo Dacítico y probablemente durante el emplazamiento del complejo riolítico La Copa (Deckart et al., 2005). Los últimos antecedentes publicados por Deckart et al., (2005) muestran la estrecha relación temporal existente entre la mineralización de Cu-Mo y el emplazamiento de los pórfidos tardíos intraminerales (Don Luis y Sur-Sur), la cual habría persistido durante ~ 2 Ma (6,3 – 4,3 Ma) siendo mayor en RB - LB de ~ 4 Ma (8,4 - 4,3). Estas evidencias se contraponen con las conclusiones de Serrano et al. (1996) y con el trabajo de Frikken (2004). Deckart et al., (2005) sugieren que la yuxtaposición de la roca caja alterada y los pórfidos, no poseen la separación temporal que generalmente se les ha asociado. La interacción agua – roca y la fragmentación requerida para la alteración – mineralización no se puede desarrollar en cuerpos fundidos, hasta que se hayan cristalizado y enfriado, pero sí se pueden almacenar en rocas reactivas frías preexistentes. Así, los fundidos proveen la energía termal necesaria para la propulsión ascendente de los fluidos mineralizadores, quedando ellos mismos como no productivos. En este contexto, es significativo el hallazgo de inclusiones fluidas en La Copa, indicando que el magma de su cámara parental permanece potencialmente fértil (Davidson y Kamenetsky, 2001; Davidson et al., 2005). Lo anterior es compatible con los nuevos datos geocronológicos que demuestran la extensa sobreimposición temporal entre la mineralización de Cu-Mo de alta ley y el emplazamiento de los pórfidos félsicos tardíos (Deckart et al., 2005) que la mineralización ocurriría de manera episódica (Deckart et al., 2013).

### **3. Geología Local**

La geología local de El Plomo (Figura 3.1) y Ortiga (Figura 3.2) ha sido descrita anteriormente por Eggers (2008) y Zamorano (2011) respectivamente.

Los Prospectos Ortiga y El Plomo se ubican en el margen oeste y noroeste del Batolito San Francisco (BSF) respectivamente, cuya extensión alcanza los 200 km<sup>2</sup> en las cercanías de Río Blanco – Los Bronces (RB-LB) (Serrano et al., 1996). De acuerdo a Stambuk et al. (1993) y Warnaars et al. (1985) el BSF consiste en múltiples plutones elongados norte-sur que intruyen a la Formación Abanico y Farellones. En este capítulo se describirán las rocas estratificadas, los cuerpos intrusivos y las características estructurales del área de estudio.

#### **3.1. Litología**

##### **3.1.1. Unidades estratificadas**

Estas corresponden a potentes secuencias volcánicas, volcano-sedimentarias y volcanoclásticas, constituidas por brechas volcánicas, tobas, tobas – brechosas, tobas de lapilli, lapillitas, lutitas, andesitas, andesitas ocoíticas, andesitas porfídicas y dacitas. La potencia de la sucesión volcánica en el área de estudio ha sido estimada en 1200 m (Eggers, 2008). Tienen una disposición general NNE a NE con manteo 10-20° E - SE, pero presentan variaciones locales de rumbo y manteo debido al plegamiento y fallas. Están ampliamente distribuidas en el área de estudio y constituyen la litología dominante. Para fines descriptivos se han clasificado en tres grupos; Rocas Volcánicas Efusivas; Rocas Piroclásticas y Rocas Volcanoclásticas. Los afloramientos más representativos se encuentran en la Sierra Ortiga, en el Cordón de Los Españoles y en todo el sector del cerro El Plomo.

###### **3.1.1.1. Rocas Volcánicas Efusivas (RVE)**

Corresponden principalmente a andesitas y cantidades subordinadas de dacitas y riolitas, su textura varía entre porfídica y porfídica seriada. Se observan andesitas con fenocristales superiores a 1 cm de largo. Se presenta en toda la parte oeste de Ortiga como una franja NS sobre la Sierra Ortiga y al N sobre el Cordón de los Españoles hasta el Cerro Los Diamantes. Poseen un aspecto verdoso debido a una alteración de clorita - epidota - magnetita +/- illita moderada a media. Se encuentran sobre las RPC, sin embargo no es posible apreciar el contacto producto de la fuerte alteración hidrotermal.

###### **3.1.1.2. Rocas Piroclásticas (RPC)**

Las RPC corresponden principalmente a tobas, tobas – brechosas, tobas de lapilli y lapillitas. Presentan un característico color blanco – rosado y se encuentran muy

alteradas debido a su elevada porosidad primaria. Se ubican preferentemente en el cerro Ortiga y al este de la Sierra Ortiga y sobreyacen concordantemente a las RVE.

### **3.1.1.3. Rocas Volcanoclásticas (RVC)**

Las RVC corresponden principalmente a brechas volcánicas de composición andesítica a dacítica, presentan clastos angulosos y de tamaño variable entre 50 cm a 3 cm. Son subordinadas y concordantes a las RVE, y en potentes afloramientos hacia el norte del área de estudio. Probablemente representen colapsos gravitacionales de domos y/o flujos de lahares.

### **3.1.1.4. Depósitos no consolidados**

Se agrupa bajo esta denominación, a un conjunto de sedimentos no consolidados, correspondientes a arenas y gravas fluvio-aluviales, las que generan morfologías de terrazas, escombros de faldas, conos de deyección y morrenas, distribuidas generalmente en el fondo de quebradas. Corresponden a depósitos Holocenos.

Las gravas y arenas aluviales que constituyen terrazas o niveles aterrazados en los cursos de los valles actuales tienen una amplia representación regional. Se componen de arenas y gravas polimícticas matriz-soportadas. Sus características texturales son indicativas de un origen ligado a corrientes de barro.

Las morrenas se distinguen, de preferencia, en la parte nororiente del prospecto, relleno los pequeños circos glaciales existentes en ese sector. Corresponden, en sentido puramente descriptivo, a gravas compuestas por bloques angulosos de variada composición, la cual refleja la naturaleza de las rocas circundantes. Estos depósitos forman una "lengua" abierta aguas abajo.

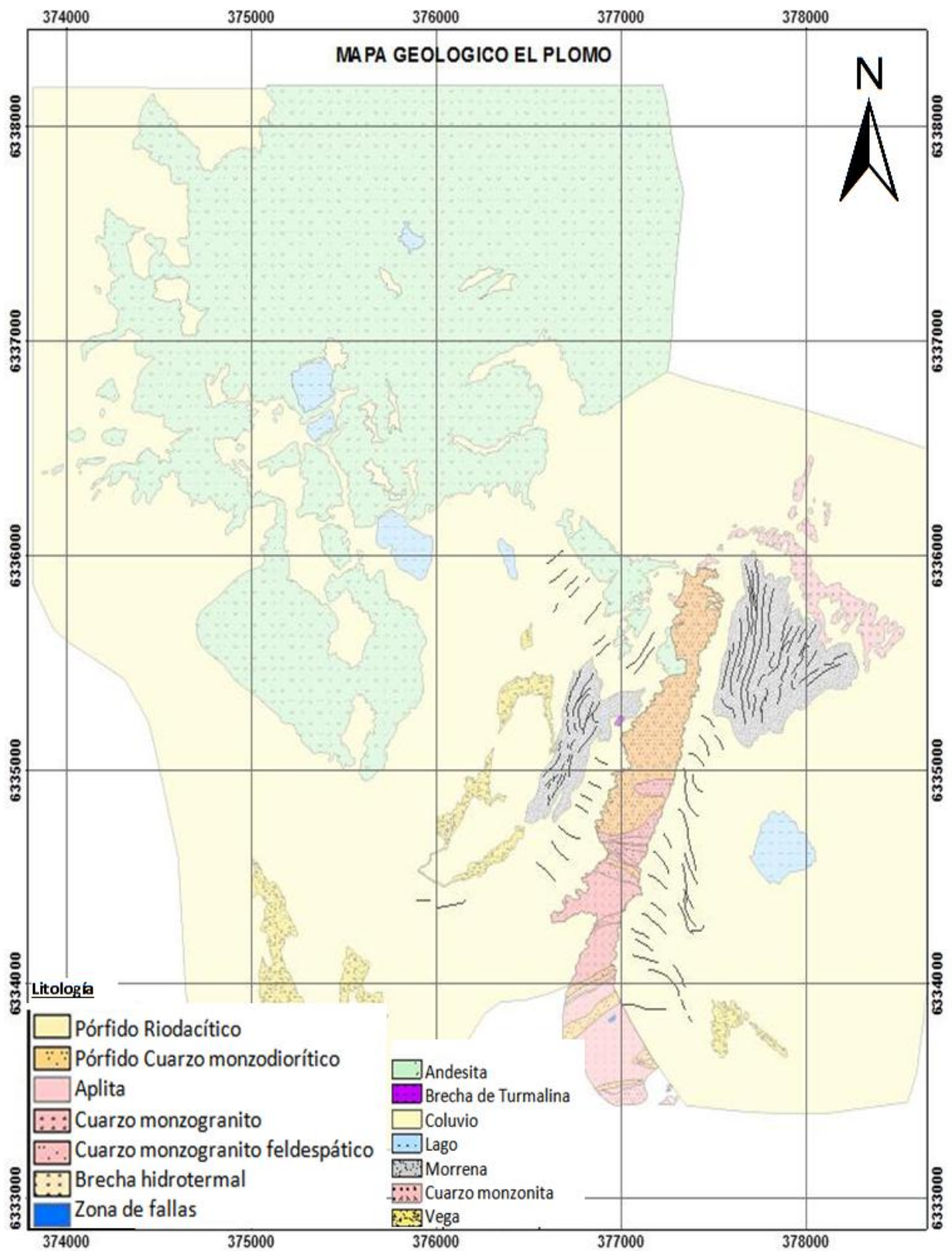
Los Escombros de Falda y Conos de Deyección están constituidos, en términos amplios, por arenas y gravas polimícticas mal seleccionadas. Los Escombros de Falda son particularmente importantes en la parte de los diferentes cordones (e.g. Cordón El Manzano). Los Conos de Deyección ocurren en la desembocadura de las quebradas, especialmente aquellas que drenan al cañón del Rocín y del Río Hidalgo.

Se presentan además depósitos fluviales a lo largo de la planicie de inundación y lecho del Río Rocín y del Río Hidalgo, correspondiendo a arenas y gravas polimícticas.

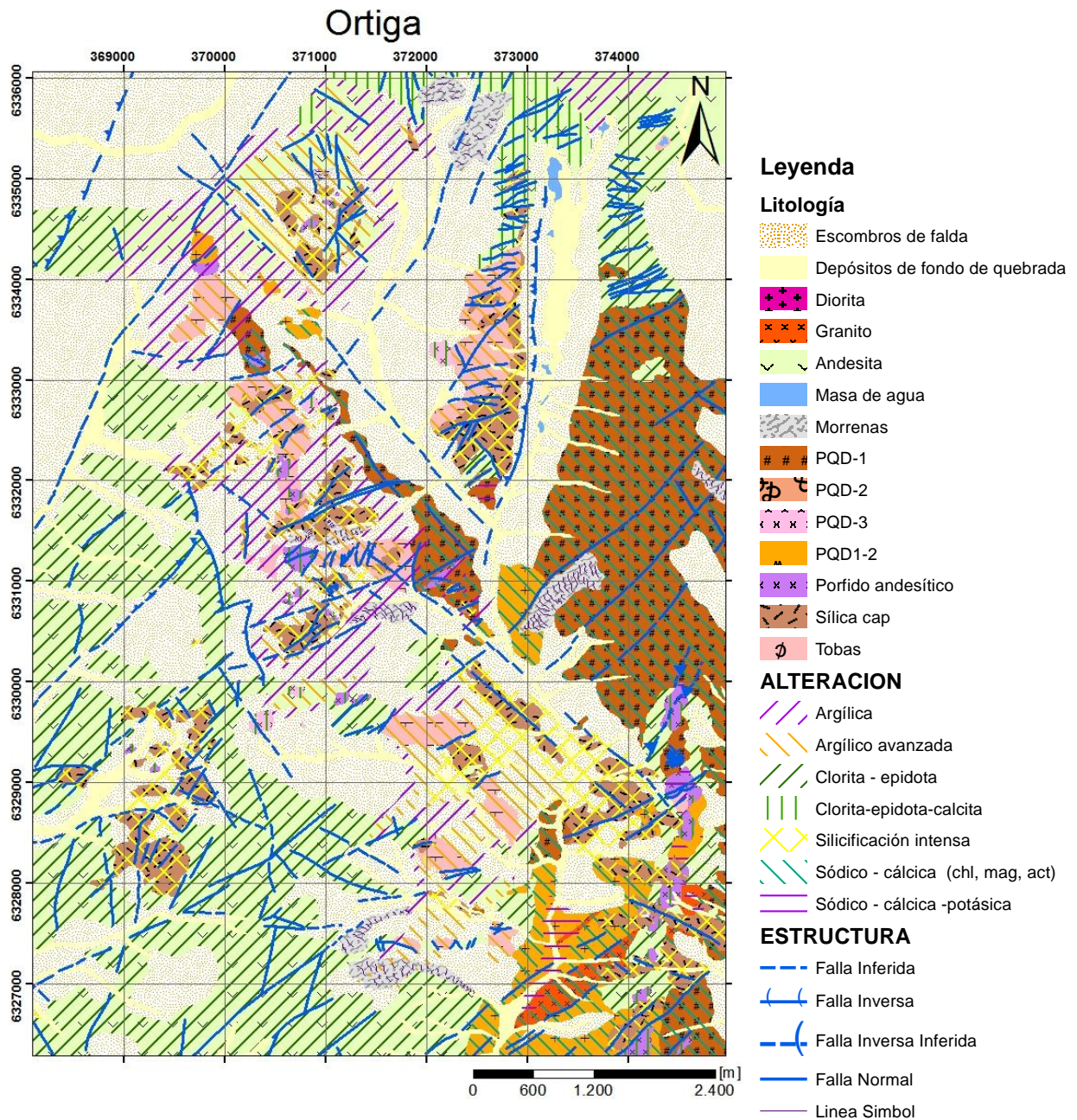
### **3.1.1.5. Correlaciones**

En base a sus características petrológicas, regionales y estructurales, las RPC y RVC se pueden correlacionar con la Formación Abanico y las RVE se pueden correlacionar con la Formación Farellones.





**Figura 3.1:** Mapa geológico de El Plomo (Zamorano, 2011).



**Figura 3.2:** Mapa geológico de Ortiga. Eggers, 2008.

### 3.1.2. Unidades intrusivas

Se encuentran intruyendo las secuencias volcánicas anteriormente descritas, observándose en algunos casos un incipiente hornfels biotítico en la zona de contacto.

Se distinguen dos unidades principales: Unidad Intrusiva A (UIA) y Unidad Intrusiva B (UIB). Las rocas de la UIB intruyen a las de la UIA. La UIB se divide, a su vez, en dos

sub-unidades; Sub-Unidad Pre-alteración (SUPA) y Sub-Unidad Post-Alteración (SUPR), en base a las relaciones con el evento de alteración hidrotermal principal.

Las rocas de la UIA se encuentran intruidas por diques andesíticos de orientación E-W, N10-20°E y N40-60°E.

### **3.1.2.1. Unidad Intrusiva A (UIA)**

Se presenta con una orientación NS en el Cordón de El Plomo y al norte del Cordón Dolores. Aflora a una cota máxima de 3.905 m.s.n.m. en el Cerro Turquesa. Su cota de afloramiento va disminuyendo hacia el sur. Presenta texturas que varían desde equigranular de grano grueso a porfídica y porfídica seriada. Las texturas porfídicas presentan una matriz gruesa granular. Composicionalmente varían entre cuarzo monzodiorita – cuarzodiorita, cuarzo monzonita y granodiorita (+/- granito, tonalita), con anfíboles y/o clinopiroxenos. Está cortada por fallas de rumbo N35°E a N40°E.

### **3.1.2.2. Unidad Intrusiva B (UIB)**

Se encuentra intruyendo a la UIA, a lo largo de una dirección NS. En la intersección del Estero Ortiga con el Estero del Rayo toma una dirección NW. Presenta una textura porfídica más fina que UIA. Composicionalmente y mineralógicamente es muy semejante a la UIA, pero presenta más rutilo como mineral hidrotermal (Eggers, 2008).

Se distingue la Sub-Unidad Pre-alteración (SUPA) y Sub-Unidad Post-Alteración (SUPR).

#### **3.1.2.2.1. Sub-Unidad Pre-Alteración (SUPA)**

Composicionalmente varían entre granodiorita - cuarzo monzodiorita - cuarzo diorita y diorita, con anfíboles y/o clinopiroxenos (Figura 3.7). Presenta texturas en desequilibrio como opatización de hornblenda y apatitos grandes de aspecto rubio y cavidades miarolíticas con relleno de clorita-epidota y halo albítico y turmalina en rosetas y diseminada (Eggers, 2008)

#### **3.1.2.2.2. Sub-Unidad Post-Alteración (SUPR).**

Se define esta subunidad como una serie de stocks pequeños, de dimensiones del orden de 20 x 30 m. Composicionalmente varían entre pórfidos andesíticos a pórfidos dioríticos (Figura 3.9). Se localizan principalmente en el centro del Ortiga, intruyendo los núcleos de la alteración argílica avanzada. En su conjunto presentan una orientación NNW, pero individualmente desarrollan un alargamiento en dirección NE, presentando formas sub-circulares a elipsoidales. Presentan alteración de clorita – calcita – epidota.

En el Cordón de El Plomo conforman una zona de intrusiones múltiples, emplazada en rocas de la UIA.

### 3.1.2.3. Correlaciones

Las unidades descritas anteriormente se pueden correlacionar con el Batolito San Francisco (BSF), perteneciente al grupo de los Intrusivos II definidos por Thiele (1980), Parada et al., (2007). Éstos están íntimamente asociados a la mineralización de Cu-Mo en Chile central. Las señales adakíticas con razones La/Yb sobre 28 (Vatin-Perignon et al., 1996; Sellés, 1999; Fuentes et al., 2000; Rabbia et al., 2003; Reich et al., 2003) indican una fuente astenosférica (Kay et al., 1991, 2005; Kay y Mpodozis, 2001; Stern y Skewes, 1995, 2005; Mathur et al., 2000; Montecinos et al., 2008). Las fases finales de estos intrusivos (4,9 – 2,8 Ma; Serrano et al., 1996; Kay y Mpodozis, 2002; Maksaev et al., 2004; Deckart et al., 2005) comprenden andesitas y dacitas calcoalcalinas, de medio a alto potasio y con razones La/Yb de ~ 77 (en Parada et al., 2007). Aunque estas altas razones sugieren un espesor cortical de ~65 km, Kay et al.1999) y Kay y Mpodozis (2001) proponen una estimación más conservadora de ~45 km (en Parada et al., 2007). Según Farías et al.2008) este espesor cortical es resultado de acortamiento tectónico, cuyo máximo habría ocurrido en el intervalo entre los 8,5 y 4 Ma. Los datos de Hollings et al.2005) sostienen que ocurrió un cambio geoquímico abrupto (~15 Ma), más que gradual, en la fuente de los magmas.

La edad  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  obtenida en alunita para la alteración argílica avanzada se determinó en 12,3 Ma (Eggers, 2008). La alteración argílica avanzada afecta a las rocas de la UIA y SUPA (UIB), por lo tanto la edad de estas rocas es más antigua que 12,3 Ma. El espesor cortical para la edad señalada sería de ~35 km (Ramos et al., 1991; Kay y Kurtz, 1995; Kurtz et al., 1997; Kay et al., 1999; Yañes et al., 2002; Kay y Mpodozis, 2002; Parada et al., 2007). Las rocas de la SUPR se encuentran intruyendo la zona de alteración argílica avanzada, por lo que su edad es posterior a dicho evento. Se consideran como pórfidos post-alteración, dado que no presentan evidencias de sulfuros (Py – Cpy), no obstante presentan alteración a clorita – epidota – calcita.

De acuerdo a las texturas observadas y estudios del campo de estabilidad de la hornblenda por Eggers (2008), el emplazamiento de estos magmas se habría producido a niveles más someros que 3,5 km de profundidad. Llegando a la conclusión que la actividad hidrotermal en el área de estudio (Ortiga) se debe a la separación de la fase fluida a partir de la SUPA.

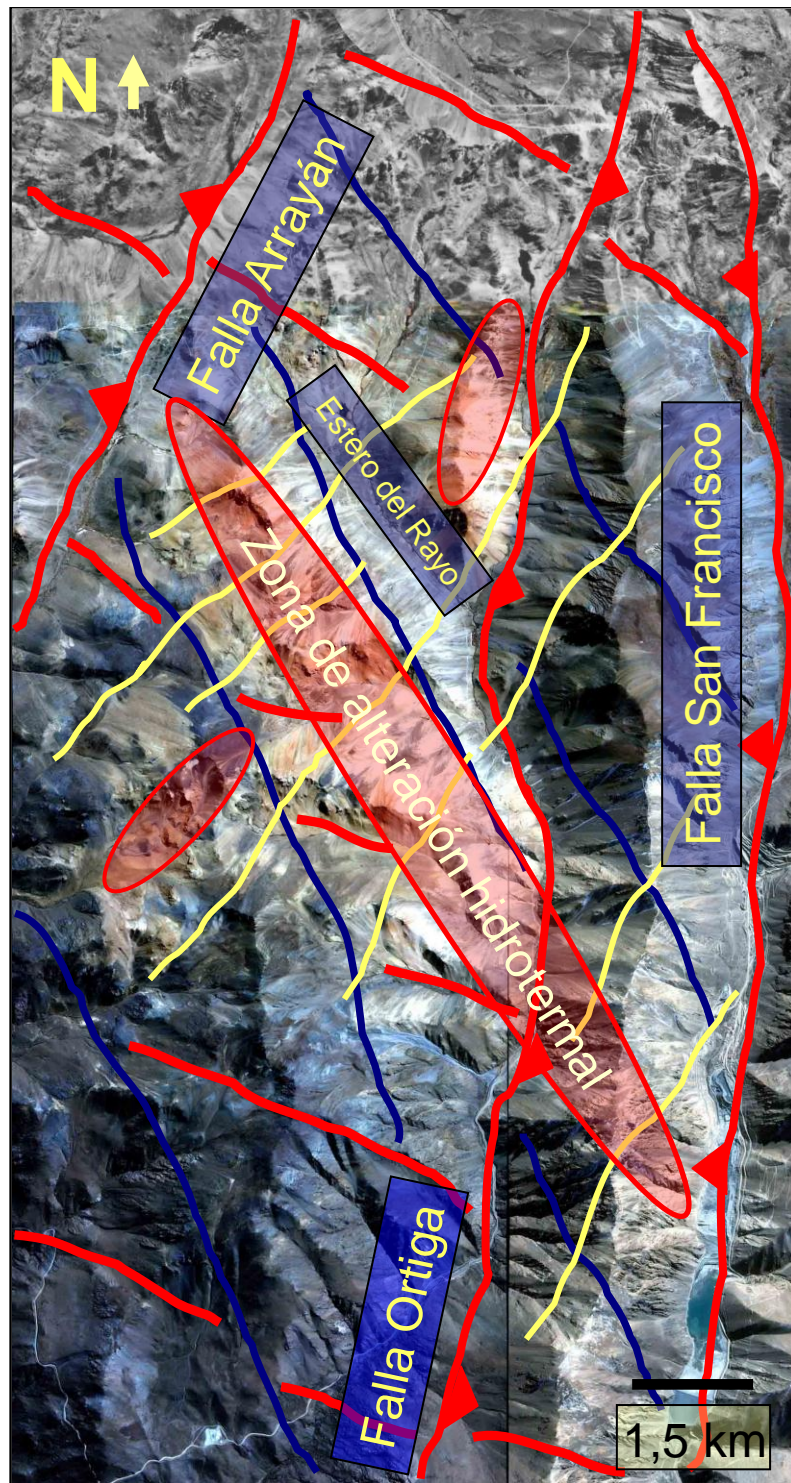
## **3.2. Geología Estructural**

### **3.2.1. Generalidades**

En la zona se pueden distinguir fallas de 1er, 2do y 3er orden. Dentro de las primeras se destacan lineamientos NS y NW, en las segundas estructuras NNW, y en las terceras estructuras NE. Se estudiaron las relaciones de corte entre ellas, permitiendo determinar una secuencia en la generación de las mismas.

Ortiga muestra una tendencia principal de orientación NNW (Figura 3.11), reflejada en la disposición espacial del conjunto de cuerpos de sílice masiva (Silica cap) y pórfidos tardíos (SUPR) en Ortiga. La orientación individual de estos cuerpos es NNE a NE y su forma varía desde sub-circular a elongada. Las grandes quebradas del área de estudio son de orientación NS (Ortiga y Arrayán) y presentan facetas triangulares (Eggers, 2008).

La zona de alteración hidrotermal de Ortiga se encuentra delimitada dentro del corredor estructural NNW, el cual se desarrolla dentro del sistema NS comprendido entre la Quebrada Ortiga y del Arrayán. El corredor NNW queda enmarcado entre zonas de intersección de estructuras NS y NW de primer orden. Se desarrollan fallas normales NE dentro del corredor NNW (Figura 3.3). En El Plomo la alteración se encuentra asociada principalmente a estructuras NE y NNW.

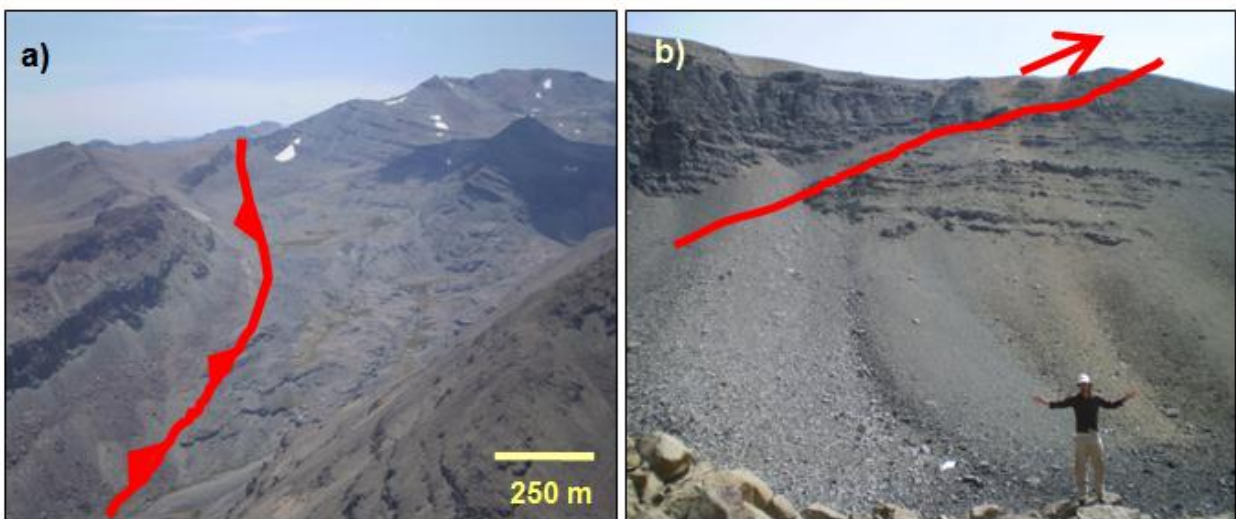


**Figura 3.3:** Foto interpretación de la zona de estudio: en rojo se representan las fallas inversas NS y lineamientos NW de basamento, ambas son de primer orden. En azul se muestra el lineamiento NNW y la relación que poseen con la zona de alteración hidrotermal (elipses rojas), corresponden a estructuras de segundo orden por estar subordinadas a las fallas inversas NS. En amarillo se distinguen las fallas normales NE y la dirección que presentan los cuerpos individualmente, corresponden a las estructuras de tercer orden por encontrarse subordinadas a las estructuras NNW.

### 3.2.2. Estructuras de primer orden

Corresponden a lineamientos NS y NW, donde los últimos se encuentran cortados por los primeros. Estos lineamientos poseen un carácter regional dentro del área de estudio.

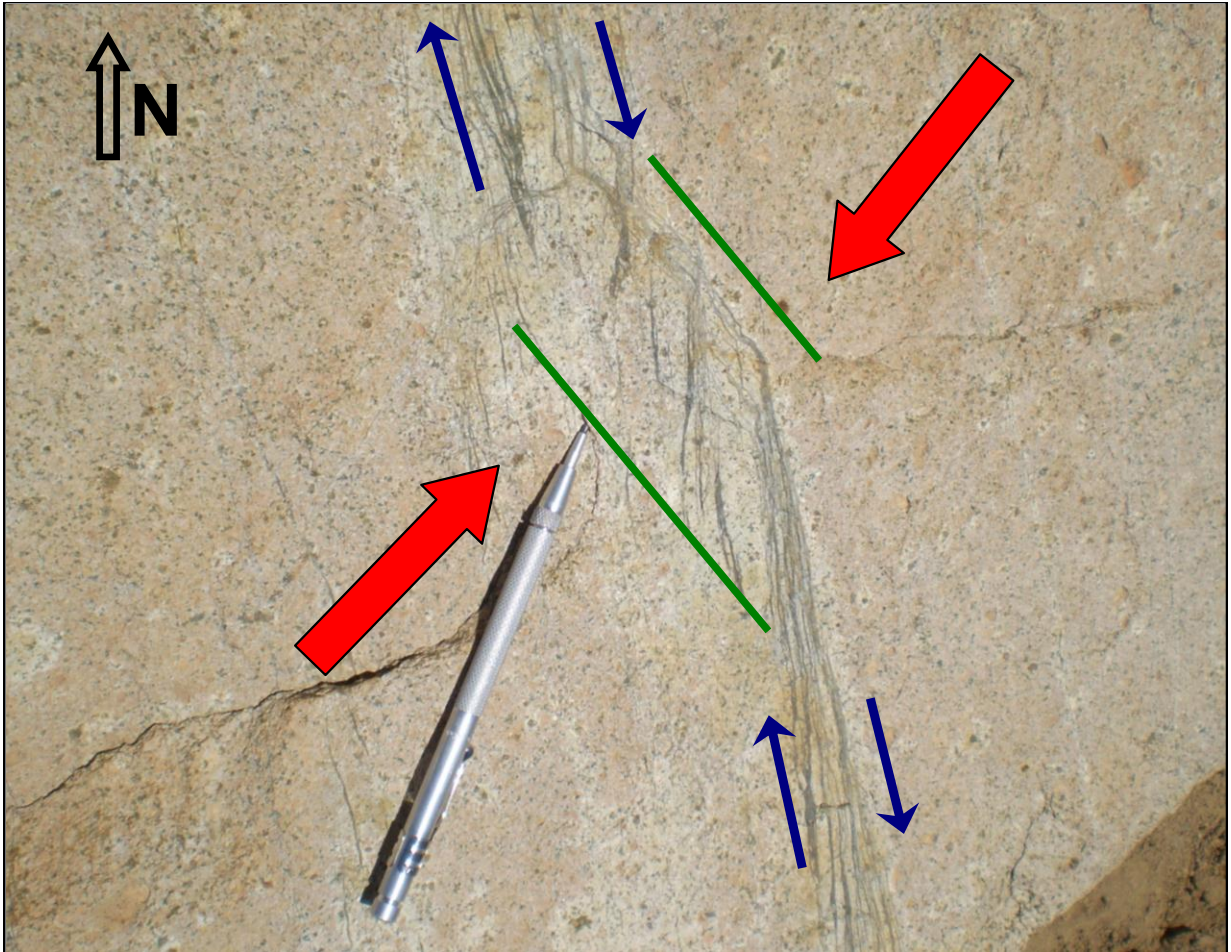
Se encontraron evidencias concretas para definir que los lineamientos NS corresponden a fallas inversas (cabalgamientos, estrías y pliegues de arrastre) (Figura 3.4). Los cabalgamientos se observan al NW del área de estudio, cercano a la Qda. Del Arrayán; al E en el Cordón de El Plomo, en la zona de intrusiones múltiples (SUPR); al NW, al norte del Cordón de Los Españoles; y hacia el SE, a lo largo del Valle Ortiga, en el sector de Laguna Seca, donde es posible verlos asociados a pliegues de arrastre.



**Figura 3.4:** Fotos tomadas con orientación norte a) Falla inversa de rumbo NS, manteando al oeste, ubicada al norte del Cordón de Los Españoles. b) Falla inversa N20°E/30°NW, manteando al oeste, ubicada al NW del área de estudio, en la Qda. Del Arrayán. Tomada de Eggers, 2008.

El lineamiento NS a lo largo del Estero Ortiga, denominado en este estudio como “Falla Ortiga”, pone en contacto rocas intrusivas (UIA y UIB) con secuencias volcánicas. Esta falla es manteando al este, mientras que la falla inversa ubicada a lo largo del Estero del Arrayán es manteando al oeste (Figura 3.3).

En la UIB (SUPA) se observan vetillas de magnetita-actinolita de orientación NS, que presentan desarrollo de un jog transtensional dextral (Figura 3.5).



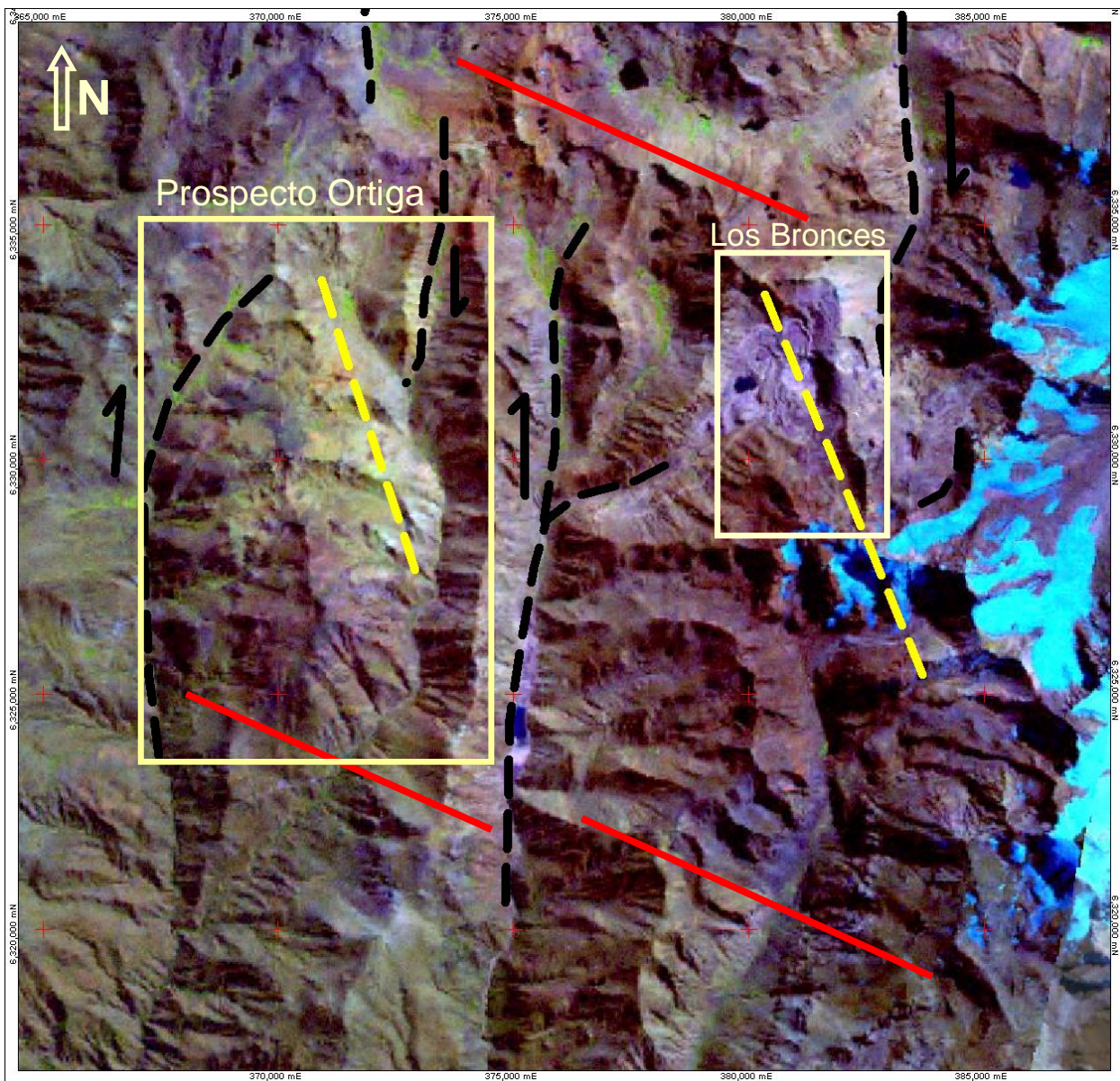
**Figura 3.5:** Vetillas NS (magnetita - actinolita) con halo de albita. En rojo se muestra la posición de sigma 1. En verde se muestra la posición de sigma 3, que refleja la dirección de extensión del jog. Sigma 2 es perpendicular al plano. En azul se muestran los vectores de movimiento dextral NS.

Los lineamientos NW constituyen otras estructuras de primer orden, fácilmente distinguibles en imágenes satelitales. Estos lineamientos aparecen cortados por fallas inversas NS descritas anteriormente, correspondiendo a las estructuras más antiguas observadas en terreno (Figura 3.6). Su intersección con las fallas inversas NS controla el emplazamiento de la UIB y restringe el desarrollo de la alteración hidrotermal a estos puntos.

### 3.2.3. Estructuras de segundo orden

Corresponden a lineamientos NNW representados por la alineación de intrusivos post-alteración (SUPR) y de estructuras vinculadas a los cuerpos silicificados (Figura 3.7). Estas estructuras se encuentran cortadas y subordinadas a las fallas inversas NS y presentan características distritales dentro del área de estudio (Figura 3.6).





**Figura 3.6:** Imagen satelital distrital que muestra las estructuras de 1er y 2do orden. En negro se muestran las fallas NS inversas, las flechas negras están sobre el bloque cabalgante. En rojo se destacan los lineamientos NW de primer orden. En amarillo se destacan los lineamientos NNW de segundo orden.

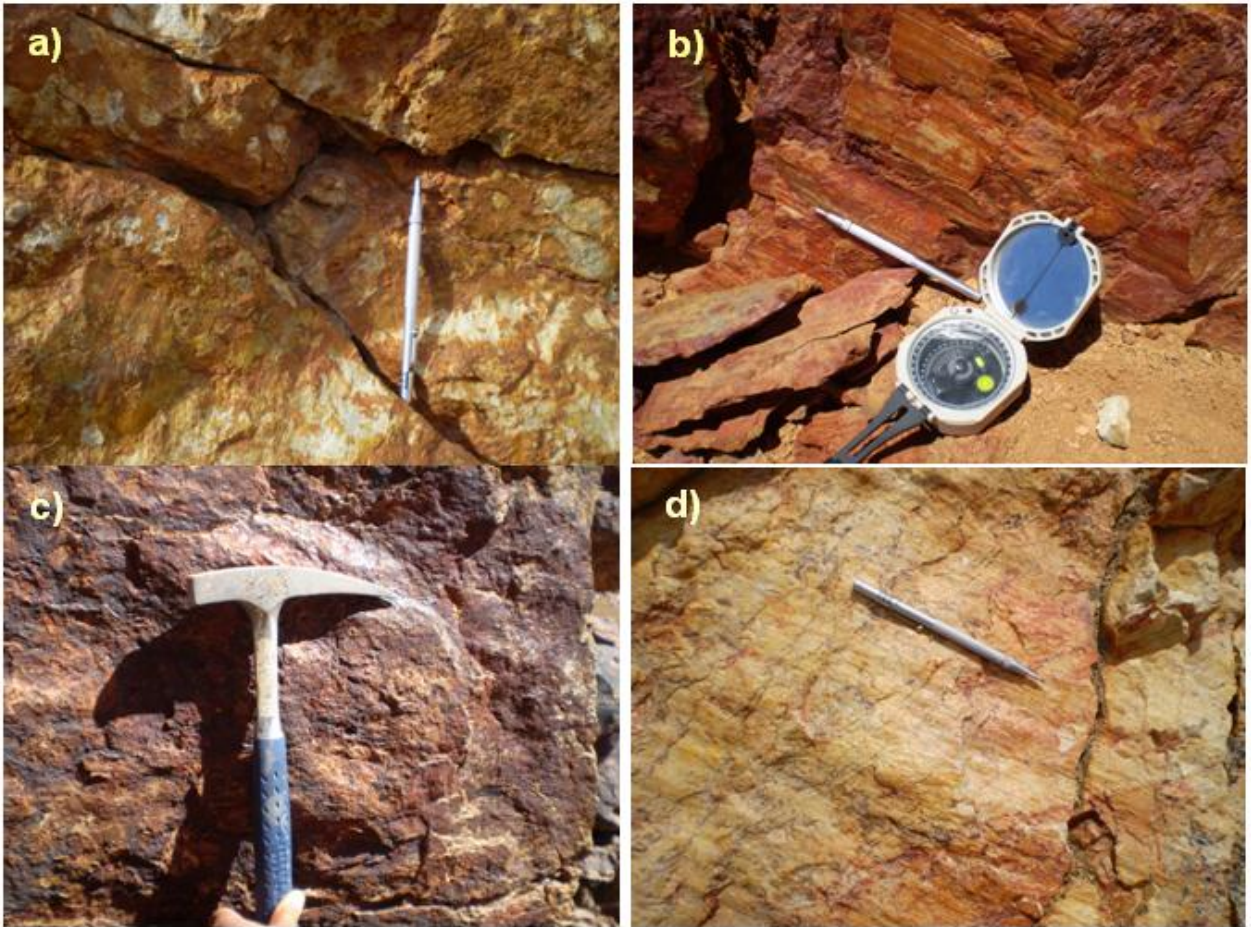


**Figura 3.7:** Estructura NNW que controla el emplazamiento de los cuerpos silicificados.

#### **3.2.4. Estructuras de tercer orden**

Están ampliamente distribuidas en la zona de estudio, poseen un rumbo NE a E-W y se encuentran cortando y/o subordinadas a las estructuras anteriores (Figura 3.3). Corresponden a fallas normales, con manteo de 60-80° al NW y al SE, y componente dextral en el rumbo, como queda evidenciado por las estrías encontradas en terreno (Figura 3.8 y Figura 3.6). Se observa además, que los cuerpos de Silica cap, la alteración argílica e intrusivos post-alteración (SUPR) desarrollan individualmente una elongación en sentido NE a E-W, la cual es subordinada a la disposición NNW para estos cuerpos en su conjunto. Corresponden a fallas conjugadas de las NNW.

A medida que el rumbo de las fallas se acerca a E-W adquieren un componente sinistral en el rumbo. Esto se explicaría por la descomposición de vectores de esfuerzo producto de la orientación del vector de convergencia en sentido NE.



**Figura 3.8:** Indicadores de movimiento en fallas: a) Estrías y escalones que evidencian movimiento normal en una falla EW / 65°S b) Falla N65°E / 75°NW con estrías y escalones de movimiento transcurrente dextral. c) Falla N75°E / 75°SE presentando escalón de movimiento transcurrente dextral. d) Falla N50°E / 36°SE con estrías y escalones que evidencian movimiento transcurrente dextral.

En este conjunto se incluyen también los diques andesíticos de orientación NE y E-W, los cuales presentan en algunos casos emplazamientos por mecanismo de dique- falla con componente sinistral (Figura 3.9).



**Figura 3.9:** Dique andesítico EW / 90° emplazado sintectónicamente a través de una falla con movimiento sinistral.

### 3.2.5. Interpretación geológica.

Debido a las similitudes y magnitudes observadas en terreno, las fallas NS de primer orden (Ortiga y Arrayán), son correlacionables con las fallas inversas de alto ángulo descritas por Skarmeta et al.2000) en el distrito RB-LB (Falla Río Blanco y Falla San Francisco). Al igual que otras fallas norte-sur, se considera que corresponden a fallas normales, posteriormente reactivadas como fallas inversas (Skarmeta et al., 2000; Charrier et al., 2002).

Las estructuras NW son las más antiguas del área, dado que se encuentran cortadas por las demás. Se consideran de esta manera como estructuras de basamento. Durante el evento tectónico compresivo, asociado a la generación de fallas inversas NS, las estructuras NW adquieren movimiento sinistral en el rumbo.

El corredor estructural NNW, subordinado a las zonas de intersección entre estructuras NS y NW, controla el desarrollo de la alteración hidrotermal e intrusivos post-alteración en el prospecto y el emplazamiento de pórfidos en el distrito (Figura 3.7). Dentro de este ordenamiento mayor se desarrollan lineamientos de tercer orden NE (fallas

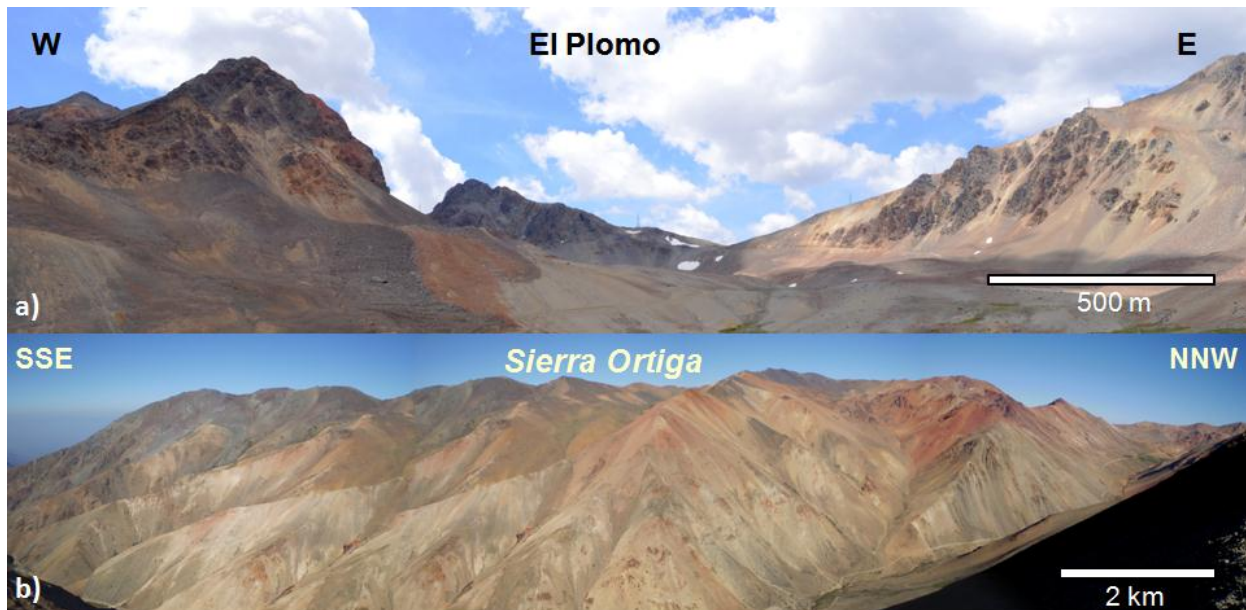
conjugadas), manifestados por la elongación en este sentido de los cuerpos individuales. Se postula que el emplazamiento de los Silica cap fue sintectónico con respecto a las estructuras NE. Este régimen tectónico habría perdurado más allá del emplazamiento de estos cuerpos, evidenciado por su fallamiento en la misma dirección (Figura 3.8).

Los intrusivos de morfología tabular pueden ser considerados en sí mismos como estructuras (Richards, 2003, 2005). Considerando que el BSF pertenece a la franja de batolitos y plutones de edad Mioceno – Plioceno, que se extiende en Chile central por más de 350 km en dirección NS y 25 km de ancho (Stambuk et al., 1993), se puede considerar que las orientaciones de los distintos intrusivos que componen el BSF, son en sí mismas, estructuras. De esta manera la UIA y UIB, que poseen una elongación NS a través de la Quebrada Ortiga pueden vincularse con la falla Ortiga, inversa y de alto ángulo. Además, el jog transpresivo dextral observado en la UIB (Figura 3.5) puede ser considerado como un indicador cinemático de la estructura. Así, la falla Ortiga, se determina como inversa, de alto ángulo y de componente dextral en el rumbo.

En el yacimiento Río Blanco – Los Bronces, Castelli e Iriarte (1998) y Castelli (1999), reconocen que el Complejo Plutónico Río Blanco – San Francisco, podría tener la forma de un lacolito e indican que la intrusión de las diferentes fases fue controlada por una falla inversa de alto ángulo. De una manera similar, se postula que tanto la UIA como la UIB fueron emplazadas sintectónicamente a través de la falla Ortiga (y FSF, Skarmeta, 2000) durante la inversión tectónica de la cuenca de Abanico (Burns y Jordan, 1999; Charrier et al., 2002). Como se determinó anteriormente, la alteración argílica avanzada (12,3 Ma según Eggers, 2008) es producto de la exsolución de fluidos a partir de la UIB (SUPA). Esto permite estimar indirectamente una edad de ~13 Ma para la SUPA (UIB) y su emplazamiento a través de la falla Ortiga. La UIA se habría emplazado de manera semejante, pero con anterioridad. Sin embargo no es posible determinar cuál es la separación temporal entre ambos eventos tectono-magmáticos.

## 4. Geología económica: Alteración y mineralización

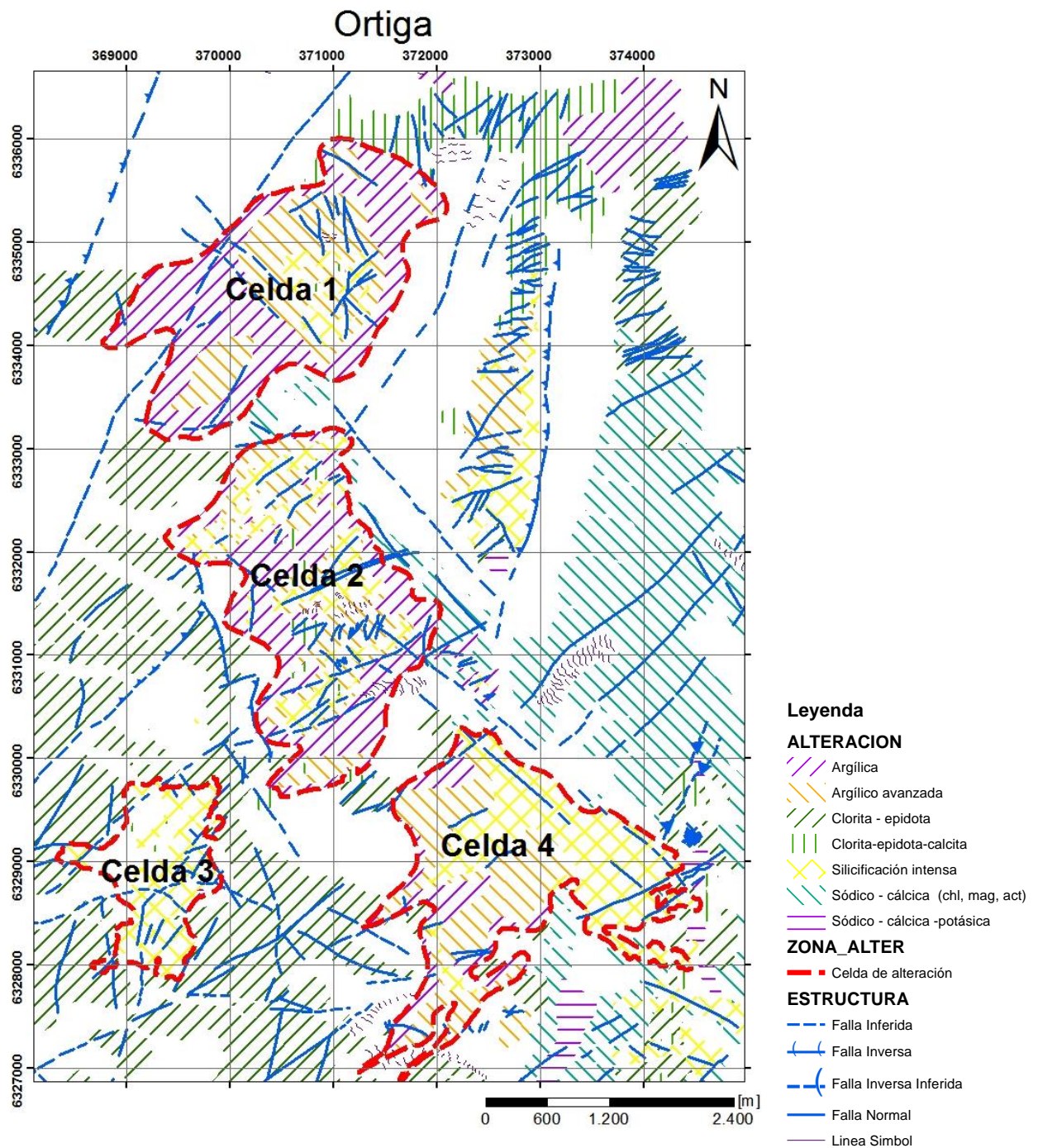
En este capítulo se describirán las distintas alteraciones y mineralización de los prospectos Ortiga y El Plomo. La alteración en Ortiga ha sido descrita y caracterizada por Egger (2008) y en El Plomo por Zamorano (2011). Ambas zonas presentan anomalías de color, en Ortiga, particularmente, esta anomalía presenta una extensión de unos 8 x 5 km<sup>2</sup>, en cambio en El Plomo se observan afloramientos aislados que presentan un marcado color rojizo en superficie (Figura 4.1)



**Figura 4.1:** Panorámicas de las zonas de estudio: a) foto tomada hacia el norte en la quebrada de Riecillos, b) foto tomada hacia el WSW desde el Cordón de El Plomo (Eggers, 2008), se observan las anomalías de color de las zonas de estudio.

### 4.1. Alteración

En ortiga la alteración Hidrotermal permitió definir celdas de alteración caracterizadas por presentar un centro de alteración argílica avanzada y silicificación intensa rodeada por una zona de alteración argílico moderado (Figura 4.2). En El Plomo la alteración predominante es Clorita - Magnetita con algunos sectores acotados con alteración caolinita - illita - sericita (Figura 4.3). La alteración hidrotermal presente en las zonas de estudio se puede agrupar en las siguientes asociaciones.



**Figura 4.2:** Mapa de alteración de Ortiga. En Rojo se destacan las celdas de alteración hidrotermal.

# El Plomo

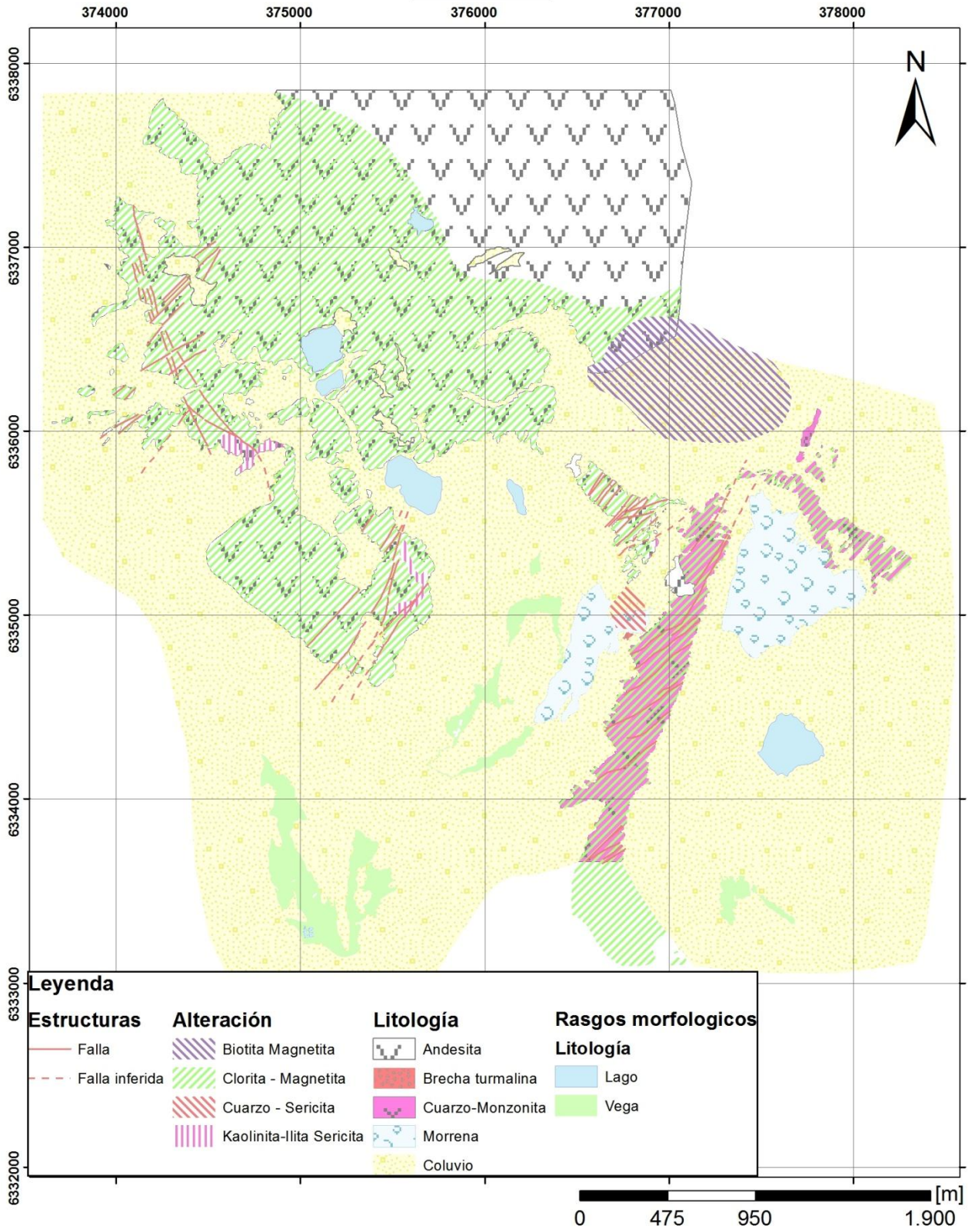


Figura 4.3: Mapa geológico de El Plomo con alteración y estructuras.

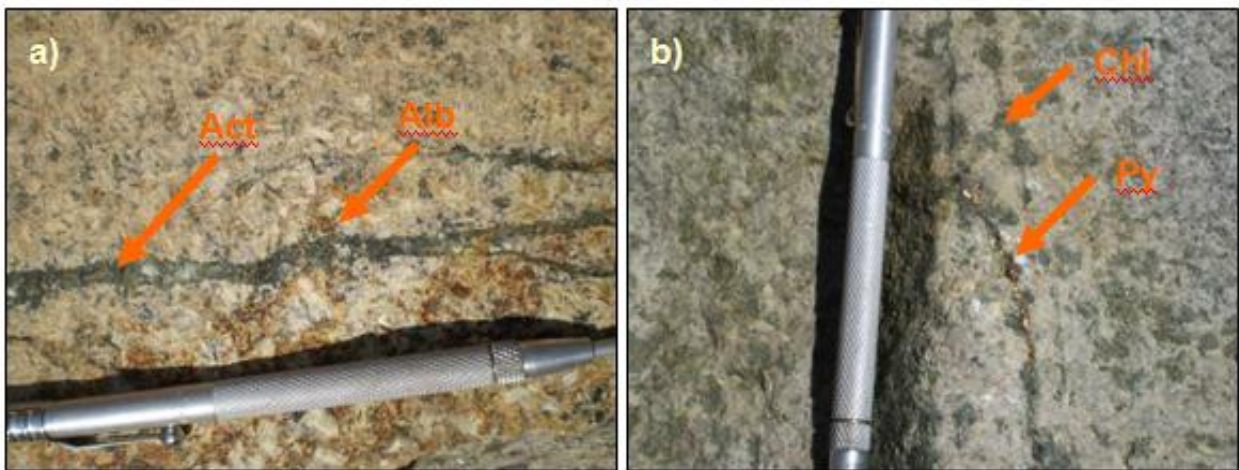


#### 4.1.1. Alteración Clorita - Magnetita

Alteración la dominante en la mayor parte El Plomo. Esta asociación se presenta como una cloritización de la matriz en la andesita con magnetita diseminada y como cloritización de los máficos en la cuarzo monzonita. Es la alteración dominante en El Plomo.

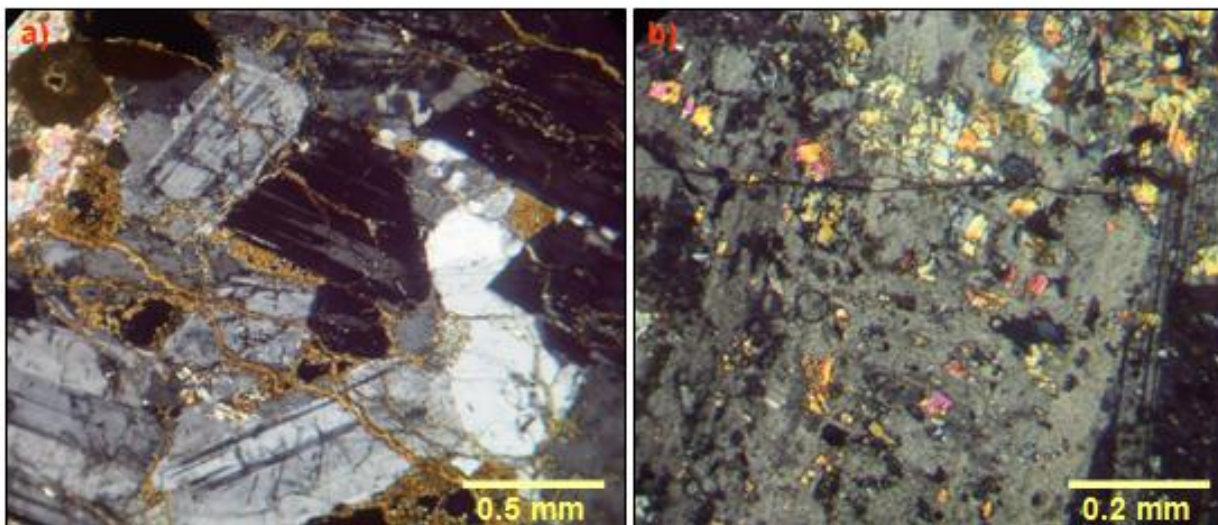
#### 4.1.2. Alteración Sódico - Cálctica / Tardimagmática I

La asociación mineral corresponde a clorita - rutilo - actinolita - epidota - albita. Presenta una amplia distribución en Ortiga, afecta a la UIA y a la SUPA de la UIB. Se presenta diseminada y en vetillas con dirección preferencial NS. Las vetillas son discontinuas y sinuosas (Figura 4.4). En El Plomo se presenta en la parte NE afectando principalmente a la andesita.



**Figura 4.4:** Vetillas: a) Vetillas de Actinolita (Act) de 8 mm de espesor y forma sinuosa. Tiene halo de alteración de Albite (Alb) b) Anfíboles reemplazados por Clorita (Chl), vetilla de Pirita (Py) con bordes de Chl.

La clorita es de carácter férrico, por presentar al microscopio color verde en luz polarizada plana y color azul en nicoles cruzados, y corresponde al mineral más abundante. Se encuentra generalmente alterando a los minerales máficos (anfíboles y piroxenos). Es posible encontrar epidota subordinada a este reemplazo y también sobre las plagioclasas. La clorita, además se presenta en vetillas finas y discontinuas con epidota subordinada y halo de albita, y de la misma manera relleno de cavidades miarolíticas. Los cristales de plagioclasas se encuentran alterados a albita – epidota (Figura 4.5). La albita se observa además como un halo de reacción en los bordes de vetillas de clorita – epidota y actinolita. La actinolita se puede observar en vetillas o bien reemplazando minerales máficos (anfíboles y piroxenos) (Figura 4.4).



**Figura 4.5:** Fotomicrografías tomadas con objetivo de 10X de alteración sódico-cálcica. a) Muestra 35759, se observan vetillas con epidota. b) Muestra 35537, epidota sobre plagioclasas.

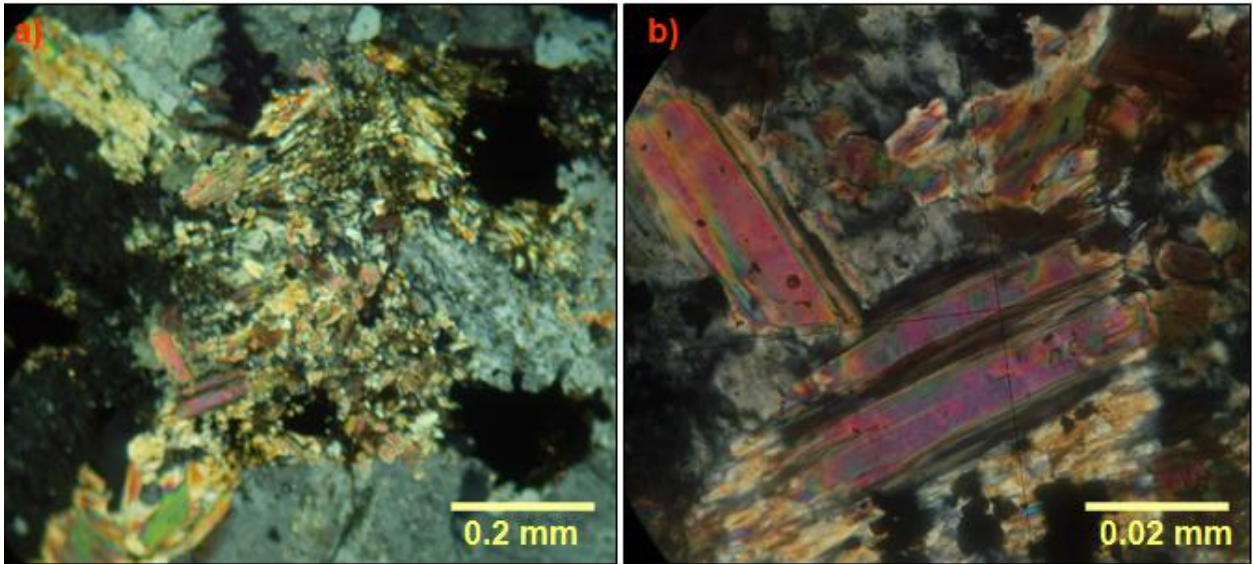
Las sobreimposiciones hipógenas observadas corresponden a argílico intermedio y avanzado, las cuales se presentan sobre las plagioclasas en forma de halloysita – montmorillonita, y alunita – dickita – pirofilita – diásporo (Eggers, 2008). Se manifiestan con mayor pervasividad en zonas cercanas a juegos de estructuras. El desarrollo de una u otra dependerá del pH de los fluidos que interactúan con la roca y con la capacidad de ésta de neutralizarlos.

Asociado a la sobreimposición de las alteraciones argílico avanzado e intermedio, se observa pirita diseminada euhedral y en vetillas finas de hasta 1 cm de espesor.

#### **4.1.3. Alteración Sódico – Cálcica – Potásica / Tardimagmática II**

La asociación mineral corresponde a biotita – magnetita – actinolita – clorita – epidota – cuarzo – albita. Presenta un desarrollo acotado espacialmente dentro del área de estudio. Es posible observarla en el sector del Túnel Ortiga, en el Cordón El Plomo a la altura de la Planta San Francisco, en la confluencia de la Quebrada Ortiga con la Quebrada del Rayo, y al interior del túnel afectando las rocas de la UIA y UIB (SUPA). Su pervasividad se considera débil.

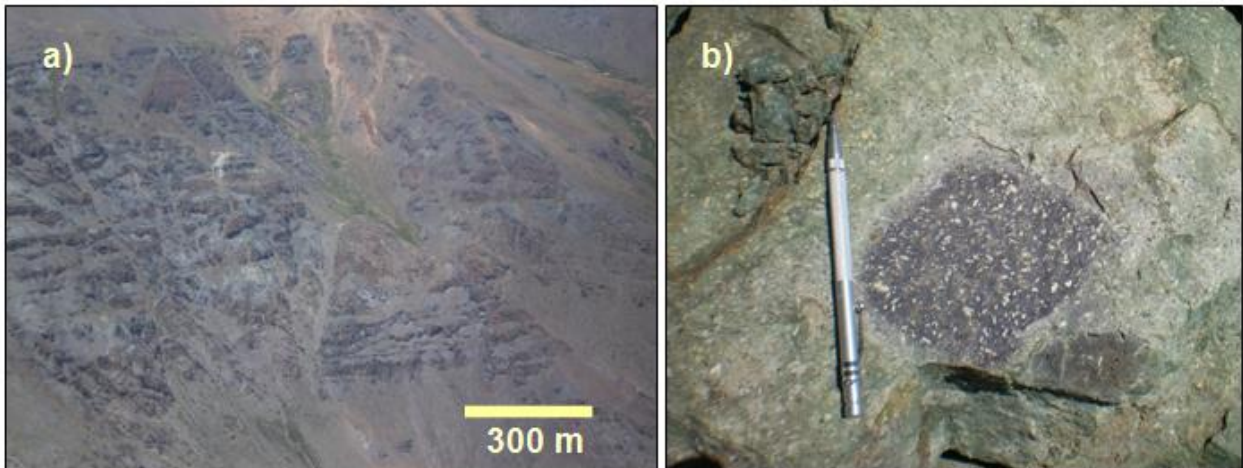
La biotita se presenta preferentemente en cristales pequeños como reemplazo parcial de anfíboles (Figura 4.6). También se observa en vetillas de magnetita de 0,5 a 2 cm, formando cristales gruesos, de características pegmatoideas y color negro y textura sagenítica, esto es presencia de agujas de rutilo en biotita (Eggers, 2008). Esta textura es un indicador de que se trata de una biotita magmática re-equilibrada a condiciones hidrotermales bajo un régimen de alteración potásica (Eggers, 2008).



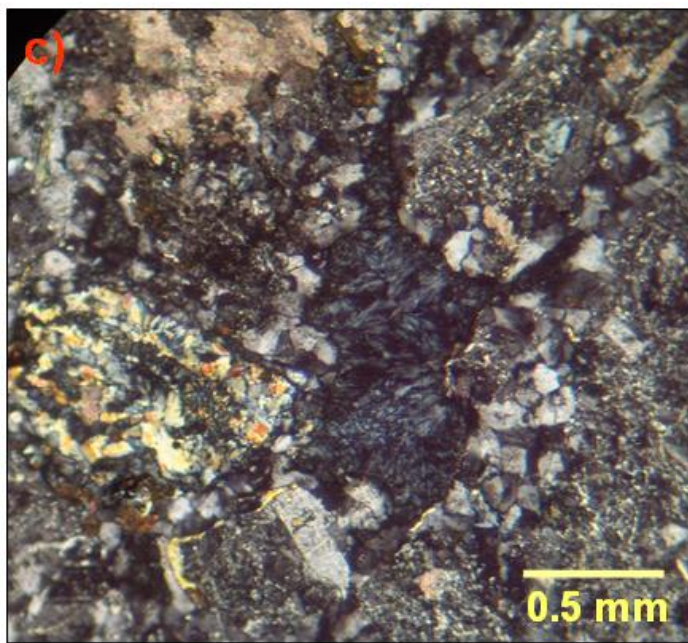
**Figura 4.6:** Fotomicrografías de la muestra 35778, nicoles cruzados. Se observa biotita secundaria alterando a anfíboles. Se observan además minerales opacos que corresponde a magnetita. a) Objetivo de 10X. b) Objetivo 50X.

#### 4.1.4. Alteración Clorita - Epidota

La asociación mineralógica corresponde a clorita – epidota – illita – carbonatos – cuarzo. Se presenta en las rocas de las unidades volcánicas. Una fuerte cloritización afecta selectivamente a la andesita en la masa fundamental, asociada con una fuerte a intensa silicificación y cantidades subordinadas de epidota (Figura 4.7 y Figura 4.8).



**Figura 4.7:** a) Afloramiento secuencia volcánica andesítica con desarrollo de alteración clorita – epidota. b) Brecha volcánica andesítica con alteración clorita – epidota.



**Figura 4.8:** Fotomicrografía muestra 35596, nicoles cruzados, objetivo 10X. Se observa la asociación clorita – epidota – calcita en una lava andesítica.

En zonas de falla presenta sobreimposición de alteración argílica intermedia y argílica avanzada, evidenciado por la presencia de halloysita – siderita – alunita, y dickita – pirofilina – diásporo, respectivamente (ver anexo petrografía). Acompañando a estos eventos se observa hasta un 10% en volumen de pirita.

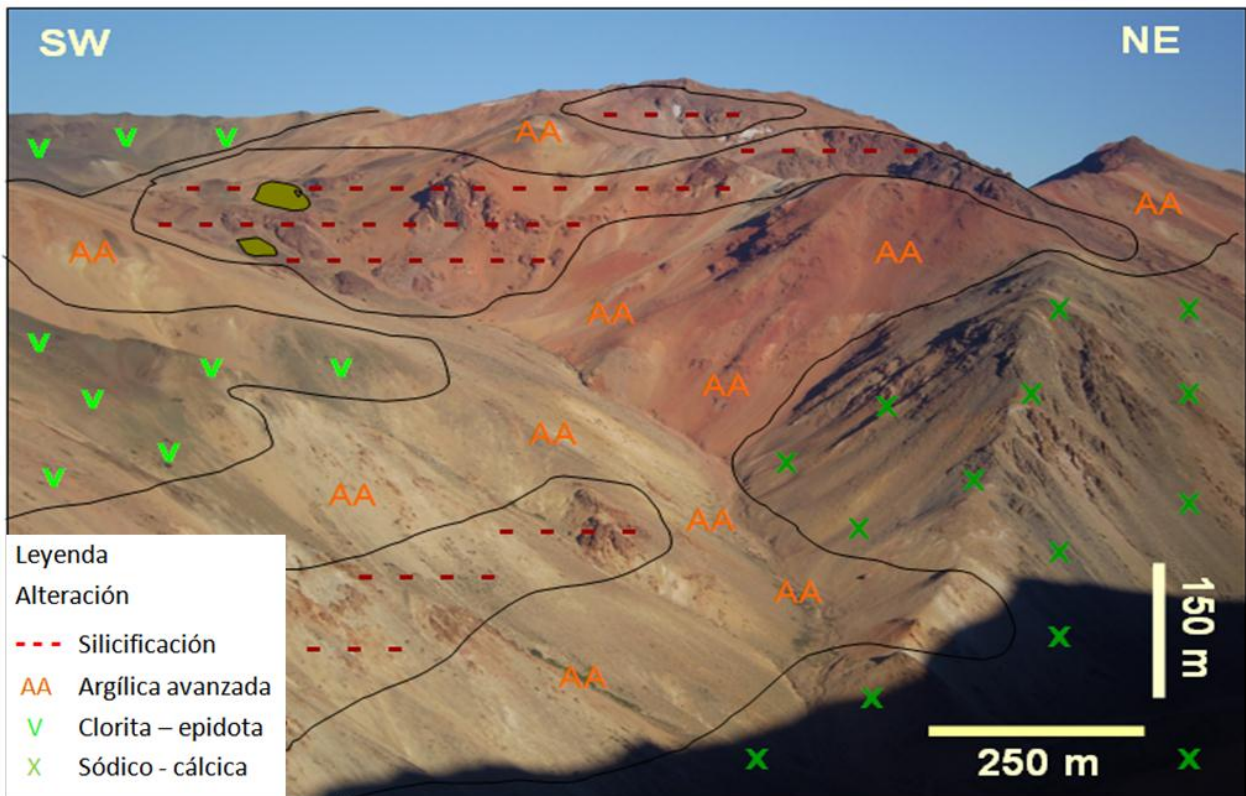
No fue posible separar la clorita – epidota de los distintos eventos que la generaron. Esta puede ser producto de halos propilíticos, propios del emplazamiento de las unidades intrusivas (UIA y UIB), o bien debido al metamorfismo de bajo grado de la Formación Abanico (Levi et al., 1989 Aguirre et al., 2000; Fuentes et al., 2002; Bevins et al., 2003; Fuentes 2004).

#### **4.1.5. Alteración Cuarzo – Sericita**

Esta alteración se define en sub-superficie por información de sondajes en el norte del área de estudio. La asociación mineralógica corresponde a cuarzo – sericita +/- turmalina. Se desarrolla a partir de 20 metros bajo la superficie y está descrita hasta 300 m de profundidad. Afecta a las andesitas y a intrusivos cuarzo monzoníticos y cuarzo monzodioríticos. Presenta tramos con relictos de alteración propilítica. No existe mineralización económica asociada a esta alteración.

#### 4.1.6. Alteración Argílica Avanzada

La asociación mineralógica de alteración corresponde a alunita – pirofilita – andalucita – sílice – dickita – diásporo – baritina – yeso (post anhidrita) – azufre nativo. Afecta a las unidades volcánicas, a las rocas de la UIA y SUPA (UIB). Se presenta de manera pervasiva en las rocas volcano-sedimentarias (tobas, tobas brechosas y tobas de lapilli), debido a la mayor permeabilidad primaria. Fue posible separarlo en cinco celdas del orden de 2 a 4 km<sup>2</sup> cada una (ver mapa adjunto). Las celdas en su conjunto presentan una orientación NNW, pero individualmente se desarrollan en sentido NE. El espesor estimado para esta alteración es de 300 – 350 m (Figura 4.9).



**Figura 4.9:** Fotografía de la celda 3. Se observa la magnitud de la alteración argílica avanzada. Se distingue además una zona lixiviada rica en hematita (coloración roja).

La asociación mineralógica alunita – pirofilita – andalucita – sílice – dickita – diásporo – baritina – yeso – azufre nativo, se presenta como reemplazo parcial o total de los minerales primarios (plagioclasas) y en vetillas (Figura 4.10). Se determinó que la alunita es de carácter hipógeno dado su hábito y asociación con pirofilita.

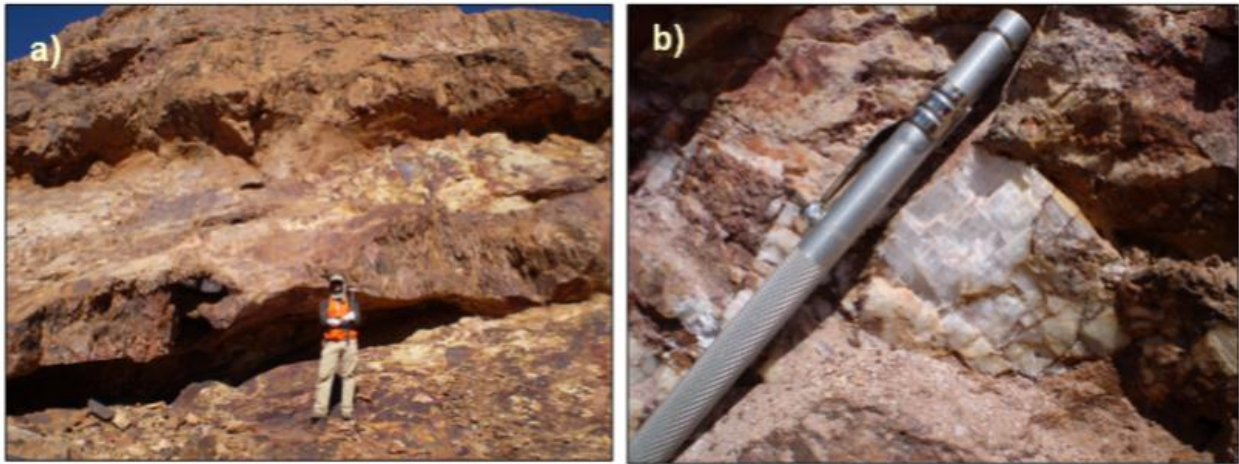


**Figura 4.10:** a) Veta N80°E / 90° de Alunita (Al) cristalina. b) Vetilla de Hematita (Hem) con sutura central de Al. Además se observan vetillas de Al cortando a la vetilla anterior. Se postula para la vetilla de Hem – Al, que ésta era originalmente una vetilla de Magnetita la cual se oxido a Hematita y finalmente la Alunita utilizó la estructura previa.

Al centro de esta zona de alteración se presentan cuerpos de sílice masiva (Silica cap) (Figura 4.11), con cantidades subordinadas de los minerales antes mencionados, alcanzan dimensiones del orden de 200 x 300 m, están elongados en sentido NE y son intruidos por pórfidos tardíos (SUPR).

Los sulfuros hipógenos que acompañan esta asociación mineralógica se manifiestan localmente y corresponden a pirita diseminada, la cual puede llegar a constituir hasta un 10% en volumen.

En superficie se desarrolla una cubierta lixiviada compuesta de limonitas (jarosita, goetita, hematita) y sulfatos (yeso) en forma de pátinas. Es posible distinguir en muchos casos texturas de reemplazo como pseudomorfos de sulfuros (probablemente pirita) constituidos por limonitas.



**Figura 4.11:** a) Cuerpo de sílice masiva (Silica cap) desarrollada en una zona de alteración argílica avanzada (AA). b) Vetilla de yeso cristalino (hipógeno) desarrollada en AA.

Otro rasgo importante son las brechas freáticas, compuestas por clastos de rocas volcánicas o intrusivas, dependiendo de la litología sobre la cual se desarrollen. Son subangulosos a redondeados, de tamaño variable entre 50 a 1 cm y se encuentran intensamente silicificados. La matriz está compuesta de sílice masiva y puede contener minerales de la asociación argílica avanzado (Figura 4.12). Conforman la porción central de los cuerpos de Silicacap.



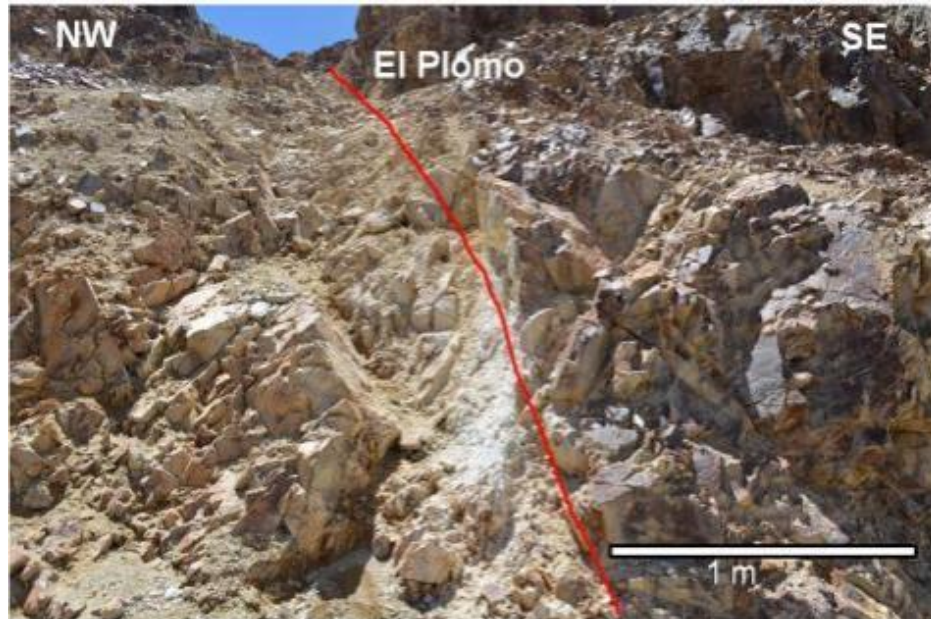
**Figura 4.12:** Ejemplos de textura de brechas freáticas, se observa una silicificación intensa.

#### 4.1.7. Alteración Argílica Intermedia

La asociación mineralógica corresponde a montmorillonita – caolinita – clorita – prenhita – cuarzo – siderita – halloysita – illita. Se presenta alrededor de la alteración argílica avanzada y en núcleos independientes desarrollados en andesitas (sector NE). Afecta principalmente a la Unidad Volcánica Efusiva (andesitas) y a la Unidad Piroclástica (tobas), y en menor proporción a las rocas de la UIA y SUPA (UIB) en las zonas cercanas a estructuras (Figura 4.13 y Figura 4.14). En El Plomo se presenta como la

asociación caolinita-ilita-sericita asociado a estructuras NE y NW. La alteración en esta localizada a las zonas de fallas.

El grado de pervasividad es variable, afectando fenocristales de plagioclasas y remplazándolos por arcillas (caolín y montmorillonita) y halloysita. Los fenocristales de anfíboles presentan reemplazo por clorita-esmectita-ilita +/- siderita – calcita. La masa fundamental de las andesitas se encuentra alterada a clorita-prenhita-ilita-esmectita-calcita-halloysita. En las tobas se presenta con mayor intensidad, afectando a la roca integralmente.



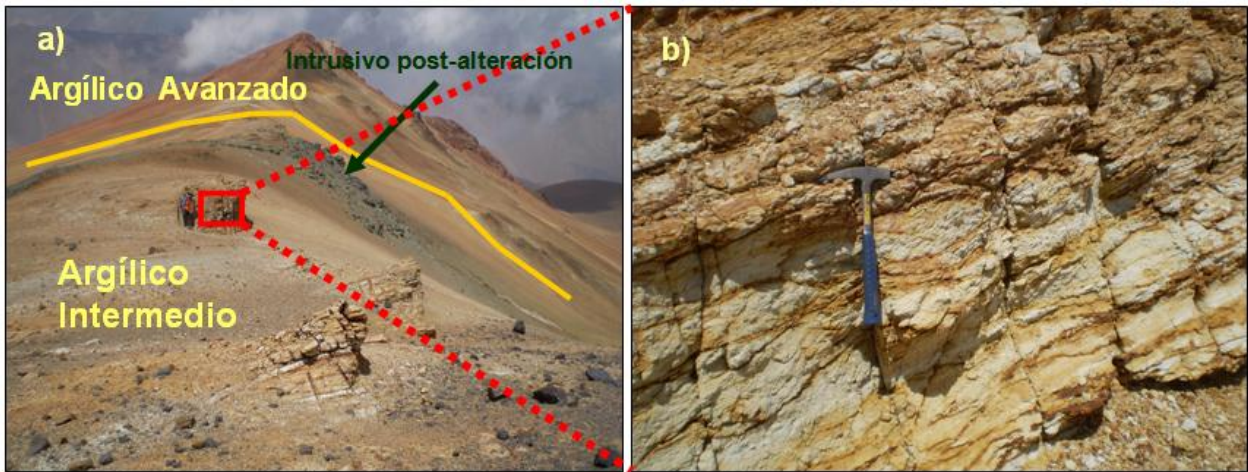
**Figura 4.13:** Alteración argílica controlada por estructuras NE.

Al igual que en la alteración argílica avanzada, se observó pirita diseminada, llegando hasta un 10% en volumen.

En muestras de mano y en cortes transparentes se observa la superposición del argílico intermedio sobre la alteración clorita – epidota y la sódico – cálcica. En ambos casos se observa minerales de arcilla (caolinita – montmorillonita) sobre cristales de plagioclasas.

Se observa una cobertura lixiviada constituida por limonitas, la cual es característica para toda el área. Se observan además pseudomorfo de sulfuros (Py) con reemplazo de limonitas.





**Figura 4.14:** a) Vista general de una zona con alteración Argílica, al fondo se observa alteración Argílico Avanzada. Al centro se observa un pórfido andesítico post-alteración. b) Mayor detalle del rectángulo en rojo, donde se muestra la mayor pervasividad de la alteración argílico intermedia en tobas.

## 4.2. Cuerpos de Brecha

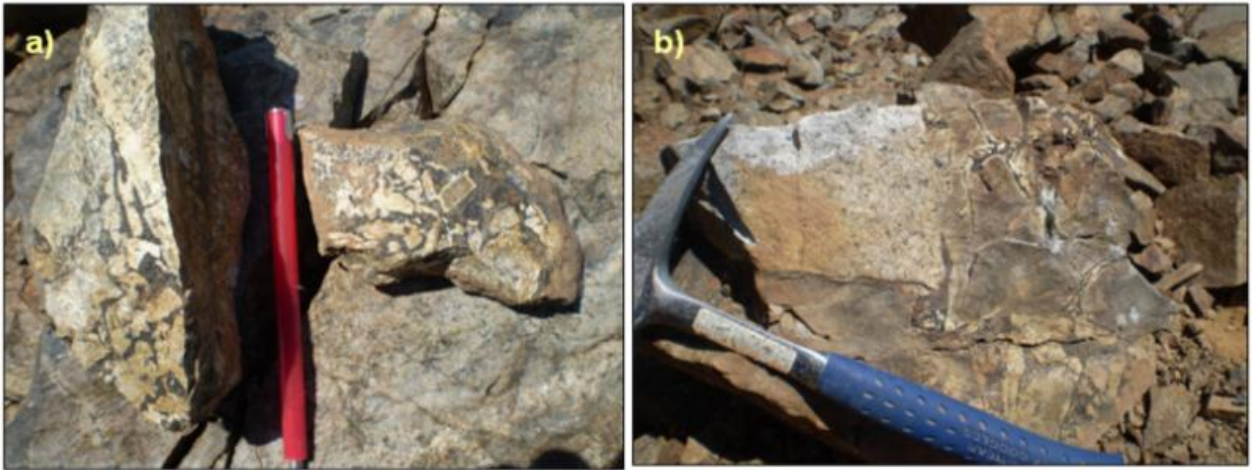
Estas brechas no son representables a la escala de mapeo, generalmente se presentan como cuerpos que no sobrepasan los 10 x 10 metros. Se presentan intruyendo a la UIA en su borde del margen oeste y al final de la Quebrada del Rayo.

### 4.2.1. Brecha de Magnetita

Es clasto soportada (65% clastos, 35% matriz). La matriz está compuesta de magnetita. Los clastos son de la UIA, varían entre angulosos a subangulosos, entre 10 y 2 cm y presentan alteración cuarzo – sericita – arcillas (Figura 4.15). En estos se distingue una zonación con sericita hacia los bordes y caolinita – illita hacia el centro, evidenciando reacción entre el fluido que generó la matriz y la roca a la cual afectó.

Con respecto a la mineralización, al fondo de la Quebrada del Rayo, se observa pirita diseminada en la matriz y vetillas, alcanzando concentraciones de 2 – 6% en volumen.

Debido al carácter monomíctico de la brecha y a sus clastos angulosos, se asume que se generó por un fracturamiento in situ de la UIA, debido a un aumento de la presión de fluido a niveles por sobre la presión litostática (hidrofracturamiento).



**Figura 4.15:** a) y b) Brechas con matriz de Magnetita y cantidades subordinadas de Turmalina.

#### 4.2.2. Brecha de Turmalina

Es clasto soportada (70% clastos, 30% matriz). La matriz está compuesta de turmalina y los clastos corresponden a la UIA. Los clastos se encuentran alterados a sericita, son subangulosos, alargados y de tamaño entre 1 a 8 cm (Figura 4.16). No se observaron sulfuros asociados a estas brechas. En algunos casos estas brechas presentan una silicificación intensa, presentando oquedades de minerales relictos.



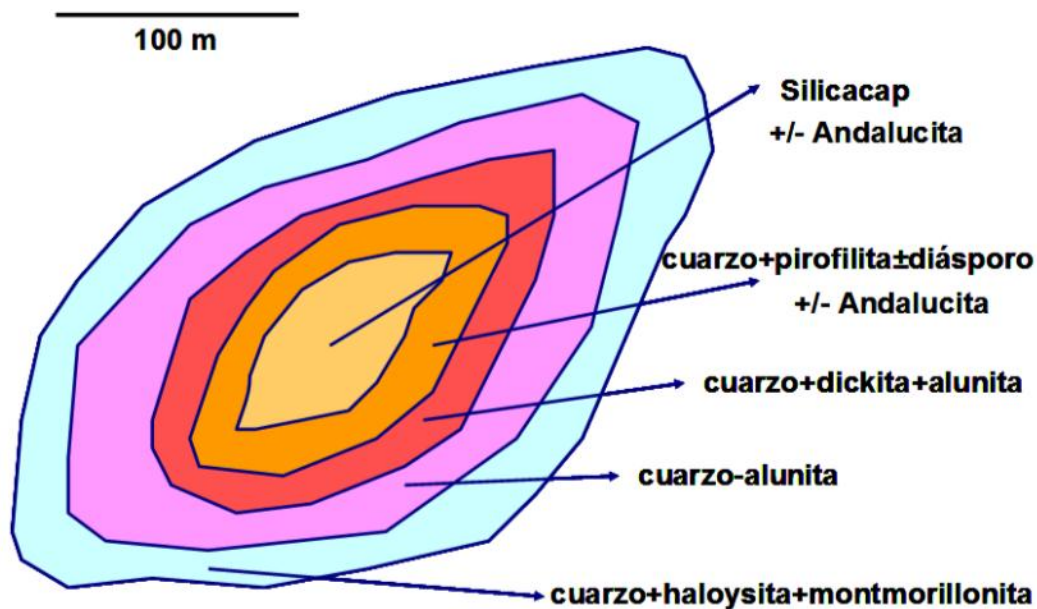
**Figura 4.16:** Brecha con matriz de Turmalina, los clastos intrusivos presentan alteración cuarzo – sericita y presenta oquedades producto de la silicificación.

### 4.3. Zonación de la Alteración

En las cinco celdas hidrotermales reconocidas en Ortiga, es posible distinguir una zonación mineralógica. En la parte central se observa sílice masiva (Silica cap) asociada a las fallas NE. Rodeando a estos núcleos se presenta cuarzo + pirofilita ± diásporo ± andalucita, pasando hacia los bordes a cuarzo + dickita + alunita (argílico avanzado), después a cuarzo-alunita y más externamente a cuarzo + halloysita + montmorillonita (argílico intermedio) (Figura 4.17).

El control estructural en la zonación de las alteraciones hidrotermales es evidente. En torno a las estructuras se desarrolla argílico avanzado y hacia la periferia argílico intermedio.

Para el caso de los sulfuros (pirita), no se observa una zonación con respecto a las alteraciones argílico avanzada e intermedia. Ambos eventos son sincrónicos y aportan pirita.



**Figura 4.17:** Distribución esquemática de asociaciones minerales observadas en terreno

La zonación observada se debe a las variaciones en las variables físico-químicas, tales como gradiente de temperatura, presión, pH y eH de los fluidos, reactividad y permeabilidad de la roca caja. El Silicacap y la alteración argílica avanzada circundante se desarrollan por la acción de fluidos ácidos (pH ~0-2, Stoffregen, 1987; Giggenbach, 1997) y temperaturas entre 280° a 360°C (Seedorff et al., 2005). La alteración argílica intermedia, que rodea a la anterior, se genera por la acción de fluidos menos ácidos (pH ~3-4, Giggenbach, 1997) y de menor temperatura (< 280°C) (Seedorff et al., 2005). Para ambos tipos de alteración, la pervasividad y extensión, depende de la reactividad y permeabilidad de la roca respectivamente.

A medida que los fluidos ascienden por las estructuras, éstos van reaccionando con la roca caja y se van neutralizando y enfriando a medida que se alejan (Steven y Ratté, 1960). Al llegar al nivel freático se condensan al entrar en contacto con aguas meteóricas frías y generan vapores ricos en H<sub>2</sub>S que se oxidan y producen sulfatos (Hedenquist et al., 2000). En presencia de rocas permeables forman Silica cap, que marcan la presencia de los paleo – niveles freáticos (Sillitoe, 1985; 1999).

#### **4.4. Paragénesis**

Por mucho tiempo los diagramas de paragénesis resumieron las relaciones temporales en dos dimensiones; en el eje y se ubicaban los minerales individuales y en el eje x el tiempo. Con los avances en la comprensión de las edades relativas de vetillas e intrusiones, se ha creado una nueva forma de representar los diagramas paragenéticos convencionales, introduciendo la variable espacio (diagramas espacio-tiempo) (Figura 4.18) (Seedorff, 1988; Proffett, 2003).

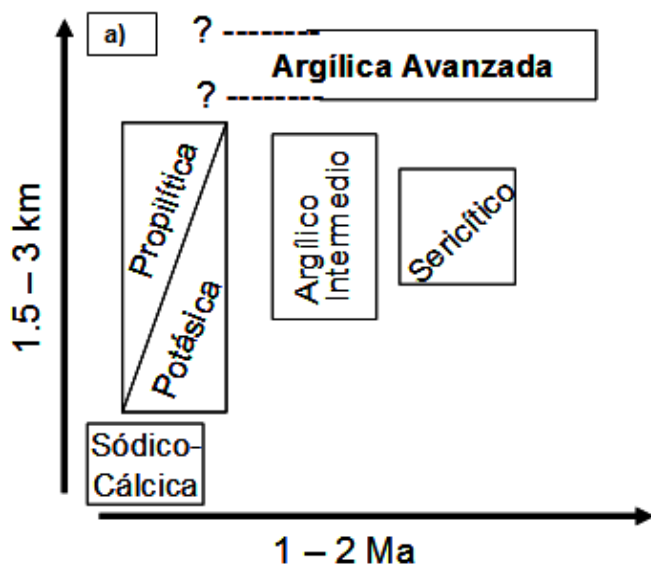
La secuencia paragenética del prospecto Ortiga fue determinada a partir del estudio de las sobreimposiciones de las alteraciones, observadas tanto en terreno como en cortes transparentes, Pima y DRX (Eggers, 2008).

El sistema magmático – hidrotermal comienza con la alteración sódico – cálcica, la cual en sus etapas finales es sincrónica con la alteración sódico – cálcica – potásica. Estas alteraciones se asocian a las etapas finales de cristalización de la UIA y SUPA (UIB).

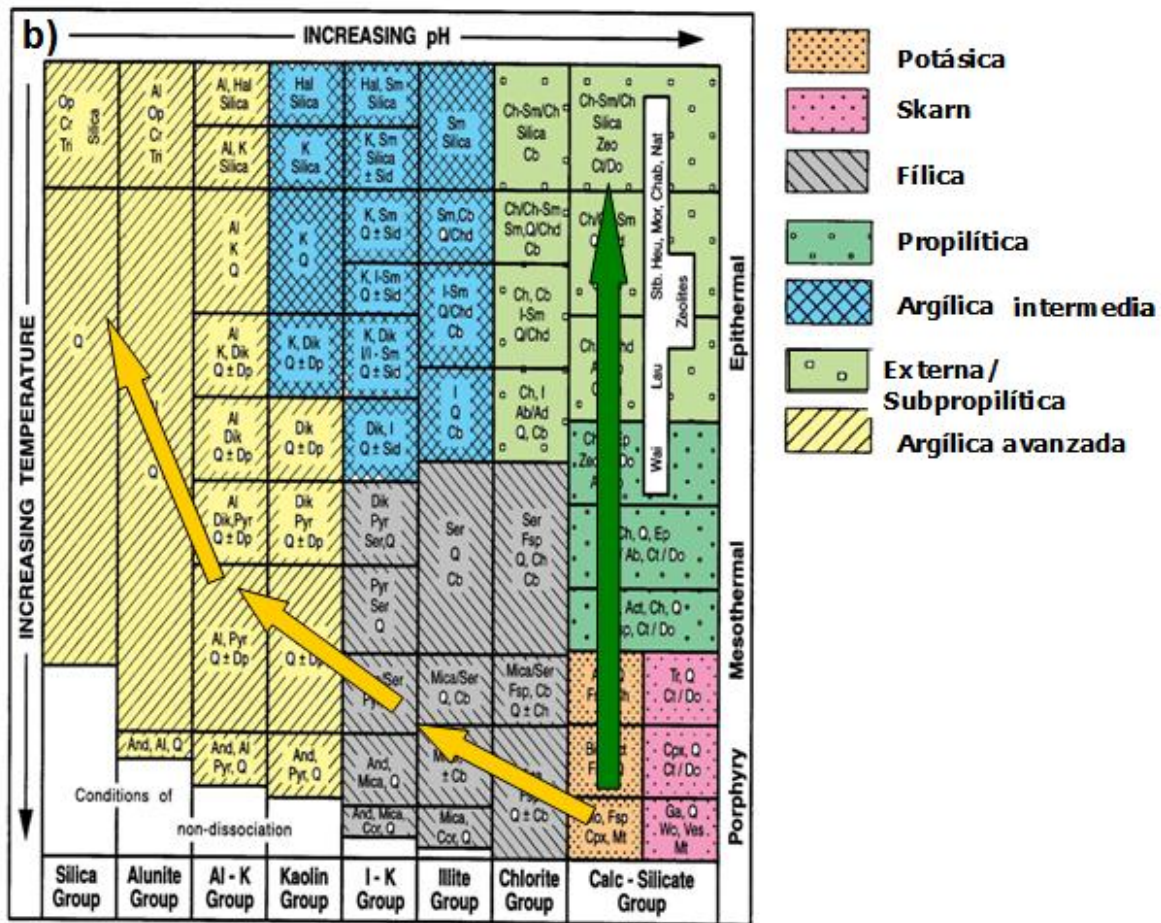
La intrusión de UIA y UIB generarían hacia sus márgenes y de manera contemporánea, una fase de menor temperatura. Este halo está constituido por clorita, epidota, carbonato y pirita +/- albita, magnetita y especularita (alteración propilítica). Hasta este punto se consideran como parte de la alteración tardimagmática. La alteración argílica intermedia y cuarzo – sericita se sobreimpone a la propilítica.

La alteración argílica avanzada se desarrolla en niveles apicales del sistema hidrotermal y puede perdurar hasta el cese de la actividad hidrotermal y/o ser

contemporánea a las alteraciones de la etapa tardimagmática (Arribas et al., 1995; Sillitoe, 2000; Muntean y Einaudi, 2001; Williams – Jones y Heinrich, 2005) (Figura 4.18 y Figura 4.19). Incluso podría ser en algunos casos previa a las demás alteraciones y perdurar hasta el final de la actividad hidrotermal (Williams – Jones y Heinrich, 2005). En el prospecto no se puede determinar con precisión el inicio de la alteración argílica avanzada con respecto a las demás alteraciones. Sólo se observa una superposición de ésta sobre las demás, evidenciando que perduró hasta el final de la etapa hidrotermal. La superposición ocurre debido a la caída de las isothermas al enfriarse el sistema y por la erosión que experimenta el sistema mientras se mantiene activo.



**Figura 4.18:** Modificado de Sillitoe (1993). Relaciones de tiempo – profundidad de los tipos de alteración hidrotermal en sistemas de pórfidos cupríferos.



**Figura 4.19:** Modificado de Corbett y Leach, 1998. Generación de los distintos tipos de alteración según la evolución de temperatura y pH de los fluidos. Se desarrollan de manera sincrónica. La flecha verde muestra la evolución de los fluidos para las alteraciones tardimagmáticas de acuerdo a la disminución de la temperatura desde la alteración sódica – cálcica + potásica a la propilítica. La flecha amarilla indica la evolución de los fluidos a media que se enfrían y aumentan su acidez, desarrollando alteración argílica avanzada en los niveles apicales del sistema.

## 5. Procedimiento de terreno

El procedimiento para la toma de muestras es el mismo tanto en El Plomo como Ortiga. La única diferencia es que en ambos sectores ya se habían hecho mallas geoquímicas. En El Plomo y Ortiga ya se habían desarrollado mallas geoquímicas de 200 m x 200 m y de 250 m x 250 m, respectivamente. Con el fin de conservar la escala de muestreo en ambas zonas se mantuvo la distancia de muestreo. Las muestras de la malla son rotuladas de manera aleatoria para evitar un tipo de error producido por deriva instrumental.

Para la toma de muestra se usaron los siguientes materiales:

- Guantes de cuero
- Martillo geológico
- Harnero
- Lupa, rayador, imán
- Bolsas plásticas
- Plumón permanente negro o azul
- Papel autoadhesivo
- Engrapadora
- Cinta de embalaje
- Mapa

### 5.1 Toma de muestras

Una vez en el punto de muestreo, se determina un radio de 20 m aproximadamente y se comienza a muestrear utilizando el método de extracción por incrementos, el cual consiste en ir tomar fragmentos de muestra aleatoriamente en un área determinada. Lo anterior es para asegurarse que exista representatividad y heterogeneidad. Se muestrea preferentemente los afloramientos, en caso de no haber afloramientos en un radio de 50 m se toman muestras de rodados o de suelo. Para las muestras de suelo se utiliza una palita y se hace pasar por un harnero para extraer la fracción fina menor a #100. La distribución de los tipos de muestras se detalla en la Figura 5.1 y Figura 5.2.

El tamaño de los fragmentos debe ser del orden de las 2 pulgadas y en total debe pesar 2 a 3 Kg aproximadamente. Las muestras son sacadas con martillo y manipuladas con guantes evitando contacto directo con las manos. Se realiza una breve descripción de cada muestra en terreno, anotando litología, alteración, zona mineral estructuras y posibles fuentes de contaminación como caminos, postes de alta tensión etc. Luego de la descripción, las muestras en la bolsa son rotuladas con papel autoadhesivo y plumón, el cual es corcheteado a la bolsa y posteriormente son envueltas con cinta de embalaje.

## 5.2 Ubicación de muestras

La Figura 5.1 muestra la distribución espacial de la malla de muestreo en El Plomo. La malla fue elegida de acuerdo a las observaciones de la alteración realizada en superficie y está limitada por el norte por el fin de la propiedad minera de Anglo American Sur. En Ortega (Figura 5.2) las mallas de muestreo fueron escogidas de acuerdo a las celdas de alteración definidas por Eggers (2008). La descripción de las muestras se adjunta en el Anexo (10.1 descripción de muestras).



# El Plomo

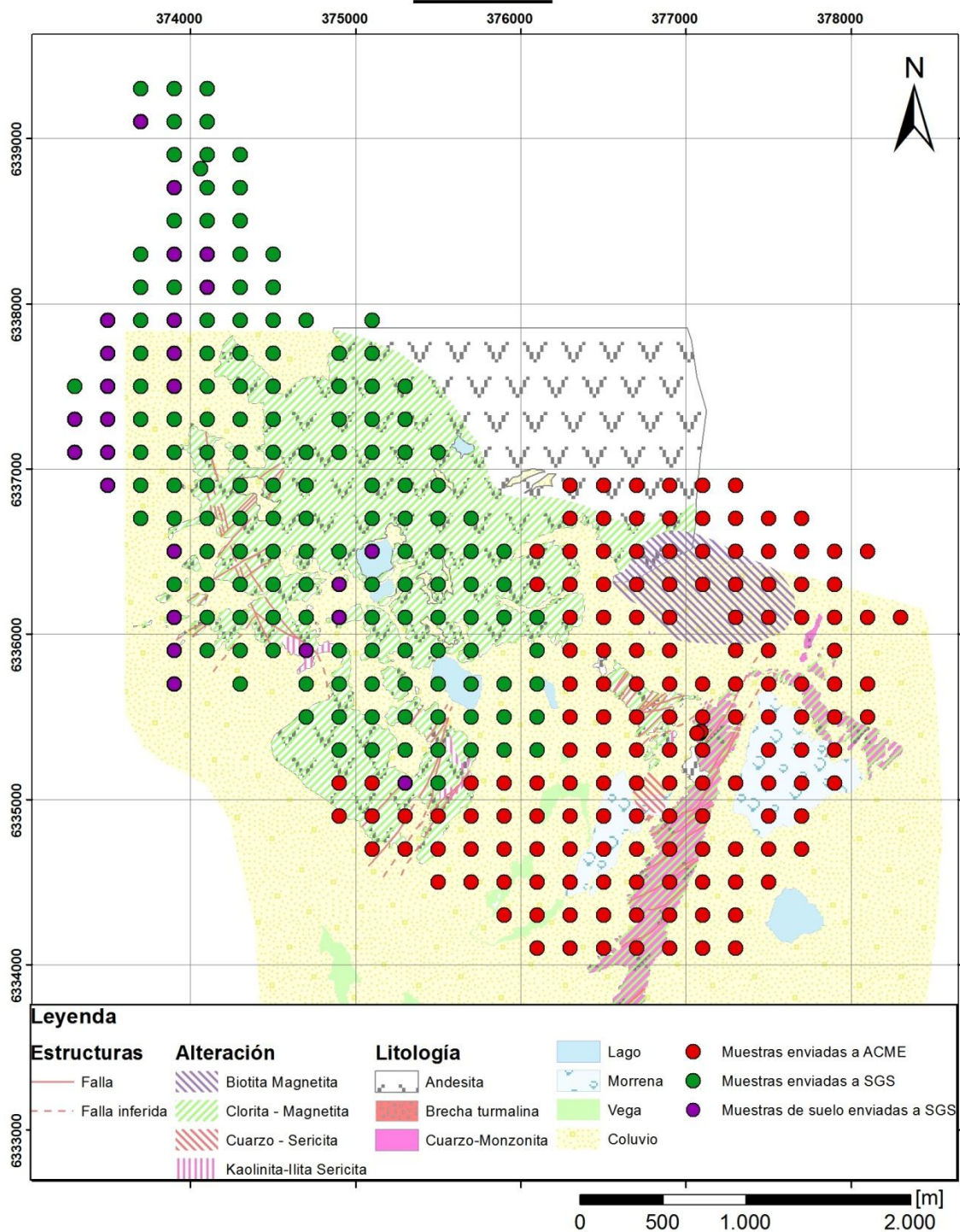


Figura 5.1: Detalle de muestras tomadas en El Plomo durante las campañas del 2011 y 2012.

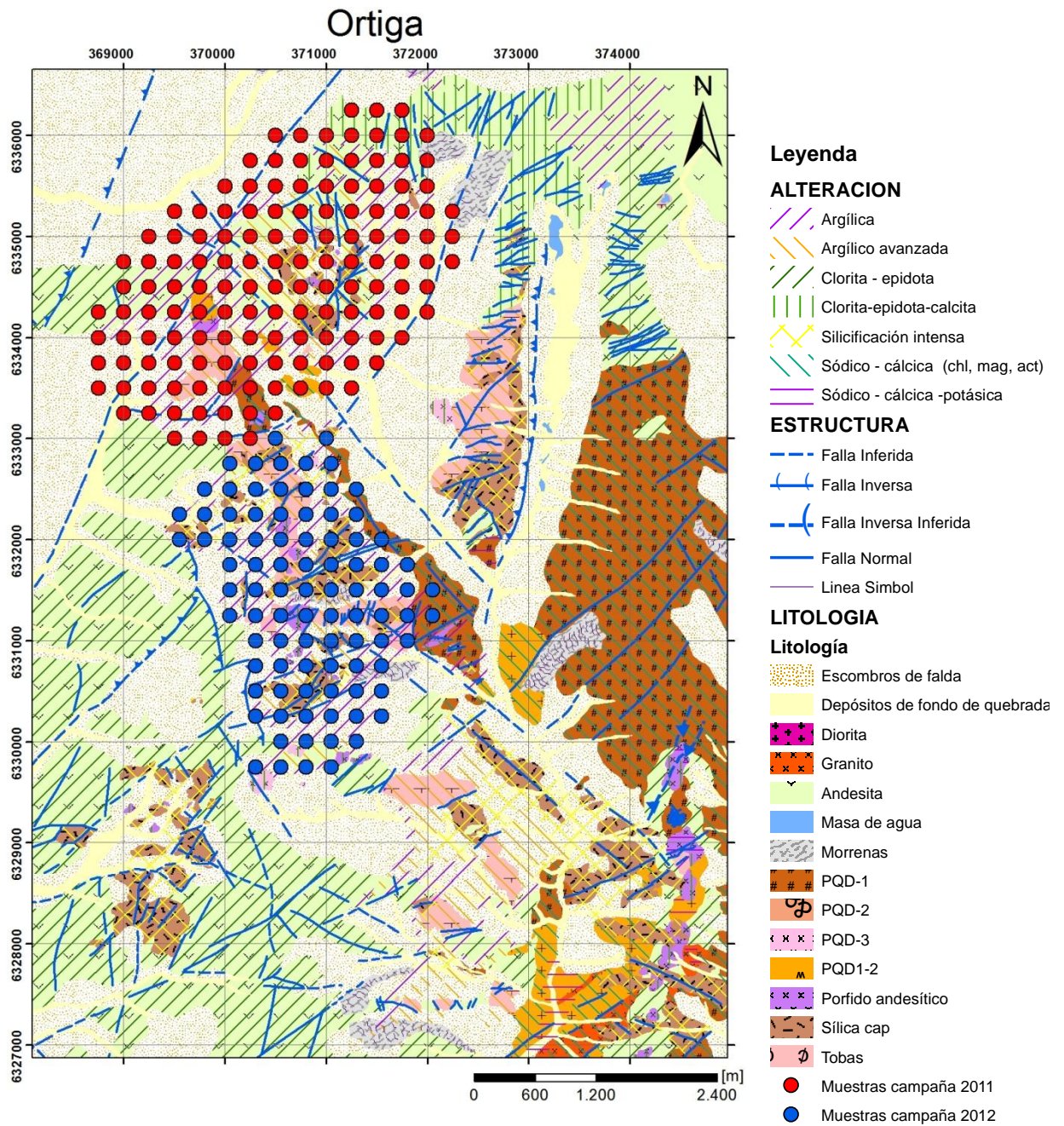


Figura 5.2: Detalle de muestras tomadas en Ortiga en campañas 2008 y 2012.

## 6. Aseguramiento y Control de Calidad (QA/QC)

El control de calidad es una herramienta elemental para asegurar que los datos obtenidos sean confiables, representativos y reproducibles. Para ello es necesario cumplir con estándares mínimos aceptables. Cada paso empleado en el proceso de toma de datos tiene un error asociado, el cual puede ser minimizado estableciendo un riguroso procedimiento para cada caso. Los errores se encuentran asociados al muestreo geoquímico, preparación de muestras y análisis químico. Sin embargo, existe un mínimo error que no está inmerso en el proceso denominado error fundamental, el cual, es el mínimo error de muestreo que existiría si el protocolo de muestreo fuera implementado de manera perfecta.

En este capítulo se analizarán los resultados obtenidos con las muestras de control (duplicados, estándares y blancos). Durante el muestreo se tomaron duplicados de terreno y durante la preparación mecánica se tomaron duplicados de preparación (fino y grueso), posteriormente se insertan muestras estándares y blancos: a continuación se describe los tipos de muestras de control empleadas:

- Los duplicados de terreno permitirán calcular el error de la toma de muestra.
- Los duplicados "gruesos" son tomados en el proceso de preparación de la muestra después de haber pasado por la primera etapa de chancado y permiten definir el error producido al dividir la muestra.
- Los duplicados "finos" o "pulpa" son tomados una vez pasada por la segunda etapa de chancado.
- Los estándares permiten medir el error del análisis del laboratorio. Es importante señalar que la muestra estándar está hecha solo para el Cu, lo que significa que no hay un rango definido para los demás elementos.
- La inyección de blancos tiene el objetivo de limpiar las máquinas utilizadas tanto en la preparación como análisis y, así, evitar contaminación entre muestras consecutivas. También tienen el objetivo de determinar si hay contaminación por algún elemento en particular. La muestra blanco corresponde a una muestra de cuarzo, la cual no está estrictamente estandarizada. Tanto duplicados, como blancos y estándares se insertan cada 20 muestras de manera que cada uno constituya el 5 % del total de las muestras.

### 6.1 Toma de muestras

La toma de muestras se realizó de acuerdo al protocolo de muestreo (5.1 toma de muestras). Solo se analizarán los duplicados de los elementos significativos en los sistemas tipo pórfido cuprífero y epitermales, es decir los elementos: Cu, Pb, Ag, Au, Zn, As, Te, Mo, Fe, S, Sb, Sn y Hg (Figura 6.1). Los elementos Au, S, Hg y Sn presentaron valores menores a los límites de detección en estos duplicados.

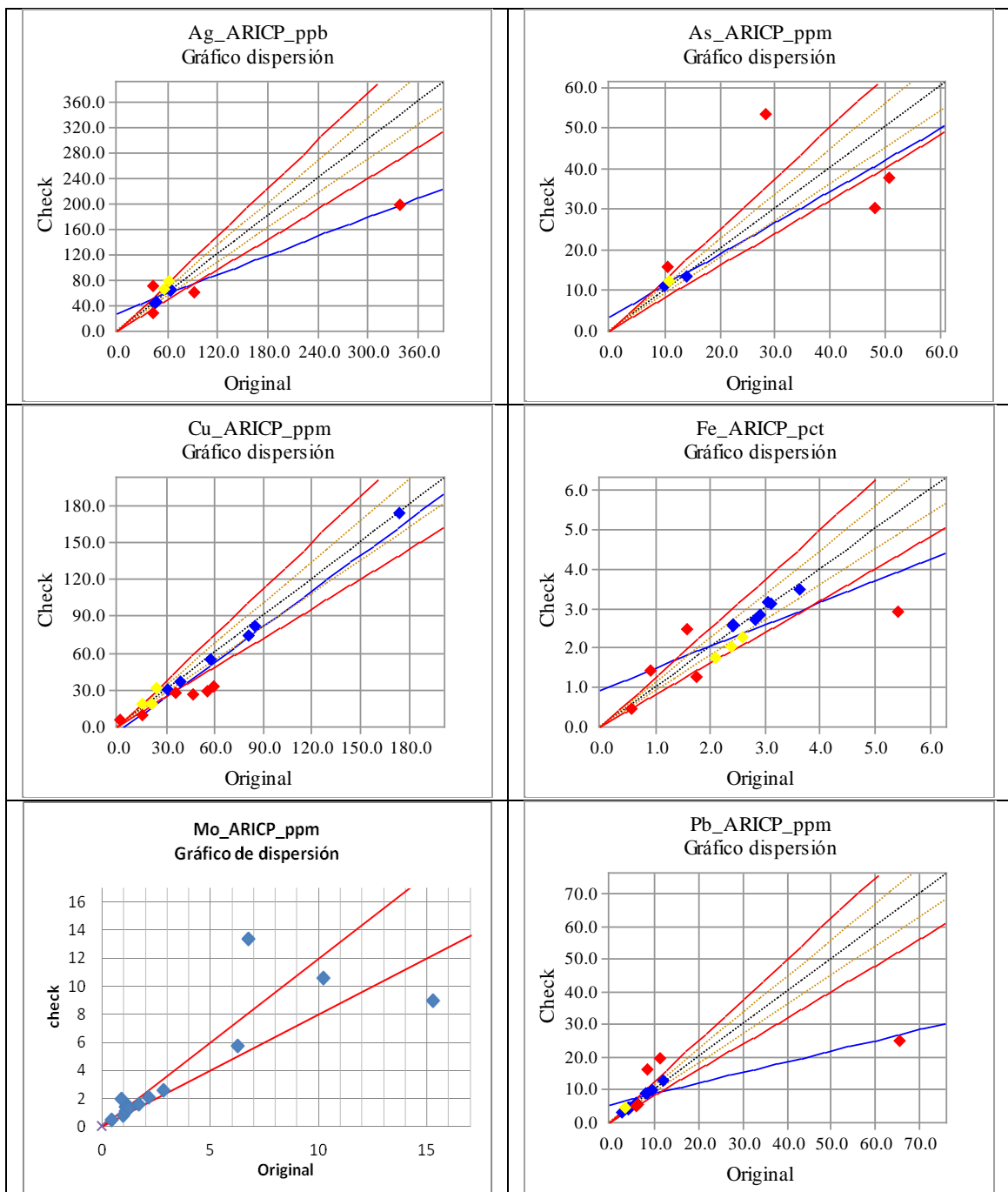


Figura 6.1: Gráficos de dispersión para duplicados de terreno. En el eje X se muestra la muestra original y en el eje Y el duplicado. La unidad de medición está señalada en el título de gráfico

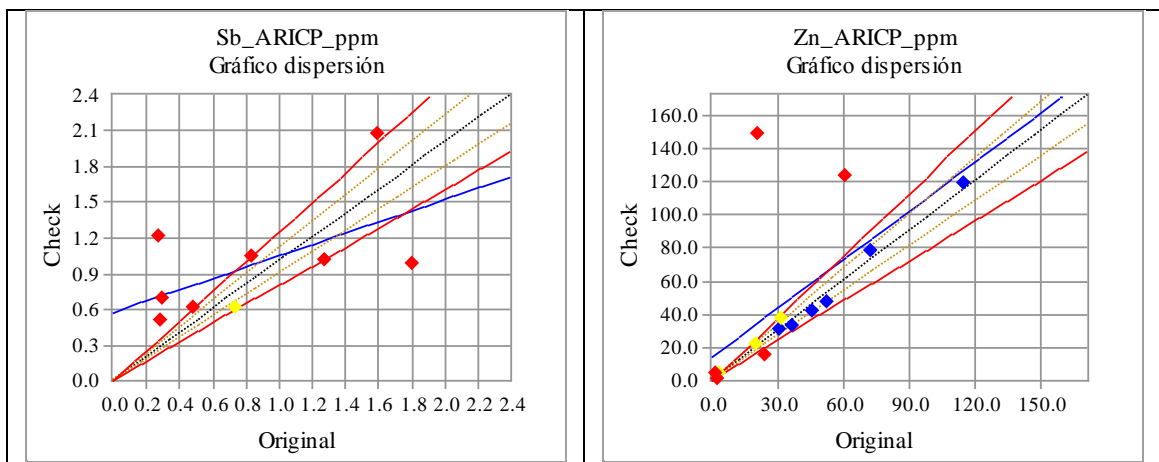


Figura 6.2: Continuación Figura 6.1.

Para que la toma de muestras sea aceptable se permitió un error mínimo al 20% (línea roja en el grafico) es decir que la diferencia relativa con respecto a la dispersión entre cada muestra sea menor al 20% del valor original. En los gráficos (Figura 6.1) se observa que para todos los elementos presentan muestras desviadas del 20% aceptable, salvo el Cu, Mo, Fe, Zn y Pb que tienen un comportamiento aceptable, presentando las mayores diferencias en los valores más altos como es el caso del Mo, Pb y Zn. En el caso del Cu tiene a presentar mayor diferencia en muestras bajas lo cual es esperable dado que mientras menor es la concentración de un elemento cualquier diferencia entre la muestra original y el duplicado hace que la diferencia relativa sea mayor. Estas diferencias se pueden deber a que el peso de la muestra no es lo suficiente para poder representar la variabilidad de los elementos como el As y el Sb. Sin embargo, representa bastante bien la variabilidad del Cu, Pb, Zn y Fe. Si se quieren obtener resultados más precisos es necesario realizar un test de heterogeneidad para poder determinar el peso mínimo de la muestra para poder representar de forma más exacta la variación de la zona de estudio.

## 6.2 Preparación de muestras

Las muestras tomadas durante la campaña del 2012 fueron enviadas a preparación al laboratorio ACME Chile y los resultados obtenidos del control de calidad se adjuntan en ANEXOS (Figura 12.2.1 y Figura 12.2.2). En este caso se utiliza un umbral de 10% para aceptar o rechazar las muestras, de acuerdo al procedimiento establecido por Anglo American. Solo se observan unos casos puntuales, como dos muestras en el S y 1 muestra para el Au que está en el límite. En el Au de los duplicados finos se observan dos muestras muy lejanas del valor esperado lo cual podría ser producto del efecto pepita y a la baja concentración que presenta este elemento del orden de los 2 ppb.

## 6.3 Análisis químico

El análisis químico fue realizado por el laboratorio ACME-Vancouver por digestión de agua regia ( $\text{HNO}_3\text{-HCL-H}_2\text{O}$ , a razón de 2:0,2:0,2). Los resultados de los análisis de blancos y estándares se muestran en Figura 6.3, Figura 6.4 y Figura 6.5 respectivamente.

Para los blancos solo se generan los gráficos de Ag, Au, Fe, Mn, Cu, Zn y Pb (Figura 6.3 y Figura 6.4) ya que los demás elementos se encontraron bajo los límites de detección. Ag, Mn y Zn presentan resultados sobre el valor aceptado como blanco. Fe se encuentra bordeando el límite pasando el valor permitido como blanco, pero sin embargo no existen valores que se disparen por sobre el valor blanco. Es importante señalar que estas muestras blancas corresponden a muestras de cuarzo las cuales no han sido estandarizadas como blanco, por lo que solo es una muestra de referencia.

Los estándares usados corresponden a estándares fabricados para Cu (Figura 6.5), así que solo se analizará este elemento para los estándares ya que para las demás muestras los valores no están definidos. Por lo tanto solo se tienen valores promedios y desviaciones estándares para el Cu. Los valores para el Cu se encuentran dentro de los límites permitidos del estándar observándose una leve tendencia por debajo del valor promedio que podría significar una leve subestimación.

Los resultados del laboratorio son bastante aceptables por lo que aprueban el control de calidad de blancos y estándares.

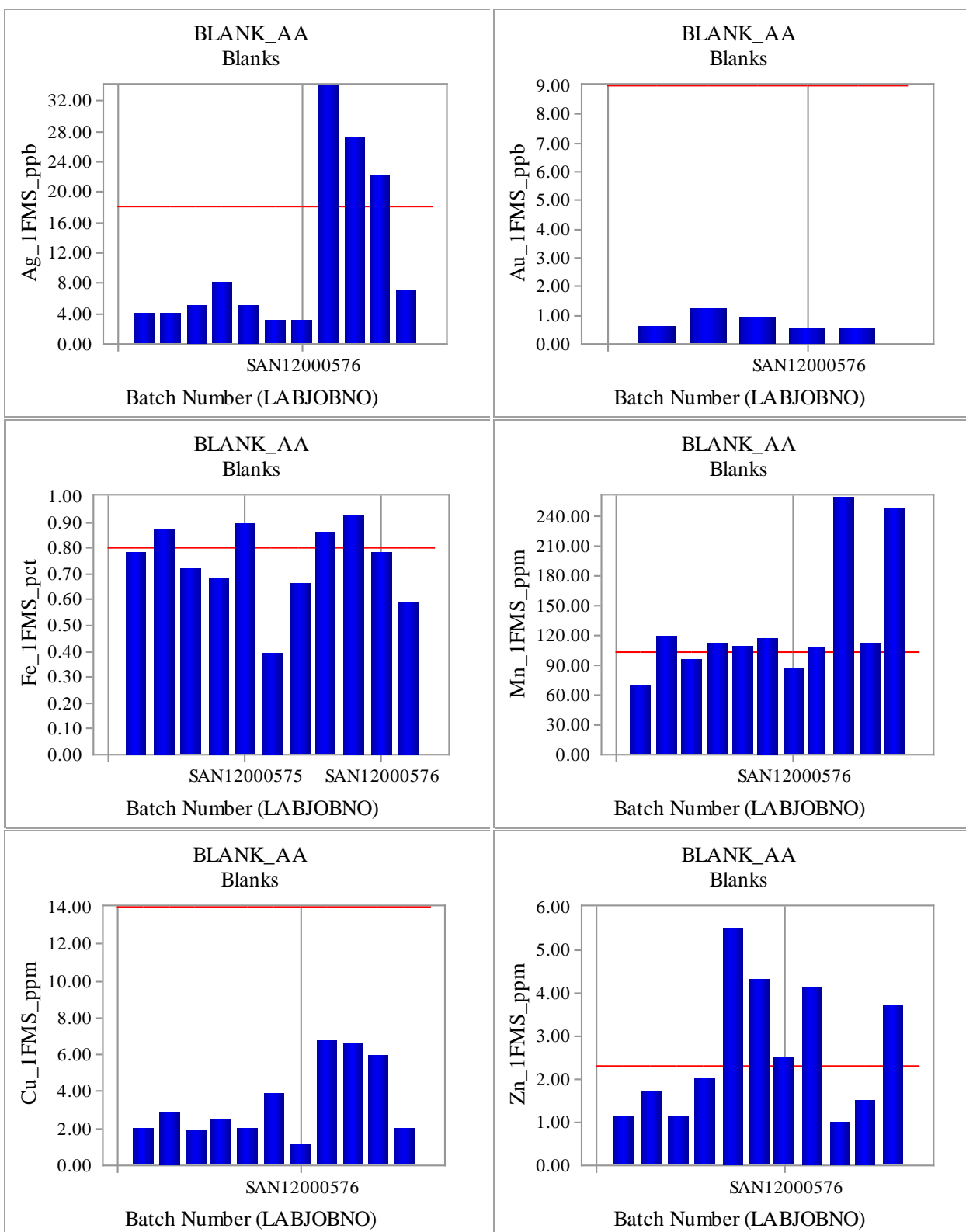


Figura 6.3: Gráficos muestran la concentración de los blancos insertados. Cada barra representa una muestra blanco analizada por el laboratorio. Línea roja muestra valor máximo aceptable. Gráficos obtenidos con Acquire.

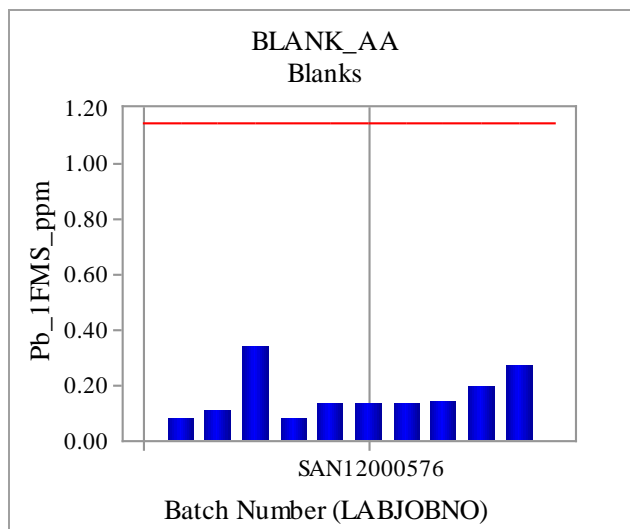
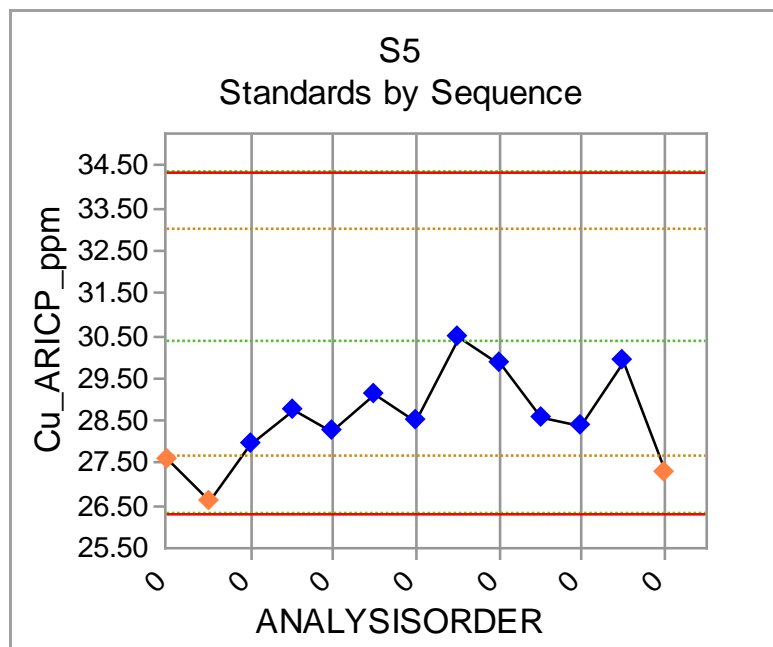


Figura 6.4: Continuación **Figura 6.3**



**Figura 6.5:** Gráfico muestra la concentración de cada estándar analizado. Líneas rojas muestran límites inferior y superior aceptables. Obtenido con Acquire.



## 7. Geoquímica

Las muestras de la campaña 2012 (Figura 5.1 y Figura 5.2) fueron enviadas a preparación al laboratorio ACME ubicado en Pudahuel, Santiago Chile y luego, enviadas a análisis por ICP-MS al laboratorio ACME Labs - Vancouver, Canadá, por el método 1FMS-30grs (53 elementos) mediante disolución HNO<sub>3</sub>, HCL, H<sub>2</sub>O en la razón 2:0,2:0,2. Las muestras de las campañas 2011 en El Plomo (Figura 5.1) fueron analizadas en el laboratorio SGS ubicado en Pudahuel, Santiago de Chile. Las muestras tomadas en la campaña 2008 en Ortiga (Figura 5.2) fueron enviadas al laboratorio ACME Labs, Vancouver, Canadá. La diferencia de laboratorios se debe a que correspondían a distintas campañas. Sin embargo, en este estudio se utilizó el mismo laboratorio y tipo de análisis realizado en Ortiga el 2008 debido a que este incluye el Au en los elementos analizados. Los límites de los distintos laboratorios de detección se muestran en Tabla 7.1 y Tabla 7.2.

Una vez realizado el control de calidad se procedió con el filtrado de datos eliminando los que presentan una varianza menor al 20% con respecto al promedio, ya que en estos casos no representan anomalías de contraste importantes. También son eliminados los elementos en los cuales el 50% o más de los datos sean menores al límite de detección del método y que no sean significativos para el estudio, es decir, si el cobre tiene menos del 50% de los datos bajo el límite de detección de todas formas se analiza ya que es importante para este estudio. En Tabla 12.2.1 y Tabla 12.2.2 (ANEXOS) se muestran los elementos con sus varianzas respectivas y la razón de exclusión de los análisis geo-estadísticos. Para solucionar el problema de los distintos límites de detección entre los dos laboratorios (SGS y ACME) se procede a analizar solo los elementos que estén entre ambos límites, para no evitar problemas de concentraciones producto de diferencia entre laboratorio.

Posteriormente se analizaron los elementos utilizando estadística univariable, multivariable ACP (análisis de componentes principales) y análisis espacial. Se realizan los histogramas para el estudio de poblaciones donde se utilizaron los quiebres naturales de Jenks (ANEXOS, Tabla 12.2.8 y Tabla 12.2.9, Jenks, 1967). Luego se plotearon los resultados en ArcGIS en diagramas de puntos de acuerdo a los quiebres de Jenks (ANEXOS, Figura 12.3.1 y Figura 12.4.1). Para simplificar el análisis univariable se estudiaron solo los elementos más significantes para los sistemas tipo pórfido y epitermales como Cu, Pb, Ag, Au, Zn, As, Te, Mo, Fe, S, Sb, Sn y Hg. Los demás elementos se utilizaron para realizar el análisis multivariable y su distribución con respecto a la alteración se adjunta en ANEXOS, Figura 12.3.1 y Figura 12.4.1.

Tabla 7.1: Límites de detección muestras enviadas a SGS.

Elemento	Límite de detección inferior	Límite de detección superior	Elemento	Límite de detección inferior	Límite de detección superior
Ag [g/T]	0,2	200	Na [%]	0,01	15
Al [%]	0,01	15	Nb [ppm]	1	10000
As [ppm]	1	10000	Ni [ppm]	0,5	10000
Ba [ppm]	1	10000	P [%]	0,01	15
Be [ppm]	0,5	2000	Pb [ppm]	1	10000
Bi [ppm]	1	10000	S [%]	0,01	10
Ca [%]	0,01	15	Sb [ppm]	5	10000
Cd [ppm]	0,5	10000	Sc [ppm]	0,5	10000
Co [ppm]	0,5	10000	Se [ppm]	10	10000
Cr [ppm]	0,5	10000	Sn [ppm]	1	10000
Cu [ppm]	1	10000	Sr [ppm]	0,5	2500
Fe [%]	0,01	15	Te [ppm]	2	10000
Ga [ppm]	1	10000	Ti [%]	0,01	15
Hg [g/T]	2	10000	Tl [ppm]	10	20000
K [%]	0,01	15	V [ppm]	0,5	10000
La [ppm]	0,5	10000	W [ppm]	1	20000
Li [ppm]	0,5	10000	Y [ppm]	0,5	10000
Mg [%]	0,01	15	Zn [ppm]	0,5	10000
Mn [ppm]	0,5	10000	Zr [ppm]	0,5	10000
Mo [ppm]	1	10000			

**Tabla 7.2:** Límites de detección muestras enviadas a ACME.

Elemento	Límite detección inferior	Límite detección superior	Elemento	Límite detección inferior	Límite detección superior
Ag	2 [ppb]	100000 [ppb]	Na	0.001 [%]	10 [%]
Al	0.01 [%]	10 [%]	Nb	0.02 [ppm]	2000 [ppm]
As	0.1 [ppm]	10000 [ppm]	Ni	0.1 [ppm]	10000 [ppm]
Au	0.2 [ppb]	100000 [ppb]	P	0.001 [%]	5 [%]
B	1 [ppm]	2000 [ppm]	Pb	0.01 [ppm]	10000 [ppm]
Ba	0.5 [ppm]	10000 [ppm]	Pd	10 [ppb]	100000 [ppb]
Be	0.1 [ppm]	1000 [ppm]	Pt	2 [ppb]	100000 [ppb]
Bi	0.02 [ppm]	2000 [ppm]	Rb	0.1 [ppm]	2000 [ppm]
Ca	0.01 [%]	40 [%]	Re	1 [ppb]	1000 [ppb]
Cd	0.01 [ppm]	2000 [ppm]	S	0.02 [%]	10 [%]
Ce	0.1 [ppm]	2000 [ppm]	Sb	0.02 [ppm]	2000 [ppm]
Co	0.1 [ppm]	2000 [ppm]	Sc	0.1 [ppm]	100 [ppm]
Cr	0.5 [ppm]	10000 [ppm]	Se	0.1 [ppm]	100 [ppm]
Cs	0.02 [ppm]	2000 [ppm]	Sn	0.1 [ppm]	100 [ppm]
Cu	0.01 [ppm]	10000 [ppm]	Sr	0.5 [ppm]	10000 [ppm]
Fe	0.01 [%]	40 [%]	Ta	0.05 [ppm]	2000 [ppm]
Ga	0.1 [ppm]	1000 [ppm]	Te	0.02 [ppm]	1000 [ppm]
Ge	0.1 [ppm]	100 [ppm]	Th	0.1 [ppm]	2000 [ppm]
Hf	0.02 [ppm]	1000 [ppm]	Ti	0.001 [%]	10 [%]
Hg	5 [ppb]	100000 [ppb]	Tl	0.02 [ppm]	1000 [ppm]
In	0.02 [ppm]	1000 [ppm]	U	0.1 [ppm]	2000 [ppm]
K	0.01 [%]	10 [%]	V	2 [ppm]	10000 [ppm]
La	0.5 [ppm]	10000 [ppm]	W	0.1 [ppm]	100 [ppm]
Li	0.1 [ppm]	2000 [ppm]	Y	0.01 [ppm]	2000 [ppm]
Mg	0.01 [%]	30 [%]	Zn	0.1 [ppm]	10000 [ppm]
Mn	1 [ppm]	10000 [ppm]	Zr	0.1 [ppm]	2000 [ppm]
Mo	0.01 [ppm]	2000 [ppm]			

Debido a la enorme cantidad de datos analizados en geoquímica es necesario utilizar un método que permita reducir las dimensiones del espacio a analizar. El análisis de componentes principales (ACP) es una herramienta útil al momento de trabajar con una gran cantidad de datos. Este método busca reducir las dimensiones de un conjunto de variables sin pérdida excesiva de información. El método de componentes principales permite generar combinaciones lineales (denominadas componentes principales) de las variables originales de modo que las nuevas variables contengan gran parte de la información original. Lo interesante es explicar y darle un significado geológico-geoquímico, inteligible y de utilidad a estas componentes principales obtenidas (Batista, y Martínez, 1989; Jolliffe, 2002).

A continuación se resumen los análisis geoquímicos de los elementos más relevantes en un sistema tipo pórfido para Ortiga y El Plomo.

## 7.1. Geoquímica El Plomo

### 7.1.1. Estadística univariable y análisis espacial.

Se realizaron histogramas para estudiar las poblaciones la distribución y el comportamiento de cada elemento por separado (ANEXOS, Figura 12.3.1, Tabla 12.2.8). Los elementos Ag, Au, Te, Sb y Sn no se consideraron en el análisis en El Plomo debido a que presentan diferencias significativas entre los resultados entregados por ambos laboratorios (SGS y ACME, Tabla 12.2.1) esto se debió a que los límites de detección de SGS eran más altos que los de ACME y no pudiesen detectar estos elementos.

Para los elementos, As, S, Cu, Mo, Hg, Pb y Zn se tienen distribuciones normales y se observa una sola población de elementos con su media y desviación estándar característica. Lo anterior se puede asociar a la ocurrencia de un solo evento hidrotermal.

A continuación se describen los elementos en El Plomo:

**Arsénico:** con una media de 9,56 ppm (Tabla 12.2.8). La población anómala (sobre el background de la andesita, 30 ppm) representa el 3,78 % del total de las muestras en El Plomo. Esta población presenta una orientación NW a NNW (Figura 7.1) en la zona central de la malla de muestreo denotando anomalías positivas en las zonas con alteración caolinita-ilita-sericita y bajas concentraciones en las zonas de falla. Estas zonas con caolinita-ilita-sericita traen algo de arsénico. Aunque en general, se encuentran dentro del rango de las rocas de los Andes chilenos (Townley et al., 1999).

**Azufre:** presenta una distribución normal con media cercana al cero de 0,08% (Tabla 12.2.8). No se tienen datos umbrales de azufre para exploración, pero las muestras con una concentración mayor al 0,28% presentan una clara tendencia NW/SE, con algunos valores anómalos sobre las estructuras de orientación NW y NE, cercanos también a las zonas de alteración caolinita-ilita-sericita.

**Cinc:** con una distribución normal y una sola población de datos con media de 83,9 ppm y una desviación estándar de 66,8 ppm (Tabla 12.2.8). Las concentraciones muestran un leve enriquecimiento en este elemento con 41,56% de las muestras sobre 80 ppm, siendo el background de la andesita de 46,4 (Townley B. et al, 1999; Turekian y Wedepohl, 1961). Lo anterior se puede explicar por la existencia de alteración clorita - magnetita ± epidota observada en gran parte de la andesita. Presenta valores bajos (<1 ppm) en las zonas de fallas y en la parte SE del mapa y valores mayores con respecto a la media se encuentran en la parte centro y NW con una leve tendencia NW y orientaciones locales NE en la parte central del mapa formando un halo rico en Zn alrededor de una zona muy pobre en este elemento (Figura 7.1).

Cobre: la población importante de cobre es la que se encuentra sobre el background de la andesita e intrusivos granodioríticos (72 ppm y 50 ppm respectivamente, Turekian y Wedepohl, 1961; Townley et al., 1999) de las cuales el 13,56% se encuentra por sobre el valor background de la andesita y se encuentran asociadas a la alteración propilítica describiendo una clara tendencia NW/SE (Figura 7.1) con bajas concentraciones en las zonas de falla, las cuales presentan alteración de tipo caolinita-ilita-sericita. Si bien las concentraciones de cobre no superan los 230 ppm, nos pueden estar indicando lo que está ocurriendo en profundidad, dada la orientación de las estructuras en superficie. Es decir que podría existir un sistema porfídico que, ayudado por estructuras produzca la lineación mencionada.

Fierro: no se observan anomalías de este elemento con una media de 2,6% y muestra una sola población de datos (Tabla 12.2.8). Se presenta concentrado mayormente en la zona central de El Plomo mostrando una leve tendencia NW-SE, muy similar al cobre (Figura 7.1, correlación 0,441).

Mercurio: la distribución de este elemento es bien irregular, presenta anomalías negativas en el intrusivo cuarzo-monzonítico y en todas las zonas de fracturas y fallas.

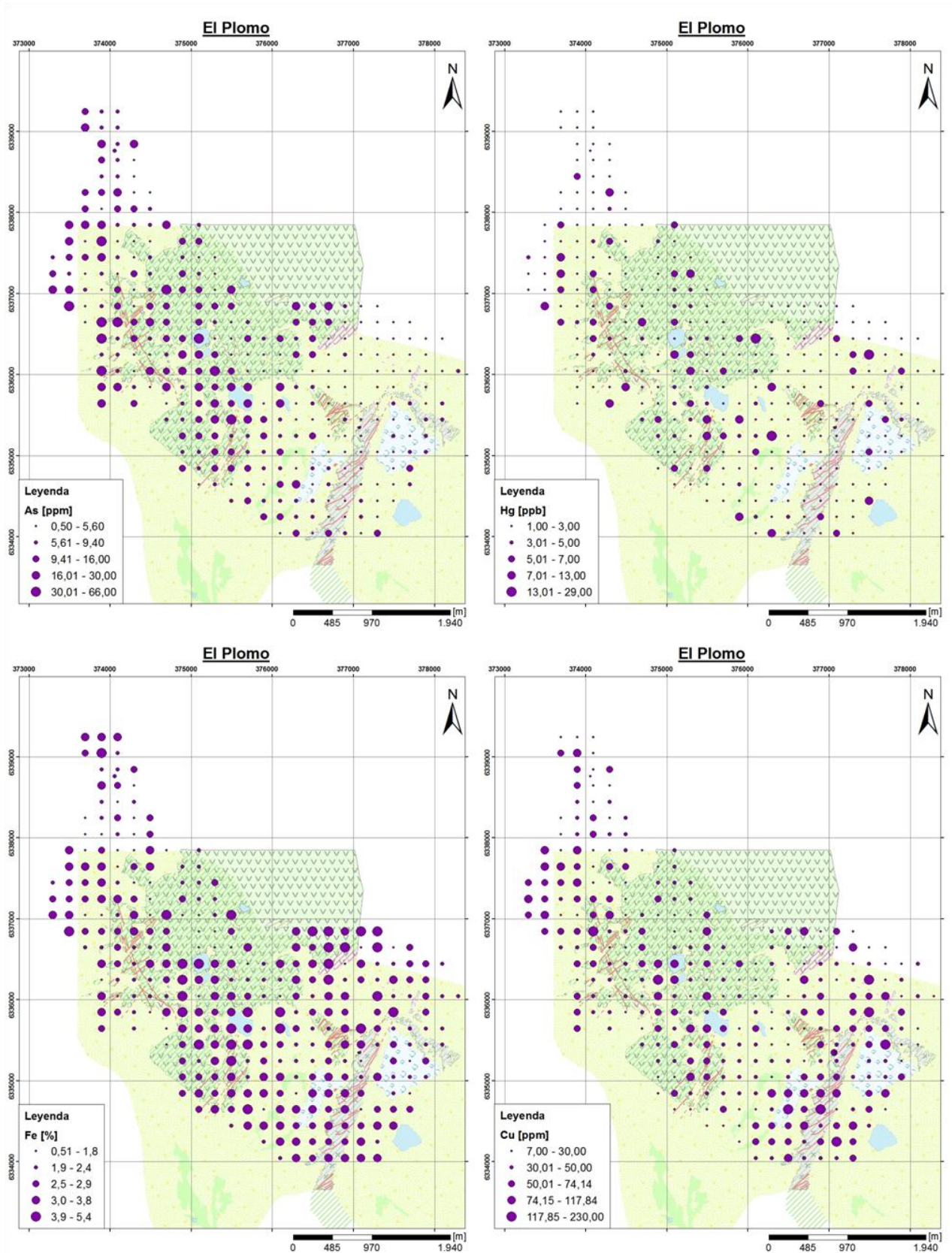
Molibdeno: la media de este elemento es de 1,88 ppm mostrando una sola población de datos (Tabla 12.2.8). No presenta concentraciones importantes en la zona de estudio. Sus mayores valores se encuentran en la brecha de turmalina (aproximadamente 8 ppm) y en puntos aislados en la parte central y NW (Figura 7.1). La correlación con el Cu es baja (0,252) y solo en la parte central del mapa ambos presentan relativamente altas concentraciones.

Plomo: Presenta una distribución muy similar a la del Cinc (Figura 7.1, correlación positiva de 0,532, ver 10.6 Tabla correlaciones en anexos), bajos valores en las zona de falla y SE del mapa con una leve tendencia NNE en la parte central del mapa y los mayores valores en la parte central y NW. El 27,4% de las muestras están enriquecidas en plomo sobre los 20 ppm, teniendo en cuenta que el background en rocas volcánicas es del orden de 15 a 20 ppm (Townley et al., M. 1999). Los Principales aportes de Pb al sistema se da en las alteraciones Cuarzo-magnetita, potásica feldespató destructiva y propilítica con aportes de 404,2, 22,6 y 9,6 respectivamente (Ulrich y Heinrich, 2001). El comportamiento similar del Pb y Zn está bien entendido y se he encontrado en varios depósitos mostrando un patrón de zonación en partes distales de un sistema porfídico (Bingham, Utah, según Babcock et al., 1995; Mineral Park, Arizona, Lang y Eastoe, 1988; Sepon, Laos, resumido de R.H. Sillitoe, 1999).

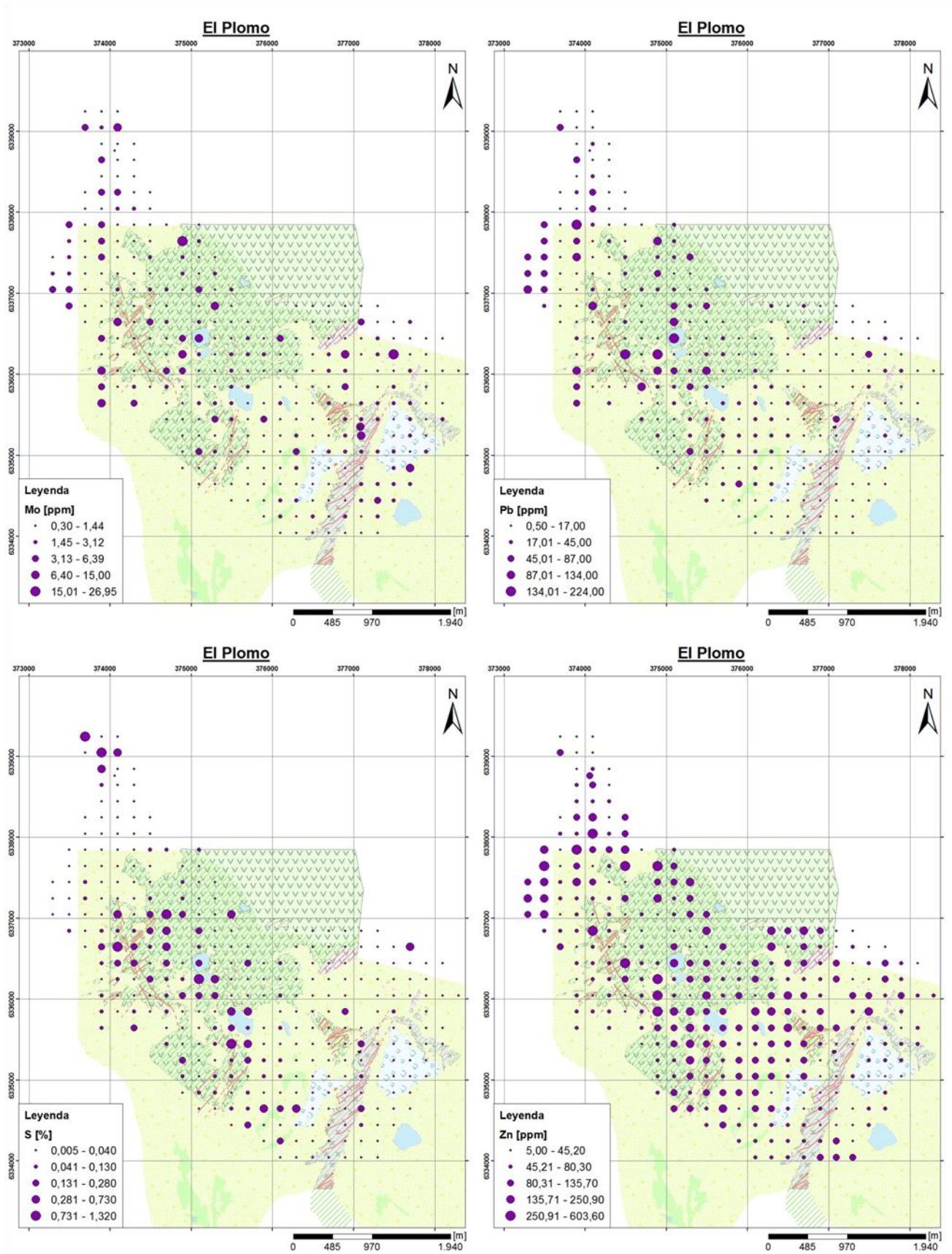
### **7.1.2. Estadística multivariable: análisis de componentes principales**

El análisis de componentes principales (ACP) permitió definir 5 componentes (Tabla 7.3) que explican el 70,8% de la varianza global de la geoquímica El Plomo.

Componente 1: Está compuesta por los elementos Al-Fe-Mg-Ni-V-Sc-Sr-Li-Ca-Co-Ga-K-Ba y explica el 34,5% de la varianza total del sistema. Este componente está constituido por metales pertenecientes a elementos de transición (Fe, Ni, V, Sc, Co) y otros pertenecientes a elementos alcalinos (Li - K) y alcalinos térreos (Mg - Ca - Sr - Ba) cationes intermedios que pueden coordinar tanto con S como O (Railsback, 2004). Se caracteriza por presentar una leve orientación NW-SE, mostrando anomalías positivas en la parte central del mapa y anomalías negativas en las zonas de falla. Representa elementos mayoritarios de las rocas (Al, Fe, Mg, Ca, K), lo que harían pensar en un principio que existe un control por litología en la andesita, pero se observa en esta misma roca contrastes debido a fallas y en parte por alteración por lo que se descarta un control por tipo de roca (Figura 12.3.1).



**Figura 7.1:** Distribución de los elementos más relevantes en El Plomo. Círculos grandes representan las mayores concentraciones.



Continuación Figura 7.1



Componente 2: Está compuesta por la asociación Mn - Pb - Zn - Zr explicando el 13,9% e la varianza total del sistema. Correspondiente a una asociación de baja temperatura típica de alteración propilítica. Estos elementos tienden a formar un halo alrededor de un centro Cu/Cu-Mo.

Componente 3: Explica el 8,7% de la varianza total y está constituida por los elementos Y - Zr - La, los cuales presentan un comportamiento geoquímico muy parecido debido a sus relaciones carga/radio. Esta asociación está relacionada a los depósitos no consolidados que han sufrido cierto grado de transporte, los cuales se encuentran asociados a minerales resistentes a la meteorización como el circón, el cual puede contener cantidades trazas de elementos como Y, La y Hf.

Componente 4: compuesto por S - As que explican el 7,8% de la varianza total. Se asocia a la alteración de tipo argílica. La asociación muestra una leve orientación NW a NNW, presentando valores altos en las zonas de falla (As >30 ppm y S >0.4 %, donde se encuentra alteración de tipo argílica.

Tabla 7.3: Componentes Principales muestras El Plomo y porcentaje de la varianza.

Componente 1 34,5%	Componente 2 13,9%	Componente 3 8,7%	Componente 4 7,8%	Componente 5 5,9%
Al_ %	Mn_ppm	Y_ppm	S_ %	La_ppm
Fe_ %	Pb_ppm	Zr_ppm	As_ppm	Mo_ppm
Mg_ %	Zn_ppm	La_ppm		
Ni_ppm	Zr_ppm			
V_ppm				
Sc_ppm				
Sr_ppm				
Li_ppm				
Ca_ %				
Co_ppm				
Ga_ppm				
K_ %				
Ba_ppm				

## **7.2. Geoquímica Ortiga**

La malla de muestreo en Ortiga se estableció de acuerdo a las celdas de alteración definidas por Eggers, de manera de obtener información de la geoquímica de lithocap y poder definir diferencias entre estos. Eggers (2008) definió un conjunto de elementos (As - Sb - Te - Hg - Se - W - Ag - Bi - Au - Mo - Cu - Zn - Pb - Li - Co) que se pueden relacionar con minerales de alta sulfuración de filiación hipógena.

### **7.2.1. Estadística univariable y análisis espacial**

A continuación se describe la distribución espacial de los elementos analizados. En esta sección se analizarán los elementos Ag, As, Au, Cu, Fe, Hg, Pb, S, Sb, Sn y Te que corresponden a los elementos típicos de un epitermal.

Antimonio: se presenta con mayor abundancia en los lithocaps con argílico avanzado. De los histogramas se puede observar una sola población de datos (Tabla 12.2.9). No se tienen datos de umbral de exploración para este elemento en el yacimiento, pero se sabe que forma parte de los fluidos hidrotermales en los depósitos de origen epitermal (Cooke et al., 2006).

Arsénico: presenta anomalías positivas en las zonas con alteración argílico avanzado, con concentraciones por sobre los 46 ppm los cuales representan el 10% de la población (Figura 7.2).

Azufre: muestra anomalías positivas en las muestras con argílico avanzado y menores concentraciones en las rocas con alteración argílica (Figura 7.2).

Cinc: está principalmente concentrado en las zonas de alteración argílico y clorita-epidota, por lo que se le asocia a los bordes de los lithocap y al halo propilítico, principalmente en la celda 1 (Figura 7.2), donde presenta enriquecimiento en este elemento. Se observa una sola población de media 33,9 ppm, mucho menor que en El Plomo que presenta mayores concentraciones con media de 83,9% (Tabla 12.2.8 y Tabla 12.2.9).

Cobre: a diferencia de El Plomo se observan dos poblaciones de Cu en el histograma lo (Tabla 12.2.9). La población de datos más alta (entre 150 ppm a 300 ppm) presenta una menor frecuencia y representa menos del 10% de los datos. Estos valores relativos altos de cobre (sobre 150 ppm) se encuentran en los bordes de los lithocap, en las zonas de alteración argílica y propilítica, donde no superan los 280 ppm (Figura 7.2). En las zonas con argílico avanzado las concentraciones son menores a los 30 ppm. Dado que los background de cobre en una andesita y toba son de 72 ppm y 40 ppm respectivamente, se puede decir que las zonas con mayores concentraciones

representan anomalías de contraste positivas y las zonas que presentan menos concentración (anomalías negativas), han sufrido lixiviación producto de la interacción de pirita con fluidos meteóricos. Por último es importante mencionar que las mayores concentraciones de cobre se encuentran en la parte norte de, es decir en la celda 1.

Estaño: presenta valores anómalos en el centro del lithocap de la celda 1 y en la celda dos se encuentran mayormente concentrados en los bordes de estos.

Hierro: este elemento presenta un fuerte enriquecimiento en la parte norte de la zona de estudio en la celda 1 (Figura 7.2). Además, presenta anomalías negativas en las zonas de argílico avanzado, encontrándose en mayor cantidad en la parte argílica y propilítica del sistema. Si bien el principal aporte de Fe por fluidos hidrotermales se produce con la alteración potásica (Hezarkhani, 2006), en este caso observamos que también se inyectan cantidades importantes de Hierro en la alteración propilítica y argílica, aunque en la alteración propilítica la concentración de sulfuros es menor, de todas formas se está inyectando menores cantidades de hematita y sulfuros (pirita) al sistema.

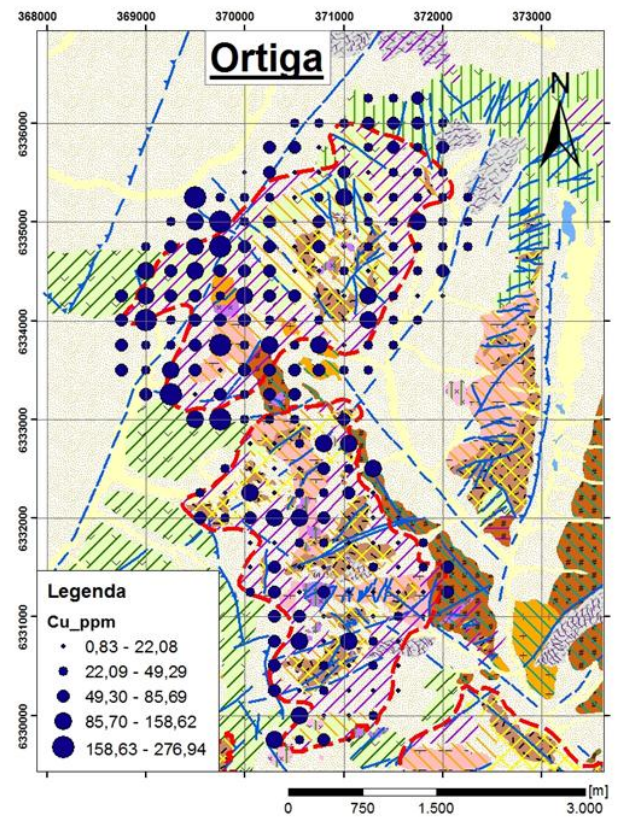
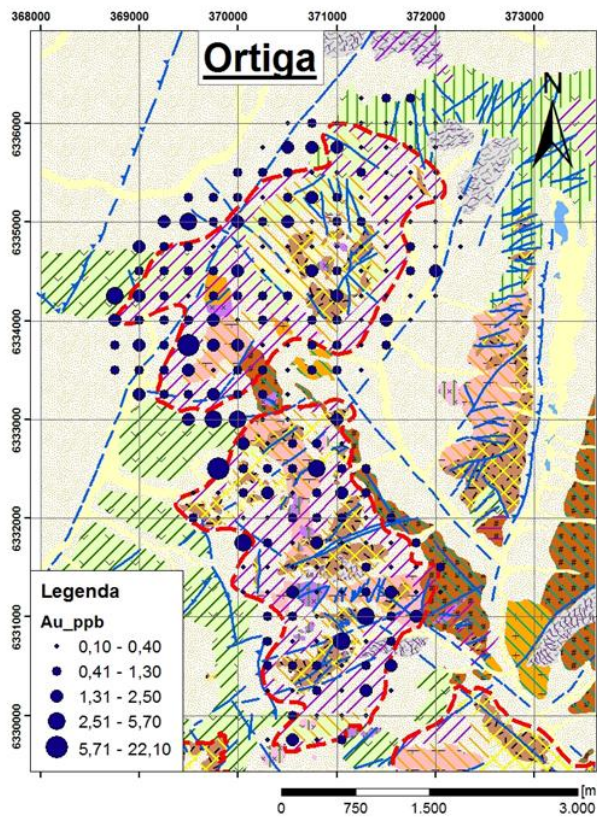
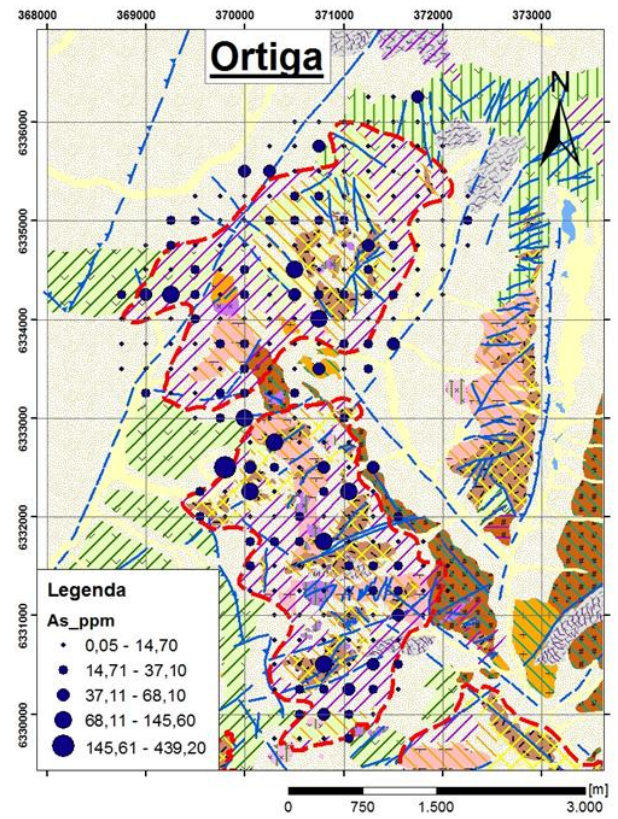
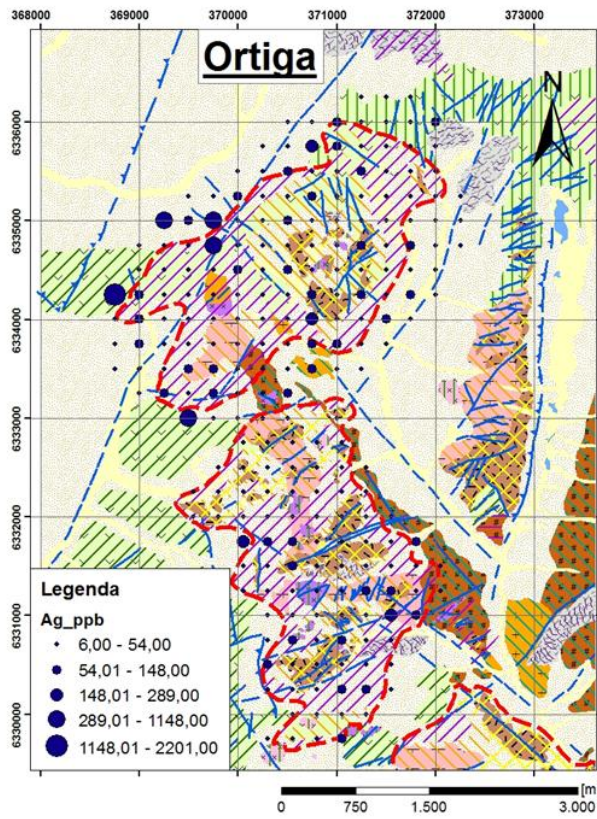
Mercurio: muestra una sola población con el 10% de los datos mayores a 116 ppb. Este 10 % de datos se concentra mayormente en las zonas de argílico avanzada ppb y mostrando mayor presencia en la celda 2.

Oro: el oro se encuentra distribuido mayormente en las zonas de alteración argílico avanzado y silicificación intensa controlado por estructuras, lo cual es coherente con el ambiente de estabilidad del oro (Figura 7.2) para un sistema epitermal de alta sulfidización, donde los fluidos hidrotermales a medida que se van acidificando (buscar referencia). Las estructuras asociadas son tanto NW como NE, aunque los valores de oro no superan el 22,1 ppb.

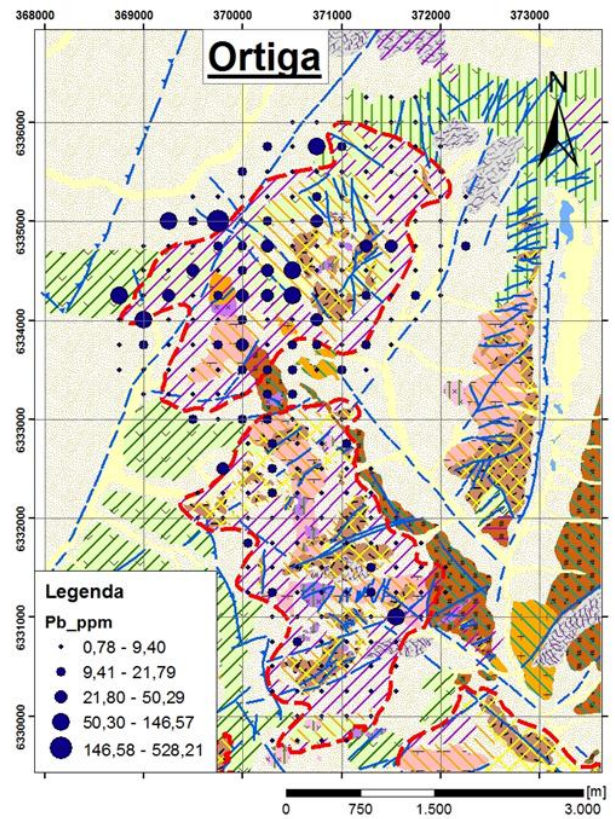
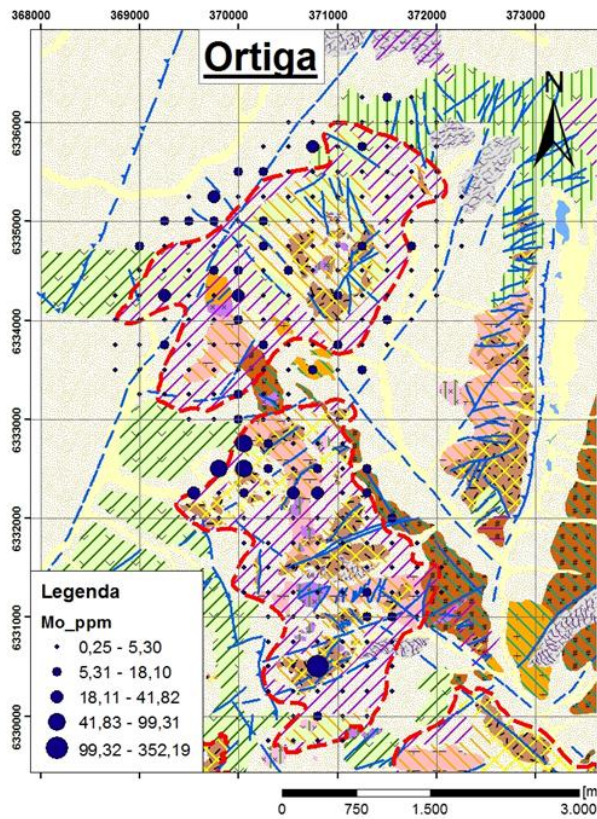
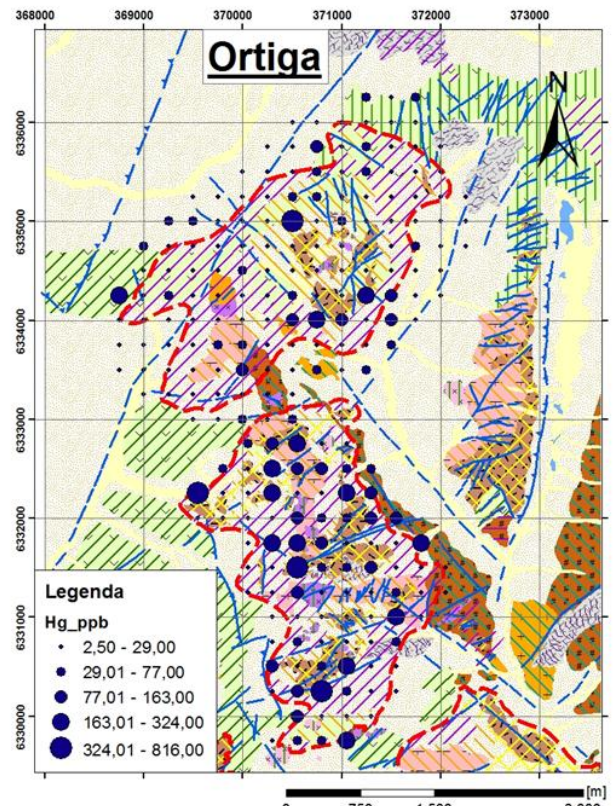
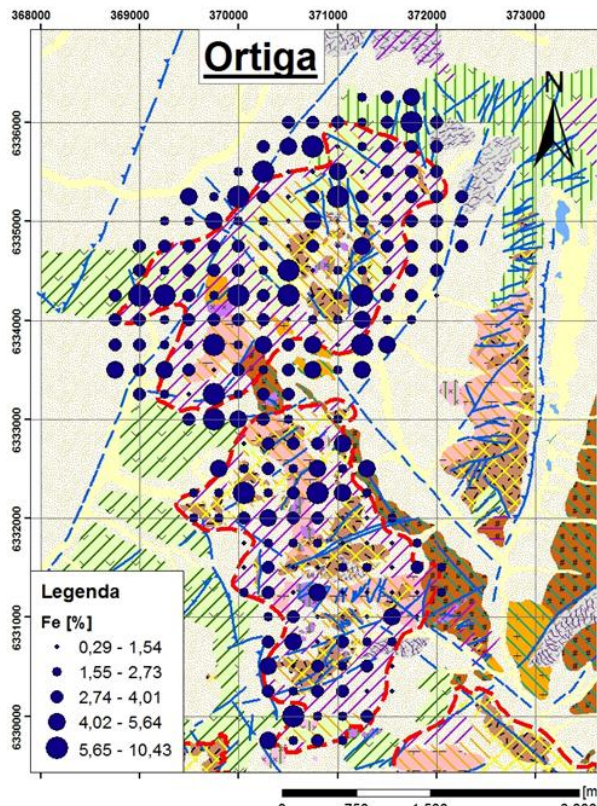
Plata: su distribución no es muy clara dentro del las celdas de alteración. Sus valores más altos (sobre 1.000 ppb) se encuentran en los bordes de las celdas de alteración definidas observándose una leve tendencia decreciente.

Plomo: Se concentra más en la parte norte del sistema, en las zonas con argílico, argílico avanzado y silicificación intensa en la celda 1 (Figura 7.2), donde además se encuentra mayor cantidad de alunita (Marcial Pablo conversación, 2012). De acuerdo a Chang et al. (2006) el contenido de Pb en un lithocap se correlaciona positivamente con la alunita, principal fuente de sodio y potasio.

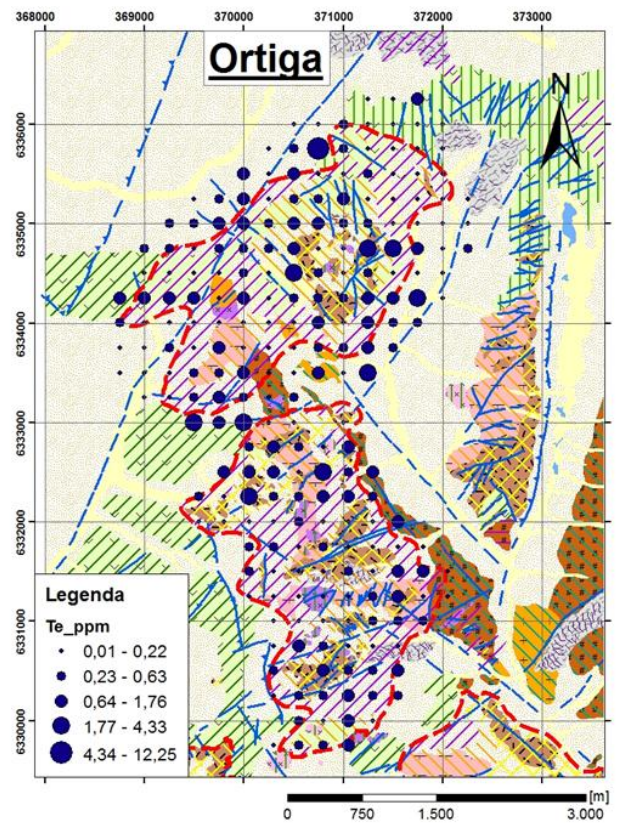
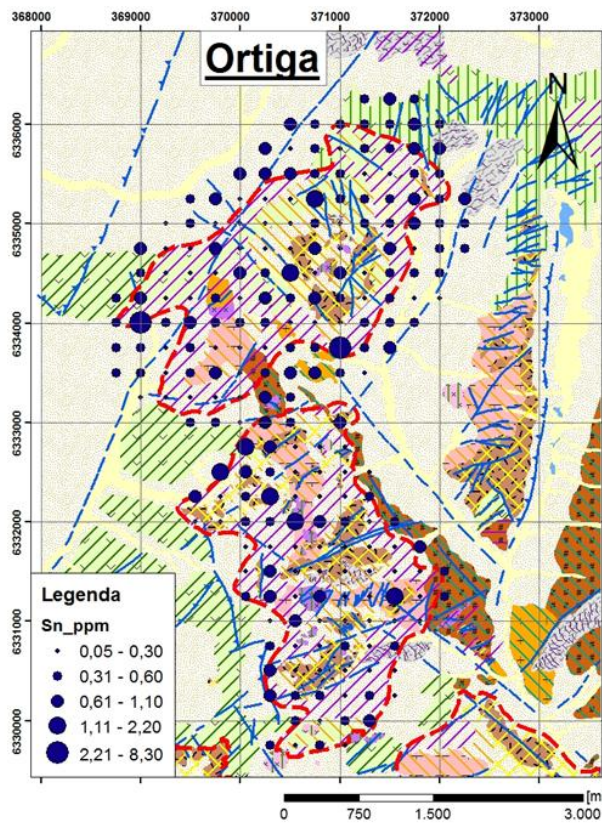
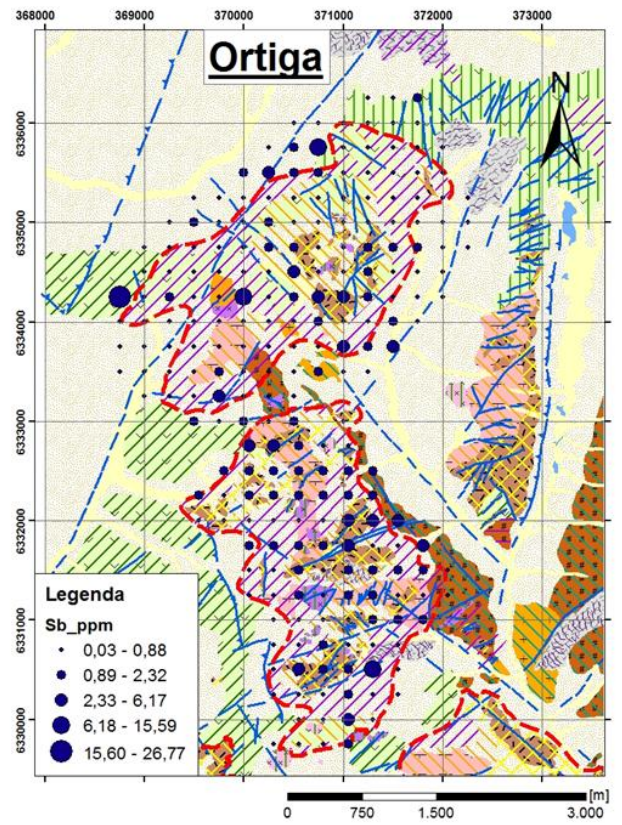
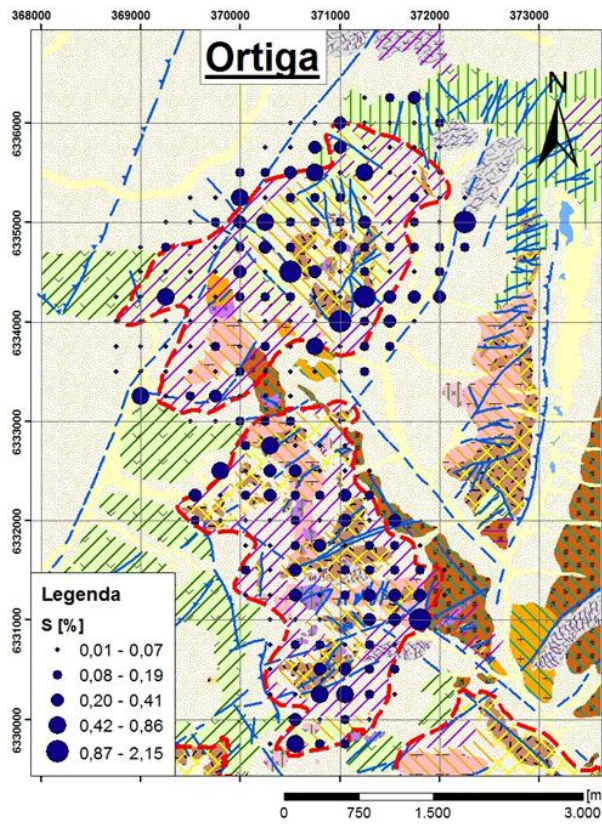
Teluro: Presenta anomalías positivas en los lithocap, mostrando bajas concentraciones donde hay alteración argílica y mayores en la zonas de argílico avanzada.



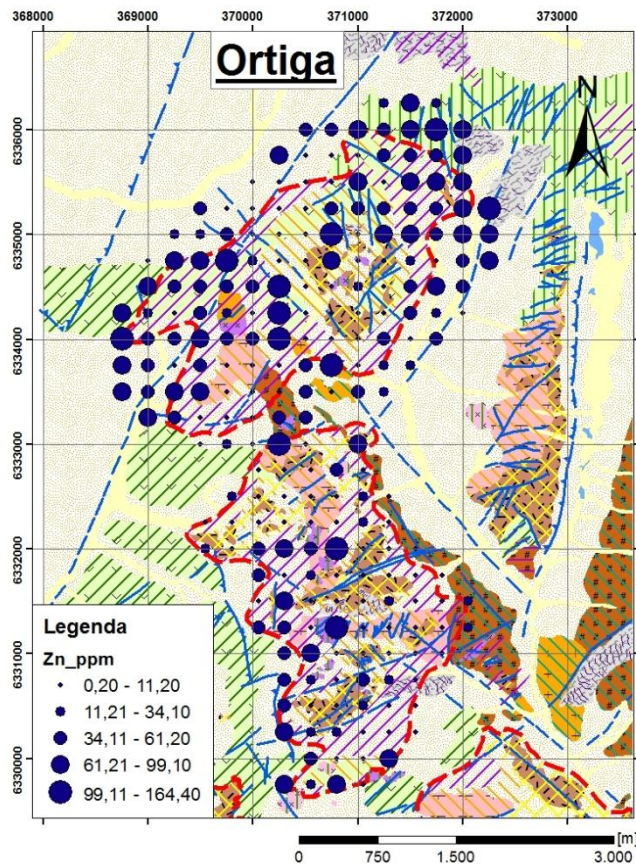
**Figura 7.2:** Distribución de los elementos más importantes en Ortiga. El tamaño de los círculos representa la concentración.



Continuación Figura 7.2.



Continuación Figura 7.2



Continuación Figura 7.2.

## 7.2.2. Estadística Multivariable: Análisis de componentes principales

Se pudo reducir el número total de variables a 8 componentes principales que explican el 68,828% (Tabla 7.4) de la varianza total del sistema encontrándose las siguientes asociaciones.

Componente 1: este componente explica el 30,7% de la varianza total del sistema. Compuesta por Mg, Al, Li, Zn, Co, Y, Ni, V, Mn, Sc, Ca, Ga, Ce, La, Cu principalmente metales, asociado el tipo de alteración presente en cada celda muestreada, presentando anomalías positivas en las zonas con alteración argílica y anomalías negativas en las zonas con argílico avanzado y silicificación intensa. Estos elementos se caracterizan por ser móviles en condiciones ácidas supérgenas (fluidos de pH 1-3), presentando bajas concentraciones en las zonas con argílico avanzado, producto de la gran acidez presente en los fluidos que originan esta alteración.

Componente 2: explica el 9,2% de la varianza total del sistema y se correlaciona positivamente con los elementos As, Au, Sr, Mo, Te, Fe, Bi, Se, Tl, Sb (Figura 7.3). Los cuales podrían ser relacionados a minerales de Alta sulfuración (Hedenquist, 1993). Estos elementos se encuentran preferentemente en las zonas con silicificación intensa

y argílico avanzado. En conjunto estos elementos corresponderían proximal al origen de los fluidos hidrotermales (Simmons et al., 2005; Chang et al., 2006, Figura 7.3).

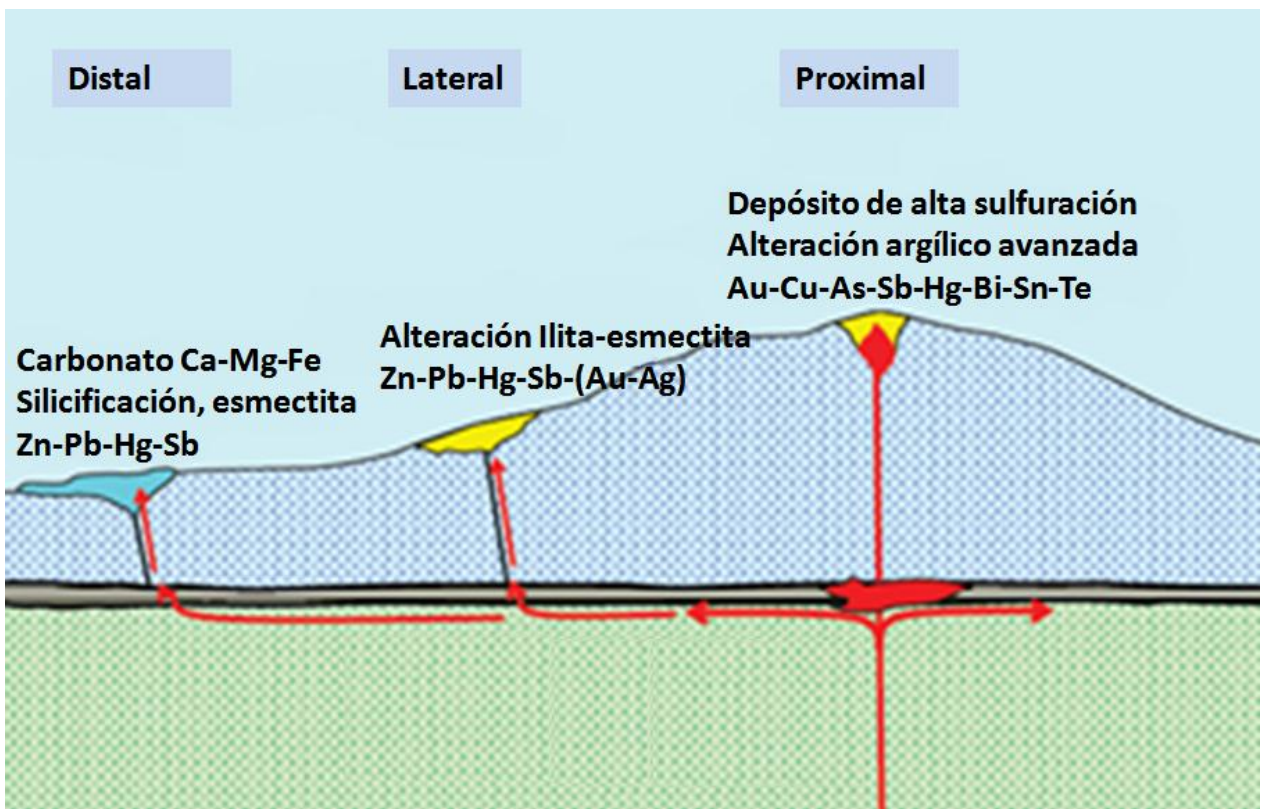
**Tabla 7.4:** Componentes y varianza total explicada en Ortiga. Obtenido con software SPSS Statistics de IBM.

Componente	Autovalores iniciales		
	Total	% de la varianza	% acumulado
1	12,907	30,730	30,730
2	3,882	9,244	39,974
3	3,213	7,650	47,624
4	2,326	5,537	53,162
5	1,964	4,676	57,838
6	1,676	3,990	61,828
7	1,513	3,602	65,429
8	1,328	3,161	68,590

Componente 3: asociación constituida por los elementos Th, Rb, U que explica el 7,7% de la varianza total y se asocia principalmente a los pórfidos cuarzo-dioríticos y andesíticos, rocas que en su mayoría presentan alteración tipo sódico-cálcica-potásica, por lo que su relación no es tan directa. Estas rocas presentan biotita secundaria con textura sagenítica (agujas de rutilo en biotita) lo cual indica un régimen potásico (Rabbia et al., 2008; Eggers, 2008). Si bien, en esta alteración es lógico encontrar Th-U asociado a rutilo de alta temperatura encontrados (Eggers, 2008), ambiente no favorable para el rubidio (Rabbia, conversación escrita, 2012), así que se asume que el rubidio es propio de estas rocas, a pesar de su bajo contenido en potasio.

Los demás componentes corresponden a subconjuntos de los 3 componentes principales.





**Figura 7.3:** Distribución de elementos en un litocap de acuerdo al origen de los fluidos hidrotermales. Tomado de Cooke et al., 2006.

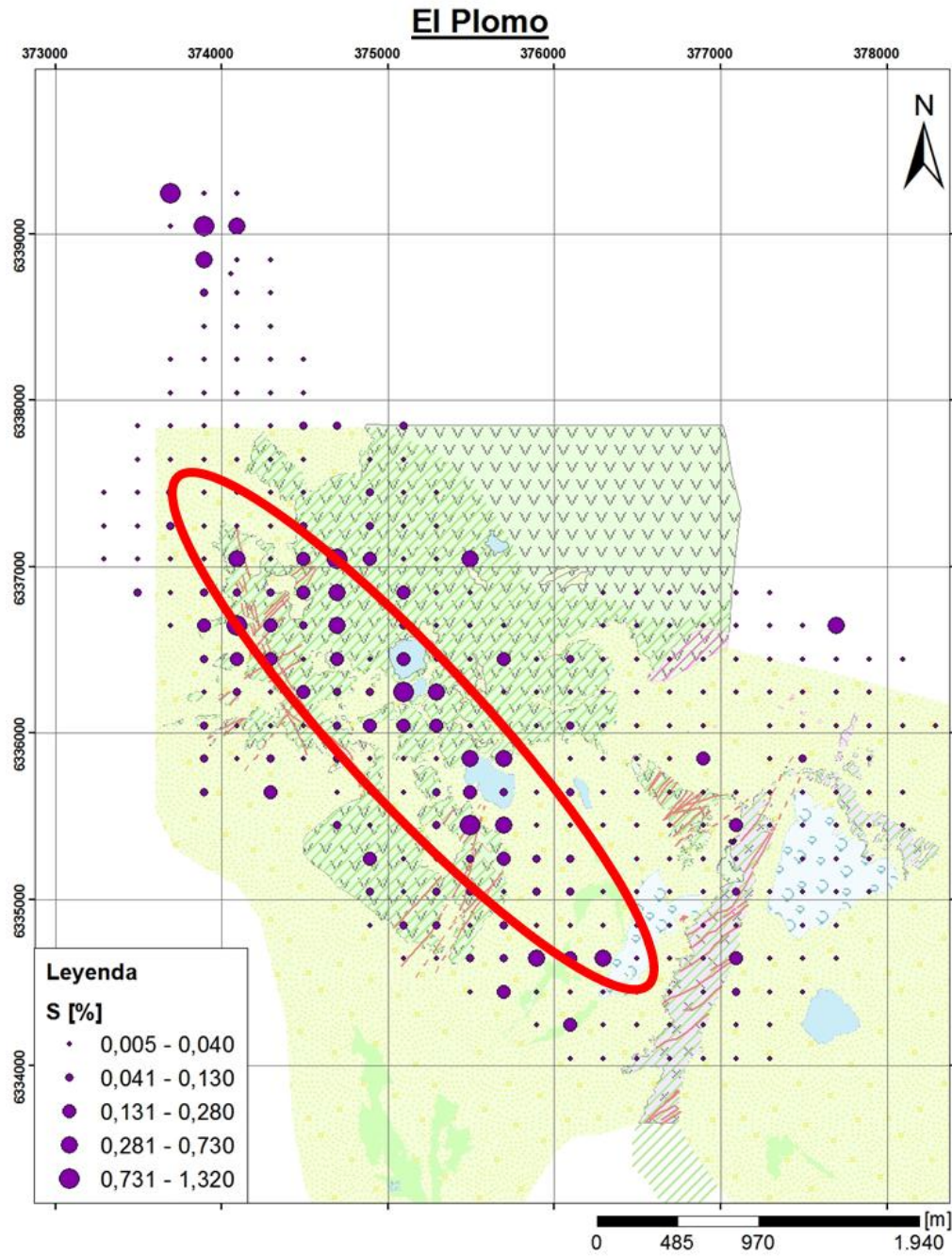
## 8. Discusiones

### 8.1. El Plomo

En El Plomo existe una orientación NW/SE a NNW/SSE de los elementos Fe - Cu - As - S (Figura 7.1 y Figura 8.1) que a la vez presentan sus mayores concentraciones relativas en la parte centro de El Plomo (sección 7.1.1. Estadística univariable y análisis espacial). Asociación que, por presentar bajos valores en las zonas de fallas, estaría evidenciando procesos de re-mobilización de Elementos aprovechado por la permeabilidad de estas estructuras. Lo anterior se confirma con las evidencias estructurales encontradas en terreno (fallas y lineamientos NW/SE). Las estructuras dominantes en El Plomo (sección 3.3 Geología estructural) son NE/SW, post-mineralización y de tercer orden, existiendo un control regional NW y NS, pre-mineral, de primer orden y otro de segundo orden NNW syn-mineral en el distrito (Eggers, 2008), aunque estas últimas solo afloran en la parte NW de El Plomo. Lo anterior no descarta que haya estructuras en profundidad que estén controlando la distribución de estos elementos, como las estructuras NW mencionadas. Si bien, se tiene conocimiento que las estructuras NNW son las que traen la mayor parte de la mineralización, estas aprovechan la permeabilidad de las estructuras previas (NW) para la circulación de los fluidos hidrotermales. Es importante mencionar que los valores no siguen la topografía como para decir que hay un control por esta ni menos se orientan de acuerdo a las unidades litológicas, ya que en la misma andesita con la misma alteración hidrotermal presenta contraste importantes. Por lo tanto, las estructuras estarían controlando la distribución de estos elementos.

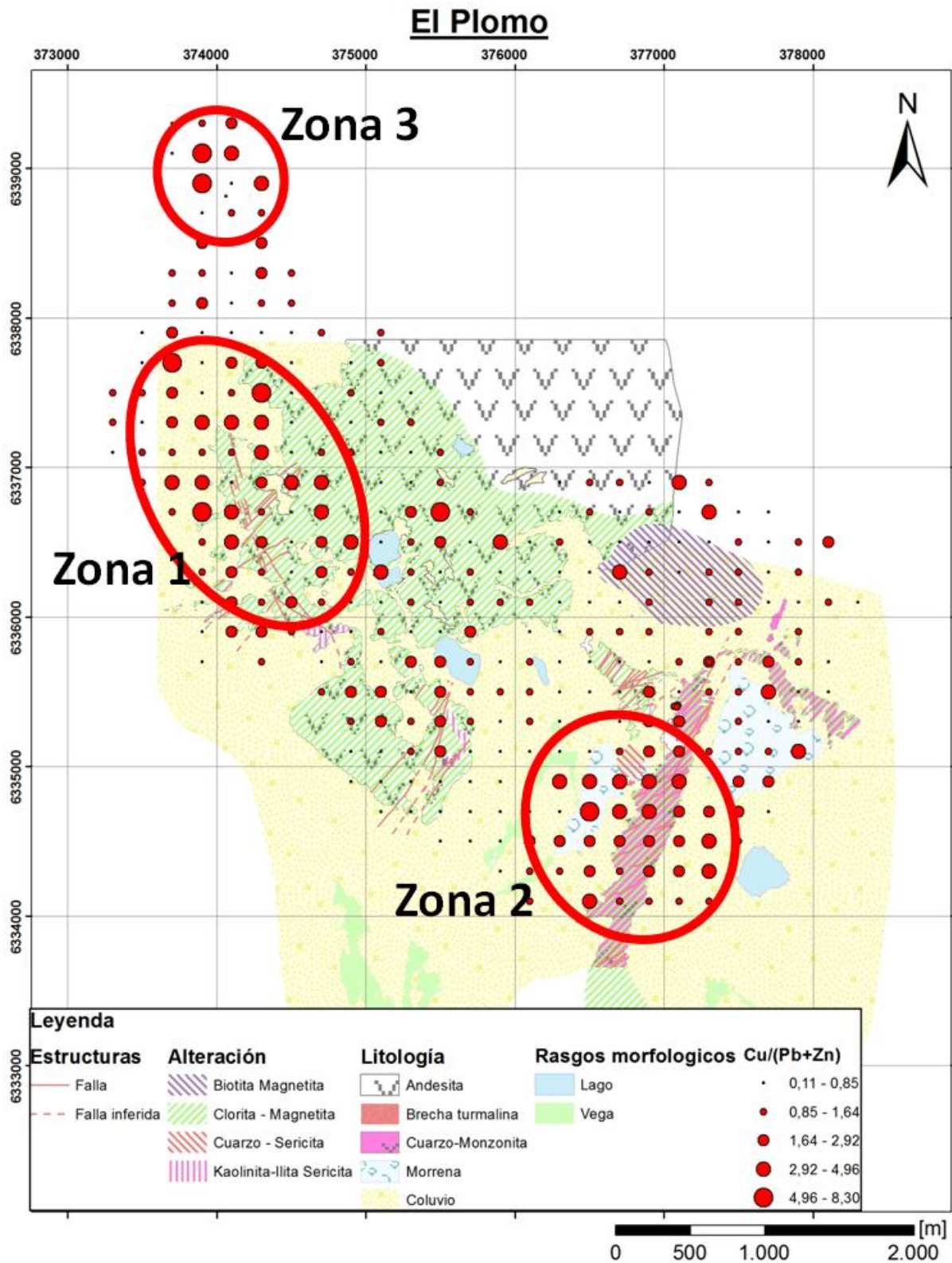
La alteración caolinita-ilita-sericita encontrada en las zonas de fallas confirma que estas estructuras sirvieron como conductos para los fluidos hidrotermales que originaron la alteración y movilizaron gran parte de los elementos.

Se ha encontrado que los elementos como Pb, Zn, Mn representan partes distales de un sistema porfídico Cu-Mo (Eidel et al., 1968; Lang y Eastoe, 1988), gradando de un centro compuesto de Cu-Mo a Cu, formando halos con anomalías positivas de Pb-Zn y Ag-Au en zonas con alteración propilítica, syn-crónico con la alteración potásica, reflejando bajas temperaturas hidrotermales (Babcock et al., 1995; Lang y Eastoe, 1988), pero invariablemente se define en ambiente de skarn distal Zn-Pb-Ag+-Mn (e.g., Meinert, 1987; Meinert et al., 2005), donde se pueden encontrar elementos aún más distales de Au-As+-Sb (e.g., distritos Bingham y Sepon; Babcock et al., 1995; Cunningham et al., 2004; Smith et al., 2005). Algunos pórfidos presentan un halo enriquecido de Mn ( $\pm$ Ag) en las partes más externas (e.g., Butte; Meyer et al., 1968) y en otros, este halo, particularmente Zn, ocurre en etapas tardías en vetillas como sobreimposición al núcleo rico en Cu preferentemente en la periferia (e.g., Chuquicamata; Ossandón et al., 2001).



**Figura 8.1:** Distribución geoquímica del azufre, se observa la clara tendencia NW a NNW.

Ahora, la razón Cu/Pb-Zn, describe el comportamiento del cobre con respecto a los elementos más distales (Pb-Zn), de esta forma, permite definir 3 zonas que presentan centros con mayor cobre y un halo enriquecido en Pb-Zn (zona 1, zona 2 y zona 3, Figura 8.2). La zona 1 se ubica al NW en la andesita, presenta alteración clorita-magnetita+-epidota, un borde (centro) con caolinita-ilita-sericita y estructuras principales NNW y secundarias NE. La zona 2 se ubica al SE sobre la cuarzo-monzonita con estructuras NE, alteración clorita-epidota y sobre la brecha lixiviada de turmalina-cuarzo con alteración cuarzo-sericita. Por último, la zona 3 se ubica al NO de la zona de estudio, presenta alteración de tipo propilítica. Las tres zonas fueron definidas de acuerdo al halo Pb-Zn observado (Figura 8.2), la zona 3 por estar al límite norte del mapa solo presenta halo Pb-Zn al sur y podría ser una anomalía puntual o un efecto borde de la información, pero hay que tener cuidado, ya que esos valores corresponden a muestras tomadas en la quebrada y podrían estar influenciadas por el transporte. La zona que mejor conversa y la que presenta más interés corresponde a la zona 2 debido a su proximidad con la zona de la brecha de turmalina y la alteración cuarzo-sericita. Lo anterior sugiere estudios geocronológicos de  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  para datar la edad de la alteración cuarzo-sericita en la brecha de turmalina y determinar si corresponde al ciclo magmático fértil conocido del yacimiento (Deckart et al., 2005).



**Figura 8.2:** Mapa muestra razón Cu/ (Pb+Zn) y las zonaciones producidas. Círculos mayores indican que hay mayor cantidad de cobre con respecto al plomo y cinc. Se muestran las 3 zonas de interés.

## 8.2. Ortiga

Carten (1986) definió la alteración hidrotermal de tipo sódico-cálcica en las zonas de raíz del pórfido cuprífero Yerrington (Nevada, USA), determinando que esta ocurre en la porción profunda de pórfidos cupríferos y se desarrolla en forma simultánea con la alteración potásica a niveles más altos. Este tipo de alteración hidrotermal se caracteriza por una asociación de actinolita, albita-oligoclasa-andesina, epidota, clorita, cuarzo y escapolitas, la cual ha sido descrita para distintos yacimientos de tipo pórfido cuprífero en el mundo (Island Copper, British Columbia, Arancibia y Clark, 1996; - Yerrington, Carten, 1986; Dilles y Einaudi, 1992), en Chile (e.g. El Salvador, Gustafson y Quiroga, 1995), y en particular para algunos de la faja del Mioceno superior – Plioceno inferior de los Andes de Chile Central (Río Blanco – Los Bronces, Skewes et al., 1994; El Teniente, Cannel et al., 2005, Skewes et al. 1994) describen para Río Blanco – Los Bronces una alteración de tipo sódico-cálcica-férrica, caracterizada por vetillas de actinolita y actinolita +/- feldespato +/- cuarzo, similares a las observadas en Ortiga (Figura 4.4). A partir de inclusiones fluidas determinan condiciones de temperatura entre 350 y 440°C, similares a las determinadas por Carten (1986) de 360 a 480°C, y Dilles (1987) de 340 a 480°C para este tipo de alteración hidrotermal. Dilles y Einaudi (1992) determinan condiciones de 0,5 a 1,0 kbar para este tipo de alteración hidrotermal, la cual ocurriría a una profundidad de 2 a 4 km. Las vetillas de magnetita (Figura 4.4, d) serían las primeras en ocurrir y las de mayor temperatura (Arancibia y Clark, 1996). Las vetillas de actinolita (Figura 4.4, a y c) indicarían temperaturas de ~400°-450°C, mientras que las de epidota (Figura 4.5, a) ~400°C o menos (Carten, 1986).

En Ortiga, la UIA y SUPA (UIB) serían los precursores de este tipo de alteración hidrotermal, la cual afectaría a estos intrusivos y a las rocas de caja, además se desarrollarían los cuerpos de brecha con matriz de magnetita. Ahora que esta alteración esté aflorando en superficie signifique que el sistema presenta un alto grado de exhumación y erosión.

La asociación mineral de alunita – pirofilita – andalucita – sílice – dickita – diásporo – baritina – yeso (post anhidrita) – azufre nativo, presente en Ortiga corresponde a una alteración hidrotermal tipo argílica avanzada (Sillitoe, 1995; Hedenquist et al., 1998). La mineralogía presente es típica para sistemas epitermales de alta sulfuración por la presencia de componentes de azufre oxidado ( $\text{HSO}_4^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{SO}_2$ ). La asociación de pirofilita-alunita es relevante pues permite concluir que la alunita tiene un carácter hipógeno, más aún su hábito tabular es otro antecedente para la formación hipógena de este tipo de alteración (Simmons et al., 2005). La presencia de alunita de origen magmático-hidrotermal indica un carácter relativamente oxidado para los fluidos (Simmons et al., 2005). La presencia de pirofilita en el ambiente argílico avanzado es indicadora de altas temperaturas, en coexistencia con dickita y diásporo indica temperaturas de al menos 280°C (Hemley et al., 1980) (~360°C; Seedorff et al., 2005). En el estudio de DRX se identificó andalucita, indicando temperaturas sobre 360°C (~400°C) (Seedorff et al., 2005). Esto puede significar tres cosas; el punto de muestreo corresponde a un "ledge" (estructura alimentadora), o estamos en un nivel de

exposición profundo del Lithocap y cercano al ambiente tipo pórfido, o bien ambas cosas.

La alteración hidrotermal de tipo argílica avanzada se forma a poca profundidad por la absorción por parte de aguas subterráneas de volátiles magmáticos ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $HCl$  y  $HF$ , entre otros), que se separan de un líquido hipersalino (Hedenquist et al., 1998; Williams-Jones y Heinrich, 2005; Seedorff et al., 2005) o se enfrían y condensan directamente a partir de un vapor magmático simple ( $\rho < \rho_{crítica}$ ) (Williams-Jones y Heinrich, 2005). En general el proceso de desproporcionalización del  $SO_2$  ( $4SO_2 + 4H_2O = 3H_2SO_4 + H_2S = 3H^+ + 3HSO_4^- + H_2S$ ), genera soluciones acuosas altamente reactivas (Hedenquist et al., 1998). Esta reacción se produciría a temperaturas bajo los  $400^\circ C$  (Ohmoto y Rye, 1979).

Sillitoe (1995) señala que los litocaps son el producto de interacción de fluidos muy ácidos y relativamente oxidados con las rocas de caja, las que pierden su capacidad de neutralización, indica además que la base del litocap corresponde al límite inferior del ambiente epidermal de alta sulfuración, el cual puede llegar a ser muy reducido en función de la erosión existente. Por otro lado este autor agrega que la separación vertical existente entre el lithocap propio de un ambiente epidermal, con un ambiente pórfido es función del grado de telescopio existente. Mediante este mecanismo se puede, de forma importante, sobreponer alteración argílica avanzada a las fases de alteración precedentes de alta temperatura. El "telescopio" es producto de una degradación de la paleosuperficie durante el evento hidrotermal dado por las altas tasa de erosión – alzamiento y/o por el colapso gravitacional de edificios volcánicos (Sillitoe, 1994). Las zonas con alteración argílica avanzada son más potentes donde la profundidad del nivel freático es mayor. Esto ocurre en las regiones áridas, o bajo relieves topográficos altos (estratovolcanes) en terrenos montañosos (Sillitoe, 1993).

En el prospecto Ortiga la alteración argílica avanzada presenta un fuerte control estructural de rumbo NE, evidenciado a partir de las brechas freáticas, las cuales serían otra expresión de este tipo de alteración y se desarrollarían a niveles someros menores a 1 km de profundidad (Sillitoe, 1985). Las brechas freáticas se formarían por un aumento considerable de la presión hidrostática debajo de una barrera de baja permeabilidad, produciendo una brechización violenta producto de un fallamiento o deslizamiento, lo cual produce una repentina descompresión del sistema, es decir una transformación violenta de agua calentada a vapor "flashing" conducente a una explosión hidrotermal (Sillitoe, 1985).

En relación a la paragénesis del prospecto Ortiga, es posible inferir que este tipo de alteración se produciría en forma sincrónica con las otras alteraciones presentes, lo cual ha sido demostrado por diferentes autores (Arribas et al., 1995; Sillitoe, 2000; Muntean y Eunaidi, 2001), no obstante, en Ortiga se preservaría posiblemente la última etapa de este tipo de alteración, esto al asumir que durante el desarrollo del sistema hidrotermal

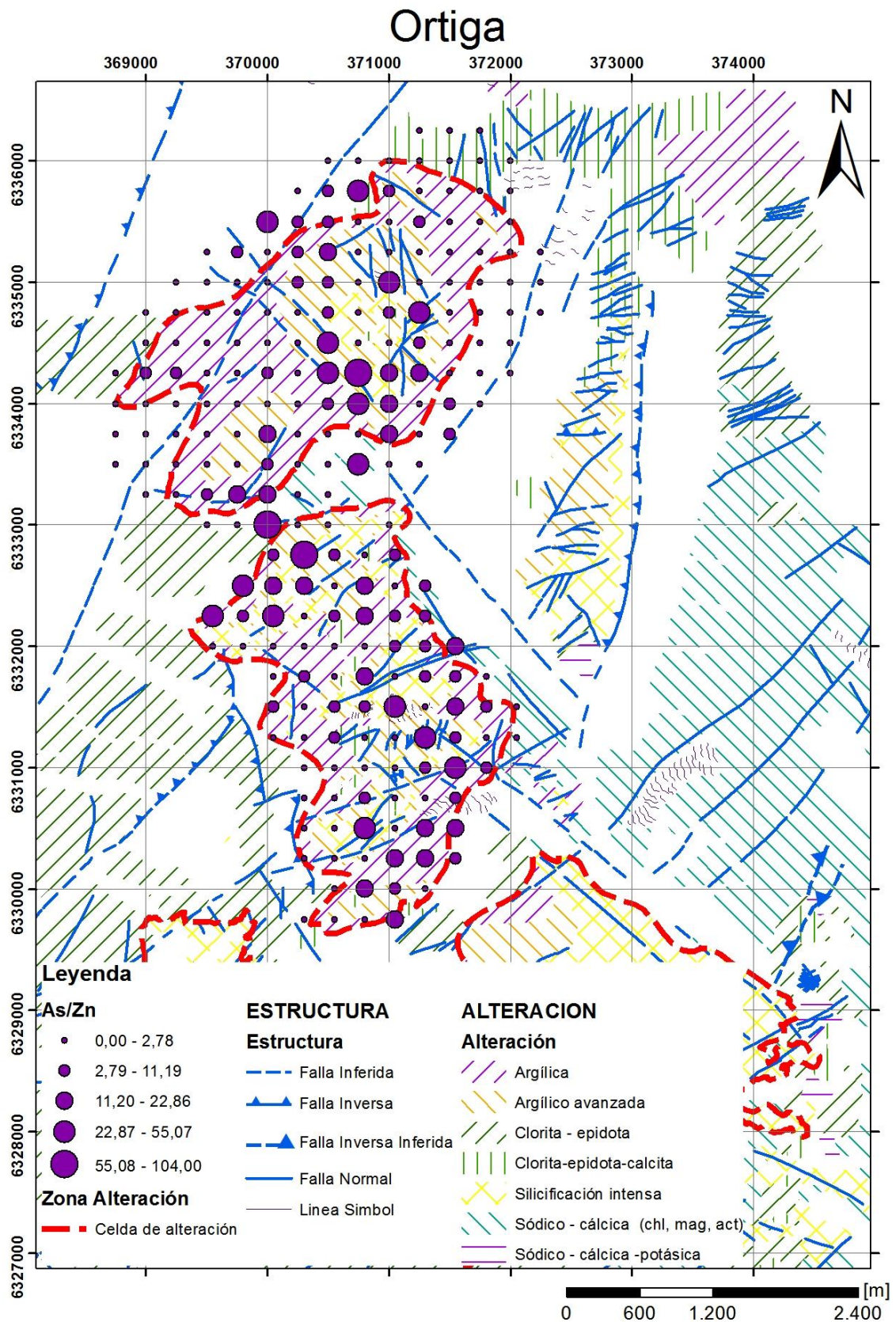
se habría desarrollado esta alteración en diferentes etapas, en forma sincrónica a procesos de erosión.

En resumen, la presencia de alteración sódico-cálcica (alteración ubicada en las raíces de un pórfido cuprífero, Carten, 1986) nos sugiere un alto grado de erosión y exhumación del sistema y cual habría sido sobre impuesto y "telescopeado" por eventos de alteración argílico avanzado e intermedio que re-movilizaron los elementos de un evento inicial. De los histogramas, solo el Cu indicaría la existencia de dos eventos, dadas las dos poblaciones observadas (Tabla 12.2.9). Todos los demás elementos presentan una sola población de datos. Es importante notar que la población de mayores leyes de Cu (>200 ppm) presenta mucha menor frecuencia y no representa más del 10% de los datos y dada la intensa alteración argílica avanzada y la presencia de Alteración calco-sódica podemos suponer que gran parte del Cu inicial fue re-movilizado producto de la alteración argílica avanzada.

La alteración de tipo argílico avanzada disuelve enormes cantidades de Al, Fe, Mg, Ca, K, Na (Meyer and Hemley, 1967) junto con otros elementos como el cobre, el cual es re-movilizado, quedando solo elementos estables a esas bajas condiciones de pH (1 a 3,5) como el As, Au, Sr, Te, Sb, etc. y minerales como alunita, pirofilita, dickita, sílice, azufre nativo etc. Lo anterior genera patrones de zonación tanto lateral como vertical y permite establecer vectores de exploración. En este estudio los elementos como el Ag, Al, Ca, Co, Cu, Hg, Mg, Mn, Pb, V, Zn (Figura 8.4, c y d) muestran valores decrecientes hacia el centro de los lithocap al igual que las razones Ag/Au, en cambio los elementos As, Mo, Te, Bi, Tl y As/Pb (Figura 8.3) muestran tendencias crecientes hacia los lithocap. Lo anterior ya había sido observado por Chang et al. (2006) relacionado a la zonaciones mineralógicas producidas que van desde cuarzo-alunita a cuarzo-caolinita/dickita a ilita-esmectita hacia los bordes del lithocap. Chang et al. (2006) llega a la conclusión que los elementos Pb, Ag/Au, Hg, Te y As/Zn, decrecen hacia las zonas con alteración argílico avanzando y que La/Pb y Sr/Pb aumentan hacia los lithocap, no encontrándose esta última zonación en este estudio. En este caso As/Zn muestra una relación inversa a la observada por Chang, es decir, valores crecientes hacia los centros de alteración argílico avanzado que muestran los mayores "peak" de alunita (Pablo, 2011 informe interno) y las relaciones La/Pb y Sr/Pb no se cumplen, debido probablemente a la intensa lixiviación y erosión en la zona.

El ACP permitió definir componentes relacionadas principalmente a la alteración hidrotermal. El componente 1 (Mg-Al-Li-Zn-Co-Y-Ni-V-Mn-Sc-Ca-Ga-Ce-La-Hf-Zr-U-Cu) caracterizada por contener, en su mayoría, elementos metálicos que son re-movilizados en condiciones ácidas supérgenas (pH 1-3) y la asociación 2 (As-Au-Sr-Mo-Te-Fe-Bi-Se-Tl-Sb) correspondiente a un conjunto de elementos relacionados a un ambiente epitermal de alta sulfuración que, Simmons et al. (2005) y Chang et al. (2006) le asocian a un carácter proximal a una fuente hidrotermal.

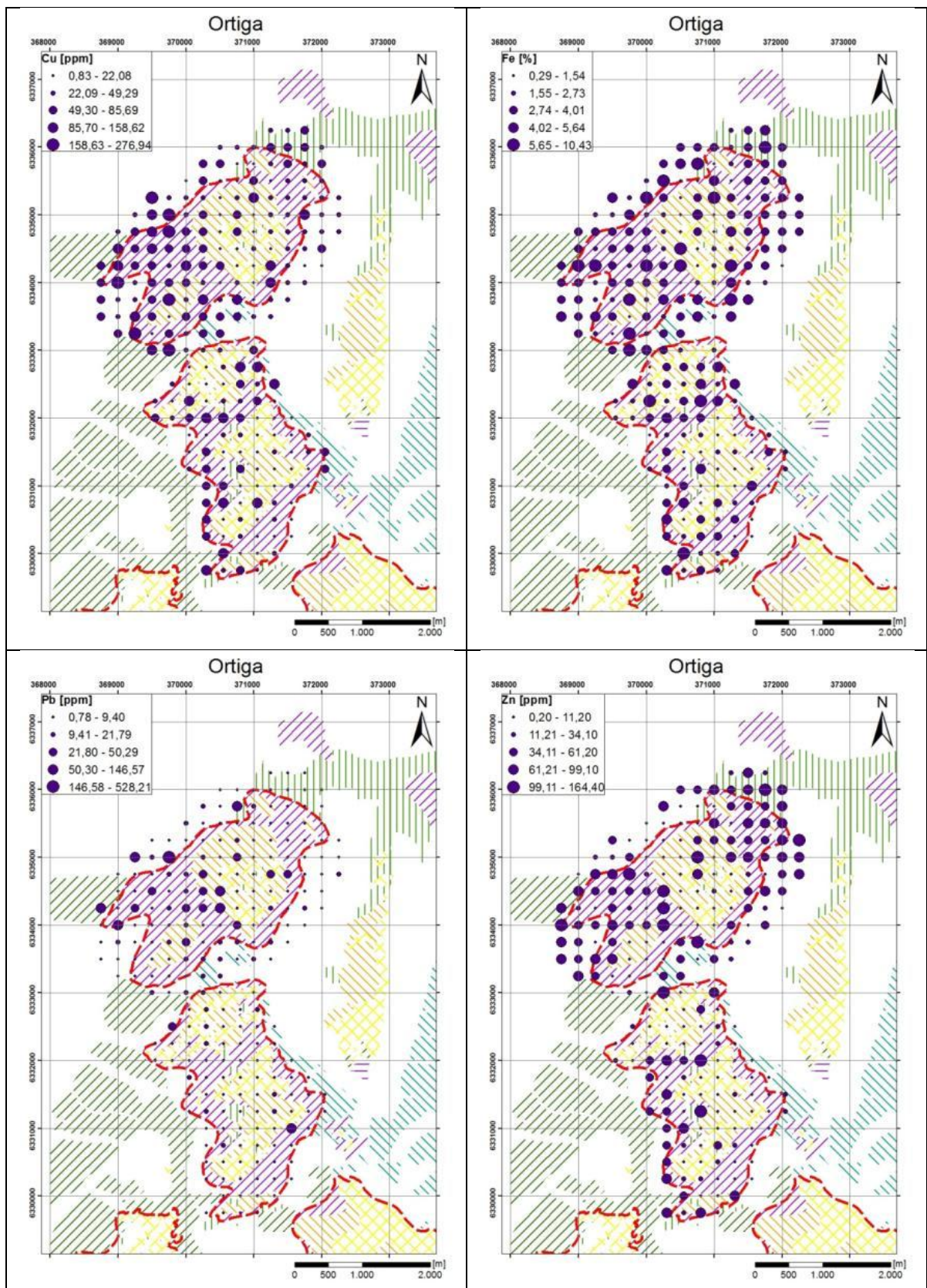




**Figura 8.3:** Razón As/Zn presenta valores crecientes hacia las zonas con alteración argílico avanzado.

La celda del norte, concentra en forma destacada los elementos Cu, Zn, Fe y Te y en forma menos intensa Pb y Sn en comparación con la celda de sur. Mientras que la celda del sur, sólo destaca en Hg, As, Sb y Mo. Lo anterior puede ser argumentado en base a dos hipótesis: la primera soporta la idea que la celda del norte tenga un nivel de erosión más profundo lo que coincide con una mayor concentración de elementos más móviles. Mientras que la segunda hipótesis se refiere a una mayor intensidad y volumen de la alteración argílica avanzada en la celda del sur, y por ende una mayor removilización de elementos. Sin embargo, ésta última, se ve menoscabada por la mayor presencia de Hg, As y Pb en la celda hidrotermal del sur (Zamorano, conversación, 2012).

El fuerte enriquecimiento en Cu, Fe, Zn y Pb observado en la celda 1 (norte zona estudio, Figura 8.4), están indicando una cercanía a la fuente de los fluidos hidrotermales. De forma similar se observa la razón  $Cu / (Pb+Zn)$ , la cual presenta valores altos, es decir, alto cobre con respecto a Pb y Zn, en la parte norte y centro (Figura 8.3 b), pero hay que tener cuidado con esto debido a que tanto el cobre como el cinc son altamente móviles en condiciones ácidas supérgenas, así que, por una parte es de esperar que esta razón sea baja en los lithocap. Por otro lado, estudios realizados de análisis espectral (SWIR) el 2011 en las distintas celdas determinan un peak de absorción en alunita de 1493 nm en la celda 1 (Pablo, 2011, informe interno), lo que indicaría que esta celda sería más proximal a la fuente de los fluidos hidrotermales (Chang, 2006).



**Figura 8.4:** distribución de Cu, Fe, Pb, Zn. Se observa que las mayores concentraciones de estos elementos se dan en la celda 1 (norte). Se observa además que el Zn presenta valores decrecientes hacia el Ithocap.

### 8.3. Comparación Plomo-Ortiga

Ambos sistemas muestran características y zonaciones distintas pero típicas de un depósito tipo pórfido Cu-Cu/Mo. El Plomo muestra zonaciones de los elementos Pb-Zn (de fluidos de condiciones alcalinas y de baja temperatura), con un halo alrededor de un centro enriquecido en cobre (con respecto al Pb y Zn, Figura 8.2). En cambio, Ortiga presenta, como ya se dijo anteriormente, elementos propios de un epitermal de alta Sulfuración (As-Au-Sr-Mo-Te-Fe-Bi-Se-Tl-Sb, elementos obtenidos mediante ACP) estables en condiciones ácidas y de baja temperatura (Cooke et al., 2006).

La presencia de alteración sódico-cálcica en Ortiga y la presencia de alteración potásica-biotita, la brecha de turmalina y la alteración argílica controlada por estructura nos indica que ambos sistemas presentan un grado de erosión y exhumación importante.

La sobre-imposición de la alteración argílica frente a la sódico cálcica en Ortiga nos indica la existencia de al menos 2 eventos hidrotermales en Ortiga. Lo anterior complementado con las 2 poblaciones de Cu encontradas con el análisis de histogramas (Tabla 12.2.9), una población de leyes mayores a 200 ppm que representa menos del 10% de los datos y otra población con leyes menores a 200 ppm que evidencian la sobreimposición de la alteración argílica y argílico avanzado. En El Plomo no existe evidencia geológica de 2 eventos hidrotermales o quizás no es tan evidente. Lo anterior sumado a la amplia extensión que tiene Ortiga en superficie y la presencia de mayores leyes de Cu observadas en Ortiga, nos hace pensar que Ortiga puede presentar un mayor potencial de exploración.

## **9. Conclusiones**

### **El Plomo**

Existe una tendencia estructural NW – SE principal, con estructuras de segundo orden NNW-SSE evidenciado por la orientación de estructuras en superficie y algunos elementos como el As, Cu, Fe y S que nos indican que las estructuras NW - SE sirvieron como conductos que facilitaron la permeabilidad de los fluidos hidrotermales.

La relación Cu/(Pb+Zn) muestra 3 zonas de interés para exploración que indicarían un depósito tipo Cu-Mo de las cuales la zona 2 es la que presenta el mayor atractivo dadas las evidencias en terreno como la brecha de turmalina y la alteración cuarzo-sericita presentes.

La presencia de alteración potásica (biotita) nos indica que El Plomo presenta un grado de erosión y exhumación importantes, la cual se sugiere calcular para poder determinar si el pórfido no ha sido completamente erosionado.

La información extraída de los histogramas y la información de la alteración nos indica que en El Plomo hay, al menos, 1 evento hidrotermal que originó las zonaciones de elementos descritas en este estudio.

### **Ortiga**

Los elementos Cu, Zn, Fe, Te se concentran en forma destacada en la celda de más al norte. Mientras que Sb, Hg y As lo hacen en la celda de más al sur. Ello induce a pensar que la celda norte se encuentra con un mayor grado de erosión, y por ende más cerca del centro del sistema, que la celda sur.

El conjunto de los elementos encontrados mediante análisis de componentes principales ACP (As-Au-Sr-Mo-Te-Fe-Bi-Se-Tl-Sb) se pueden asociar a minerales de alta sulfuración provenientes de una fuente hidrotermal.

Lo anterior, junto con la distribución de los elementos inmóviles en condiciones ácidas en Ortiga como el As, Hg, la razón As/Pb y de elementos móviles como Cu, Pb, Zn, Fe en conjunto con los estudios hechos con SWIR implican que la celda 1 es la más proximal a la fuente de los fluidos hidrotermales, aumentando la probabilidad de la existencia de un sistema pórfido cuprífero en profundidad.

Ahora, la presencia de alteración argílico avanzada sobreimpuesta a la alteración Sódico-cálcica complementado con las dos poblaciones de Cu encontradas con análisis

de histogramas evidencia 2 eventos de alteración hidrotermal y un alto grado de exhumación y erosión del sistema.

Finalmente podemos concluir que los sistemas El Plomo y Ortiga, si bien presentan distintas partes en un sistema pórfido Cu-Cu/Mo, estos serían independientes. El Plomo muestra elementos asociados a alteraciones (alteración propilítica) de baja temperatura Pb-Zn, en cambio Ortiga presenta asociaciones propias de un epitermal de alta sulfuración estables en condiciones ácidas y de baja temperatura. Ambos muestran zonaciones interesantes [Cu/ (Pb+Zn)] y permiten establecer vectores para futuras exploraciones.

## **10. Recomendaciones y sugerencias**

Se sugieren estudios de geocronología en la brecha de turmalina en El Plomo para determinar la edad de la alteración cuarzo-sericita y determinar si corresponde al periodo fértil (Deckart et al., 2014).

Se recomienda continuar con estudios en la celda 1 en Ortiga, como una campaña geofísica para determinar la existencia de algún cuerpo en profundidad.

Por último se sugiere, si fuese necesario, continuar estudiando el comportamiento de los demás elementos no considerados en este estudio.

## 11. Bibliografía

**Aguirre, L. 1960.** Geología de Los Andes de Chile Central, Provincia de Aconcagua. Instituto de Investigaciones Geológicas. Santiago. Chile. Vol. 9. 70 pp.

**Aguirre, L., Charrier, R. y Davidson, J. 1974.** Andean Magmatism: Its Paleogeographic and Structural Setting in the Central Part (30-35°) of the Southern Andes. *Geologic*. Vol. 8. pp 1-38.

**Aguirre, L., Robinson, D., Bevins, R. E., Morata, D., Vergara, M., Fonseca, E. & Carrasco, J. 2000.** A low-grade metamorphic model for the Miocene volcanic sequences in the Andes of central Chile. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 43, 83–93.

**Alfaro Minería y Exploraciones Ltda. 1995.** Proyecto Ortiga. Informe Interno de la Compañía Minera Disputada de las Condes. 14 pp.

**Arancibia, O.N., and Clark, A.H., 1996.** Early magnetite-amphibole-plagioclase alteration-mineralization in the Island Copper porphyry copper-gold-molybdenum deposit, British Columbia: *Economic Geology*, v.91, p. 402-438.

**Arribas, A. Jr., 1995.** Characteristics of high-sulfidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluid, in Thompson, J.F.H. (ed.), *Magma, Fluids and Ore Deposits: Mineralogical Association of Canada, Short Course Series*, 23, 419-454.

**Atkinson, W.W., Jr., Souviron, A., Vehrs, T.I., and Faunes, A., 1996.** Geology and mineral zoning of the Los Pelambres porphyry copper deposit, Chile: *Society of Economic Geologists Special Publication* 5, p. 131–156.

**Babcock, R.C., Ballantyne, G.H., and Phillips, C.H., 1995,** Summary of the geology of the Bingham district, Utah, in Pierce, F.W., and Bolm, J.G., eds., *Porphyry copper deposits of the American Cordillera: Arizona Geological Society Digest*, v. 20, p. 316–335.

**Barassi, S. 1985.** Proyecto Ortiga. Informe Interno de la Compañía Minera Disputada de las Condes.

**Batista Foguet y Martines Arias, 1989.** “Análisis multivariante. Análisis en componentes principales”. Colección ESADE. Editorial Hispano Europea, S.A. pp.49-54.

**Beccar, L., Vergara, M., and Munizaga, F., 1986,** Edades K/Ar de la Formación Farellones en el Cordón del Cerro La Parva, Cordillera de los Andes de Santiago, Chile: *Revista Geológica de Chile*, v. 28–29, p. 109–113.

**Burns, W. M. & Jordan, T. E. 1999.** Extension in the Southern Andes as evidenced by an Oligo-Miocene age intra-arc basin. *Proceedings 4th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG)*, Göttingen, Germany, Editions IRD, 115–118.

**Cahill, T., and Isacks, B., 1992.** Seismicity and shape of the subducted Nazca plate: *Journal of Geophysical Research*, v. 97, p. 17503–17529.

**Cannell, J., Cooke, D.R., Stein, H.J., and Markey, R., 2005.** New paragenetically constrained Re-Os molybdenite ages for the El Teniente Cu-Mo porphyry deposit, central Chile: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 100, p. 979–1003.

**Carten, R.B., 1986.** Sodium-calcium metasomatism: Chemical, temporal, and spacial relationships at the Yerington, Nevada, porphyry copper deposit: *Economic Geology*, v.81, p. 1495-1519.

**Castelli, J. 1999.** Geología de exploración básica generativa entre el río Yeso y el paso Los Libertadores. Informe (inédito), archivo técnico, CODELCO Chile



**Castelli, J. C. e Iriarte, S. 1998.** Geología de exploración básica generativa entre ríos Maipo y El Yeso. Informe (Inédito), Corporación Nacional del Cobre (Chile), Gerencia de Exploraciones, 41 p.

**Chaffee, M.A., 1976.** The zonal distribution of selected elements above the Kalamazoo porphyry copper deposit, San Manuel district, Pinal County, Arizona: *Journal of Geochemical Exploration*, 5, 145-165.

**Chang Z., Noel White N., Hedenquist J., Deyell C., Cooke D., Ireland T. 2006.** Exploring Lithocap: Practical tools to focus on targets in the lithocap environment

**Charrier, R., Baeza, O., Elgueta, S., Flynn, J.J., Gans, P., Kay, S.M., Muñoz, N., Wyss, A.R. and Zurita, E., 2002,** Evidence for Cenozoic extensional basin development and tectonic inversion south of the flat-slab segment, southern central Andes, Chile (33°-36°S), *Journal of South American Earth Sciences*, 15, p. 117-139.

**Charrier, R., Bustamante, M., Comte, D. et al. 2005.** The Abanico Extensional Basin: Regional extension, chronology of tectonic inversion, and relation to shallow seismic activity and Andean uplift. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 236(1-2), 43-47.

**Charrier, R.; Wyss, A.; Flynn, J.; Swisher III, C.C.; Spichiger, S.; Zapatta, F. 1994.** Nuevos antecedentes estratigráficos y estructurales para las formaciones Coya – Machalí y Abanico, entre los 33°50' y 35°S, Cordillera Principal Chilena. In Congreso Geológico Chileno, No. 7, Actas, Vol. 2, p. 1316-1319. Concepción.

**Charrier, R., Wyss, A., Flynn, J., Swisher, C., III, Novell, M., Zapatta, F., McKenna, M., y Novacek, M., 1996.** New evidence for late Mesozoic – early Cenozoic evolution of the Chilean Andes in the Upper Tinguiririca Valley (35°S), Central Chile: *Journal of South American Herat Sciences*, v. 9, p. 393-422.

**Cheng, Q., 2008.** Modeling local scaling properties for multiscale mapping. *Vadose Zone Journal* 7, 525–532.

**Cooke D. R., P. Hollings and J.L. Walshe, 2005.** Giant porphyry deposits – characteristics, distribution and tectonic controls: *Economic Geology*, 100, 801-818.

**Cooke, D.R., Hollings, P.N., Chang, Z., Zhou, T., Hedenquist, J., White, N., 2006.** Baguio district: porphyry Cu-Au, epithermal Au-Ag and skarn deposits and the Baguio lithocap. AMIRA International project P765 - Transitions and zoning in porphyry-epithermal districts: indicators, discriminators and vectors, Final Report, section 2.1, pages 1 to 8.

**Corbett, G. and Leach, T. (1998).** Porphyry-related low sulfidation gold systems. Southwest Pacific rim gold-copper systems. "Structure, Alteration and Mineralisation". *Economic Geology*, Special Publication, No. 6, 137–200.

**Cunningham, C.G., Austin, G.W., Naeser, C.W., Rye, R.O., Ballantyne, G.H., Stamm, R.G., and Barker, C.E., 2004,** Formation of a paleothermal anomaly and disseminated gold deposits associated with the Bingham Canyon porphyry Cu-Au-Mo system, Utah: *Economic Geology*, v. 99, p. 789–806.

**Davidson, P., and Kamenetsky, V.S., 2001.** Immiscibility and continuous felsic melt-fluid evolution within the Río Blanco porphyry system, Chile: Evidence from inclusions in magmatic quartz: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 96, p. 1921–1929.

**Davidson, P., Kamenetsky, V.S., Cooke, D.R., Friksen, P., Hollings, P., Ryan, C, Van Achterbergh, E., Mernagh, T., Skarmeta, J., Serrano, L., and Vargas, R, 2005.** Magmatic precursors of hydrothermal fluids at the Río Blanco Cu-Mo deposit, Chile: Links to silicate magmas and metal transport: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 100, p. 963–978.

**Deckart, K., Clark, A.H., Aquilar, C., and Vargas, R, 2005.** Magmatic and hydrothermal chronology of the supergiant Río Blanco porphyry copper deposit, central Chile: Implications of an integrated U-Pb and 40Ar-39Ar database: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 100, p. 905–934.

**Deckart, K., Godoy, E., Bertens., A., Jeréz, D., Saeed, A. 2010.** Barren Miocene Granitoids in the Central Andean Metallogenic Belt, Chile: Geochemistry and Nd-Hf end U-Pb Isotope Systematics. *Andean Geology*, 37(1), 1-31.

**Deckart, K., Clark, A.H., Cuadra, P., Fanning, M. 2013.** Refinement of the time-space evolution of the giant Mio-Pliocene Río Blanco-Los Bronces porphyry Cu-Mo cluster, Central Chile: New U-Pb (SHRIMP) and Re-Os geochronology and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  thermochronology data. *Mineralium Deposita*. Volume 48, Issue 1 (2013), Page 57-79

**Deckart, K., Silva, W., Spröhnle, C., Vela, I. 2014.** Timing and Duration of Hydrothermal Activity at the Los Bronces Porphyry Cluster: An Update. In press in *Mineralium Deposita*, Vol 49, 535-546. DOI: 10.1007/s00126-014-0512-9.

**Dilles, J.H., 1987.** Petrology of the Yerington batholith, Nevada: Evidence for evolution of porphyry copper ore fluids: *Economic Geology*, v. 82. p. 1750-1789.

**Dilles, J.H., and Einaudi, M.T., 1992.** Wall-rock alteration and hydrothermal flow paths about the Ann-Mason porphyry copper deposit, Nevada – a 6 km vertical reconstruction: *Economic Geology*, v.87, p. 1963-2001.

**Drake, R. E., Curtis, G. & Vergara, M. 1976.** Potassium–argon dating of igneous activity in the central Chilean Andes – latitude 33°S. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1, 285–295.

**Eggers, T., 2008.** Modelo geológico del Prospecto Ortiga, distrito Río Blanco – Los Bronces, Alta Cordillera RM. Memoria de Título.

**Eidel, J.J., Frost, J.E., and Clippinger, D.M., 1968,** Copper-molybdenum mineralization at Mineral Park, Mohave County, Arizona, in Ridge, J.D., ed., *Ore deposits of the United States, 1933–67*: New York, American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, v. 2, p. 1258–1281.

**Farías, M., Charrier, R., Carretier, S., Martinod, J., Fock, A., Campbell, D., Cáceres, J., Comte, D. 2008.** Late Miocene high and rapid surface uplift and its erosional response in the Andes of central Chile (33°-35°S), *Tectonics* Vol. 27. TC1005, 22p.

**Fock, A., R. Charrier, M. Farías, V. Maksaev, M. Fanning, and P. P. Álvarez (2005),** Deformation and uplift of the western Main Cordillera between 33° and 34°S, paper presented at 6th International Symposium on Andean Geodynamics, Inst. de Rech. pour le De´v., Barcelona, Spain.

**Frikken, P.H., 2004.** Breccia-hosted copper-molybdenum mineralisation at Río Blanco, Chile: Unpublished Ph.D. thesis, Hobart, CODES, University of Tasmania, 248 p.

**Fuentes, F.; Vergara, M.; Nystrom, J. O.; Levi, B.; Aguirre, L. 2000.** Geology and Geochemistry of Tertiary volcanic rocks from the Cuesta de Chacabuco area. In *Congreso Geológico Chileno*, No. 9, Actas, Vol. 2, p. 656-659. Puerto Varas.

**Fuentes, F.; Vergara, M., Aguirre, L., 2002.** Relaciones de contacto de unidades volcánicas terciarias de los Andes de Chile Central (33° S): una re-interpretación sobre la base de dataciones  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ . *Rev. Geol. Chile*, Dec. 2002, vol. 29, No. 2, p.207-225.

**Fuentes, F. 2004.** Petrología y metamorfismo de muy bajo grado de unidades volcánicas oligoceno–miocenas en la ladera occidental de los Andes de Chile central (33°S). Thesis, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago.

**Gana, P.; Wall, R. 1997.** Evidencias Geocronológicas  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  y K-Ar de un hiatus Cretácico superior – Eoceno en Chile Central (33°-33°30´ S). *Revista Geológica de Chile*, Vol. 24, p. 145-163.

**Giambiagi, L. B., V. A. Ramos, E. Godoy, P. P. Alvarez, and S. Orts (2003).** Cenozoic deformation and tectonic style of the Andes, between 33\_ and 34\_ south latitude, *Tectonics*, 22(4), 1041, doi:10.1029/2001TC001354.

**Giggenbach, W.F., 1997:** The origin and evolution of fluids in magmatic-hydrothermal systems, in Barnes, H. L., ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 3rd edition: New York, John Wiley & Sons, p. 737-796.

**Godoy, E., Yañes, G. & Vera, E. 1999.** Inversion of an Oligocene volcano-tectonic basin and uplifting of its superimposed Miocene magmatic arc in the Chilean Central Andes: first seismic and gravity evidences. *Tectonophysics*, 306, 217–236.

**Gustafson, L.B., and Quiroga, J., 1995.** Patterns of mineralization and alteration below the porphyry copper orebody at El Salvador, Chile: *Economic Geology*, v.90, p. 2-16.

**Hedenquist, J.W., Simmons, S.F., Giggenbach, W.F., and Eldridge, C.S., 1993.** White Island, New Zealand, volcanic hydrothermal system represents the geochemical environment of high sulfidation Cu and Au ore deposition: *Geology*, v.21, p. 731-734.

**Hedenquist, J.W., Arribas, A. Jr., and Reynolds, T.J., 1998.** Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Mo deposit, Philippines: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 93, p. 373–404.

**Hemley, J.J., Montoya, J.W., Marinenko, J.W. y Luce, R.W., 1980.** Equilibria in the system Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O and some general implications for alteration/mineralization processes: *Economic Geology*, 75: 210-228.

**Hezarkhani, Ardeshir, 2006,** Mass changes during hydrothermal alteration/mineralization at the Sar-Cheshmeh porphyry copper deposit, southeastern Iran: *International Geology Review*, v. 48, p. 841–860.

**Hollings, P., Cooke, D., and Clark, A.H., 2005.** Regional geochemistry of Tertiary volcanic rocks in Central Chile: Implications for the tectonic setting of giant porphyry copper and epithermal deposit genesis: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 100, p. 887–904.

**Jerome, S.E., 1966.** Some features pertinent in exploration of porphyry copper deposits, in S.R. Titley, and C.L. Hicks, eds., *Geology of the porphyry copper deposits, southwestern North America*: University of Arizona Press, 75-85.

**Jenks, George F. (1967):** The Data Model Concept in Statistical Mapping, en *International Yearbook of Cartography* n° 7: pp. 186-190.

**Jolliffe, I.T., 2002.** *Principal Component Analysis*, 2nd edn. Springer, New York, 547 NY. 487 pp.

**Jones, B.K., 1992.** Application of metal zoning to gold exploration in porphyry copper systems: *Journal of Geochemical Exploration*, 43, 127-155.

**Kay, S.M., Mpodozis, C., Ramos, V.A. and Munizaga, F., 1991,** Magma source variations for midlate Tertiary magmatic rocks associated with a shallowing subduction zone and a thickening crust in the central Andes (28-33°S), *Geological Society of America*, special paper 265, p.113-137.

**Kay, S. M. and Kurtz, A.C., 1995,** Magmatic and tectonic characterisation of the El Teniente region: CODELCO - Chile, Division El Teniente, 180p.

**Kay, S.M., Mpodozis, C. and Coira, B., 1999,** Geology and ore deposits of the central Andes: in B.J. Skinner, ed, *Society of Economic Geologists Special Publication* no. 7, p. 27-59.

**Kay, S., and Mpodozis, C., 2001,** Central Andean ore deposits linked to evolving shallow subduction systems and thickening crust: *GSA Today*, v. 11, p. 4–9.

- Kay, S., and Mpodozis, C., 2002**, Magmatism as a probe to the Neogene shallowing of the Nazca plate beneath the modern Chilean flat-slab: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 15, p. 39–57.
- Kay, S.M., Godoy, E., and Kurtz, A., 2005**, Episodic arc migration, crustal thickening, subduction erosion, and magmatism in the south-central Andes: *Geological Society of America Bulletin*, v. 117, p. 67–88.
- Klohn, C. 1960**. Geología de la Cordillera de Los Andes de Chile Central, Provincia de Santiago, O'Higgins, Colchagua y Curicó. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín, No. 8, p. 1-95.
- Kurtz, A.C., Kay, S.M., Charrier, R., and Farrar, E., 1997**. Geochronology of Miocene plutons and exhumation history of the El Teniente region, central Chile (34–35°S): *Revista Geológica de Chile*, v. 24, p. 75–90.
- Lang, J.R., and Eastoe, C.J., 1988**, Relationships between a porphyry Cu-Mo deposit, base and precious metal veins, and Laramide intrusions, Mineral Park, Arizona: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 83, p. 551–567
- Lavenu, A. and Cembrano, J., 1999**. Compressional- and Transpressional- stress pattern for Pliocene and Quaternary brittle deformation in fore arc and intra arc zones (Andes of central and southern Chile), *Journal of Structural Geology*, v. 21, p. 1669-1691.
- Levi, B., Aguirre, L., Nystrom, J., Padilla, H. & Vergara, M. 1989**. Low-grade regional metamorphism in the Mesozoic–Cenozoic volcanic sequences of the Central Andes. *Journal of Metamorphic Petrology*, 7, 487–495.
- Maksaev, V., Munizaga, F., McWilliams, M., Fanning, M., Mathur, R., Ruiz, J., and Zentilli, M., 2004**. New chronology for El Teniente, Chilean Andes, from U-Pb, 40Ar/39Ar, Re-Os and fission-track dating: Implications for the evolution of a supergiant porphyry Cu-Mo deposit: *Society of Economic Geologists Special Publication 11*, p. 15–54.
- Mathur, R, Ruiz, J.R., and Munizaga, F.M., 2001**. Insights into Andean metallogenesis from the perspective of Re-Os analyses of sulphides [abs.]: SERNAGEOMIN, III. South American Symposium on Isotope Geology, Santiago, Sociedad Geológica de Chile 2001, p. 500–503. (CD-ROM).
- Mathur, R., Ruiz, J., and Munizaga, F., (2000)**. Relationship between copper tonnage of Chilean base-metal porphyry deposits and Os isotope ratios. *Geology*, v. 28, 555.
- Meinert, L.D., 1987**. Skarn zonation and fluid evolution in the Groundhog mine, Central mining district, New Mexico: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 82, p. 523–545.
- Meinert, L.D., Dipple, G.M., and Nicolescu, S., 2005**. World skarn deposits: *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, p. 299-336.
- Meyer, Charles, and Hemley, J.J., 1967**, Wall rock alteration, in Barnes, H.L., ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*: New York, Holt, Rinehart, and Winston, Inc., p. 166–235.
- Meyer, Charles, Shea, E.P., Goddard, C.C., Jr., and staff, 1968**, Ore deposits at Butte, Montana, in Ridge, J.D., ed., *Ore Deposits of the United States, 1933–1967 (Graton-Sales Volume)*: New York, American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, v. 2, p. 1373–1416. Ossandón et al., 2001.
- Montecinos, P., Scharer, U., Vergara, M., Aguirre, L. 2008**. Lithospheric Origin of Oligocene – Miocene Magmatism in Central Chile: U-Pb Ages and Sr-Pb-Hf Isotope Composition of Minerals. *Journal of Petrology*, Advance Access, 1-26pp.
- Muntean, J.L. and Einaudi, M.T., 2001**. Porphyry-epithermal transition: Maricunga Belt, northern Chile, *Economic Geology*, v. 96, p. 743-772.

- Muños, M., Fuentes, F., Vergara, M., Aguirre, L., Nystrom, J. O., Feraud, G. & Demant, A. 2006.** Abanico East Formation: petrology and geochemistry of volcanic rocks behind the Cenozoic arc front in the Andean Cordillera, central Chile (33°50pS). *Revista Geológica de Chile*, 33(1), 109–140.
- Nyström, J.O., Vergara, M., Morata, D., and Levi, B., 2003,** Tertiary volcanism during extension in the Andean foothills of central Chile (33°15'-33°45' S): *Geological Society of America Bulletin*, v. 115, p. 1523–1537.
- Ohmoto, H., and Rye, R.O., 1979.** Isotopes of sulfur and carbon, in Barnes, H.L., ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2nd ed.: New York, John Wiley and Sons, p. 509-567.
- Ossandón, G., Fréaut, R., Gustafson, L.B., Lindsay, D.D., and Zentilli, M., 2001.** Geology of the Chuquicamata mine: A progress report: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 96, p. 249–270.
- Parada, M., López-Escobar, L., Oliveros, V., Fuentes, F., Morata, D., Calderón, M., Aguirre, L., Féraud, G., Espinoza, F., Moreno, H., Figueroa, O., Muños Bravo, J., Troncoso Vásquez, R., Stern C. R. 2007.** *Geology of Chile*, Chapter 4: Andean Magmatism, 115-146.
- Pardo, M., Comte, D. & Monfret, T. 2002.** Seismotectonic and stress distribution in the central Chile subduction zone. *Journal of South American Earth Sciences*, 15(1), 11–22.
- Pardo-Casas, F., Molnar, P. 1987.** Relative motion of the Nazca (Farallón) and South American plates since Late Cretaceous time. *Tectonics*, Vol. 6, No. 3, p. 233-248.
- Philip, G.M., and D.F. Watson. 1982.** A Precise Method for Determining Contoured Surfaces. *Australian Petroleum Exploration Association Journal* 22: 205-212.
- Proffett J.M. Jr, 2003.** Geology of the Bajo de la Alumbrera porphyry copper-gold deposit, Argentina: *Economic Geology*, v.98, p. 1535-1574.
- Rabbia, O. M., M. Reich, L. B. Hernández, R. King, and L. López-Escobar (2003).** High Al-TTG-like suite at the El Teniente Porphyry Copper Deposit, Chile, paper presented at IXth Congreso Geológico Chileno, Soc. Geol. de Chile, Puerto Varas, Chile.
- Rabbia, O.M., Hernández, L.B., French, D, King, R.W. Ayers, J (2008).** Source of and depositional controls on Mo in the El Teniente porphyry Cu-Mo deposit from rutile perspective. *Mineralium Deposita* (aceptado con revisión).
- Railsback, L. Bruce, 2004.** An Earth Scientist's Periodic Table of the Elements and Their Ions: Geological Society of America Map and Chart Series item MCH 092.
- Ramos, V.A., Kay, S.M., 1991.** Triassic rifting and associated basalts in the Cuyo Basin, Central Argentina. In: Hermon, R.S., Rapela, C.W. (Eds). *Andean Magmatism and its Tectonic Setting*. Geological Society of America, Special Paper 265, pp. 79-91.
- Ramos, V. A., Cristallini, E. & Pérez, D. J. 2002.** The Pampean flat-slab of the Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 15, 59–78.
- Reich, M., Parada, M.A., Palacios, C., Dietrich, A., Schultz, F., and Lehmann, B., 2003.** Adakite-like signature of late Miocene intrusions at the Los Pelambres giant porphyry copper deposit in the Andes of Central Chile: Metallogenic implications: *Mineralium Deposita*, v. 38, p. 876–885.
- Richards, J., 2003.** Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu-(Mo-Au) deposit formation: *Economic Geology*, 98, 1515-1533.

- Richards, J.P., 2005.** Cumulative factors in the generation of giant calc-alkaline porphyry Cu deposits, in T.M. Porter, ed., Super porphyry copper and gold deposits – a global perspective: PGC Publishing, 1, 7-26.
- Rivano, S., Godoy, E., Vergara, M. y Villaroel, M. 1990.** Redefinición de la Formación Farellones de los Andes de Chile Central (32°-34°S). *Revista Geológica de Chile*. N° 15. p. 59-70.
- Rivano, S., 1995.** Notes for Carta Geológica de Chile, Hojas Quillota y Portillo, regiones de Valparaiso y Coquimbo, V región, Servicio Nacional de Geología de Chile, no. 73, 202p.
- Seedorff, E., 1988.** Cyclic development of hydrothermal mineral assemblages related to multiple intrusions at the Henderson porphyry molybdenum deposit, Colorado: Canadian Institute of Mining and Metallurgy Special Volume 39, p. 367-393.
- Seedorff, E., J. H. Dilles, J.M. Proffett Jr., M. T. Einaudi, L. Zurcher, W. J. A. Stavast, D. A. Johnson, and M. D. Barton., 2005.** Porphyry deposits: characteristics and origin of hypogene features: *Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume*, 251-298.
- Sellés, D. 1999.** La Formación Abanico en el Cuadrángulo de Santiago, Chile Central. *Estratigrafía y Geoquímica. Memoria de Título (Inédito)*, Universidad de Chile, Departamento de Geología, 154 p.
- Sellés, D.; Godoy, E. 2000.** Residual garnet signature in early Miocene subvolcanic stocks from the andean foothills of Central Chile. In *Congreso Geológico Chileno*, No. 9, Actas, Vol. 1, p. 697-699. Puerto Varas.
- Serrano, L., Vargas, R., Stambuck, V., Aguilar, C., Galeb, M., Holmgren, C., Contreras, A., Godoy, S., Vela, I., Skewes, M. y Stern, C. 1996.** The Late Miocene Early Pliocene Río Blanco - Los Bronces Copper Deposit, Central Chilean Andes. In *Andean Copper Deposits: New Discoveries, Mineralization, Styles and Metallogeny*. Society of Economic Geologists. Special Publication N°5. 119-130 pp.
- Simmons, S.F., White, N.C., and John, D., 2005.** Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits: *Economic Geology 100th Anniversary Volume 1905-2005*, p. 485-522.
- Sillitoe, R.H., 1985.** Ore-related breccias in volcanoplutonic arcs: *Economic Geology*, v.80, p. 1467-1514.
- Sillitoe, R.H., 1993.** Epithermal models: genetic types, geometrical controls and shallow features, *in* Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., Duke, J.M. (eds.), *Mineral Deposit Modeling*: Toronto, Geological Association of Canada, Special Paper, 40, 403-417.
- Sillitoe, R.H. 1994.** Erosion and collapse of volcanoes: Causes of telescoping in intrusion-centered ore deposits. *Geology* V. 22, p. 945-948.
- Sillitoe, R. 1995.** Exploration of porphyry copper lithocaps. *PANCRIM´ 95*, pp. 527 – 532.
- Sillitoe, R. 1995.** Comments on the Los Bronces Deposit and the Ortiga and La Paloma Prospects, Chile. *Memorandum interno Compañía Minera Disputada de Las Condes*. 3 p.
- Sillitoe, R.H., 1999.** Styles of high-sulphidation gold, silver and copper mineralization in the porphyry and epithermal environments, in Weber, G., ed., *Pacrim '99 Congress*, Bali, Indonesia, 1999, *Proceedings*: Parkville, Australasian Institute of Mining and Metallurgy, p. 29-44.
- Sillitoe, R.H., 2000.** Styles of high-sulphidation gold, silver, and copper mineralization in porphyry and epithermal environments: *The AusIMM Proceedings*, v. 305, p. 19–34.
- Sillitoe, R.H., and Perelló, J., 2005.** Andean copper province: Tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery: Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J., and Richards, J.P., eds., *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, p. 845–890.

- Simmons, S.F., White, N.C., and John, D., 2005.** Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits: Economic Geology 100th Anniversary Volume 1905-2005, p. 485-522.
- Skarmeta, J., Castelli, J.C., Alvarez, N.D., Adriasol, A., and Lopez, G., 2000.** Control Estructural de la mineralización en Andina: CODELCO-central, Santiago, Chile.
- Skewes, A., and Stern, C.R., 1994.** Tectonic trigger for the formation of late Miocene Cu-rich breccia pipes in the Andes of central Chile: *Geology*, v. 22, p. 551–554.
- Skewes, A., and Stern, C.R., 1994.** Tectonic trigger for the formation of late Miocene Cu-rich breccia pipes in the Andes of central Chile: *Geology*, v. 22, p. 551–554.
- 1995.** Genesis of the giant late Miocene to Pliocene copper deposits of central Chile in the context of Andean magmatic and tectonic evolution: *International Geology Review*, v. 37, p. 893–909.
- 1996.** Late Miocene mineralized breccias in the Andes of central Chile: Sr and Nd isotopic evidence for multiple magmatic sources: *Society of Economic Geologists Special Publication 5*, p. 33–42.
- Skewes, M.A., Holmgren, C., and Vargas, R., 1994.** Alteración a anfíbola y magnetita en el megayacimiento Río Blanco – Los Bronces, Chile Central: Congreso Geológico de Chile, VII, Concepción, Actas, v.1, p.1623-1626.
- Skewes, M.A.; Arévalo, A.; Floody, R.; Zúñiga, P; Stern, C.R. 2005.** The El Teniente megabreccia deposit, the world largest copper deposit. In *Super Porphyry Copper & Gold Deposits-A Global Perspective* (Porter, T.M.; editor). Porter Geo Consultancy (PGC) Publishing, Adelaide 1: 83-114. Australia.
- Smith, S., Olberg, D., and Manini, T., 2005,** The Sepon gold deposits, Laos: Exploration, geology, and comparison to Carlin-type gold deposits in the Great Basin, in Rhoden, H.N., Steininger, R.C., and Vikre, P.G., eds., *Window to the world. Symposium proceedings*, v. 2: Reno/Sparks, Geological Society of Nevada, p. 899–915.
- Somoza, R. 1998.** Updated Nazca (Farallon) – South America relative motions during the last 40 My: implications for mountain building in the central Andean region. *Journal of South American Earth Sciences*, 11, 211–215.
- Stambuk, V., Aguilar, C., Blondel, J., Galeb, M., Serrano, L., Vargas, R., 1993.** The Río Blanco porphyry copper and hydrothermal breccia deposit, central Chile: Superintendencia de Geología, CODELCO-Chile, Division Andina, 30p.
- Steven, T.A., and Ratte, J.C., 1960.** Geology of ore deposits of the Summitville district, San Juan Mountains, Colorado: U.S. Geological Survey Professional Paper 343, 70 p.
- Stoffregen, R.E., 1987.** Genesis of acid-sulfate alteration and Au-Cu-Ag mineralization at Summitville, Colorado: *Economic Geology*, v.82, p. 1575-1591.
- Thiele, R. 1980.** Hoja de Santiago. Carta Geológica. Instituto de Investigaciones Geológicas. N° 39. Santiago. Chile. 51 pp
- Toro J.C. y Sprohnle C., 2007.** Mioceno Franja de Pórfidos Cu-Mo Gigantes: Río Blanco – Los Bronces. Proexplo 2007, Lima, Perú.
- Toro JC, Ortúzar J, Maksaev V, Barra F (2009).** Nuevos antecedentes geocronológicos franja de pórfidos Cu-Mo del Mioceno-Plioceno, Chile Central: implicancias metallogénicas. XII Congreso Geológico Chileno, Santiago, Actas 4
- Townley Brian K., Maksaev J. Victor, Palacios M. Carlos, Lahsen A., Alfredo, Parada R. Miguel A. 1999.** Base and precious metals geochemistry of rock units of the mainland Aysén region, Chilean Patagonia

**Ulrich, T., Günther, D., and Heinrich, C.A., 2001**, Evolution of a porphyry Cu-Au deposit, based on LA-ICP-MS analysis of fluid inclusions, Bajo de la Alumbrera, Argentina: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 96, p. 1743 (correctly reprinted in 2002, v. 97, p. 1888–1920)

**Ulrich, Thomas, and Heinrich, C.A., 2002**, Geology and alteration of the porphyry Cu-Au deposit at Bajo de la Alumbrera, Argentina: *Economic Geology*, v. 97, p. 1865–1888.

**Vatin-Perignon, N., Rivano, S., Vergara, M. & Keller, F. 1996**. Rare-earth and trace element abundances of the Neogene volcanism of the Farellones Formation and the WE Montenegro-Cerro Manquehue Lineament (Central Chile). *Proceedings of the Third International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG)*, Saint Malo, France, 649–652.

**Vergara, M. y Drake, R. 1978**. Antecedentes Petrográficos y Petrológicos del Cordón del Cerro Manquehue, Santiago. Servicio Comunicacional. N° 16. Universidad de Chile, Departamento de Geología. 27 pp.

**Warnaars, F., Holgrem, C. y Barassi, S. 1985**. Porphyry Copper and Tourmaline Breccias at Los Bronces, Chile. *Society of Economic Geologists*. Vol. 80. p. 1544-1565.

**Watson, D.F., and G.M. Philip. 1985**. A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation. *Geoprocessing*, 2:315-327. 1985

**Williams-Jones, A. E., y C. A. Heinrich, 2005**. Vapor transport of metals and the formation of magmatic-hydrothermal ore deposits; *Economic Geology*, 100, 1287 -1312.

**Wyss, A. R.; Flynn, J.J.; Norell, M.A.; Swisher, C.C.; Novacek, M. J.; McKenna, M. C.; Charrier, R. 1994**. Paleogene mammals from the Andes of central Chile: a preliminary taxonomic, biostratigraphic, and geochronologic assessment. *American Museum Novitates* 3098: 1-31.

**Yáñez, G., Cembrano, J., Pardo, M., Ranero, C., and Selles, D., 2002**. The Challenger-Juan Fernández-Maipo major tectonic transition of the Nazca-Andean subduction system at 33–34°S: Geodynamic evidence and implications: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 15, p. 23–38.

**Yáñez, G., Ranero, G., von Huene, R., and Diaz, J., 2001**. Magnetic anomaly interpretation across a segment of the southern central Andes (32°-34°S): Implications on the role of the Juan Fernández Ridge in the tectonic evolution of the margin during the upper tertiary: *Journal of Geophysical Research*, v. 106, p. 6325–6345.



## 12. ANEXOS

### 12.1. Descripción de muestras

Tabla 12.1.1: Descripción de muestras El Plomo.

codigo preparacion	tipo muestra 2	codigo analisis	Tipo de Roca	Observacion	Textura	Alteracion_1	Alteracion_2	Observación Alteración	Mineralización	Zona Mineral
MAALBR10000131X	blanco	MAALBR10000131x								
MAALBR10000132X	Roca	MAALBR10000132	And	rodados, cxs de hasta 4 mm de plg	PF	CHL		Cloritizacion de maficos y matriz		Est
MAALBR10000133X	Roca	MAALBR10000133	And	Rod	PF	CHL		clorita en matriz y maf	py <<0,1%	Est
MAALBR10000134X	Roca	MAALBR10000134	Qm	rodados de Qm	cristalina	CHL		cloritización de anf		
	std	MAALBR10000135x								
MAALBR10000135X	Roca	MAALBR10000136	Qm			CHL debil		clor de anf		
MAALBR10000136X	Roca	MAALBR10000137	Qm	duplicado MAALBR10000135X		CHL debil		clor de anf		
MAALBR10000137X	Roca	MAALBR10000138	Qm	rodados de Qm	cristalina	CHL		cloritización de anf		
MAALBR10000138X	Roca	MAALBR10000139	And	afloramiento, muestra, cxs menores a 2 mm	PF	CHL		Clorita alterando maficos	Sulfuros <0,1%, 100% py	
MAALBR10000139X	Roca	MAALBR10000140	Qm	Qm de hrn y biotita, hrn10, bio3%	PF	Prop		cloritizacion de maficos, epidota en vesiculas		Est
MAALBR10000140X	Roca	MAALBR10000141	And	Rod, cxs menores a 1 mm	PF	CHL		cloritizacion de matriz y maficos		
MAALBR10000141X	Roca	MAALBR10000142	Qm	grano fino, anfiboles hasta 5 mm	PF	CHL		clorita alterando maficos, magnetita a martitzada parcialmente	py 0.5%, jar 2% y geo1.5%	Zpy
MAALBR10000142X	Roca	MAALBR10000143	And	rodados, no se observa textura en algunas muestras	PF	QS	chl	QS en algunas muestras obliterando la textura y chl en otras donde se puede observar la textura	limonitas 0.5%, jar 50, goe50	Lix
MAALBR10000143X	Roca	MAALBR10000144	And	Plg < 1.5 mm, matriz afanítica	PF	Prop debil		epi en vesiculas y vetillas, clorita en matriz		
MAALBR10000145X	Roca	MAALBR10000145	And	afloramiento, muestra 223.1 y 223.2	PF	arg		hay una zona con arg y una sin alteración	Jarosita 1 % y hematita 0.7%	Lix
MAALBR10000147X	Roca	MAALBR10000146	And	afloramiento	PF	CHL		cloritizacion de matriz y maficos		
MAALBR10000148X	Roca	MAALBR10000147	Qm gabro	Rodados del intrusivo, bastante maficos 15%, revisar muestra	PF	CHL		cloritizacion de maficos		
MAALBR10000148X_D	Duplicado Grue	MAALBR10000148x								
MAALBR10000148X_D	Duplicado Fino	MAALBR10000149x								
MAALBR10000149X	Roca	MAALBR10000150	Qm	rodados a 150m bajo afloramiento, vetillas de Qz sinuoso, sutura 2mm	PF	CHL		cloritizacion de anfiboles		
MAALBR10000150X	Roca	MAALBR10000151	Qm	afloramiento, grd o Qm muestra, afloramiento en cuchilla		Prop		epi en plg, clo en matriz		
MAALBR10000151X	Roca	MAALBR10000152	And	rodado al lado de camino	PF	Arg		arcillas y cuarzo	limonitas 3%, jar35, goe65	lix
MAALBR10000152X	Roca	MAALBR10000153	Qm	rodado, Qm de hrn	PF	CHL	ARG	clor de maf, argilico en algunas muestras	algunas muestras con limonitas 1%, jar50, goe50	
MAALBR10000153X	Roca	MAALBR10000154	Qm y Qmgabro		PF	CHL	AA	cloritizacion de maficos, argilizacion de algunos rodados (alu?)	limonitas 1.3%, jar70, goe30	lix
	std	MAALBR10000155x								
MAALBR10000154X	Roca	MAALBR10000156	Qm?			CHL debil		clor de anf		
MAALBR10000155X	Roca	MAALBR10000157	PQm o tonalitico	Rod, muestra revisar	PF	QS o Arg	CHL	Silicificacion y cloritizacion de maficos	oxididos como hematita y jarosita	Lix
MAALBR10000156X	Roca	MAALBR10000158	Qm	Qm de Bio y anf	PF	CHL debil		clorita en maficos		Est
MAALBR10000157X	Roca	MAALBR10000159	Qm	rodados de grd de hrn y and		Prop		clo en anf y matriz, epi en plg y vetillas		Est
MAALBR10000158X	Roca	MAALBR10000160	Qm gabro		cristalina	Prop		epi en cumulos, clorita en matriz y maficos		Est
MAALBR10000159X	Roca	MAALBR10000161	Dac	Afloramiento, ojos de Qz, algunos rodados de tonalita de hrn (5% kfeld, 60% plg, 35% Qz)		Prop		epi en vetillas y plg, clorita en matriz	0.1% de Py	
MAALBR10000160X	Roca	MAALBR10000162	Qm	con unos rodados mas maficos (and)	PF	CHL debil		clo en maf		Est
MAALBR10000161X	blanco	MAALBR10000163x								
MAALBR10000162X	Roca	MAALBR10000164	Qm	rodado, Qm de hrn	PF	CHL	ARG	clor de maf, argilico en algunas muestras	algunas muestras con limonitas 1%, jar50, goe50	
MAALBR10000163X	Roca	MAALBR10000165	Qm?	rodado	PF	CHL		clorita alterando maf		
MAALBR10000164X	Roca	MAALBR10000166	Qm	afloramiento, grd o Qm muestra	PF	CHL		cloritización de anfiboles		
MAALBR10000165X	Roca	MAALBR10000167	Qm	Rodado morrena? Ver mapa	PF	CHL debil		clo en maf		Est
MAALBR10000166X	Roca	MAALBR10000168	Qm	maficos bastante oxidados 20% de maficos oxi	PF	CHL mod		clo en maf		Est
MAALBR10000167X	Roca	MAALBR10000169	Ton	muestra afloramiento	cristalina	CHL		Clorita en maficos	1% de limonitas jar 30 %, hem 20% y goe50%, pirta residual 0,3%	Lix
MAALBR10000168X	Roca	MAALBR10000170	And	plg 2 mm	PF	pro mod			esfalerita 0.1 %	Est
MAALBR10000169X	Roca	MAALBR10000171	And	plg 2 mm duplicado	PF	pro mod			esfalerita 0.1 %	Est
MAALBR10000170X	Roca	MAALBR10000172	And	Rodado, plg< 5 mm	PF	Prop mod-deb		epi en vetillas y plg	0.5% Py parcialmente oxidada, cxs menores a 2 mm	

Continuación Tabla 12.1.1.

codigo preparacion	tipo muestra 2	codigo analisis	Tipo de Roca	Observacion	Textura	Alteracion_1	Alteracion_2	Observación Alteración	Mineralización	Zona Mineral
MAALBR10000171X	Roca	MAALBR10000173	And	Rod, presenta vetillas con sutura de qz con halo de clorita	PF	CHL		vetillas de Qz con halo cloritico		
MAALBR10000171X_D	Duplicado Grue	MAALBR10000174x								
MAALBR10000171X_D	Duplicado Fino	MAALBR10000175x								
MAALBR10000172X	Roca	MAALBR10000176	Qm		PF	CHL		cloritización de anfíboles		
MAALBR10000173X	Roca	MAALBR10000177	Qm	coluvio bajo afloramiento		CHL debil		clor en anf		
MAALBR10000175X	Roca	MAALBR10000178	And y Qm	Rod	PF	CHL		Cloritizacion de maficos y matriz		Est
	std	MAALBR10000179x								
MAALBR10000176X	Roca	MAALBR10000180	Qm	rodados a 150m bajo afloramiento, vetillas 2mm de Qz sinuoso, inclusiones maficas		CHL debil		clor en anf		
MAALBR10000178X	Roca	MAALBR10000181	Qm	grd de hrn +- bio, rodados	PF	CHL debil		cloritización de anf		Est
MAALBR10000179X	Roca	MAALBR10000182	And	Rodados, pirolusita en algunos rodados	PF	Prop		Clorita en matriz, epi en vetillas		
MAALBR10000180X	Roca	MAALBR10000183	And	Afloramiento		CHL debil		clor de anf		
MAALBR10000181X	Roca	MAALBR10000184	Qm	de hrn 10, bio 3	PF	CHL debil		clorita en maf y mat		Est
MAALBR10000182X	Roca	MAALBR10000185	Qm			CHL		clo en maf		Est
MAALBR10000183X	Roca	MAALBR10000186	And		PF	AA		alunita?	Limonitas 1.5%, jarosita50%, goe 50	Lix
MAALBR10000184X	Roca	MAALBR10000187	Qm	rodado, Qm de hrn	PF	CHL	ARG	clor de maf, argilico en algunas muestras	algunas muestras con limonitas 1%, jar50, goe50	
MAALBR10000185X	Roca	MAALBR10000188	And	igual a muestra 2, afloramiento, vetillas de Qz con halo de clorita		Prop debil		epi, clo	0.3% de py	Zpy
MAALBR10000186X	Roca	MAALBR10000189	And	muestra 2, rodados de bx y and		Prop		epi en plg y clo	0.3% de py	Zpy
MAALBR10000187X	Roca	MAALBR10000190	Dac	Rodado, Ojos de Qz		Prop debil	ARG			Est
MAALBR10000188X	blanco	MAALBR10000191x								
MAALBR10000189X	Roca	MAALBR10000192	Qm	Qm de hrn y biotita, hrn10, bio3%	PF	CHL mod		clo en maf		Est
MAALBR10000190X	Roca	MAALBR10000193	Qm			chl		clo en maf		Est
MAALBR10000191X	Roca	MAALBR10000194	Qm	Rodado	PF	QS	chl	qs obliterando textura, y cloritizacion de algunas muestras	limonitas 2%, jar60, geo40	lix
MAALBR10000192X	Roca	MAALBR10000195	And	muestra 4, rodados de and	PF	Prop debil		epi en vetillas, clo en matriz		Est
MAALBR10000193X	Roca	MAALBR10000196	BXH	brecha 2						
MAALBR10000194X	Roca	MAALBR10000197x								
MAALBR10000195X	Roca	MAALBR10000198	Dac	afloramiento, muestra		Prop		epi en vetillas(<1mm) y plg, clo en anf		
MAALBR10000196X	Roca	MAALBR10000199	Qm		PF	CHL mod		clo en maf		Est
MAALBR10000196X_D	Duplicado Grue	MAALBR10000200x								
MAALBR10000196X_D	Duplicado Fino	MAALBR10000201x								
MAALBR10000197X	Roca	MAALBR10000202	Qm gabro			CHL mod		clo en maf y mat		Est
	std	MAALBR10000203x								
MAALBR10000198X	Roca	MAALBR10000204	Qm	Afloramiento		Prop		epi en vetillas con clorita, y clorita en maficos	Py oxidada < 0.3%	
MAALBR10000199X	Roca	MAALBR10000205	And	afloramiento	PF	Prop		Epy en vetillas, clo alt maf		
MAALBR10000200X	Roca	MAALBR10000206	Qm	Muestra 301, rodado a 20 m de vega y camino		CHL		Clo alteranco maficos		Est
MAALBR10000201X	Roca	MAALBR10000207	And	And de anf, plg < 3 mm, anf < 4 mm, rodados 20 m bajo camino		Prop		clorita en maficos y matriz, epi en vetillas	Py oxidada, + - hematita	
MAALBR10000202X	Roca	MAALBR10000208	Qm	Rodado de Qm de hrn	PF	CHL		clor de maf		
MAALBR10000203X	Roca	MAALBR10000209	And	afloramiento	Afa	sin alteración				
MAALBR10000204X	Roca	MAALBR10000210	porf dac	o dacita revisar rodados, matriz aplítica	PF	Prop		epi en vetillas, clorita en anf	0.3% de py, oxidada parcial	Zpy
MAALBR10000205X	Roca	MAALBR10000211	porf dac	o dacita revisar rodados, matriz aplítica, duplicado	PF	Prop		epi en vetillas, clorita en anf	0.3% de py, oxidada parcial	Zpy
MAALBR10000206X	Roca	MAALBR10000212	And	Afloramiento entre la andesita y Qm		CHL debil		clor de anf		
MAALBR10000207X	Roca	MAALBR10000213	And	rodados de and, intrusivo y algunas milonitas, plg menores a 3 mm	PF	Prop				
MAALBR10000209X	Roca	MAALBR10000214	Qm	Rodado	PF	chl		clo en maf		Est
MAALBR10000210X	Roca	MAALBR10000215	Qm			chl				
MAALBR10000211X	Roca	MAALBR10000216	Qm	rodados, Qm de Hrn	PF	CHL		cloritizacion de maficos		Est

Continuación Tabla 12.1.1.

codigo preparacion	tipo muestra 2	codigo analisis	Tipo_de_Roca	Observacion	Textura	Alteracion_1	Alteracion_2	Observación Alteración	Mineralización	Zona Mineral
MAALBR10000212X	Roca	MAALBR10000217	And	rodados de and, Qm	PF	Prop debil		epi alt plg y vetillas, clorita en matriz y maficos		Est
MAALBR10000213X	Roca	MAALBR10000218	And	rodados de and, Grd y milonitas, al lado de vega		Prop		algunos rodados sin alteración		Est
MAALBR10000214X	Roca	MAALBR10000219	Qm			chl		clo en maf		Est
MAALBR10000215X	Roca	MAALBR10000220	Qm	Qm de hrn, sin biotita	PF	CHL		cloritizacion de maficos		Est
MAALBR10000216X	Roca	MAALBR10000221	Qm	Rod, 15% kfeld, 25% Qz, 60% plg		Prop debil		Epi alterando plg y clo alterando maficos	0.7% py parcialmente oxidada	Zpy
MAALBR10000217X	Roca	MAALBR10000222	Qm		PF	CHL debil		Clo alteranco maficos		Est
MAALBR10000218X	Roca	MAALBR10000223	Qm		PF	chl		clorita en maf		Est
		std	MAALBR10000224x							
MAALBR10000219X	Roca	MAALBR10000225	And	Rodados, plg de hasta 5 mm, anf hasta 3 mm	PF	CHL		Cloritizacion de maficos y matriz		Est
MAALBR10000220X	Roca	MAALBR10000226	And	rodados de and y grd		Prop mod		epi en vetillas y plg, clo en matriz y maficos	esteril	
MAALBR10000220X_D	Duplicado Grue	MAALBR10000227x								
MAALBR10000220X_D	Duplicado Fino	MAALBR10000228x								
MAALBR10000221X	blanco	MAALBR10000229x								
MAALBR10000222X	Roca	MAALBR10000230	Qm	rodado, afloramiento a 100 m	PF	CHL debil		clo en maf		Est
MAALBR10000223X	Roca	MAALBR10000231	Qm		PF	CHL mod		clorita en maficos		Est
MAALBR10000224X	Roca	MAALBR10000232	And		PF	Prop mod		epi en plg y vetillas 1 mm, clorita en matriz		Est
MAALBR10000225X	Roca	MAALBR10000233	Qm			chl		clo en maf		Est
MAALBR10000226X	Roca	MAALBR10000234	Qm		PF	CHL mod		clo en maf		Est
MAALBR10000227X	Roca	MAALBR10000235	And	Afloramiento, plg menores a 3 mm	PF	CHL		Cloritizacion de maficos y matriz	py <<0,1%	Est
MAALBR10000228X	Roca	MAALBR10000236	Qm	Qm o Qmgrabro	PF	CHL fuerte		clorita en matriz y maf	Py dis 0.5 %	Zpy
MAALBR10000229X	Roca	MAALBR10000237	Qm		PF	CHL mod		clo de maficos anf, las biotitas estas casi sin alterar		Est
MAALBR10000230X	Roca	MAALBR10000238	Qm		PF	CHL mod		clo en maf		Est
MAALBR10000232X	Roca	MAALBR10000239	Qm	Rodado de Qm de hrn	PF	CHL		clor de maf		
MAALBR10000233X	Roca	MAALBR10000240	Qm		PF	CHL mod		clo en maf		Est
MAALBR10000234X	Roca	MAALBR10000241	Dac	M7, afloramiento, ojos de cuarzo	PF	Prop mod		Epi alterando plg y clo alterando maficos		
MAALBR10000235X	Roca	MAALBR10000242	And	Rodado, plg< 5 mm	PF	Prop mod-deb		epi en vetillas y plg	0.5% Py parcialmente oxidada, cxs menores a 2 mm	
MAALBR10000237X	Roca	MAALBR10000243	Qm			chl		clo en maf		Est
MAALBR10000238X	Roca	MAALBR10000244	Qm		PF	CHL mod		clo en maf		Est
MAALBR10000239X	Roca	MAALBR10000245	Qm		PF	chl		clo en maf		Est
MAALBR10000240X	Roca	MAALBR10000246	Qm		PF	chl		chl en maf		Est
		std	MAALBR10000247x							
MAALBR10000241X	Roca	MAALBR10000248x								
MAALBR10000242X	Roca	MAALBR10000249	And			Prop mod		epi en plg y clo en mat y maf	esfalerita 0.1 %	
MAALBR10000243X	Roca	MAALBR10000250	QM	Qm de Hrn		CHL		chl de maficos		
MAALBR10000244X	Roca	MAALBR10000251	Qm	Rodado morrena? Plg y hrn de 4 mm inmersos en una matriz de plg y kfeld	PF	chl		clo en maf		Est
MAALBR10000245X	Roca	MAALBR10000252	Qm			chl		clo en maf		Est
MAALBR10000245X_D	Duplicado Grue	MAALBR10000253x								
MAALBR10000245X_D	Duplicado Fino	MAALBR10000254x								
MAALBR10000246X	Roca	MAALBR10000255	Qm	afloramiento	PF	CHL mod		clo en maf		Est
MAALBR10000247X	Roca	MAALBR10000256	And	Rodado de bx y and a un lado de camino	PF	Prop debil		clo y epi		
MAALBR10000248X	Roca	MAALBR10000257	Qm			chl		clo en maf		Est
MAALBR10000249X	Roca	MAALBR10000258	Qm			chl		clo en maf		Est
MAALBR10000250X	Roca	MAALBR10000259	And	Rodado	PF	chl	QS	cloritización de masa fundamental, y unos rodados con Qs	1.3% de py	Pripy

Continuación Tabla 12.1.1.

codigo preparacion	tipo muestra 2	codigo analisis	Tipo_de_Roca	Observacion	Textura	Alteracion_1	Alteracion_2	Observación Alteración	Mineralización	Zona Mineral
MAALBR10000251X	blanco	MAALBR10000260x								
MAALBR10000252X	Roca	MAALBR10000261	And		PF	pro mod		epi en plg y vetillas, clo en mat y maf		Est
MAALBR10000253X	Roca	MAALBR10000262	And		PF	Prop deb		epi en vet y plg, clo en mat y maf		Est
MAALBR10000254X	Roca	MAALBR10000263	Qm		PF	arc debi		arcillas alt mafi		Est
MAALBR10000255X	Roca	MAALBR10000264	Qm	Rod del intrusivo	PF	sin alteración				
MAALBR10000256X	Roca	MAALBR10000265	Qm	afloramiento de Qm de hrn, 35% kfeld, 35% plg, 30% Qz y 10% de hrn, muestra		Chl		Cloritización de anf		
MAALBR10000257X	Roca	MAALBR10000266	Qm			chl		clo en maficos		Est
MAALBR10000258X	Roca	MAALBR10000267	And	rodado		chl		clo en mat y maf	0.3 py	zpy
MAALBR10000259X	Roca	MAALBR10000268	And	rodado duplicado		chl		clo en mat y maf	0.3 py	zpy
MAALBR10000260X	Roca	MAALBR10000269	Qm	Rodado	PF	CHL mod		clo en maf		Est
	std	MAALBR10000270x								
MAALBR10000261X	Roca	MAALBR10000271	Qm y and			pro debil		clo en mat y maf, + - epi en vesiculas	py <0.1	Est
MAALBR10000262X	Roca	MAALBR10000272	Qm			CHL		clo en maf		Est
MAALBR10000264X	Roca	MAALBR10000273	And	Rodado		Prop		epi, clo		Est
MAALBR10000265X	Roca	MAALBR10000274	And	con vesiculas	PF	CHL mod		clo em mat y maf		Est
MAALBR10000266X	Roca	MAALBR10000275	Qm			chl		clo en maf		Est
MAALBR10000267X	Roca	MAALBR10000276	Qm	rodados, abundante suelo		chl		clo en maf		Est
MAALBR10000268X	Roca	MAALBR10000277	Qm y And		PF	pro		clo> epi, epi en plg, clo en maficos y matriz de and		Est
MAALBR10000269X	Roca	MAALBR10000278	And	tambien hay rodados de Qm	PF	CHL debil		clo en mat y maf		Est
MAALBR10000269X D	Duplicado Grue	MAALBR10000279x								
MAALBR10000269X D	Duplicado Fino	MAALBR10000280x								
MAALBR10000270X	Roca	MAALBR10000281	Qm			chl		clo en maf		Est
MAALBR10000271X	Roca	MAALBR10000282	And		PF	Prop mod		epi en plg y vet, clo en maf		Est
MAALBR10000272X	Roca	MAALBR10000283	Qm			chl		clo en maf		Est
MAALBR10000273X	Roca	MAALBR10000284	Qm	duplicado 306		chl		clo en maf		Est
MAALBR10000275X	Roca	MAALBR10000285	Qm	rodados a 2 m de vega	PF	CHL mod		clo en maf		Est
MAALBR10000276X	Roca	MAALBR10000286	Qm		PF	CHL mod		clo en maf		Est
MAALBR10000277X	Roca	MAALBR10000287	Dac	Muestra 3, clastos de bx y and		Arg, sil			hem, jar, lixiviacion de fenocxs y py,	Lix
MAALBR10000278X	Roca	MAALBR10000288	Qm	afloramiento, muestra de turmalina	cristalina	CHL fuerte		vetillas de tur 5 mm	boxwork 0.3 %	lix
MAALBR10000279X	Roca	MAALBR10000289	Qm			chl		clo en maf		Est
MAALBR10000280X	Roca	MAALBR10000290	And			CHL debil		clo en mat y maf		Est
MAALBR10000281X	Roca	MAALBR10000291	Qm	porfido qm	PF	CHL debil		clo en maf		Est
MAALBR10000282X	blanco	MAALBR10000292x								
MAALBR10000283X	Roca	MAALBR10000293	And	Rodado		Prop mod-fuerte		epi en vetillas y clo en maf		Est
	std	MAALBR10000294x								
MAALBR10000284X	Roca	MAALBR10000295	And		PF	Prop		Epidota en vetillas y en plg, clorita en matriz		Est
MAALBR10000285X	Roca	MAALBR10000296	And		PF	Prop deb		clo en maf y mat, epi en vet y plg, cl >>epi		
MAALBR10000286X	Roca	MAALBR10000297	Qm			chl		clo en maf		Est
MAALBR10000287X	Roca	MAALBR10000298	Grd	rodados de grd y bx		chl	QS	clo en maficos, Qs en clastos de brecha		Est y lix en brecha
MAALBR10000288X	Roca	MAALBR10000299	Qm	anf 20 %		chl		clo en maf		Est
MAALBR10000289X	Roca	MAALBR10000300	Qm		PF	chl		Cloritización de anf		Est
MAALBR10000290X	Roca	MAALBR10000301	Qm	duplicado 287	PF	chl		Cloritización de anf		Est
MAALBR10000291X	Roca	MAALBR10000302	And		PF	CHL mod		clo em mat y maf	py 0.5%	zpy
MAALBR10000292X	Roca	MAALBR10000303	And	Textura de flujo Muestra M6, muestra 5, rodado, plagioclasas < 5 mm, anfoboles < 10 mm	PF	Prop debil		clorita en maficos y matriz + - epi	1 % Py, oxidada	Zpy
MAALBR10000293X	Roca	MAALBR10000304	Qm		PF	chl		clo en maf		Est
MAALBR10000294X	Roca	MAALBR10000305	Qm	duplicado 288	PF	chl		clo en maf		Est
MAALBR10000295X	Roca	MAALBR10000306	Qm			chl		clo en maf		Est
MAALBR10000296X	Roca	MAALBR10000307	Qm			chl		clo en maf		Est
MAALBR10000297X	Roca	MAALBR10000308	And	Afloramiento de and o Dio?		CHL		clo en maf		Est
MAALBR10000298X	Roca	MAALBR10000309	And	rodado		sin alteración				Est
MAALBR10000299X	Roca	MAALBR10000310	And		PF	CHL muy debil		clo en mat y maf		Est
MAALBR10000300X	Roca	MAALBR10000311	And	Afloramiento, revisar cordenadas	PF	Prop		epi en vetillas y plg, clo		Est
MAALBR10000301X	Roca	MAALBR10000312	And	Rodado		CHL debil		clo en mat y maf	py<0.1	Est
MAALBR10000302X	Roca	MAALBR10000313	And	Afloramiento	Afa	Prop		Epy en vetillas y clo en matriz	lixiviación de algunos cxs	Est
MAALBR10000303X	Roca	MAALBR10000314	BXH	brecha 1						
MAALBR10000304X	Roca	MAALBR10000315	BXH	brecha 3						
	std	MAALBR10000316x								
MAALBR10000305X	Roca	MAALBR10000317	And	Rodado, afloramiento a 30m, muestra de meno hay un contacto con la Qm		Prop		Epi en vt y plg y en amigdalas, clorita en anf	esteril	

## 12.2. Tablas y gráficos

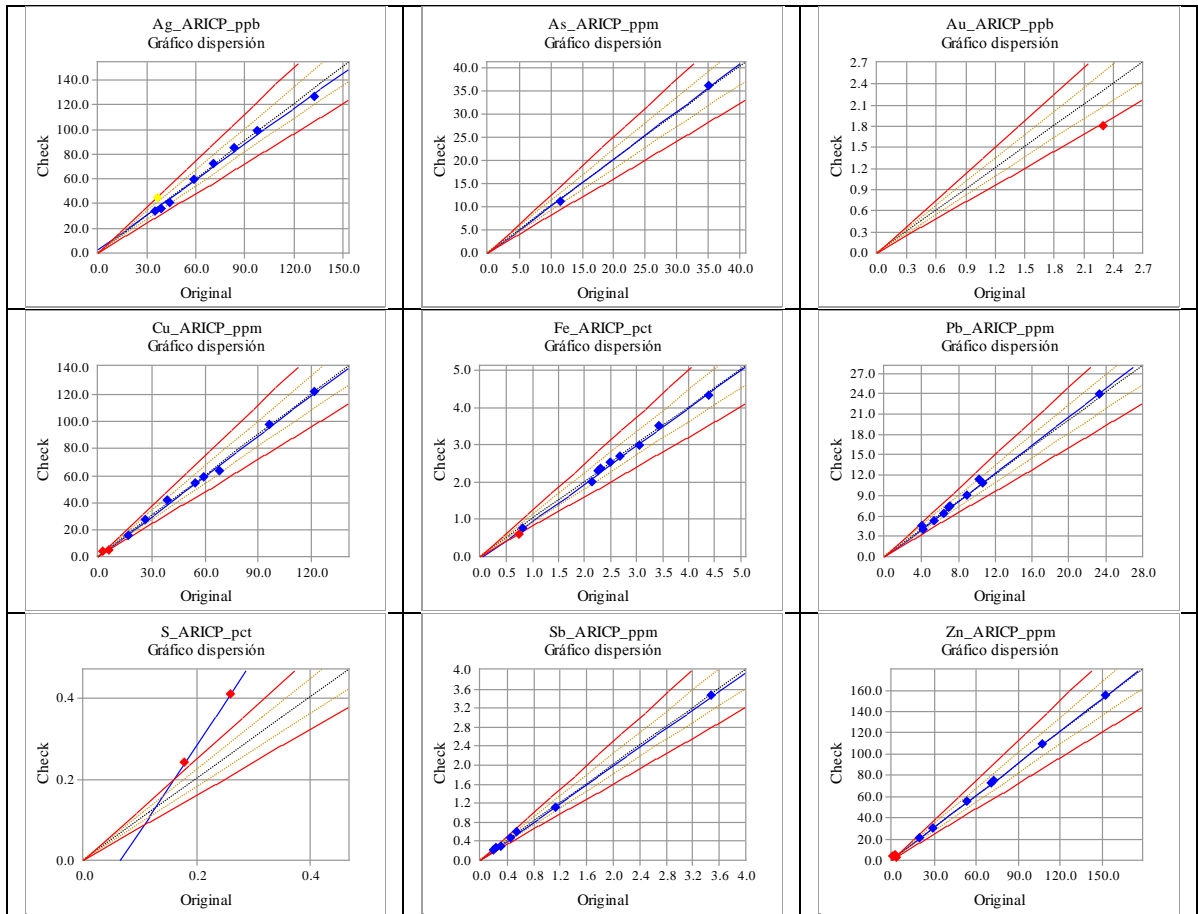


Figura 12.2.1: Gráficos de dispersión para duplicados "gruesos" de preparación. En la ordenada se muestran los duplicados y en la abscisa la muestra original. Gráficos obtenidos con Acquire.

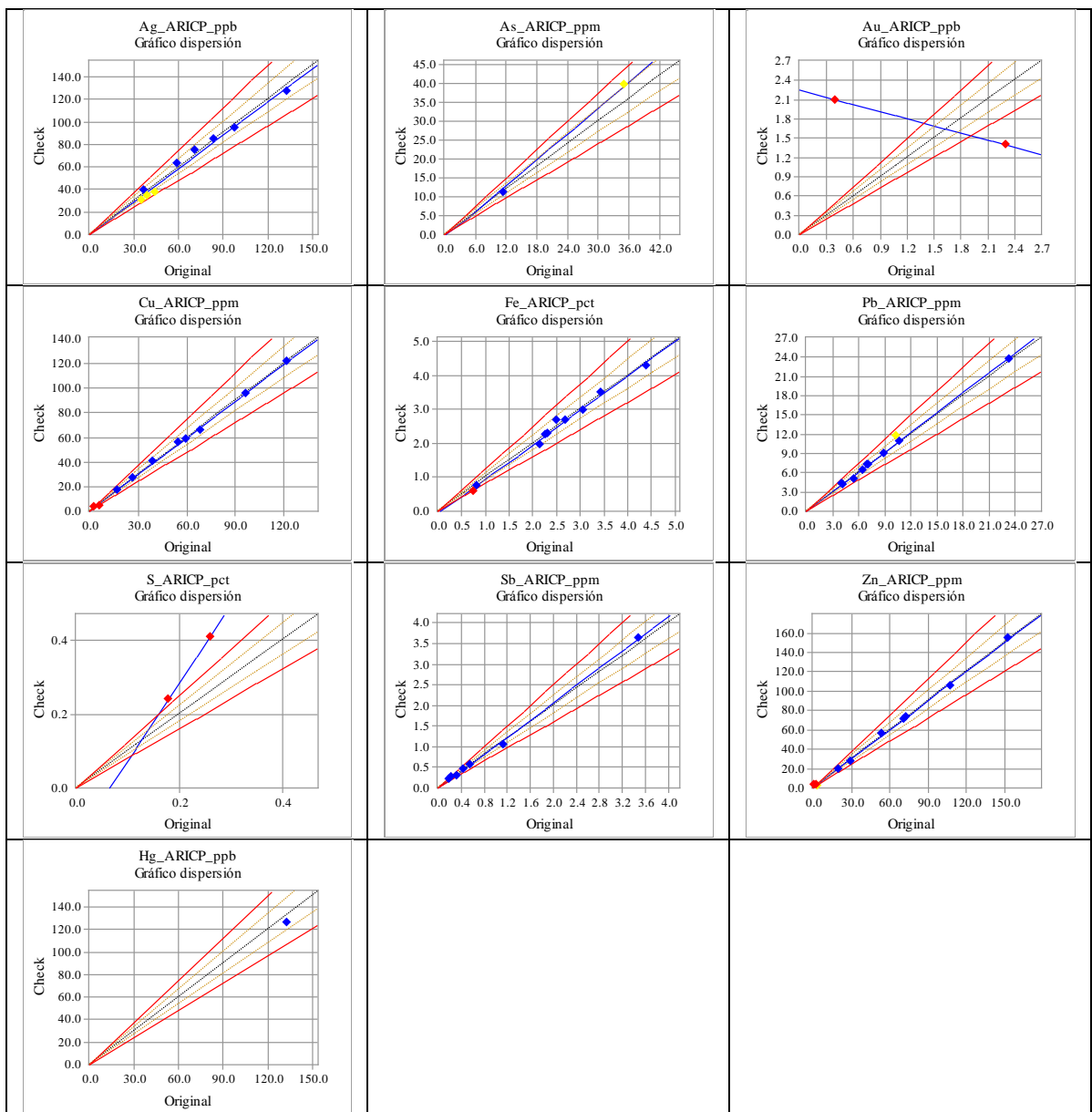


Figura 12.2.2: Gráficos de dispersión para duplicados "finos" de preparación. En la ordenada se muestran los duplicados y en la abscisa la muestra original. Gráficos obtenidos con Acquire.

**Tabla 12.2.1:** Varianza con respecto al promedio en El Plomo, en rojo las muestras que no pasaron el filtro de 20 % de varianza con respecto al promedio. Obtenida con SPSS Statistics. Las diferencias en los dos métodos se debe a diferencias de magnitud notables entre los laboratorios (SGS y ACME) que dificultan el análisis

Elemento	Varianza/ Promedio	Motivo descarte	Elemento	Varianza/ Promedio	Motivo descarte
Mo [ppm]	407,8%		Na [%]	6,2%	Var/prom < 20%
Cu [ppm]	1711,6%		K [%]	29,0%	
Pb [ppm]	4147,7%		W [ppm]	109,0%	
Zn [ppm]	5322,9%		Sc [ppm]	139,7%	
Ag [ppb]	9989,0%	Diferencia en los dos métodos	Tl [ppm]	218,2%	
Ni [ppm]	607,0%		S [%]	40,7%	
Co [ppm]	653,8%		Hg [ppb]	248,1%	
Mn [ppm]	64316,1%		Se [ppm]	215,9%	
Fe [%]	27,9%		Te [ppm]	200,8%	
As [ppm]	700,8%		Ga [ppm]	139,8%	
U [ppm]	66,2%		Cs [ppm]	52,0%	
Au [ppb]	64,9%	Diferencia en los dos métodos	Ge [ppm]	2,0%	Var/prom < 20%
Th [ppm]	570,2%		Hf [ppm]	23,6%	
Sr [ppm]	2135,4%		Nb [ppm]	179,7%	
Cd [ppm]	21,2%	Diferencia en los dos métodos	Rb [ppm]	1822,8%	
Sb [ppm]	72,7%	Diferencia en los dos métodos	Sn [ppm]	8,9%	Var/prom < 20%
Bi [ppm]	19,6%	Var/prom < 20%	Ta [ppm]	0,0%	Var/prom < 20%
V [ppm]	1799,9%		Zr [ppm]	689,7%	
Ca [%]	33,5%		Y [ppm]	135,7%	
P [%]	0,8%	Var/prom < 20%	Ce [ppm]	371,0%	
La [ppm]	220,7%		In [ppm]	0,6%	Var/prom < 20%
Cr [ppm]	6775,0%	Diferencia en los dos métodos	Re [ppb]	361,1%	
Mg [%]	26,7%		Be [ppm]	7,1%	Var/prom < 20%
Ba [ppm]	4057,1%		Li [ppm]	216,9%	
Ti [%]	7,1%	Var/prom < 20%	Pd [ppb]	42,2%	
B [ppm]	1080,2%		Pt [ppb]	3,2%	Var/prom < 20%
Al [%]	38,8%				

**Tabla 12.2.2:** Varianza con respecto al promedio en Ortiga, en rojo las muestras que no pasaron el filtro de 20 % de varianza con respecto al promedio. Obtenida con SPSS Statistics. Las diferencias en los dos métodos se deben a diferencias de magnitud notables entre los laboratorios (SGS y ACME) que dificultan el análisis

Elemento	Varianza/ Promedio	Razón de exclusión	Elemento	Varianza/ Promedio	Razón de exclusión
Mo [ppm]	9385,3%		Na [%]	7,8%	Var/prom < 20%
Cu [ppm]	4027,9%		K [%]	6,9%	Var/prom < 20%
Pb [ppm]	11167,6%		W [ppm]	4,7%	Var/prom < 20%
Zn [ppm]	3933,1%		Sc [ppm]	235,9%	
Ag [ppb]	47339,3%		Tl [ppm]	21,2%	
Ni [ppm]	1807,1%		S [%]	36,6%	
Co [ppm]	881,0%		Hg [ppb]	20894,8%	
Mn [ppm]	26263,6%		Se [ppm]	761,3%	
Fe [%]	85,1%		Te [ppm]	204,8%	
As [ppm]	6605,4%		Ga [ppm]	224,0%	
U [ppm]	72,3%		Cs [ppm]	107,3%	
Au [ppb]	353,8%		Ge [ppm]	1,0%	Var/prom < 20%
Th [ppm]	485,2%		Hf [ppm]	37,5%	
Sr [ppm]	6778,1%		Nb [ppm]	4,3%	Var/prom < 20%
Cd [ppm]	8,7%	Var/prom < 20%	Rb [ppm]	349,5%	
Sb [ppm]	460,3%		Sn [ppm]	120,7%	
Bi [ppm]	302,5%		Ta [ppm]	0,0%	Var/prom < 20%
V [ppm]	3009,9%		Zr [ppm]	955,4%	
Ca [%]	67,5%		Y [ppm]	359,3%	
P [%]	2,4%	Var/prom < 20%	Ce [ppm]	785,4%	
La [ppm]	349,8%		In [ppm]	3,4%	Var/prom < 20%
Cr [ppm]	9642,8%	Diferencias de un orden en análisis	Re [ppb]	653,7%	
Mg [%]	76,1%		Be [ppm]	12,6%	Var/prom < 20%
Ba [ppm]	16109,6%		Li [ppm]	325,4%	
Ti [%]	9,7%	Var/prom < 20%	Pd [ppb]	71,0%	94,3% < límite de detección
B [ppm]	56,5%		Pt [ppb]	77,5%	91,7% < límite de detección
Al [%]	85,1%				



**Tabla 12.2.3:** Tabla de correlaciones elementos de El Plomo. Obtenida con SPSS Statistics.

	Mo [ppm]	Cu [ppm]	Pb [ppm]	Zn [ppm]	Ni [ppm]	Co [ppm]	Mn [ppm]	Fe [%]	As [ppm]	Sr [ppm]	V [ppm]	Ca [%]	La [ppm]	Mg [%]	Ba [ppm]	Al [%]	K [%]	Sc [ppm]	S [%]	Hg [ppb]	Ga [ppm]	Zr [ppm]	Y [ppm]	Li [ppm]
Mo [ppm]	1	0,252	0,379	0,107	-0,167	0,116	0,19	0,024	0,282	-0,137	-0,177	-0,165	0,13	-0,174	0,022	-0,094	-0,089	-0,112	0,102	0,122	-0,24	0,014	-0,092	-0,011
Cu [ppm]	0,252	1	0,283	0,275	0,317	0,347	0,385	0,441	0,182	0,136	0,349	0,094	-0,138	0,308	0,183	0,268	0,092	0,177	0,057	0,007	0,003	0,003	0,058	0,333
Pb [ppm]	0,379	0,283	1	0,532	-0,067	0,143	0,559	0,105	0,384	-0,148	-0,167	-0,171	0,188	-0,132	0,006	-0,05	-0,176	-0,009	0,035	-0,113	-0,204	0,245	0,037	0,071
Zn [ppm]	0,107	0,275	0,532	1	0,333	0,349	0,798	0,326	0,163	0,11	0,135	0,136	0,057	0,286	0,093	0,276	0,013	0,246	-0,065	-0,103	-0,028	0,283	0,319	0,368
Ni [ppm]	-0,167	0,317	-0,067	0,333	1	0,579	0,285	0,713	0,103	0,589	0,73	0,616	-0,239	0,841	0,409	0,765	0,456	0,632	0,107	0,017	0,495	0,104	0,195	0,676
Co [ppm]	0,116	0,347	0,143	0,349	0,579	1	0,51	0,583	0,227	0,396	0,473	0,37	-0,205	0,532	0,313	0,528	0,283	0,391	0,084	-0,022	0,188	0,074	0,108	0,549
Mn [ppm]	0,19	0,385	0,559	0,798	0,285	0,51	1	0,353	0,293	0,043	0,071	0,122	0,073	0,283	0,018	0,274	-0,07	0,201	0,02	-0,096	-0,069	0,36	0,258	0,484
Fe [%]	0,024	0,441	0,105	0,326	0,713	0,583	0,353	1	0,265	0,621	0,803	0,57	-0,233	0,727	0,542	0,815	0,523	0,711	0,202	0,032	0,508	0,039	0,134	0,634
As [ppm]	0,282	0,182	0,384	0,163	0,103	0,227	0,293	0,265	1	0,098	0,001	0,179	-0,124	0,032	0,002	0,183	-0,092	0,045	0,466	0,087	0,1	0,27	-0,162	0,276
Sr [ppm]	-0,137	0,136	-0,148	0,11	0,589	0,396	0,043	0,621	0,098	1	0,704	0,673	-0,217	0,551	0,532	0,729	0,509	0,601	0,228	0,03	0,505	-0,033	0,079	0,4
V [ppm]	-0,177	0,349	-0,167	0,135	0,73	0,473	0,071	0,803	0,001	0,704	1	0,565	-0,334	0,716	0,528	0,721	0,636	0,695	0,062	-0,004	0,469	-0,159	0,108	0,444
Ca [%]	-0,165	0,094	-0,171	0,136	0,616	0,37	0,122	0,57	0,179	0,673	0,565	1	-0,156	0,569	0,225	0,764	0,235	0,484	0,4	0,04	0,53	0,23	0,237	0,499
La [ppm]	0,13	-0,138	0,188	0,057	-0,239	-0,205	0,073	-0,233	-0,124	-0,217	-0,334	-0,156	1	-0,273	-0,138	-0,203	-0,094	-0,017	-0,064	0,03	0,066	0,245	0,481	-0,171
Mg [%]	-0,174	0,308	-0,132	0,286	0,841	0,532	0,283	0,727	0,032	0,551	0,716	0,569	-0,273	1	0,399	0,813	0,444	0,657	0,135	0,051	0,555	0,086	0,125	0,765
Ba [ppm]	0,022	0,183	0,006	0,093	0,409	0,313	0,018	0,542	0,002	0,532	0,528	0,225	-0,138	0,399	1	0,56	0,74	0,53	0,025	0,077	0,262	-0,319	-0,124	0,166
Al [%]	-0,094	0,268	-0,05	0,276	0,765	0,528	0,274	0,815	0,183	0,729	0,721	0,764	-0,203	0,813	0,56	1	0,566	0,742	0,296	0,031	0,622	0,064	0,12	0,691
K [%]	-0,089	0,092	-0,176	0,013	0,456	0,283	-0,07	0,523	-0,092	0,509	0,636	0,235	-0,094	0,444	0,74	0,566	1	0,663	-0,066	0,055	0,384	-0,41	0,047	0,196
Sc [ppm]	-0,112	0,177	-0,009	0,246	0,632	0,391	0,201	0,711	0,045	0,601	0,695	0,484	-0,017	0,657	0,53	0,742	0,663	1	0,063	-0,029	0,56	0,18	0,308	0,491
S [%]	0,102	0,057	0,035	-0,065	0,107	0,084	0,02	0,202	0,466	0,228	0,062	0,4	-0,064	0,135	0,025	0,296	-0,066	0,063	1	0,1	0,172	0,167	-0,104	0,284
Hg [ppb]	0,122	0,007	-0,113	-0,103	0,017	-0,022	-0,096	0,032	0,087	0,03	-0,004	0,04	0,03	0,051	0,077	0,031	0,055	-0,029	0,1	1	0,199	-0,052	-0,003	0,04
Ga [ppm]	-0,24	0,003	-0,204	-0,028	0,495	0,188	-0,069	0,508	0,1	0,505	0,469	0,53	0,066	0,555	0,262	0,622	0,384	0,56	0,172	0,199	1	0,159	0,277	0,47
Zr [ppm]	0,014	0,003	0,245	0,283	0,104	0,074	0,36	0,039	0,27	-0,033	-0,159	0,23	0,245	0,086	-0,319	0,064	-0,41	0,18	0,167	-0,052	0,159	1	0,334	0,285
Y [ppm]	-0,092	0,058	0,037	0,319	0,195	0,108	0,258	0,134	-0,162	0,079	0,108	0,237	0,481	0,125	-0,124	0,12	0,047	0,308	-0,104	-0,003	0,277	0,334	1	0,164
Li [ppm]	-0,011	0,333	0,071	0,368	0,676	0,549	0,484	0,634	0,276	0,4	0,444	0,499	-0,171	0,765	0,166	0,691	0,196	0,491	0,284	0,04	0,47	0,285	0,164	1

	Valores entre 0,9 y 1
	Valores entre 0,7 y 0,9
	Valores entre 0,5 y 0,7
	= 1



**Tabla 12.2.5:** Varianza total explicada geoquímica El Plomo. Obtenida con SPSS Statistics.

Componente	Autovalores iniciales		
	Total	% de la varianza	% acumulado
1	8,268	34,451	34,451
2	3,340	13,916	48,367
3	2,081	8,673	57,040
4	1,884	7,848	64,888
5	1,415	5,896	70,784

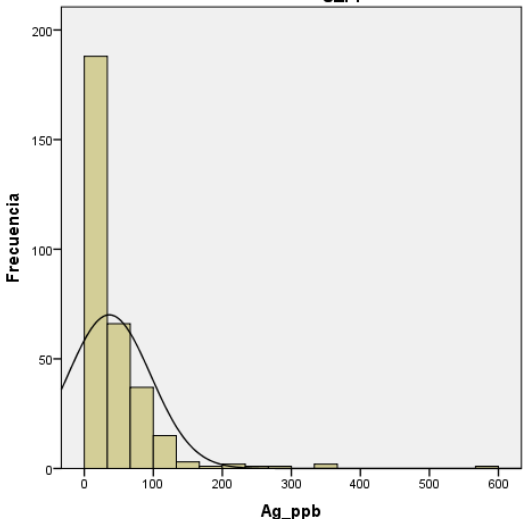
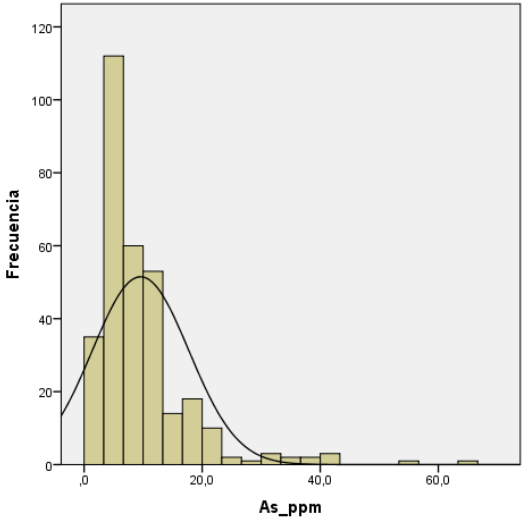
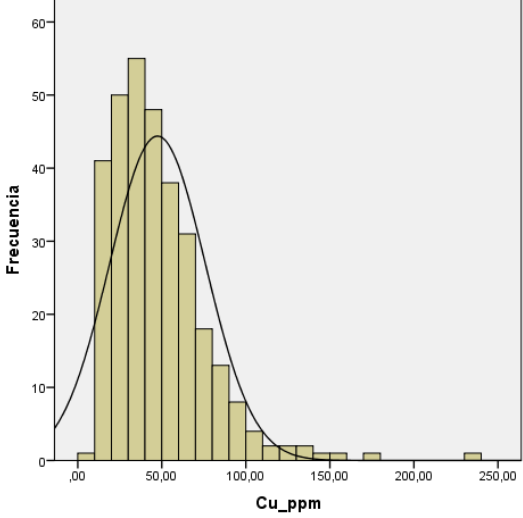
**Tabla 12.2.6:** Componentes principales muestras El Plomo a 5 componentes extraídos. Obtenida con SPSS Statistics. En amarillo se destacan los elementos correspondientes a cada componente.

Elemento	Componente				
	1	2	3	4	5
Y [ppm]	,206	,252	,651	-,412	,175
Zr [ppm]	,092	,571	,568	,203	-,048
La [ppm]	-,234	,243	,493	-,321	,568
Ga [ppm]	,622	-,230	,441	,140	,232
Ca [%]	,718	-,062	,313	,325	-,049
Sc [ppm]	,804	-,085	,152	-,222	,187
Li [ppm]	,743	,297	,110	,182	-,186
Mg [%]	,869	-,047	,063	-,004	-,220
Ni [ppm]	,866	-,004	,057	-,041	-,194
S [%]	,231	,125	,038	,742	,204
Al [%]	,934	-,060	,031	,093	,041
Hg [ppb]	,042	-,105	,016	,241	,447
Sr [ppm]	,759	-,253	,014	,097	,085
Zn [ppm]	,355	,679	-,023	-,353	-,116
Mn [ppm]	,351	,803	-,076	-,215	-,132
V [ppm]	,837	-,280	-,122	-,111	-,079
Fe [%]	,896	,068	-,149	-,004	,062
As [ppm]	,200	,461	-,213	,588	,215
Co [ppm]	,646	,278	-,216	-,052	-,151
K [%]	,602	-,454	-,230	-,341	,312
Pb [ppm]	-,010	,750	-,271	-,131	,220
Cu [ppm]	,375	,354	-,389	-,088	-,039
Ba [ppm]	,574	-,305	-,405	-,230	,344
Mo [ppm]	-,098	,420	-,422	,089	,471

**Tabla 12.2.7:** Matriz de componentes principales para muestras de Ortiga a 11 componentes extraídos. Obtenida con SPSS Statistics de IBM. En amarillo se destacan los elementos correspondientes a cada componente hasta el componente 3.

	Componente										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Mg [%]	,888	,054	-,271	,036	-,087	-,041	,009	,142	-,115	,018	-,004
Al [%]	,886	,096	-,225	-,022	-,234	-,063	,025	,132	-,037	-,043	-,028
Li [ppm]	,886	,021	-,050	,062	-,021	-,011	,028	,204	-,145	-,011	,031
Zn [ppm]	,871	,005	-,124	,031	-,097	-,081	-,003	,108	-,170	,071	-,022
Co [ppm]	,862	,018	-,296	,023	-,015	-,009	,023	,084	-,086	,016	,002
Y [ppm]	,862	-,043	,246	,070	,084	,020	-,020	-,008	-,073	,056	,019
Ni [ppm]	,849	,064	-,294	,034	-,057	-,037	,033	,092	-,048	,016	-,005
V [ppm]	,842	,197	-,084	,003	-,199	-,108	,051	-,100	,080	-,018	-,013
Mn [ppm]	,833	-,003	-,286	,039	,057	,002	-,014	,107	-,106	,109	,031
Sc [ppm]	,821	,207	-,123	-,107	,115	-,006	-,034	-,044	,137	,045	,040
Ca [%]	,799	,091	-,285	,014	-,038	,138	,020	,057	,038	-,088	-,041
Ga [ppm]	,792	,288	-,089	-,115	-,104	-,185	-,009	,027	,001	-,019	,023
Ce [ppm]	,773	-,002	,430	-,010	,192	,035	-,134	-,142	,002	-,005	,060
La [ppm]	,737	,022	,448	-,038	,201	,050	-,151	-,167	,006	-,007	,061
Hf [ppm]	,614	-,065	-,217	,090	,569	,143	-,093	-,070	,315	,091	-,011
Zr [ppm]	,581	-,061	-,236	,093	,577	,158	-,092	-,081	,333	,089	-,010
Se [ppm]	-,513	,476	,055	,313	,082	-,361	-,062	-,050	,160	-,130	,146
Cu [ppm]	,439	,293	,158	,068	-,408	-,210	,161	-,401	,214	,024	,039
B [ppm]	,405	,130	,182	,144	,096	,259	,156	,073	,295	-,373	-,019
As [ppm]	-,254	,698	,000	-,426	,153	,054	-,013	-,121	-,079	-,018	,052
Au [ppb]	-,022	,626	,109	-,505	-,020	,272	,038	,051	-,110	-,194	-,049
Sr [ppm]	,268	,586	-,040	-,515	-,134	,187	-,098	-,082	,040	-,031	-,050
Mo [ppm]	-,285	,575	,086	-,304	,282	,040	,233	-,029	-,276	-,011	-,019
Te [ppm]	-,322	,571	-,016	,480	,183	-,237	-,148	,012	-,153	-,082	,021
Fe [%]	,290	,549	-,056	,114	-,168	-,443	-,027	-,323	,172	,049	,183
Bi [ppm]	-,415	,504	-,079	,455	,201	-,123	-,120	,148	-,055	,082	-,054
Tl [ppm]	-,351	,444	,112	-,299	,023	,015	-,243	,275	,227	,198	-,025
Pb [ppm]	,050	,333	,122	,285	-,319	,255	,177	-,291	,181	,199	-,146
Th [ppm]	,365	-,051	,811	,052	,126	,002	-,049	-,102	-,195	,080	,052
Rb [ppm]	,350	,055	,716	-,027	-,068	,049	-,127	,245	,147	-,097	,064
U [ppm]	,496	-,111	,656	,117	,210	,030	-,073	-,078	-,087	,155	,056
Cs [ppm]	,406	,107	,417	,024	-,305	,127	-,079	,377	,043	-,110	-,012
Sb [ppm]	-,241	,418	-,159	,534	-,017	,426	,032	,041	-,224	,018	,028
Cr [ppm]	,173	,151	,310	,319	-,121	-,307	-,106	,256	-,147	,123	-,163
Pd [ppb]	,210	,371	-,162	,142	,488	-,035	,007	-,024	-,266	-,203	-,066
Ag [ppb]	,050	,298	,051	,475	-,302	,625	,061	-,050	-,055	,064	,058
Re [ppb]	-,120	,094	,261	-,080	,209	-,118	,691	,241	,005	,102	,018
Sn [ppm]	,125	,154	,120	,036	,146	-,066	,631	,079	,149	,390	-,348
Ba [ppm]	-,269	,165	,023	,218	,002	,053	,025	,322	,437	-,332	-,105
S [%]	-,281	,307	-,062	-,152	-,055	-,067	-,382	,356	,168	,477	-,022
Pt [ppb]	,028	,008	-,034	-,009	,029	-,097	,357	,263	,069	-,037	,749
Hg [ppb]	-,278	,048	-,147	,020	-,014	,371	-,060	-,035	,003	,371	,425

**Tabla 12.2.8:** Histogramas de elementos de El Plomo. Obtenidos con SPSS Statistics.

	<p>Ag                      Media = 36,21 ppb                      Desviación estándar = 60,146</p>
	<p>As                      Media = 9,56 ppm                      Desviación estándar = 8,187</p>
	<p>Cu                      Media = 47,41 ppm                      Desviación estándar = 28,487</p>

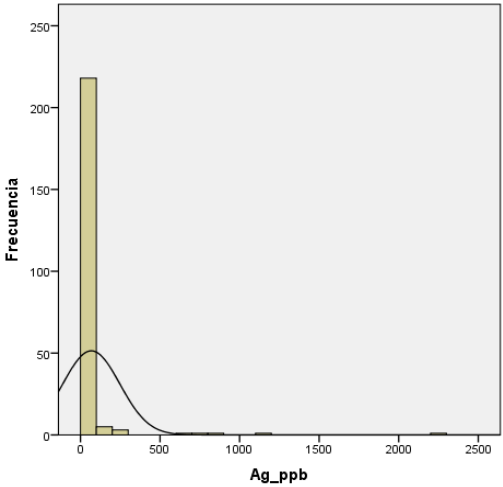
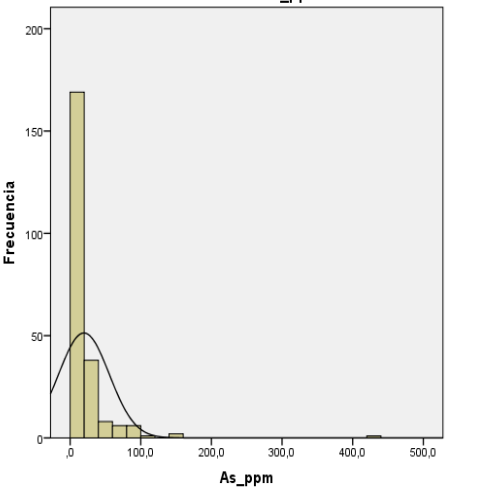
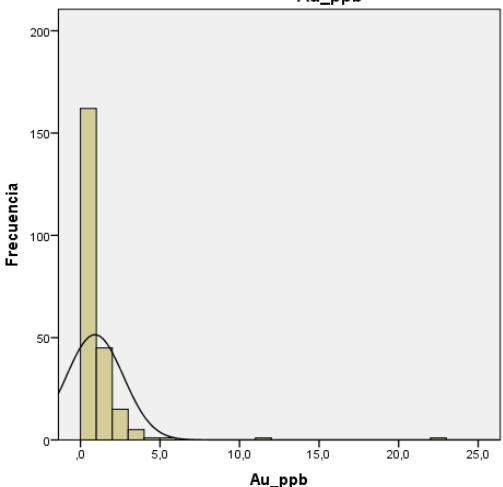
Continuación Tabla 12.2.8.

<p style="text-align: center;">Fe_%</p>	<p><b>Fe</b>                      Media = 2,67 %                      Desviación estándar = 0,862</p>
<p style="text-align: center;">Hg_ppb</p>	<p><b>Hg</b>                      Media = 3,25 ppb                      Desviación estándar = 2,839</p>
<p style="text-align: center;">Mo_ppm</p>	<p><b>Mo</b>                      Media = 1,88 ppm                      Desviación estándar = 2,769</p>

Continuación Tabla 12.2.8.

	<p><b>Pb</b>                      Media = 21,91 ppm                      Desviación estándar = 30,144</p>
	<p><b>S</b>                      Media = 0,08%                      Desviación estándar = 0,177</p>
	<p><b>Zn</b>                      Media = 83,91 ppm                      Desviación estándar = 66,833</p>

**Tabla 12.2.9:** Histogramas de elementos en Ortiga. Obtenidos con SPSS Statistics.

	<p><b>Ag</b>            Media = 67,88 ppb            Desviación estándar = 179,258</p>
	<p><b>As</b>            Media = 19,51 ppm            Desviación estándar = 35,898</p>
	<p><b>Au</b>            Media = 91 ppb            Desviación estándar = 1,791</p>



Continuación Tabla 12.2.9

<p style="text-align: center;"><b>Cu_ppm</b></p>	<p><b>Cu</b>                      Media = 49,33 ppm                      Desviación estándar = 44,576</p>
<p style="text-align: center;"><b>Hg_ppb</b></p>	<p><b>Hg</b>                      Media = 48,65 ppb                      Desviación estándar = 100,818</p>
<p style="text-align: center;"><b>Fe_%</b></p>	<p><b>Fe</b>                      Media = 3,05 %                      Desviación estándar = 1,61</p>

Continuación Tabla 12.2.9

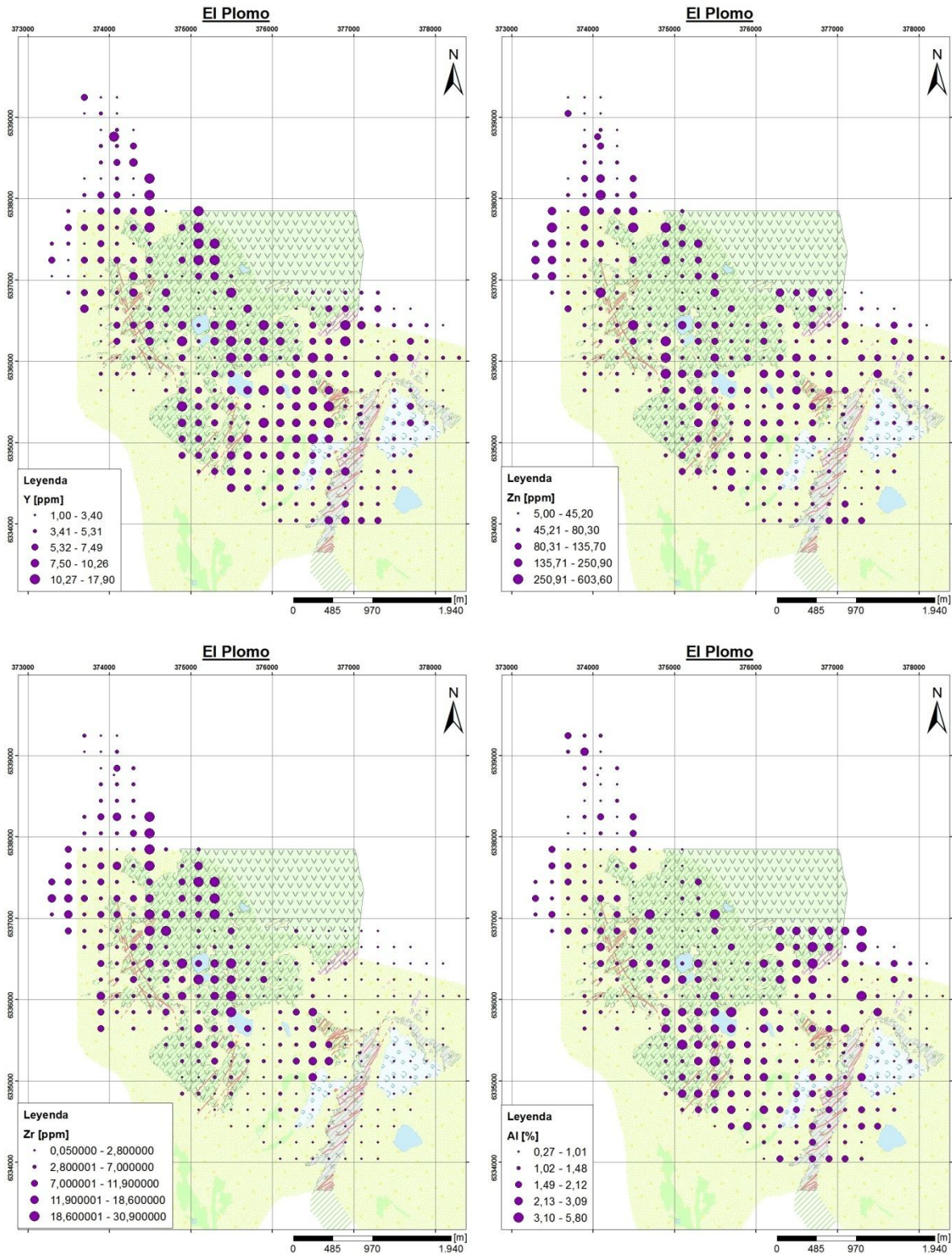
<p>Mo_ppm</p>	<p>Mo                      Media = 6,71 ppm                      Desviación estándar = 25,093</p>
<p>S_%</p>	<p>S                      Media = 1,5 %                      Desviación estándar = 0,232</p>
<p>Sn_ppm</p>	<p>Sn                      Media = 0,53 ppm                      Desviación estándar = 0,797</p>

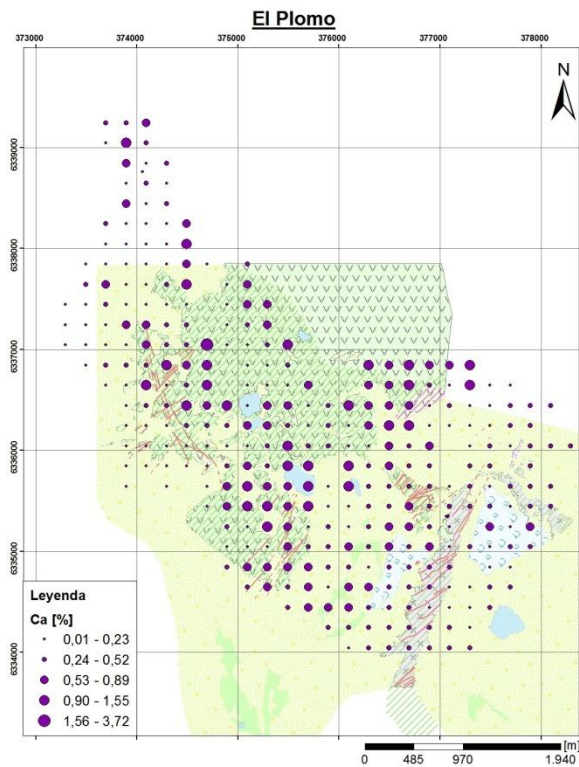
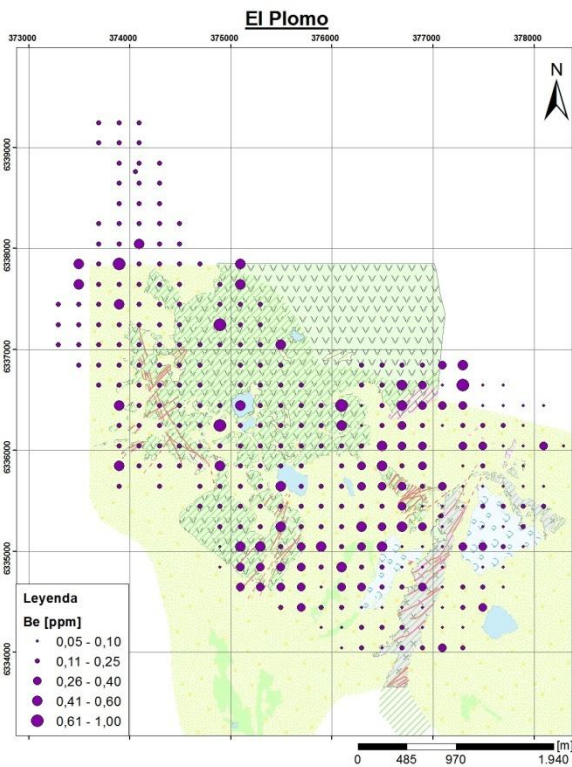
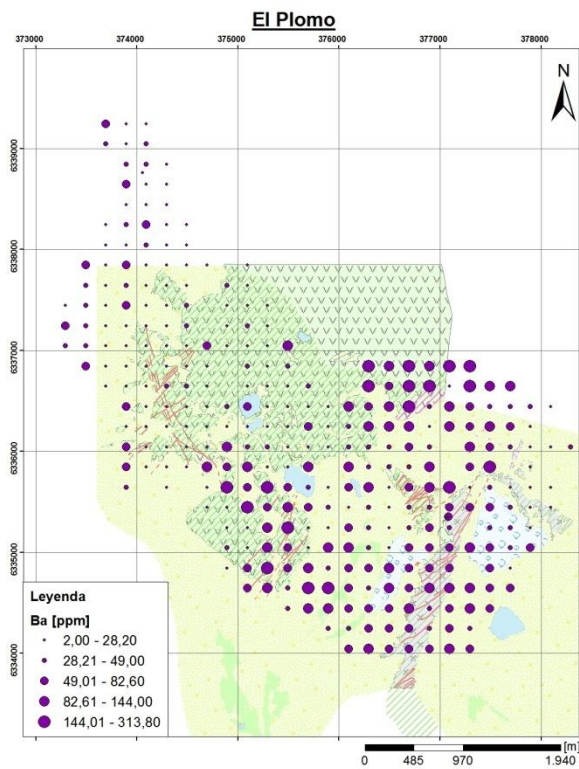
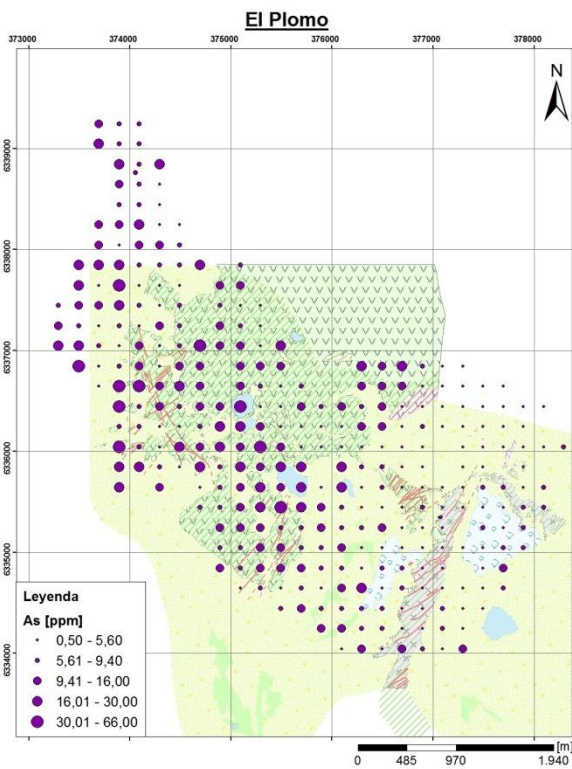
Continuación Tabla 12.2.9

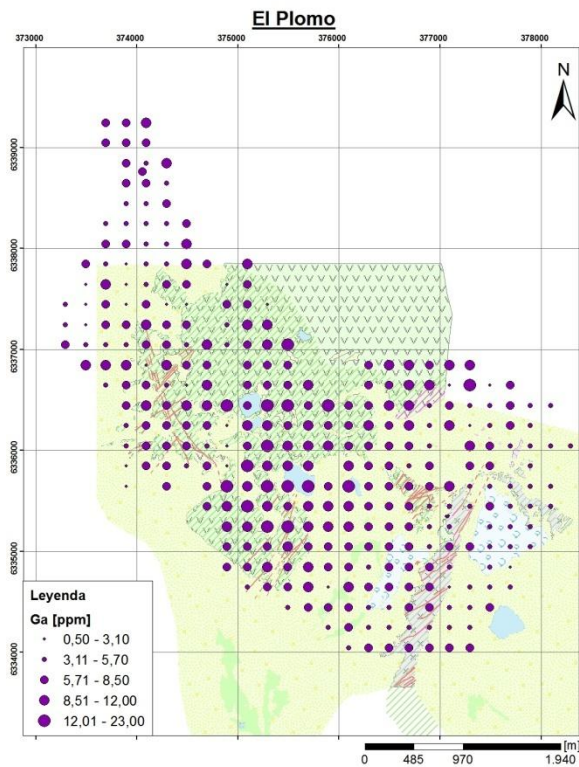
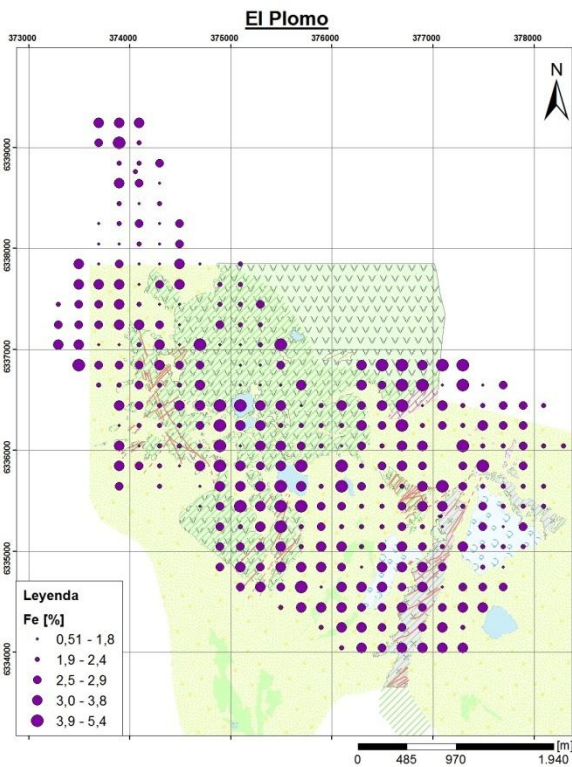
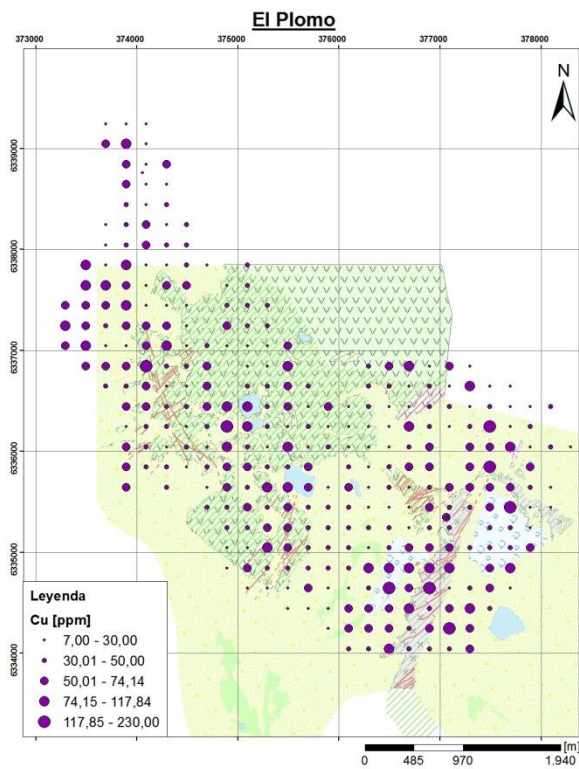
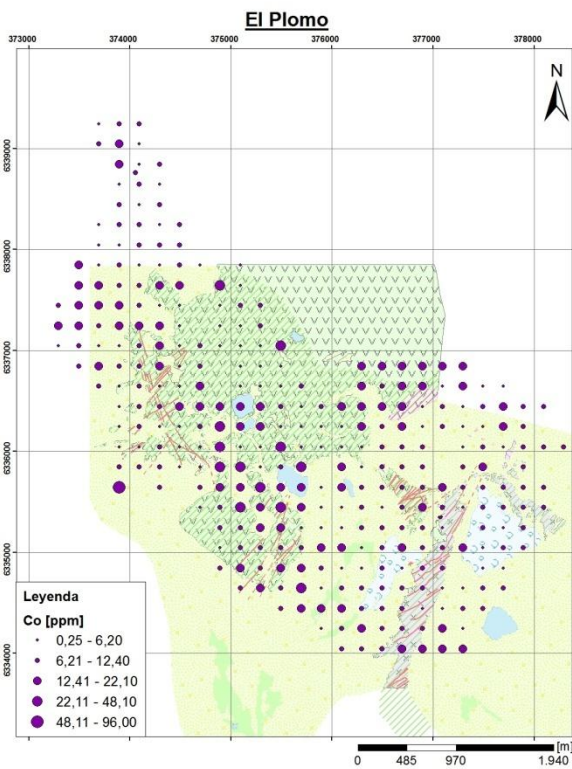
<p style="text-align: center;">Sb_ppm</p>	<p><b>Sb</b>                      Media = 1,1 ppm                      Desviación estándar = 2,248</p>
<p style="text-align: center;">Te_ppm</p>	<p><b>Te</b>                      Media = 0,49 ppm                      Desviación estándar = 0,998</p>
<p style="text-align: center;">Zn_ppm</p>	<p><b>Zn</b>                      Media = 33,27 ppm                      Desviación estándar = 35,628</p>

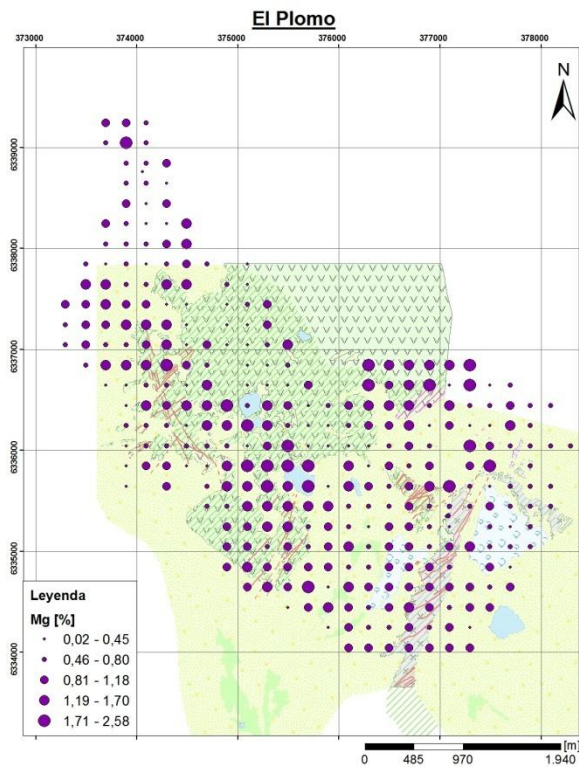
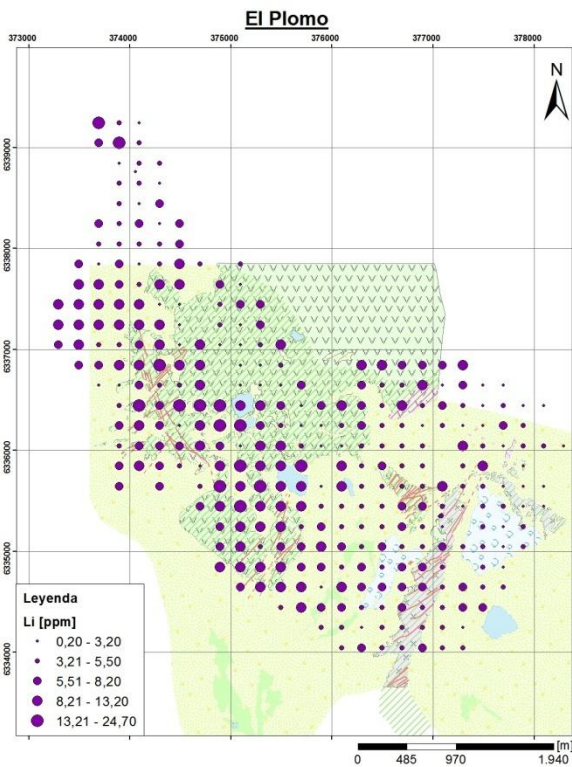
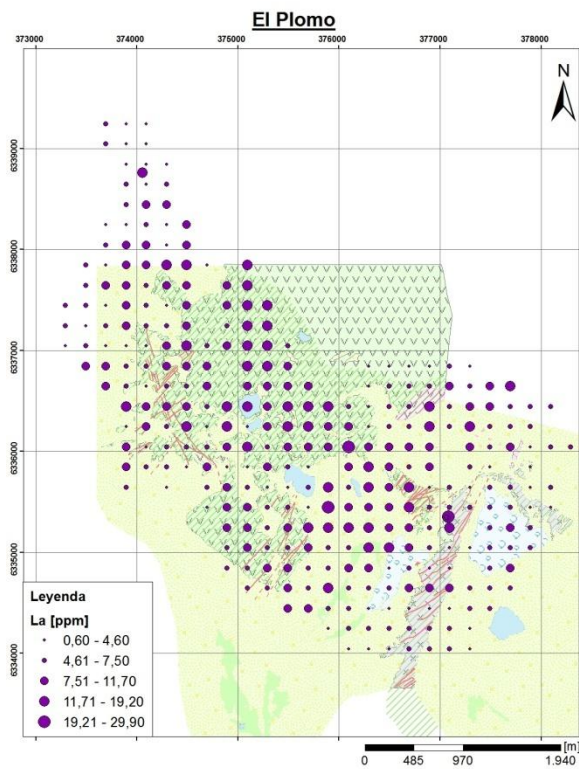
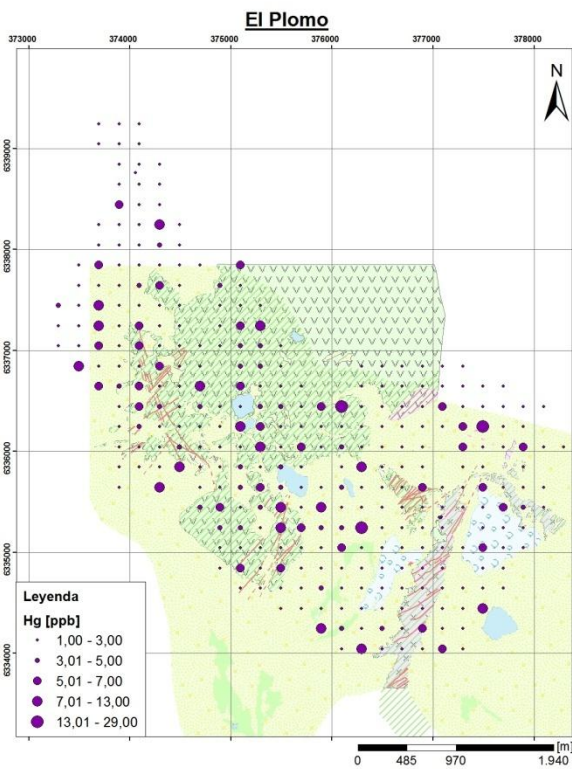
## 12.3. Mapas de distribución El Plomo

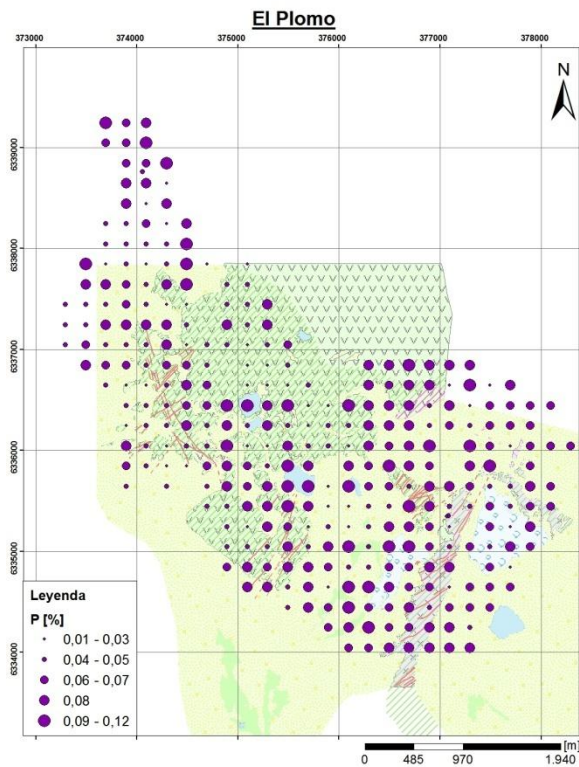
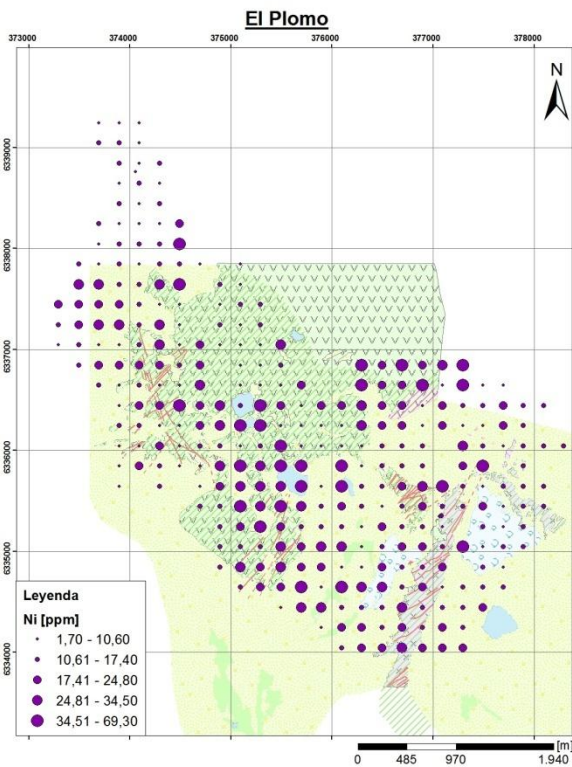
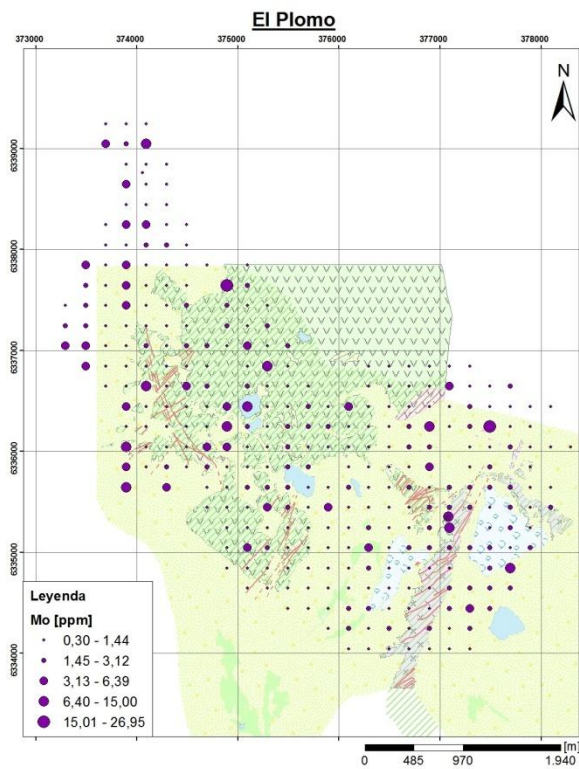
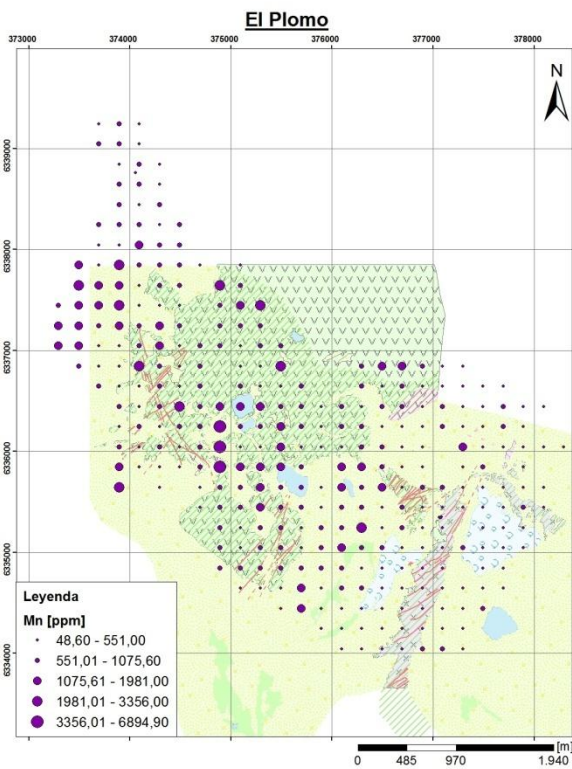
Figura 12.3.1: Distribución de elementos con respecto a la alteración y litología en El Plomo.



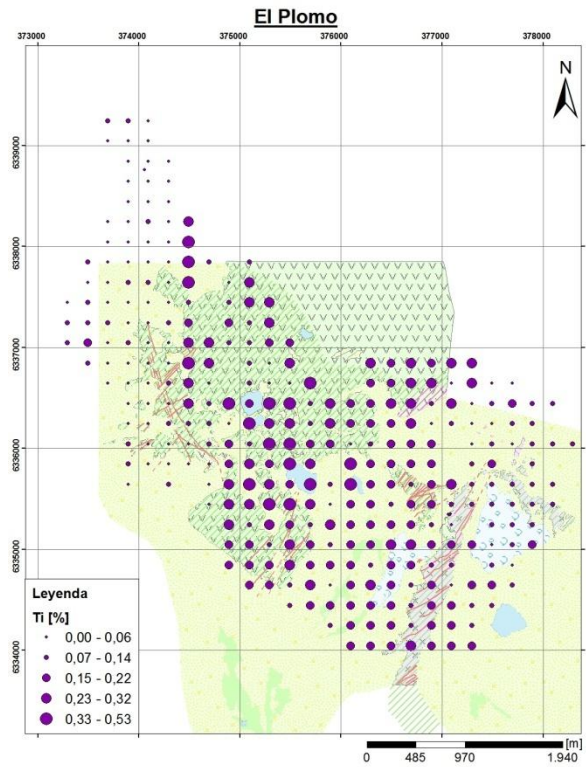
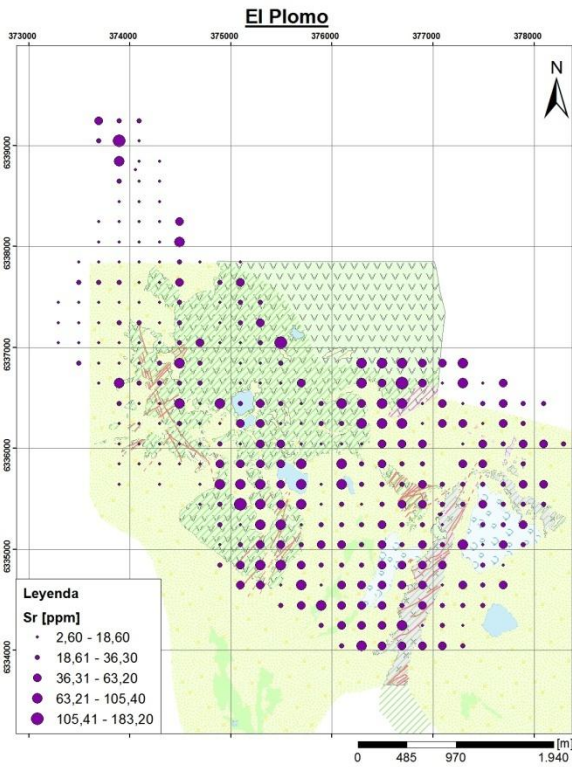
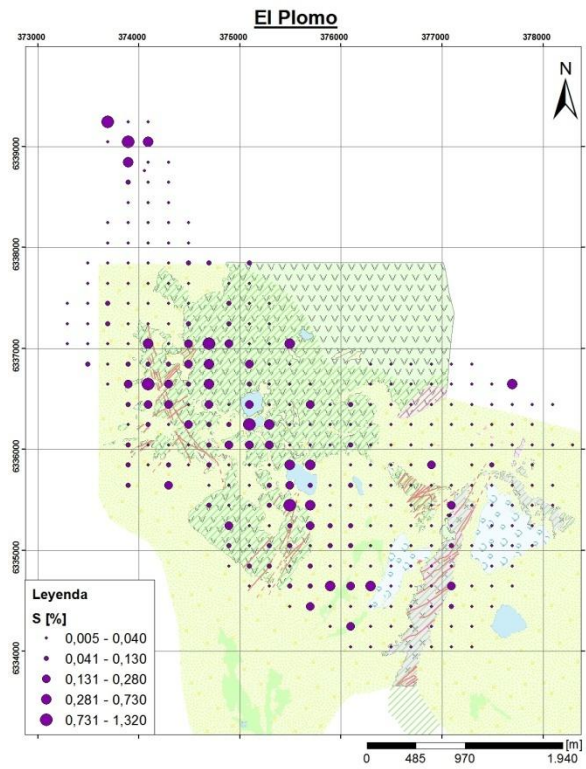
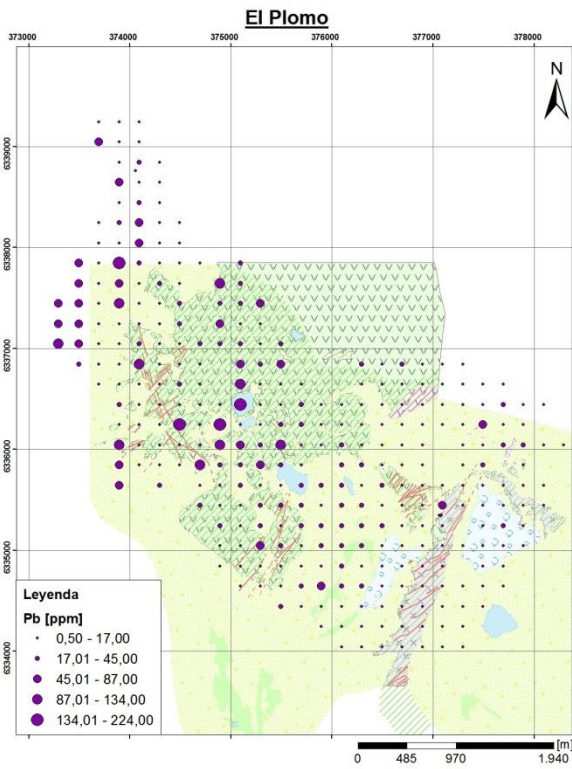


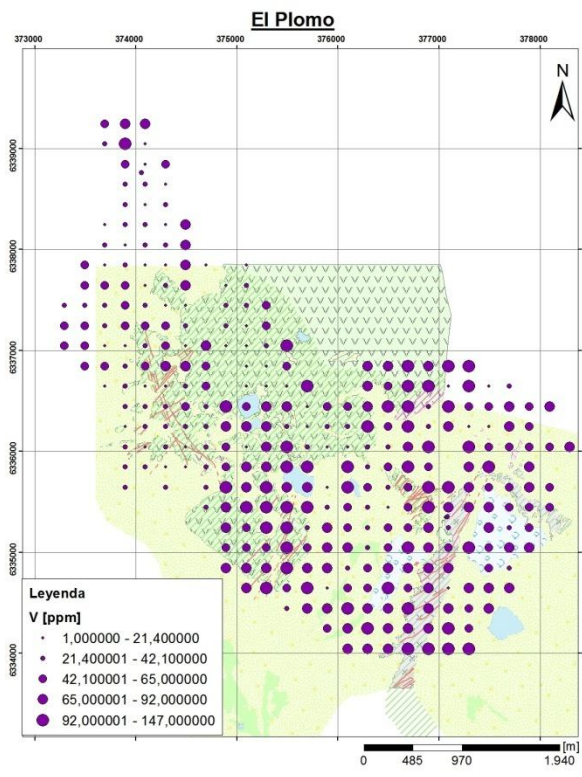












## 12.4. Mapas de distribución Ortiga

Figura 12.4.1: distribución de elementos con respecto a la alteración en Ortiga.

