



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

**GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO
PANULCILLO, CARACTERÍSTICAS
GEOQUÍMICAS Y CONTROL
ESTRUCTURAL DE CUERPOS
MINERALIZADOS**

ROSARIO MARÍA TERESITA CASTELLÓN GRIME

Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Profesores Supervisores:

JOSÉ CEMBRANO PERASSO

CARLOS MARQUARDT ROMÁN

Santiago de Chile, agosto de 2017

© 2017, Rosario Castellón Grime

Ninguna parte de esta tesis puede reproducirse o transmitirse bajo ninguna forma o por ningún medio, sin permiso por escrito del autor.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO PANULCILLO, CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS Y CONTROL ESTRUCTURAL DE CUERPOS MINERALIZADOS

ROSARIO MARÍA TERESITA CASTELLÓN GRIME

Tesis presentada a la Comisión integrada por los profesores:

JOSÉ CEMBRANO PERASSO

CARLOS MARQUARDT ROMÁN

EDUARDO CÓRDOVA VERGARA

JORGE BRANTT HERNÁNDEZ

KARIM PICHARA BAKSAI

Para completar las exigencias del grado de Magíster en Ciencias
de la Ingeniería

Santiago de Chile, agosto de 2017

A mis padres, Verónica Grime y José
Gonzalo Castellón

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer profundamente a mis padres, Gonzalo Castellón y Verónica Grime, ya que gracias a su esfuerzo y dedicación durante todo mi periodo universitario pude terminar mi carrera con un Magíster en Ciencias de la Ingeniería. También a mis hermanos, Francisca y Gonzalo, y mi cuñada Fernanda, por toda su ayuda y comprensión en muchos momentos.

A Rodrigo Campos, quien me ha acompañado a lo largo de todo el periodo de realización de esta tesis, tanto en buenos como malos momentos, siempre apoyándome y siendo un pilar fundamental en todo ámbito.

A todos mis amigos quienes me han acompañado a lo largo de este proceso, en especial a Montserrat Astorquiza, Andrés Alfaro, Bárbara Escobar, Gianpiero Siri, Karin Hofer, Daniela Aguirre y Gert Heuser. También a Pablo Bobadilla, quien fue un apoyo fundamental como amigo y como geólogo, y con quien viví numerosas aventuras en terreno en las minas antiguas de nuestro querido Panulcillo.

A mis profesores supervisores, José Cembrano y Carlos Marquardt, quienes me guiaron durante la realización de esta tesis pero también me hicieron crecer como persona, siempre aconsejándome y ayudándome cuando lo necesité. También a los profesores Jorge Brantt, Eduardo Córdova y Karim Pichara, por aceptar ser parte de mi comisión y colaborar de tal forma de obtener los resultados presentados.

Por último, quisiera agradecer a ENAMI por darme la oportunidad de realizar este magíster en uno de sus yacimientos, Panulcillo. En especial, a mi equipo de la Unidad de Desarrollo Minero, por apoyarme y ayudarme a sacar este proyecto adelante mientras trabajaba también en la Empresa.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	i
ÍNDICE GENERAL.....	ii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	xii
1. MARCO TEÓRICO Y PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1. Características y relevancia de los yacimientos de tipo IOCG y Skarn	1
1.1.1. Yacimientos de tipo IOCG	1
1.1.2. Yacimiento de tipo Skarn	7
1.2. Planteamiento del problema	11
1.3. Objetivos del estudio	12
1.4. Ubicación y accesos del área de estudio.....	13
1.5. Marco Geológico.....	15
1.5.1. Estratigrafía.....	15
1.5.2. Sistemas de falla regionales.....	18
1.6. Geología Local de la zona de estudio.....	24
1.6.1. Antecedentes geo-mineros del yacimiento Panulcillo	24
1.6.2. Geología distrital del yacimiento Panulcillo.....	27
1.6.3. Antecedentes geoquímicos del yacimiento Panulcillo.....	30
1.7. Metodología.....	33
1.7.1. Análisis petrográficos y calcográficos	35
1.7.2. Dataciones U-Pb en circones (e.g. Leisen et al., 2015).....	36

1.7.3. Análisis ICP – MS.....	38
1.7.3. Análisis Geoquímico.....	39
2. RESULTADOS	49
2.1. Unidades litológicas	49
2.1.1. Complejo Volcánico Agua Salada (Jas(a)).....	52
2.1.2. Formación Arqueros	55
2.1.3. Intrusivo Pejerreyes (Kigd).....	64
2.1.4. Otras unidades litológicas	66
2.2. Resultados dataciones.....	67
2.3. Asociaciones minerales de alteración y de Cu	68
2.3.1. Asociaciones minerales de alteración	68
2.3.2. Asociaciones minerales de Cu	72
2.4. Sistemas de falla distritales y locales	77
2.2.4.1. Falla Panulcillo	78
2.2.3.2. Falla Asunción	81
2.2.4.3. Falla San Gregorio Norte	83
2.2.4.4. Falla San Gregorio Sur.....	85
2.2.4.5. Fallas NNE subsidiarias a la FP	87
2.5. Geoquímica	87
2.5.1. Descripción y ubicación de muestras.....	87
2.5.2. Concentración de elementos en muestras mineralizadas v/s no mineralizadas	98
2.5.3. Zonación espacial de elementos y anomalías por litología.....	101
2.5.4. Grupos de correlación.....	103

3. Discusión.....	104
3.1. Unidades litológicas y metamorfismo ocasionado por Intrusivo Pejerreyes.....	104
3.2. Edad de los diques microdioríticos mineralizados que intruyen la Formación Arqueros y su relación con el Intrusivo Pejerreyes	105
3.3. Paragénesis del yacimiento Panulcillo	106
3.4. Anomalías geoquímicas y posible origen de la mineralización en Panulcillo	107
3.5. Modelo estructural propuesto para el yacimiento Panulcillo	110
4. CONCLUSIONES	113
REFERENCIAS	115
ANEXOS	122
Anexo 1	123
Anexo 2: Geoquímica.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1- 1. Edades y métodos de datación para distintas unidades litológicas ubicadas en torno a la zona de estudio.....	23
Tabla 1- 2. Matriz de correlación entre los elementos Au, Cu y Zn. Fuente: realizada a partir de los datos de Río Tinto, 2001.	33
Tabla 1- 3. ICP – MS, ME-MS61L. Elementos analizados y rangos de detección instrumental mínimo y máximo	38
Tabla 1- 4. ICP-MS, Au-TL43. Rangos de detección instrumental para el análisis de Au, mínimo y máximo	39
Tabla 1- 5. Concentración común de un elemento en la corteza terrestre según distintos autores	42
Tabla 2 - 1. Descripción de terreno de muestras enviadas a datación, y resultado de datación.	67
Tabla 2 - 2. Vetillas con mineralización de cobre de espesor > 0,5 cm medidas a lo largo del yacimiento..	75
Tabla 2 - 3. Rumbo y manto de la Falla Panulcillo.....	80
Tabla 2 - 4. Rumbo y manto de la Falla Asunción.....	82
Tabla 2 - 5. Rumbo y manto de la Falla San Gregorio Norte	85
Tabla 2 - 6. Rumbo y manto de la Falla San Gregorio Sur	86
Tabla 2 - 7. Descripción de terreno de muestras enviadas a análisis ICP – MS.	88
Tabla 2 - 8. Muestras seleccionadas para comparar la variación en la concentración de elementos en muestras sin mineralización v/s con mineralización.....	98
Tabla 2 - 9. Elementos deprimidos y con exceso de concentración en muestras sin mineralización, comparadas con muestras con mineralización	100
Tabla 2 - 10. Elementos con concentraciones anómalas tipo débil, moderada y fuerte según litología	102
Tabla 2 - 11. Grupos de correlación (GC) propuestos para cada tipo litológico..	103

Tabla 3 - 1. Comparación de elementos contenidos en grupos de correlación en diques interior mina, diques de superficie, skarn interior mina y skarn de superficie	108
Tabla A1 1. Descripción de muestras enviadas a Petrografía y Calcografía.....	123
Tabla A1 2. Puntos de control tomados en terreno	128
Tabla A2 1. Resultados ICP – MS, parte 1 de 4	133
Tabla A2 2. Resultados ICP – MS, parte 2 de 4	134
Tabla A2 3. Resultados ICP – MS, parte 3 de 4	135
Tabla A2 4. Resultados ICP – MS, parte 4 de 4	136
Tabla A2 5. Elementos que presentan zonaciones en el yacimiento.....	153
Tabla A2 6. Matriz de correlación de skarn interior mina	163
Tabla A2 7. Matriz de correlación skarn de superficie	164
Tabla A2 8. Matriz de correlación Diques interior mina	165
Tabla A2 9. Matriz de correlación Diques mineralizados del E en superficie.....	166
Tabla A2 10. Matriz de correlación Diques del W	167
Tabla A2 11. Matriz de correlación Intrusivo Pejerreyes	168
Tabla A2 12. Concentración promedio de cada elemento en cada litología.....	169
Tabla A2 13. Grupos de correlación generados por el método de componentes principales (CP) y por el método de inspección (INS).	170
Tabla A2 14. Resultados de laboratorio de muestras enviadas a AAS por Río Tinto ..	171

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 - 1. Ubicación de los yacimientos IOCG en Chile y Perú	2
Figura 1 - 2. Modelo de alteración y mineralización de un IOCG	3
Figura 1 - 3. Cuadro paragenético del yacimiento Candelaria.....	4
Figura 1 - 4. Cuadro paragenético de Mantos Verdes.....	5
Figura 1 - 5. Relación entre el SFA, estructuras NW y yacimientos de tipo IOCG..	6
Figura 1 - 6. Ubicación de yacimientos tipo skarn en Chile.	7
Figura 1 - 7. Etapas de formación de un yacimiento tipo skarn.....	9
Figura 1 - 8. Formación de minerales en las distintas etapas que generan un skarn.....	10
Figura 1 - 9. Esquema de propagación de un skarn	11
Figura 1 - 10. Ubicación y accesos de Panulcillo	14
Figura 1 - 11. Geología Regional de la zona de estudio.	16
Figura 1 - 12. Traza del Sistema de Fallas de Atacama (SFA),	18
Figura 1 - 13. Sistema de Fallas de Atacama.	19
Figura 1 - 14. IOCG, Pórfidos y relación con el SFA.....	22
Figura 1 - 15. Zonas de explotación en el yacimiento Panulcillo (vista en planta)	25
Figura 1 - 16. Zonas de explotación en el yacimiento Panulcillo (vista en sección NS). ..	26
Figura 1 - 17. Producción y ley media aproximadas de Panulcillo.....	27
Figura 1 - 18. Líneas geoquímicas realizadas por Río Tinto, 2001..	31
Figura 1 - 19. Concentración de Au, Cu y Zn de muestras tomadas por Río Tinto.....	32
Figura 1 - 20. Ejemplo de un gráfico de probabilidad acumulada.....	42
Figura 1 - 21. Obtención grupos de correlación.....	46
Figura 1 - 22. Obtención de variables agrupadas	48
Figura 2 - 1. Mapeo litológico – estructural realizado en este trabajo.....	50
Figura 2 - 2. Sección W – E en coordenada N: 6628000.....	51
Figura 2 - 3. Columna estratigráfica de afloramientos definidos en este trabajo.....	51

Figura 2 - 4. Metaareniscas finas foliadas.....	52
Figura 2 - 5. Dique andesítico con fenocristales de plagioclasas.....	54
Figura 2 - 6. Brecha hidrotermal con clastos alargados	54
Figura 2 - 7. Nódulos de hematita en tobas microafaníticas finas	56
Figura 2 - 8. Meta toba de lapilli con óxidos de manganeso.....	57
Figura 2 - 9. Skarn y mármol	58
Figura 2 - 10. Vetillas de calcita	58
Figura 2 - 11. Toba cristalina	60
Figura 2 - 12. Toba dacítica	61
Figura 2 - 13. Brecha hidrotermal de perovskita.....	62
Figura 2 - 14. Vista en sección de dique en Rajo Caracoles	63
Figura 2 - 15. Foliación magmática 16W/71W en el Intrusivo Pejerreyes.....	64
Figura 2 - 16. Diorita con vetilla de kfeld.....	65
Figura 2 - 17. Distribución espacial de las asociaciones de minerales de alteración y mineralización.....	69
Figura 2 - 18. Alteración de hematita en matriz de brecha de toba	70
Figura 2 - 19. Alteración de epidota en nódulos	71
Figura 2 - 20. Cúmulo de sulfuros de cobre oxidados in situ	72
Figura 2 - 21. Veta de calcopirita - magnetita.....	73
Figura 2 - 22. Veta de calcopirita - piritita.....	73
Figura 2 - 23. Vetilla de bornita con calcopirita	75
Figura 2 - 24. Principales fallas estudiadas del yacimiento Panulcillo.....	77
Figura 2 - 25. Red de Schmidt y diagrama P y T de F. Panulcillo.....	79
Figura 2 - 26. Red de Schmidt y diagrama P y T de F. Asunción.....	81
Figura 2 - 27. Red de Schmidt y diagrama P y T de F. San Gregorio Norte	84
Figura 2 - 28. Red de Schmidt F. San Gregorio Sur.	86
Figura 2 - 29. Ubicación de muestras enviadas a ICP, zona norte.....	94
Figura 2 - 30. Ubicación de muestras enviadas a ICP, zona centro norte.....	95
Figura 2 - 31. Ubicación de muestras enviadas a ICP, zona centro sur	96

Figura 2 - 32. Ubicación de muestras enviadas a ICP, zona sur	97
Figura 2 - 33. Ejemplo de un mapa de anomalías	101
Figura 2 - 34. Elementos que han presentado halos o zonaciones de anomalías.	102
Figura 3 - 1. Zonación de anomalías en la vertical y por litología	109
Figura 3 - 2. Esquema representativo del modelo estructural existente en Panulcillo...	112
Figura A1 1. Ubicación de muestras para petrografía y calcografía, zona norte.....	126
Figura A1 2. Ubicación de muestras para petrografía y calcografía, zona centro	127
Figura A1 3. Ubicación de muestras para petrografía y calcografía, zona sur	128
Figura A2 1. Rangos de anomalías para Ag.....	137
Figura A2 2. Rangos de anomalías para Al.....	137
Figura A2 3. Rangos de anomalías para As	137
Figura A2 4. Rangos de anomalías para Ba	138
Figura A2 5. Rangos de anomalías para Be	138
Figura A2 6. Rangos de anomalías para Bi.....	138
Figura A2 7. Rangos de anomalías para Ca	139
Figura A2 8. Rangos de anomalías para Cd.....	139
Figura A2 9. Rangos de anomalías para Ce	139
Figura A2 10. Rangos de anomalías para Co.....	140
Figura A2 11. Rangos de anomalías para Cr	140
Figura A2 12. Rangos de anomalías para Cs	140
Figura A2 13. Rangos de anomalías para Cu.....	141
Figura A2 14. Rangos de anomalías para Fe	141
Figura A2 15. Rangos de anomalías para Ga.....	141
Figura A2 16. Rangos de anomalías para Ge.....	142
Figura A2 17. Rangos de anomalías para Hf	142
Figura A2 18. Rangos de anomalías para In	142

Figura A2 19. Rangos de anomalías para K.....	143
Figura A2 20. Rangos de anomalías para La	143
Figura A2 21. Rangos de anomalías para Li.....	144
Figura A2 22. Rangos de anomalías para Mg.....	144
Figura A2 23. Rangos de anomalías para Mn.....	144
Figura A2 24. Rangos de anomalías para Mo.....	145
Figura A2 25. Rangos de anomalías para Na.....	145
Figura A2 26. Rangos de anomalías para Nb.....	145
Figura A2 27. Rangos de anomalías para Ni	146
Figura A2 28. Rangos de anomalías para P	146
Figura A2 29. Rangos de anomalías para Pb	146
Figura A2 30. Rangos de anomalías para Rb.....	147
Figura A2 31. Rangos de anomalías para Re	147
Figura A2 32. Rangos de anomalías para S	147
Figura A2 33. Rangos de anomalías para Sb	148
Figura A2 34. Rangos de anomalías para Sc	148
Figura A2 35. Rangos de anomalías para Se	148
Figura A2 36. Rangos de anomalías para Sn	149
Figura A2 37. Rangos de anomalías para Sr.....	149
Figura A2 38. Rangos de anomalías para Ta	149
Figura A2 39. Rangos de anomalías para Te	150
Figura A2 40. Rangos de anomalías para Th.....	150
Figura A2 41. Rangos de anomalías para Ti.....	150
Figura A2 42. Rangos de anomalías para Tl.....	151
Figura A2 43. Rangos de anomalías para U.....	151
Figura A2 44. Rangos de anomalías para V.....	151
Figura A2 45. Rangos de anomalías para W.....	152
Figura A2 46. Rangos de anomalías para Y.....	152
Figura A2 47. Rangos de anomalías para Zn	152

Figura A2 48. Rangos de anomalías para Zr.....	153
Figura A2 49. Rangos de anomalías para Au.....	153
Figura A2 50. Distribución de anomalías de As en el yacimiento.....	154
Figura A2 51. Distribución de anomalías de Ag en el yacimiento	154
Figura A2 52. Distribución de anomalías de Cd en el yacimiento.....	155
Figura A2 53. Distribución de anomalías de Bi en el yacimiento	155
Figura A2 54. Distribución de anomalías de Co en el yacimiento.....	156
Figura A2 55. Distribución de anomalías de Ce en el yacimiento.....	156
Figura A2 56. Distribución de anomalías de Cs en el yacimiento	157
Figura A2 57. Distribución de anomalías de Cu en el yacimiento.....	157
Figura A2 58. Distribución de anomalías de In en el yacimiento.....	158
Figura A2 59. Distribución de anomalías de Fe en el yacimiento	158
Figura A2 60. Distribución de anomalías de Mn en el yacimiento.....	159
Figura A2 61. Distribución de anomalías de Mg en el yacimiento.....	159
Figura A2 62. Distribución de anomalías de Sb en el yacimiento	160
Figura A2 63. Distribución de anomalías de S en el yacimiento	160
Figura A2 64. Distribución de anomalías de Zn en el yacimiento.....	161
Figura A2 65. Distribución de anomalías de U en el yacimiento	161
Figura A2 66. Distribución de anomalías de Au en el yacimiento	162

RESUMEN

En esta tesis se examina el yacimiento Panulcillo, de edad cretácica, ubicado 20 kms al norte de la ciudad de Ovalle, IV Región. Panulcillo fue clasificado tradicionalmente como un skarn, sin embargo en las últimas décadas se le ha planteado como un IOCG (*Iron Oxide Copper Gold deposit*). El objetivo principal de la tesis es contribuir a conocer el origen de su mineralización, el rol que cumplen los sistemas de falla regionales y distritales en la formación y evolución del yacimiento, y su afinidad geoquímica general. Para esto se ha realizado un mapeo geológico de superficie, escala 1:10.000, con énfasis en los elementos estructurales principales y las asociaciones de alteración y mineralización. También se tomaron muestras para análisis petrográficos, calcográficos, geoquímicos y de dataciones absolutas. Como resultado, se ha obtenido que la mineralización está espacial y temporalmente asociada a dos eventos principales: uno magmático representado por diques microdioríticos mineralizados, y uno hidrotermal como resultado de la circulación de fluidos mineralizados cuya fuente de calor provino de los diques. La mineralización también está asociada a fallas N-NE, las cuales habrían tenido una cinemática de rumbo dextral en un régimen transtensional activo hasta los 125 Ma, que luego migró al régimen transtensional siniestral asociado al origen del Sistema de Fallas de Atacama (SFA). Al norte del yacimiento aflora un cuerpo intrusivo granítico a diorítico de gran extensión de $120,7 \pm 1,1$ Ma (U/Pb en circón, este trabajo), el cual corta la secuencia estratigráfica y la mineralización. Por otro lado, el yacimiento es limitado al oeste por la Falla Panulcillo, de rumbo NS y manteo subvertical (la cual corresponde a la Falla Romeral, extremo sur del SFA), y desplazado hacia el oeste por fallas NW, también subverticales, de cinemática siniestral inversa. El control geológico-estructural del yacimiento y su naturaleza geoquímica son herramientas claves para explorar yacimientos similares a la escala distrital y regional en la IV Región.

Palabras Claves: Panulcillo, SFA, Falla Romeral, IOCG, Skarn, Geoquímica, Anomalía, Pejerreyes

ABSTRACT

This thesis examines the Panulcillo deposit, of Cretaceous age, located 20 kms north of the city of Ovalle, IV Region, Chile. Panulcillo was traditionally classified as a skarn, however in the last decades it has been considered as an IOCG (Iron Oxide Copper Gold deposit). The main objective of this thesis is to contribute to the knowledge of the origin of its mineralization, the role played by regional and district fault systems in the origin and evolution of the deposit, and its general geochemical affinity. For this, a surface geological mapping of 1: 10,000 scale has been carried out, with emphasis on the main structural elements and the associations of alteration and mineralization. Samples were also taken for petrographic, calcographic, geochemical and absolute dating analyses. As a result, it has been found that mineralization is spatially and temporally associated with two main events: a magmatic one represented by mineralized microdioritic dikes, and a hydrothermal one as a result of the circulation of mineralized fluids whose source of heat came from the dikes. The mineralization is also associated with N-NE faults, which would have had a dextral strike -slip kinematic in an active transtensional regime up to 125 Ma, which later migrated to the sinistral transtensional regime associated with the origin of the Atacama Fault System (AFS). A large intrusive granitic to diorite intrusive body of 120.7 ± 1.1 Ma (U / Pb in zircon, this work) emerges north of the deposit, which cuts off the stratigraphic sequence and the mineralization. On the other hand, the deposit is limited to the west by the Panulcillo Fault, of NS strike and subvertical dip (which corresponds to the Romeral Fault, southern segment of the SFA), and displaced to the west by NW subvertical faults with a reverse kinematic. The geological and structural control of the ore body and its geochemical nature are key tools for exploring similar deposits at district and regional scales in the IV Region of Chile.

Key Words: Panulcillo, AFS, Romeral Fault, IOCG, Skarn, Geochemistry, Anomaly, Pejerreyes

1. MARCO TEÓRICO Y PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Características y relevancia de los yacimientos de tipo IOCG y Skarn

1.1.1. Yacimientos de tipo IOCG

Los yacimientos llamados *Iron Oxide Copper Gold* (IOCG), donde coexisten minerales de Cu, Fe y Au, se forman gracias a sistemas magmáticos y/o hidrotermales con un fuerte control estructural (Sillitoe, 2003). Estos yacimientos ocurren de formas muy diversas: vetas, brechas hidrotermales, mantos, skarn o una combinación de ellos (Sillitoe, 2003). En Chile, las vetas tienden a ocurrir alojadas en rocas plutónicas dioríticas, y tienen un tamaño de decenas de metros a varios kilómetros de largo con anchos superiores a 10 m; comúnmente alcanzan 200 m de profundidad pero pueden superar los 600 m (Vivallo, 2009).

En el norte de Chile existen numerosos depósitos IOCG ubicados en la franja metalogénica del Cretácico Inferior, Cordillera de la Costa (22° y 30° S) [fig 1-1]. En esta franja la Cordillera está constituida principalmente por rocas plutónicas (gabro – granito) y volcánicas (andesitas), cuyas edades se extienden desde el Jurásico al Cretácico Inferior (Vivallo, 2009). Este conjunto de rocas ha sido interpretado como un arco magmático desarrollado sobre un basamento de rocas pre – jurásicas, en respuesta a la implantación del sistema de subducción al comienzo del Jurásico (Vivallo, 2009). Los yacimientos están espacial y temporalmente asociados a la transición de deformación sinistral dúctil a frágil dentro del arco volcánico, la cual comenzó cercano a los 124 Ma con un peak entre los 118 a 105 Ma (Cembrano et al, 2009).

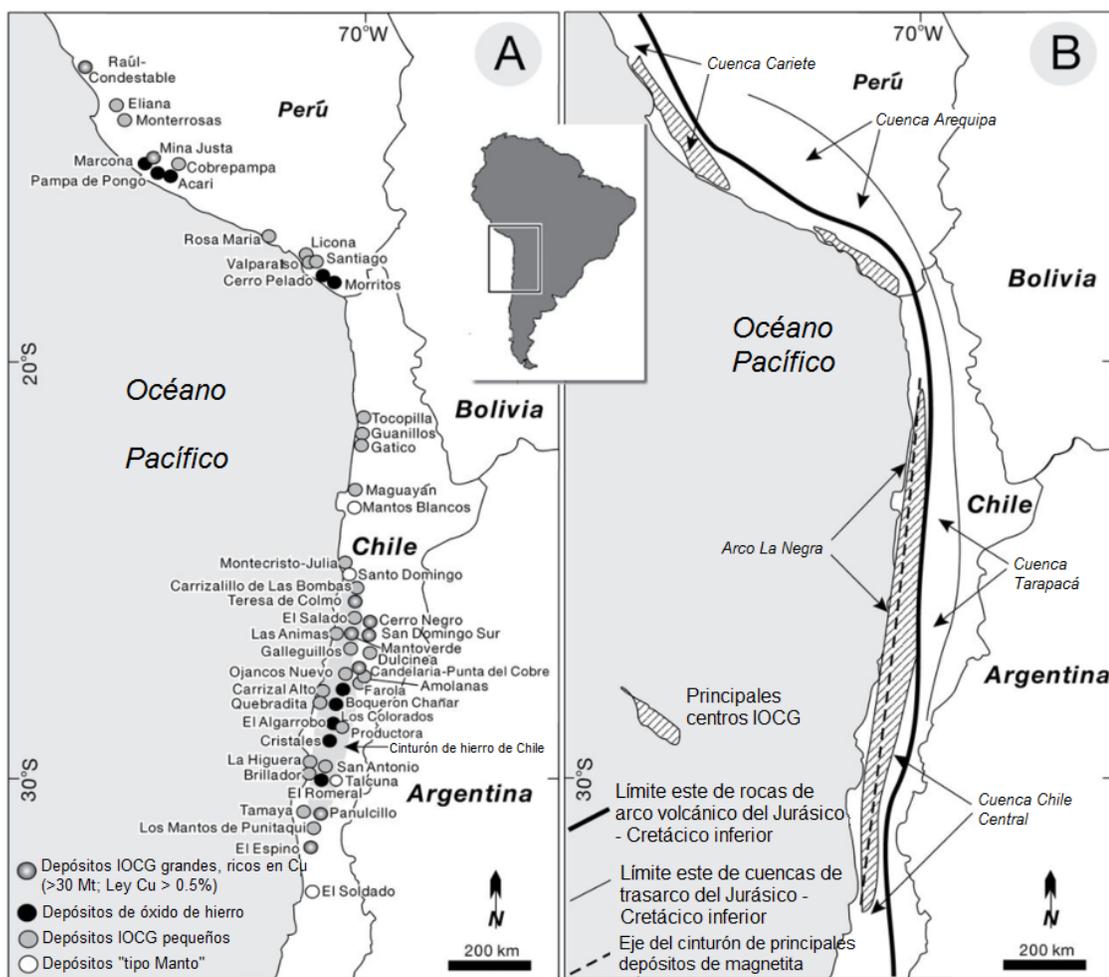


Figura 1 - 1. Ubicación de los yacimientos IOCG en Chile y Perú, en sus respectivas franjas metalogénicas (Modificado de Chen et al, 2013).

La mineralización de los IOCG consiste en general de magnetita, hematita, calcopirita, pirita y bornita, con una zonación de calcopirita - magnetita en las zonas más profundas y bornita - hematita en las más superficiales; además también se pueden encontrar uraninita, niquelina, arsenopirita, pirrotina, cobaltita y molibdenita como minerales subordinados a este tipo de depósito (Vivallo, 2009). En cuanto a las asociaciones minerales de alteración, los IOCG pueden presentar alteración sódico cálcica (actinolita, albita, magnetita); sericítica (sericita, clorita, hematita); potásica (feldespato potásico, biotita) y silíceo, además de minerales como cuarzo, calcita, apatito y con menor frecuencia granate y

piroxeno (Vivallo, 2009). Las asociaciones minerales de alteración comúnmente siguen la distribución espacial que se ve en la [fig 1-2] (Sillitoe, 2003).

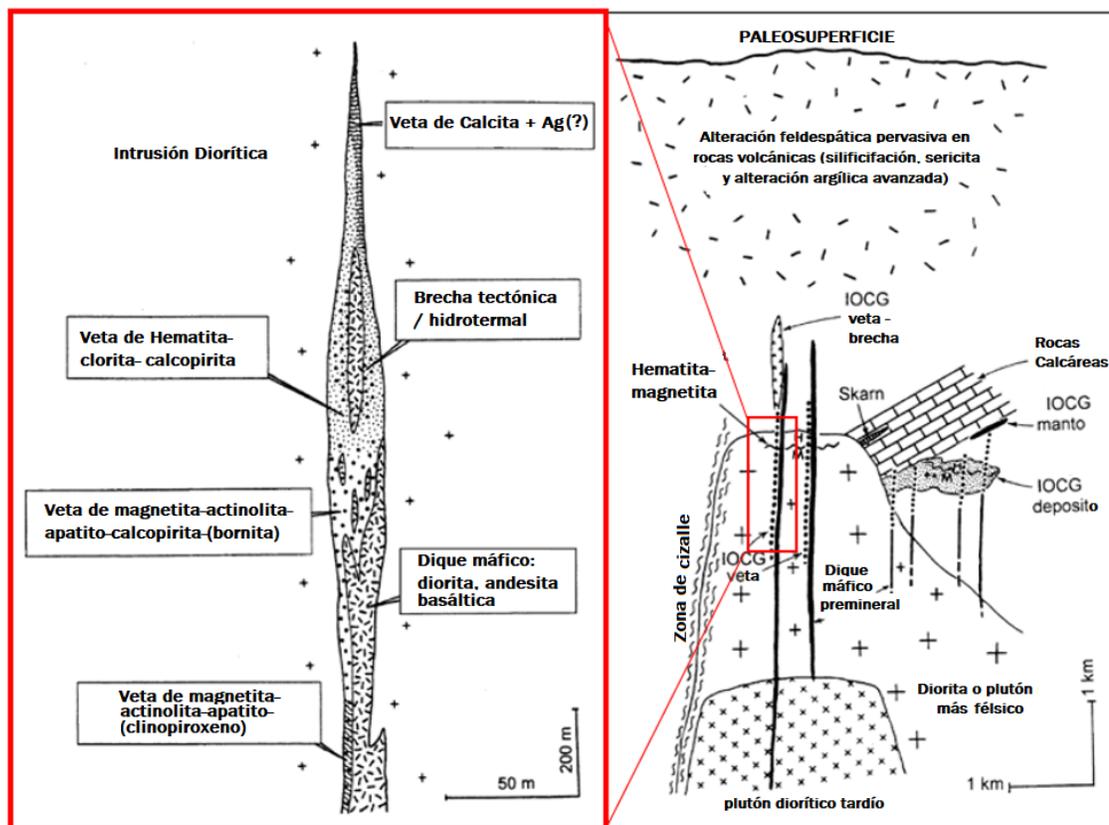
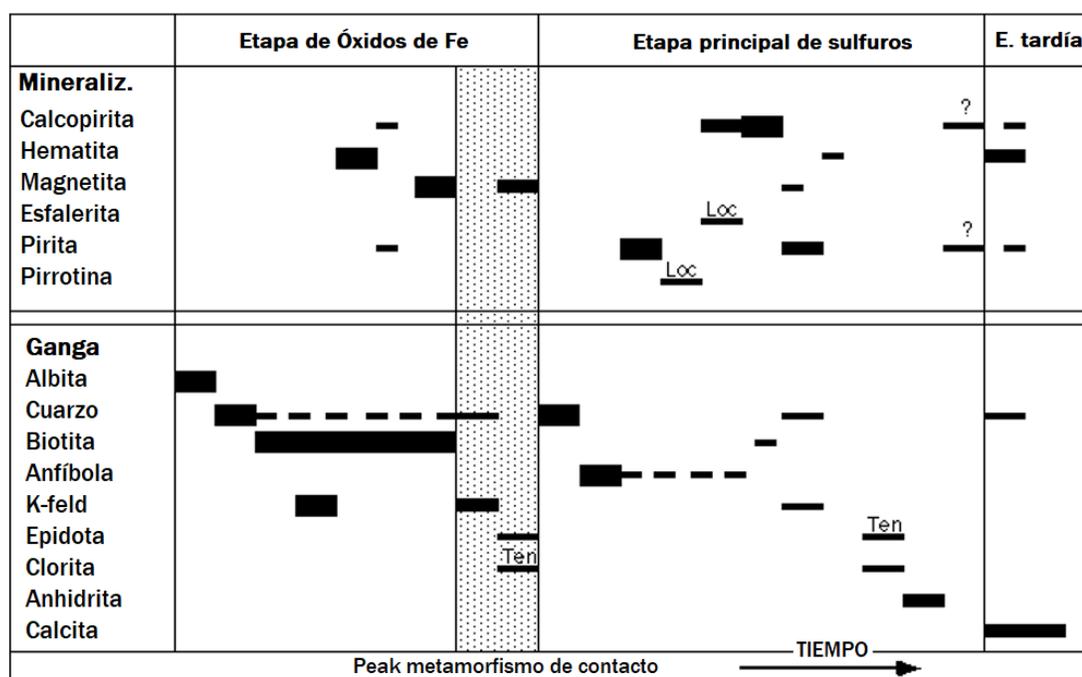


Figura 1 - 2. Modelo de alteración y mineralización de un IOCG (modificado de Sillitoe, 2003). A la izquierda, se muestra sección esquemática de un IOCG ubicado en la Cordillera de la Costa, donde se muestra una zonación superficial de calcita, seguida de magnetita a hematita; finalmente magnetita asociada con actinolita, apatito y mineralización de sulfuros de cobre (donde también puede existir pirita); y en profundidad, magnetita pobre en minerales de cobre. La zona de hematita puede presentar brechización hidrotermal y tectónica. A la derecha, rocas de caja que envuelven la sección izquierda; en conjunto con esquemas de distintos estilos de IOCG en la cordillera de la costa con un fuerte control estructural. Cercano a la superficie, existe una alteración pervasiva argílica avanzada que puede contener pirita.

Dentro de los yacimientos IOCG más importantes de la franja metalogénica del Cretácico Inferior en Chile se encuentra el yacimiento Candelaria, ubicado aproximadamente a 20 kms de la ciudad de Copiapó [Fig 1-1]. En este caso, las rocas mineralizadas se ubican en el bloque colgante de una falla extensional, la cual produjo la mineralización principal acompañada de eventos hidrotermales gracias a una mayor circulación de fluidos producto

del emplazamiento de magmas en el bloque yacente (Arévalo et al, 2006). Los minerales de mena corresponden a calcopirita, magnetita y oro; ocurriendo en vetillas y de forma diseminada en brechas y rocas volcánicas. La paragénesis de alteración se caracteriza por alteración potásica con magnetita, seguida de alteración sódico cálcica (actinolita, hornblenda y albita) con introducción de calcopirita y otros sulfuros de cobre; alteración retrógrada de anfíbola, clorita, epidota y sericita; y finalmente introducción tardía de feldespato potásico (Oyarzún et al, 1999; Hervé, 2003; Arévalo et al, 2006) [fig 1-3].



Abreviaturas: Loc: localmente; Ten: tentativamente; ?: incierto

Figura 1 - 3. Cuadro paragenético de minerales de alteración y mena del yacimiento Candelaria (Marschik and Leveille, 1998)

Otro yacimiento de esta franja metalogénica es Manto Verde, ubicado a 90 kms al norte de la ciudad de Copiapó y cuya mineralización se encuentra al este de la falla Mantos Verdes de rumbo N15W y manto 45E. Esta falla está localizada entre la traza central y la traza este de la Falla de Atacama (Benavides et al, 2007). La mineralización de cobre ocurre en cuerpos tabulares dominados por especularita, brechas y depósitos irregulares

tipo stockwork; la cual se encuentra oxidada hasta los 200 m de profundidad presentando crisocola, malaquita y atacamita en vetillas y diseminados; y a mayor profundidad calcopirita y pirita diseminada. La paragénesis de alteración consta de un enriquecimiento de feldespato potásico y clorita con cuarzo y hematita; luego sericita con cuarzo y turmalina y finalmente calcita (Vila et al, 1996) [fig 1-4].

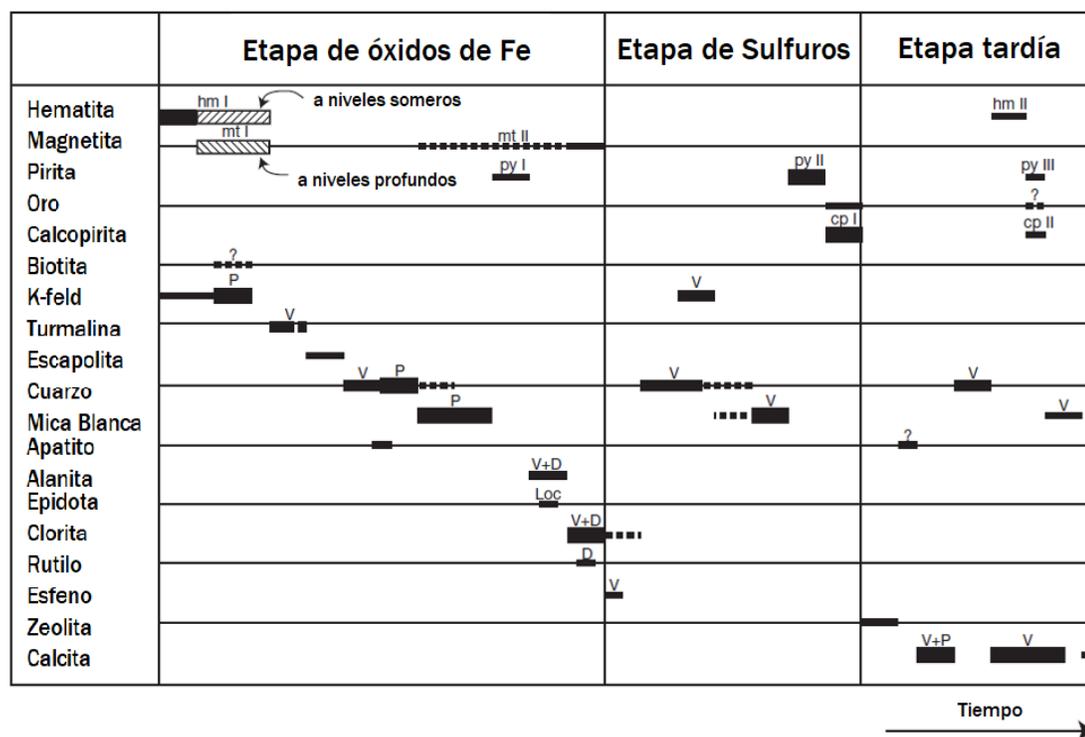


Figura 1 - 4. Cuadro paragenético de minerales de alteración y mena del distrito Mantos Verdes. D= diseminada, Loc = local, P = alteración pervasiva, V = vetillas (Rieger et al., 2010).

Los yacimientos tipo IOCG tienen una amplia distribución espacial en el mundo, sin embargo, un gran número de ellos se ubica en márgenes convergentes y asociados a arcos magmáticos, en donde se emplazan principalmente en zonas intra – tras arco (Barton, 2014). En Chile, estos yacimientos presentan un marcado control estructural [fig 1- 5]: la mayoría ocurre espacial y temporalmente asociados a fallas siniestrales de rumbo NNW a WNW, con solo algunos casos asociados a fallas NE. Algunos de los sistemas de falla de

rumbo NW parecieran no estar directamente relacionadas con el SFA, ya que muestran evidencia de desplazamientos antes y después de los últimos movimientos del SFA (Cembrano et al, 2009). Indicadores cinemáticos en fallas NW dentro de sistemas de veta y brecha, apuntan a que la mineralización fue acompañada de una transtensión sinistral; fluidos hidrotermales asociados a magmatismo rico en K fueron canalizados a través de fallas y fracturas NNW a NW que actuaron como Riedel en un sistema sinistral de rumbo NNE en un estado frágil (Cembrano et al, 2009).

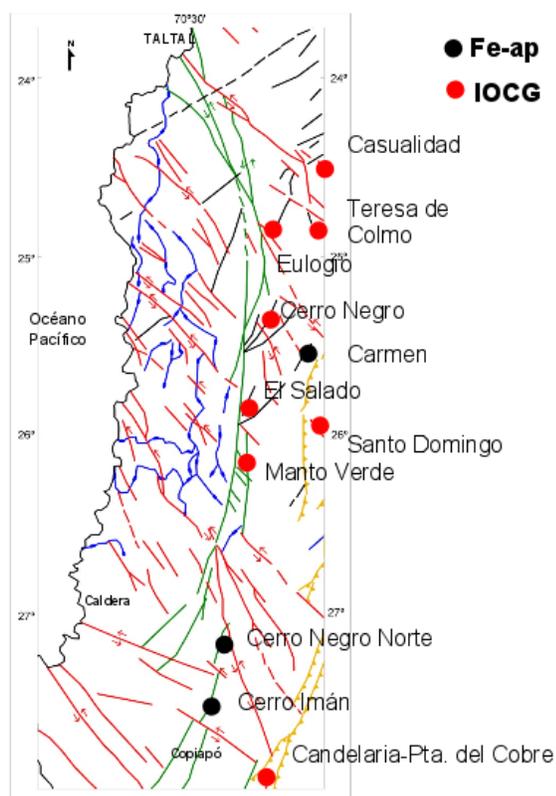


Figura 1 - 5. Relación entre el SFA, estructuras NW y yacimientos de tipo IOCG. En verde: SFA. Rojo: fallas NW. Amarillo: Sistema de Fallas Tigrillo. Elaborado a partir de Cembrano et al, 2009.

1.1.2. Yacimiento de tipo Skarn

Los skarn son yacimientos que ocurren comúnmente en aureolas metamórficas de contacto entorno a plutones (mineralizados o estériles) que intruyen secuencias calcáreas. La producción mundial de estos yacimientos generalmente incluye Fe, Cu, W, C, Zn, Pb, Mo, Sn, U, Au, granate, talco y wollastonita; mientras que en Chile predominan los skarn de Cu y también se explotan skarn de Zn-Pb, Lapislázuli y Fe (Maksaev, 2001).

Los yacimientos tipo skarn en Chile se ubican principalmente a lo largo de la Cordillera de la Costa en el norte [fig 1-6]. Estos están hospedados por rocas carbonatadas intercaladas por secuencias volcanosedimentarias, ambas pertenecientes al Cretácico Inferior. Los intrusivos asociados a los skarn en Chile son generalmente granitoides a granodioritas calcoalcalinas sin una variación aparente en el magma, y las más relevantes en la formación de skarn tienen 118 – 96 Ma (K – Ar en bt) (Maksaev, 2005).

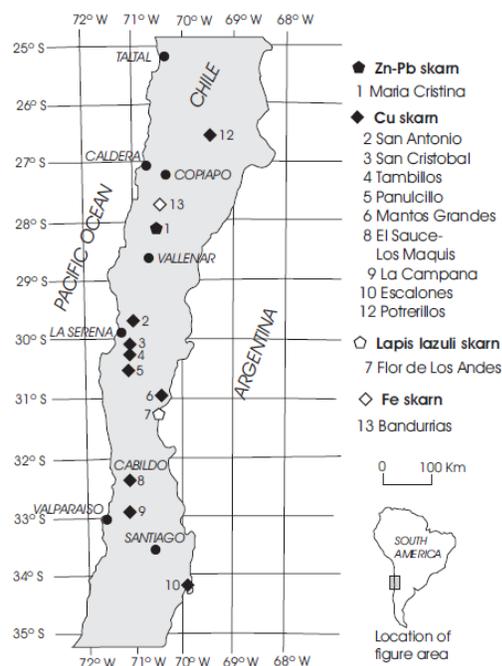


Figura 1 - 6. Ubicación de yacimientos tipo skarn en Chile (Maksaev, 2005). En general, estos yacimientos se ubican sobre la franja metalogénica del Cretácico Inferior. Notar que Panulillo es clasificado como un skarn, el cual se encuentra alineado con los yacimientos Tambillos, San Cristóbal y San Antonio. Por otro lado, los skarn de elementos como molibdeno, estaño, uranio y oro no tienen gran importancia económica en Chile.

En la formación de los skarn [fig 1-7], (A) un intrusivo causa un metamorfismo de contacto en rocas sedimentarias, (B) ocurriendo una recristalización metamórfica y cambios de fase en el protolito con metasomatismo local y circulación de fluidos (alteración progradada) (Meinert, 1992). (C) Luego ocurre una cristalización y liberación de una fase acuosa resultando en un metasomatismo en el skarn controlada por fluidos, y (D) finalmente, el plutón se enfría, ocasionando una separación de una fase de vapor y circulación de fluidos más fríos, lo que causa una alteración retrógrada (Meinert, 1992).

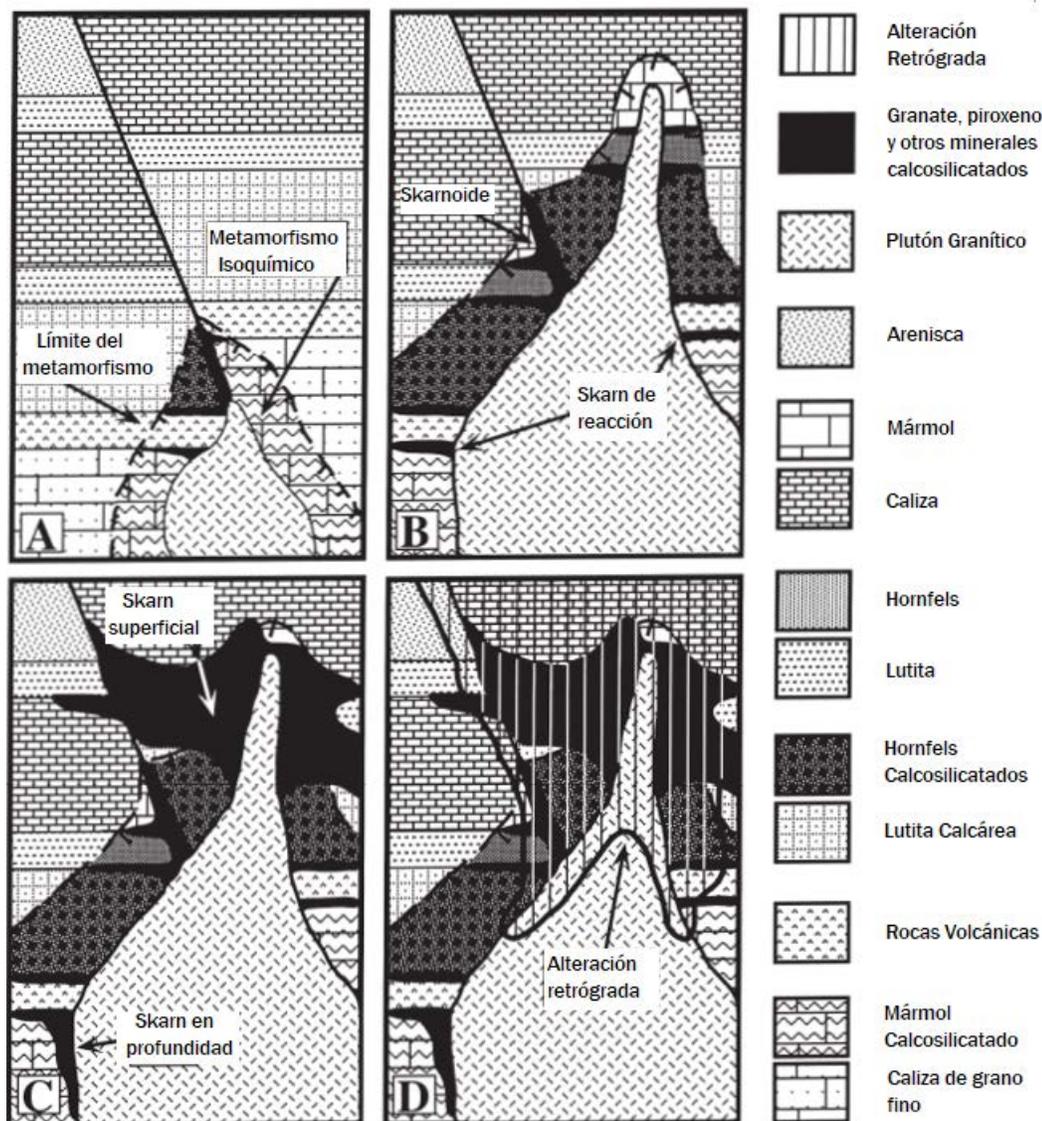


Figura 1 - 7. Etapas de formación de un yacimiento tipo skarn (modificado de Meinert, 1992). A: una intrusión inicial causa un metamorfismo de contacto en rocas sedimentarias. B: Recristalización metamórfica y cambios de fase reflejados en la composición del protolito, con metasomatismo local (alteración progradada). Circulación de fluidos forma diversos minerales calcosilicatados (skarn de reacción y skarnoide) en litologías impuras y a lo largo de los bordes por donde circulan los fluidos. El metamorfismo es más fuerte debido a las mayores temperaturas en profundidad en comparación con la zona más pequeña afectada cerca de la superficie. C: cristalización y liberación de una fase acuosa, que da como resultado un skarn metasomático con debido a la acción de los fluidos. El skarn en profundidad es pequeño en comparación al tamaño de la aureola metamórfica. Además, está orientado verticalmente en comparación al skarn lateral que se extiende a través de la aureola metamórfica cerca de la superficie. D: enfriamiento del plutón, separación de una fase de vapor y circulación de aguas meteóricas más frías, lo que puede causar una alteración retrógrada de minerales calcosilicatados. Esta alteración es más extensa en zonas más someras.

En cuanto a los skarn de Cu, la alteración general presenta grandes cantidades de granate rico en hierro y una alta razón granate/piroxeno; alto contenido de magnetita – hematita indicando un ambiente oxidante; y mineralización de pirita, calcopirita, menor bornita y esfalerita, indicando un moderado grado de sulfuración (Maksaev, 2001). Además, en los skarn de cobre existe una zonación de granate, mostrándose de colores oscuros, rojizos a marrones cerca del contacto con el intrusivo (con asociaciones de Mg-Al a Mn-Al), y de colores caramelo, verde o amarillo (con asociaciones de Ca-Al a Ca-Fe y Ca-Cr) en zonas más distales (Meinert, 1997). La paragénesis de los principales minerales presentes en un skarn de ve en el ejemplo de la [fig 1-8].

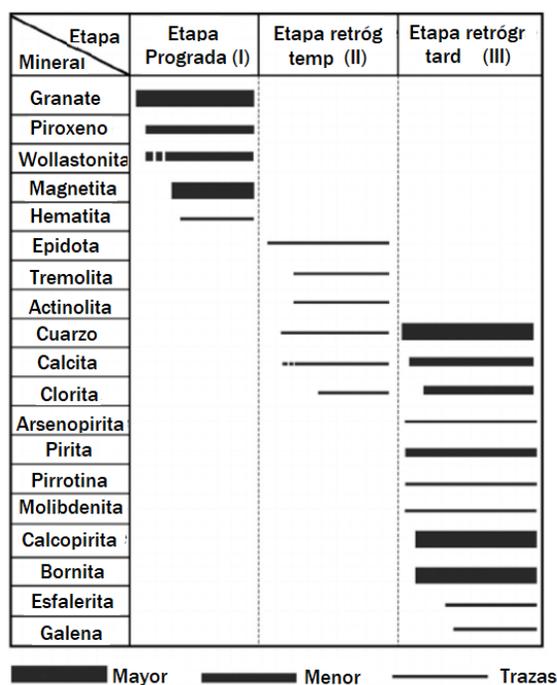


Figura 1 - 8. Formación de minerales en las distintas etapas que generan un skarn. Ejemplo del depósito Zhibula, skarn de Cu, Tibet (Xu et al, 2015).

En Chile, la ocurrencia de minerales de mena en los skarn está controlada por zonas de cizalle sinistralas o fallas subsidiarias a estas zonas que facilitan la circulación de fluidos hidrotermales en los lugares afectados por metamorfismo de contacto causado por intrusivos (Maksaev, 2005). Esto genera dos zonas dentro de un skarn (Maksaev, 2001):

1. Endoskarn: presenta minerales calcosilicatados y algunos minerales económicos generalmente en la periferia del intrusivo, donde el flujo de fluidos va hacia adentro del plutón o paralelo al contacto de éste.
2. Exoskarn: minerales en las rocas calcáreas con mayor concentración de menas en zonas cercanas al intrusivo. Por lo general presenta un halo de alteración debido al metamorfismo de contacto que genera el intrusivo, el cual a medida que se aleja del plutón varía de skarn a mármol y finalmente rocas no afectadas como calizas [fig 1-9]. El halo de alteración varía según el tamaño y temperatura del plutón, pudiendo ser desde metros a cientos de metros.

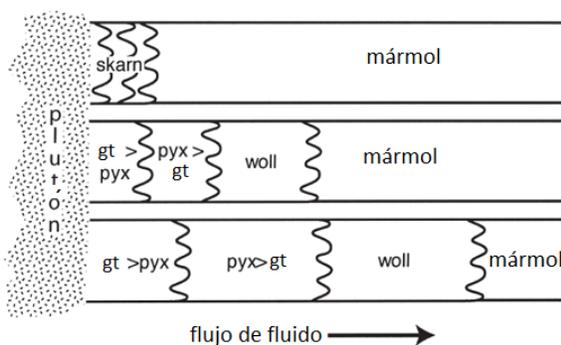


Figura 1 - 9. Esquema que muestra la propagación de distintos frentes de reacción durante un flujo de fluidos progresivo (Modificado de Meinert et al, 2005). Todos los frentes se originan desde la fuente del fluido. La separación de estos frentes se incrementa a medida que sigue circulando el fluido. El frente de wollastonita corresponde a una reacción metasomática silícea. $Pyx > gt$ indica metasomatismo de Fe y Mg. $Gt > pyx$ indica transporte de Al.

1.2. Planteamiento del problema

El estudio de los IOCG ha permitido conocer mejor la geología que presentan estos yacimientos, las asociaciones de minerales de alteración, la presencia de elementos como Cu – Au – Fe – Co – Ag – U – RRE y un marcado control estructural (e.g. Barton and Johnson, 2004). Sin embargo, aún no se conoce bien cuál es el origen y cuáles son los

procesos de deformación regional/distrital que ocurren durante la formación de este tipo de yacimientos.

La Cordillera de Los Andes es uno de los dominios geológicos más jóvenes que alberga este tipo de yacimientos en el mundo, lo cual se traduce en una menor modificación acumulada de estos a lo largo del tiempo (como por ejemplo de metamorfismo o deformación) (Sillitoe, 2003). Por esto, el entendimiento de los procesos geológico-estructurales que participan en la formación de los yacimientos de Cu en el norte de Chile resulta fundamental para entender de mejor manera el origen de los IOCG; sobre todo el estudio de aquellos yacimientos asociados espacial y temporalmente a rocas intrusivas y/o volcano-sedimentarias de edad cretácica.

1.3. Objetivos del estudio

El objetivo general de este estudio es entender mejor los procesos geológico-estructurales que participan en la generación de yacimientos de Cu (Au) cretácicos del centro – norte de Chile. Para esto se ha utilizado el yacimiento Panulcillo como caso de estudio, el cual se ubica en la IV Región a 20 km al noroeste de la ciudad de Ovalle y es propiedad de ENAMI (Empresa Nacional de Minería).

Este yacimiento fue seleccionado debido a que el número de este tipo de yacimientos en la zona centro de Chile es bajo en comparación a la zona norte (II y III Región), por lo cual el conocimiento sobre la naturaleza y edad de estos yacimientos en la IV Región son menores. Esto, a su vez, abre la posibilidad de comprender mejor los procesos que han generado los yacimientos de Cu (Au) cretácicos en la IV Región de Chile. Los objetivos específicos son los siguientes:

1. Establecer las principales asociaciones de minerales de alteración en el yacimiento y su distribución espacial.
2. Determinar la naturaleza de la mineralización principal y su distribución espacial.

3. Entender el rol que cumplen las fallas en la formación y modificación de la distribución espacial de los cuerpos mineralizados.
4. Comprender el origen y evolución de la mineralización del yacimiento Panulcillo

1.4. Ubicación y accesos del área de estudio

El yacimiento Panulcillo se ubica a 15 kilómetros al noroeste de la ciudad de Ovalle, provincia del Limarí, IV Región de Coquimbo [fig 1-10]. Las coordenadas UTM centrales del yacimiento son 6.628.100 Norte y 287.000 Este (PSAD56), y su altitud media es de 700 msnm en superficie.

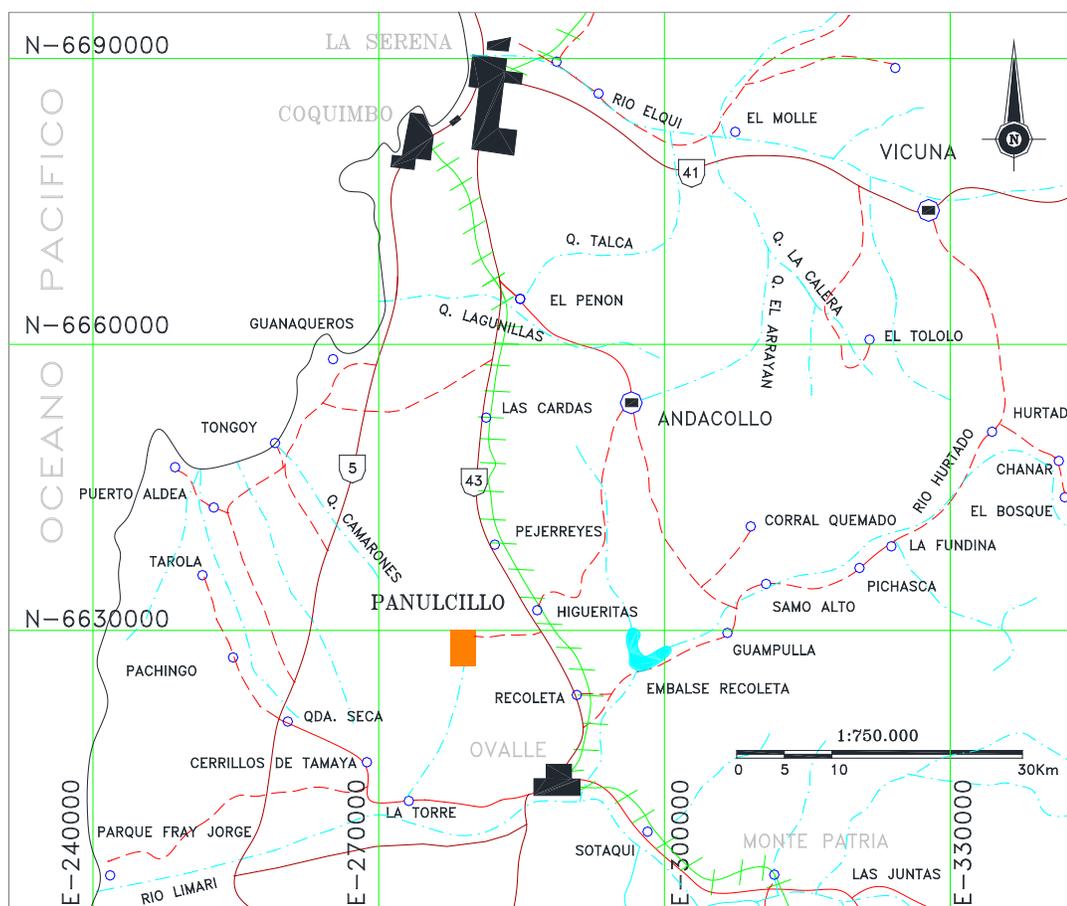


Figura 1 - 10. Ubicación y accesos de Panulcillo Alto, coordenadas UTM en PSAD56. Fuente: Enami

El acceso al sector del yacimiento es expedito a través de la ruta 43, a 15 Km al norte de Ovalle o a 70 Km al sur de La Serena, donde en el sector del paradero Panulcillo se debe continuar hacia el poniente por alrededor de 6 Km a través de un camino pavimentado. Los accesos locales a labores tanto en superficie como subterráneas son caminos de tierra.

1.5. Marco Geológico

1.5.1. Estratigrafía

La geología de la zona de estudio está caracterizada por una secuencia volcánica del Jurásico Superior limitada al este por la Falla Romeral (FR) de actitud general NS/80E, que la pone en contacto con una secuencia volcánica del Cretácico Inferior. Esta última es intruida por intrusivos graníticos a dioríticos de edad similar (Emparán y Pineda, 2006) [fig 1-11].

Según Emparán y Pineda (2006), la unidad Jurásica corresponde al Complejo Volcánico Agua Salada (143 – 162 Ma) (ver en [tabla 1-1] edades de las principales unidades geológicas de la región), y se estima que regionalmente esta unidad presenta un espesor que puede alcanzar 6400 m sin presentar base ni techo expuestos. La facie basal está constituida por una alternancia de lavas y tobas andesíticas (líticas, vítreas y de cristales) con escasas areniscas y calizas intercaladas (Jas(a)). Sobre esta unidad se ubican ignimbritas con intercalación de andesitas volcánicas (Jas(b)), y en el techo se encuentra una unidad subvolcánica constituida por andesitas porfíricas y ocoitas, pórfidos dioríticos y andesíticos; los que forman stocks, filones y diques (Jas(c)). El ambiente depositacional de esta unidad corresponde a un ambiente geológico de gran actividad volcánica en un régimen extensivo, con acumulación de material sedimentario en pequeñas cuencas. Emparán y Pineda (2006) sugieren un paleo-ambiente continental de cordones volcánicos con discretos cauces y cuencas sedimentarias intramontanas.

El Complejo Volcánico Agua Salada (Jas) tiene rumbo general NNW y manteo al este (Emparán y Pineda, 2006), aunque en el borde adyacente a la FR la tendencia del rumbo es N15W y del manteo 70W, lo cual ha sido reconocido en este trabajo. Está intruido por la unidad JKd de 143 a 151 Ma, la cual consiste en monzodioritas cuarcíferas de anfíbola – piroxeno, dioritas cuarcíferas y dioritas de anfíbola – piroxeno – biotita, con una

variación transicional entre los distintos tipos petrográficos, de grano medio a grueso con textura porfírica en algunas zonas (Emparán y Pineda, 2006).

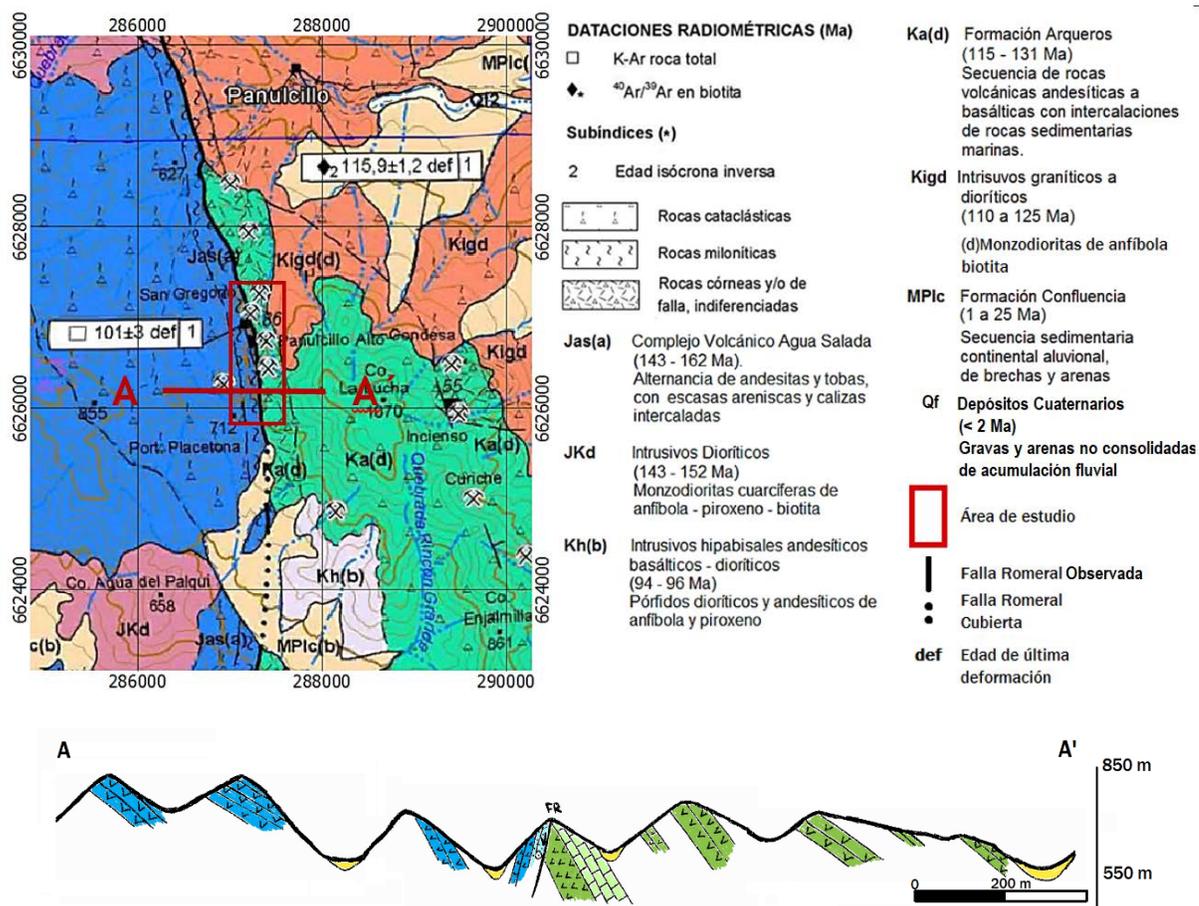


Figura 1 - 11. Geología Regional de la zona de estudio (Emparán y Pineda, 2006), junto a Sección esquemática A – A' sobre la geología regional de la zona de estudio (Fuente: este trabajo). Azul: Jas(a); Verde: Ka(d); Naranja: MPlc(b). Como se verá en el Capítulo de Geología Local, esta sección es distinta a lo que se ha reconocido en este trabajo y en trabajos previos realizados en la zona de Panulcillo (Araya, 1998; Río Tinto, 2001).

La unidad Cretácica corresponde a la Formación Arqueros (Ka), una secuencia de rocas volcánicas andesíticas a basálticas con intercalaciones sedimentarias marinas (calizas, areniscas y lutitas), la cual tiene un rango de edad de 115 – 131 Ma (Emparán y Pineda, 2006). Posee un espesor máximo conocido de 5000 m sin base expuesta, y subyace a la Formación Quebrada Marquesa (también del Cretácico Inferior y ubicada al este de la

Formación Arqueros). El ambiente depositacional de esta unidad corresponde a un sistema de rift con importante actividad volcánica donde en cuencas se acumularon lavas e ignimbritas y también estratos sedimentarios marinos en un ambiente marino somero (Emparán y Pineda, 2006). En la zona de estudio, estos autores no describen calizas. Sin embargo, a lo largo de este trabajo sí se ha reconocido este tipo de roca, lo cual será descrito en el capítulo de Resultados.

La facie (d) ubicada en la zona de estudio, es definida como una facie de rocas piroclásticas (tobas y brechas) de composición basáltica – andesítica a andesítica dacítica, con escasas intercalaciones de lavas; y de actitud N45W/30E (Emparán y Pineda, 2006). Los autores también destacan la existencia de rocas de falla y cornificación derivadas de una sobreposición de eventos de deformación tectónica frágil y dúctil y de un metamorfismo termal, representado por cataclasitas, milonitas, brechas de falla y rocas córneas.

Emparán y Pineda (2006) describen que los intrusivos graníticos a dioríticos (Kigd) que intruyen a la Formación Arqueros tienen una edad de 110 a 125 Ma. Estos son en su mayoría dioritoides de grano medio a grueso con tendencia porfírica, y en menor medida granitoides de grano fino. La facie Kigd(d) está definida como monzodioritas de anfíbola y biotita, la cual tiene una edad de K-Ar en biotita de 122 Ma y 115 Ma Ar-Ar al norte del yacimiento Panulcillo. La FR limita estos intrusivos por el oeste, y en el núcleo de esta falla estos intrusivos se encuentran foliados presentando cataclasitas y milonitas. Al norte del yacimiento Panulcillo, esta foliación es subvertical con actitud N13W/86E.

La Formación Arqueros, según Emparán y Pineda (2006), también está intruida por intrusivos hipabisales andesíticos, basálticos y dioríticos de 94 a 96 Ma (Kh(b)). Estos son descritos como pórfidos de anfíbola y piroxeno de textura porfídica a afanítica con cristales menores a 6 mm, los que ocurren en forma de stocks y diques de variados rumbos y tamaños (hasta 12 m de potencia). En el contacto de estos con las rocas de caja generalmente presentan óxidos de Cu y a veces calcopirita, con magnetita y hematita en la masa fundamental.

La Formación Confluencia (MPlc), que comprende el Mioceno y Pleistoceno (25 a 1 Ma aproximadamente), consiste en una secuencia sedimentaria continental (arenas y gravas) de hasta 100 m de espesor, que forma planicies y terrazas en valles y quebradas principales (Emparán y Pineda, 2006). La unidad MPlc(b) consta de facies aluvionales compuestas por bloques gruesos unidos por limo y arena; con brechas oligomícticas de mediana a baja consolidación. Esta Formación se habría depositado en un ambiente continental con precipitaciones suficientes para erosionar y transportar fragmentos líticos muy gruesos (Emparán y Pineda, 2006).

1.5.2. Sistemas de falla regionales



Figura 1 - 12. Trazas del Sistema de Fallas de Atacama (SFA), cuyo segmento sur (en azul) corresponde a la Falla Romeral definida por Emparán y Pineda (2006). Fuente: modificado de Aguilar et al, 2013

Emparán y Pineda (2006) reconocen una estructura de carácter regional en el lugar de estudio llamada Falla Romeral (FR), la cual corresponde al tramo sur del Sistema de Fallas de Atacama (SFA) [fig 1-12].

El SFA ha sido dividido en tres segmentos al norte de la FR, los cuales de norte a sur corresponden al Segmento Salar del Carmen, Segmento Paposo y Segmento Salado [fig 1-13].

En el Segmento Salar Del Carmen al este de Antofagasta, el SFA posee orientación N15-20E y ha sido segmentado por fallas menores de orientación NW (González y Carrizo 2003; Larsen, 1988).

En el Segmento Paposo, se ha identificado un movimiento siniestral donde se han reconocido fallas NW que segmentan al SFA de forma siniestral (Scheuber y Andriessen, 1990; Brown et al, 1991;

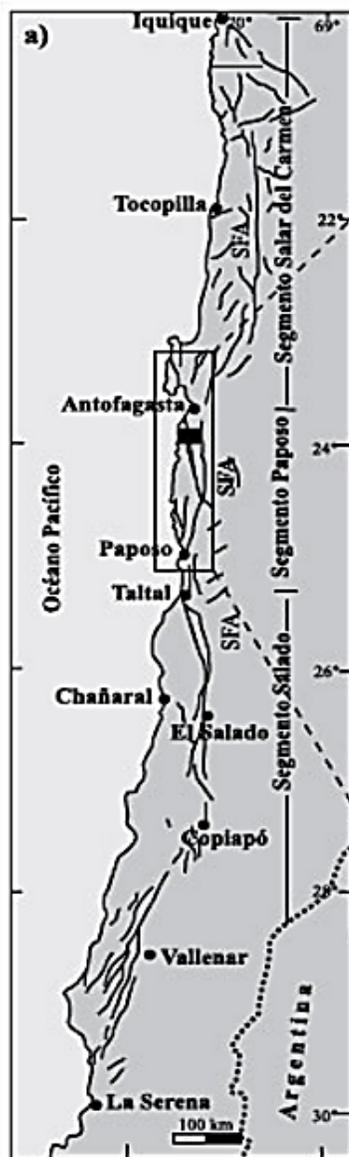


Figura 1 - 13. Sistema de Fallas de Atacama. Modificado de Olivares *et al.* (2010)

Olivares *et al.*, 2010). En este segmento se ha registrado la actividad más antigua del SFA que data de 139 ± 5 Ma (K-Ar en roca total), en una zona donde se ubica el Sistema de Falla Izcuña perteneciente al SFA (Hervé, 1987). Esta falla posee 60 km de largo, y se le ha atribuido un movimiento sinistral de 34 km producto de la subducción oblicua de esa época, movimiento que fue reconocido gracias a la distancia existente entre los extremos de un plutón granodiorítico que fue seccionado y desplazado (Hervé, 1987).

En el Segmento Salado, Thiele y Pincheira (1987) describen que el SFA corta y delimita cuerpos plutónicos, participando en el ascenso de estos y también deformándolos de forma dúctil cuando el material intrusivo aún estaba caliente, dado a que se presentan milonitas pero también cataclasitas. El cizallamiento habría continuado en el Cretácico Superior con característica dúctil – rígida. Estos autores también describen la existencia de fallas NW, las cuales se habrían generado a fines del Cretácico y desplazan de forma sinistral las trazas principales del SFA por una distancia de 500 m a 1000 m.

El SFA tiene una relación espacial y temporal muy estrecha con la formación de yacimientos de distintos tipos, tales como (1) IOCG (Candelaria, Manto Verde) y (2) pórfidos cupríferos (Inca de Oro, Andacollo) [fig 1-14]: el SFA es la representación física de los distintos regímenes tectónicos que se han desarrollado como consecuencia de distintas tasas de convergencia y el nivel de acople entre las placas tectónicas oceánica y continental (Richards *et al.*, 2017). Durante los 130 a 124 Ma existió un régimen de extensión – transtensión sinistral,

el cual debido a un cambio en las condiciones regionales de stress migró a un régimen transtensional provocando una cinemática de rumbo siniestral entre los 124 – 110 Ma (Cembrano et al, 2009). Finalmente, un nuevo cambio en las condiciones de stress regionales provocaron un régimen transpresional hasta compresivo entre los 110 – 80 Ma aproximadamente (Cembrano et al, 2009).

Sin embargo, en el yacimiento IOCG Dominga ubicado en la IV Región de Chile a aproximadamente 120 km al norte de Panulcillo, se han reconocido evidencias que apuntan a la existencia de un movimiento de rumbo dextral de estructuras NE – E previo y no relacionados al SFA, el cual canalizó la mineralización principal del yacimiento cerca de los 130 – 127 Ma (Velooso et al, 2016). El movimiento de estas estructuras habría sido causado por un régimen transtensional cuyo esfuerzo principal general tendría dirección NW. Luego a los 125 Ma aproximadamente este esfuerzo principal habría rotado en 15° hacia el E generando un régimen transpresivo hasta cercano a los 90 Ma, donde con una rotación en 25° hacia el W originó un régimen transtensional. Finalmente, entre los 80 a 40 Ma habría rotado en 10° hacia el E generando un régimen transpresivo (Velooso et al, 2016).

En el yacimiento IOCG El Espino, ubicado en la IV Región de Chile cercano a la ciudad de Illapel, también han sido reconocidas estructuras NNW a NNE con cinemáticas dextrales que están relacionadas espacialmente con la mineralización de Cu, aunque en este caso el yacimiento tiene cerca de 90 Ma.

La Falla Romeral se ha reconocido desde el sur de Ovalle (Emparán y Calderón, 2014) hasta el norte de La Serena (Emparán y Pineda, 2000) con un largo superior a 100 km. Estos autores señalan que la falla principalmente pone en contacto rocas del Jurásico Superior (Jas(a)) con rocas del Cretácico Inferior (Ka), y genera una franja de milonitas en las unidades Jas(a) y Kigd y cataclasitas en la unidad Ka.

En la zona de estudio, la FR es llamada Falla Panulcillo (FP). Esta falla posee un largo cercano a 2 km, una potencia de hasta 13 m y es cortada por fallas menores de orientación NW. De la FP nacen fallas subsidiarias de orientación general NNE - SSW, las cuales

tienen una cinemática normal y han desplazado en la vertical bloques de la Formación Arqueros. La FP ha generado milonitas y cataclasitas en su núcleo, afectando tanto al Complejo Volcánico Agua Salada al oeste de la falla, como a la Formación Arqueros y al Intrusivo Pejerreyes al este. Esto será descrito en mayor detalle en el Capítulo 2.2 de Geología Local.

A lo largo de la FR, distintos autores han datado rocas ubicadas en la zona de daño de la falla con variados métodos [tabla 1-1], resultando un rango de entre 115 – 100 Ma en el sector ubicado desde el norte de la Serena hasta el sur de Ovalle (Emparán y Pineda, 2000; Emparán y Pineda, 2006; Emparán y Calderón, 2014).

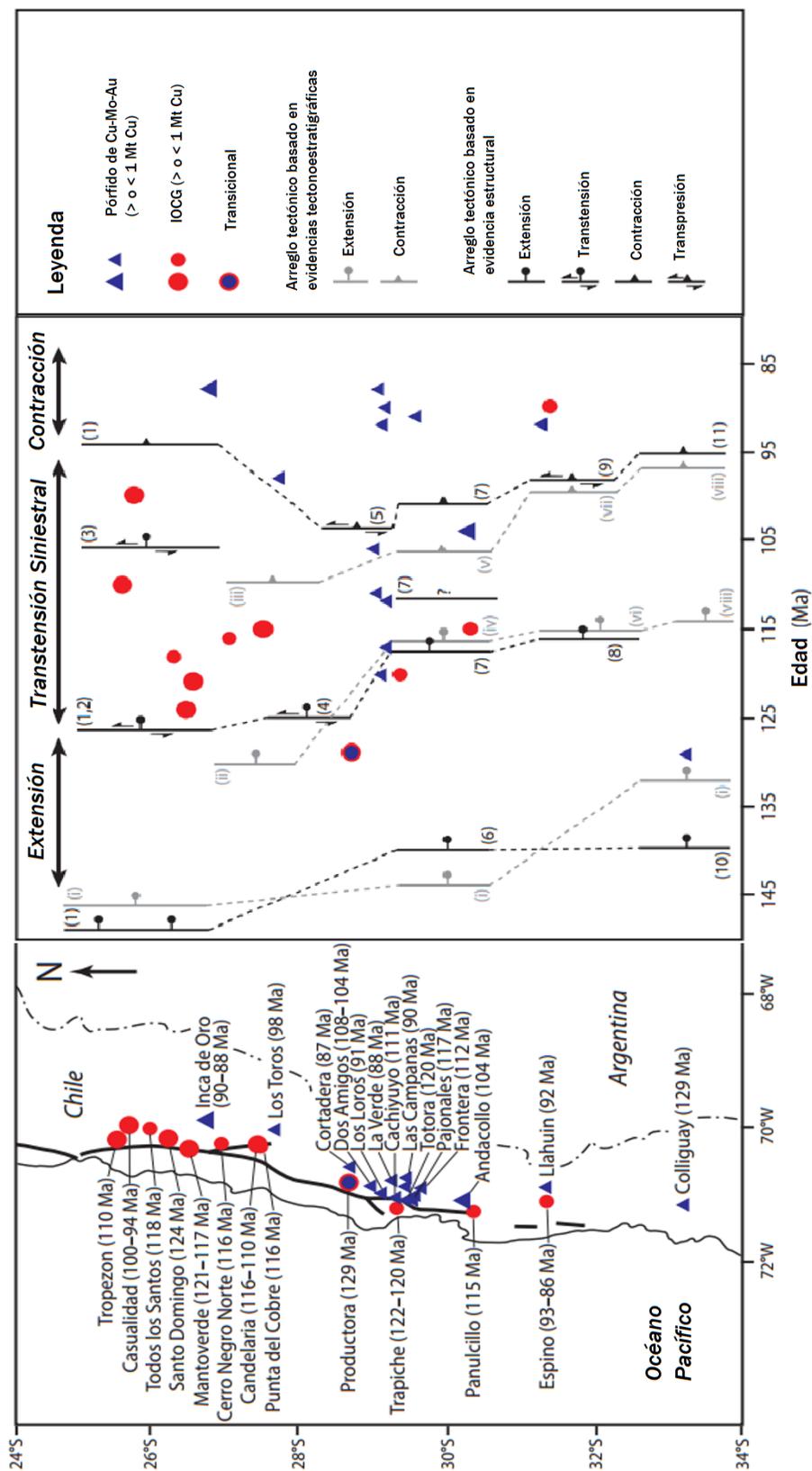


Figura 1 - 14. Distribución, temporalidad y arreglo tectónico de Pórfidos de Cu-Au y depósitos IOCG del Cretácico, en la Cordillera de la Costa del Norte de Chile. a) Distribución geográfica de los depósitos y relación espacial con el SFA (edad de los depósitos en Ma mostrada en paréntesis) b) Separación temporal y tectónica de pórfidos e IOCG. Fuente: Richards *et al.*, 2017.

Tabla 1- 1. Edades y métodos de datación para distintas unidades litológicas ubicadas en torno a la zona de estudio

Ubicación	Unidad litológica	Método	Edad y error analítico	Referencia
Norte de La Serena	Jas	K – Ar roca total	146 ± 6 Ma	Emparán y Pineda, 2000
	Kigd	K – Ar en biotita	124 ± 3 Ma	
		K – Ar en biotita	127 ± 7 Ma	
		K – Ar en biotita	111 ± 3 Ma	
		K – Ar en anfíbola	110 ± 6 Ma	
		K – Ar en anfíbola	110 ± 5 Ma	
	Último movimiento de la FR	K – Ar en roca total	115 ± 4 Ma	
		K – Ar en biotita	113 ± 3 Ma	
		K – Ar en roca total	108 ± 4 Ma	
		K – Ar en biotita	108 ± 3 Ma	
K – Ar en roca total		100 ± 2 Ma		
Sur de La Serena sur de Panulcillo	Ka	Fósil en caliza	Berrisiano - Hauteriviano	Emparán y Pineda, 2006
	Kigd	Ar – Ar en anfíbola	121,8 ± 0,8 Ma	
		Ar – Ar en biotita	115 ± 1,4 Ma	
		Ar – Ar en biotita	113,1 ± 2,4 Ma	
	Último movimiento de la FR	K – Ar roca total	101 ± 3 Ma	
Norte de Ovalle a Sur de Ovalle	Jas	U – Pb en circón	143,3 ± 1,1 Ma	Emparán y Calderón, 2014
	Jkd	Ar – Ar en biotita	139 ± 0,6 Ma	
		K – Ar en biotita	136 ± 3 Ma	
	Ka	Fósil en caliza	Valalginiano	
		Fósil en caliza	Hauteriviano	

		Fósil en caliza	Aptiano	
	Kigd	K – Ar en biotita	112 ± 3 Ma	
		Ar – Ar en biotita	108,9 ± 0,7 Ma	
		K – Ar en biotita	106 ± 3 Ma	
		K – Ar en biotita	103 ± 3 Ma	
	Último movimiento de la FR	Ar – Ar en biotita	106,5 ± 0,4	

1.6. Geología Local de la zona de estudio

1.6.1. Antecedentes geo-mineros del yacimiento Panulcillo

El yacimiento Panulcillo ha sido explotado desde el siglo XIX por diversas compañías y pirquineros que producían tanto óxidos como sulfuros de cobre (González, 1954). Comprende cuatro zonas principales que han sido llamadas como (Araya et al, 1998; Emparán y Pineda, 2006) [fig 1-15 y 1-16]:

- Panulcillo Alto: conjunto de laboreos subterráneos y rajos antiguos, donde se explotaban óxidos de cobre desde la superficie hasta 40 m de profundidad.
- Panulcillo Bajo o San Gregorio: principal mina antigua del yacimiento, explotada por sulfuros de cobre entre las cotas 700 a 570 aproximadamente.
- Asunción: mina antigua al norte del yacimiento explotada por óxidos de cobre.
- Mina Delta o Mina Panulcillo: explotación de sulfuros de cobre que comenzó en 2009 a cargo de ENAMI y se mantiene hasta hoy. Hasta la fecha se han extraído 4 millones de toneladas a una ley media de 1% aproximadamente, entre las cotas 545 y 445.



Figura 1 - 15. Zonas de explotación en el yacimiento Panulcillo (vista en planta)

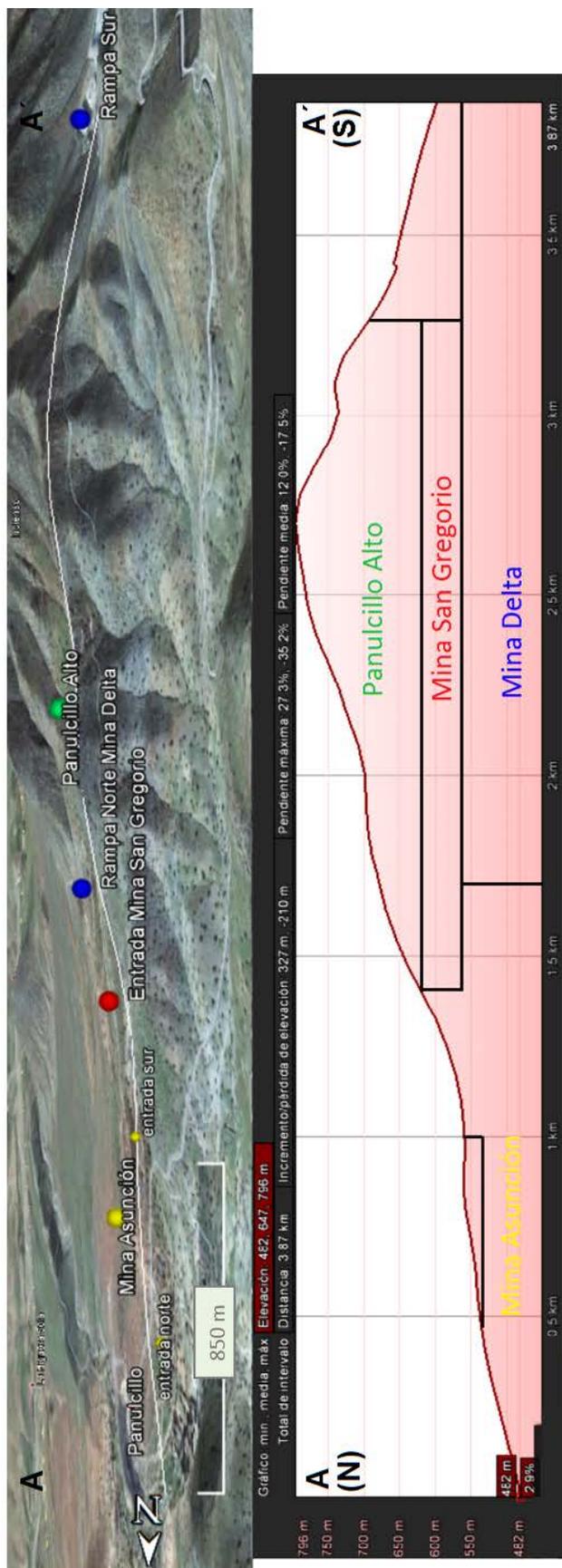


Figura 1 - 16. Zonas de explotación en el yacimiento Panulcillo (vista en sección NS). Algunas de las explotaciones de Panulcillo Alto tenían piques por los que caía el mineral hacia zonas de acopio de la mina San Gregorio. Luego, el mineral era extraído en carros desde un nivel principal de transporte. A su vez, la mina San Gregorio posee túneles y piques de reconocimiento profundos que conectan con la Mina Delta. Las labores de la Mina Delta han avanzado por sobre labores de la mina San Gregorio, dejando al descubierto túneles y piques sumamente antiguos (algunos del año 1800). Aún es posible abrir camino desde Panulcillo Alto a la Mina Delta, bajando por caserones y piques mediante cuerdas.

La producción del yacimiento y la ley media del mineral a lo largo de su historia se han estimado con datos históricos y datos de la explotación actual [fig 1-17] (González, 1954; Empresa Nacional de Minería, 2015), junto con cálculos aproximados del tonelaje extraído de todas las labores y caserones. Este ejercicio, realizado en el marco de esta tesis, da como resultado que en la historia del yacimiento se han explotado unos 7 millones de toneladas de mineral a una ley media de 2% CuT. Las reservas remanentes estimadas corresponden a cerca de 3 millones de toneladas a una ley media de 1% CuT (dato calculado con el modelo de bloques del yacimiento, confidencial).

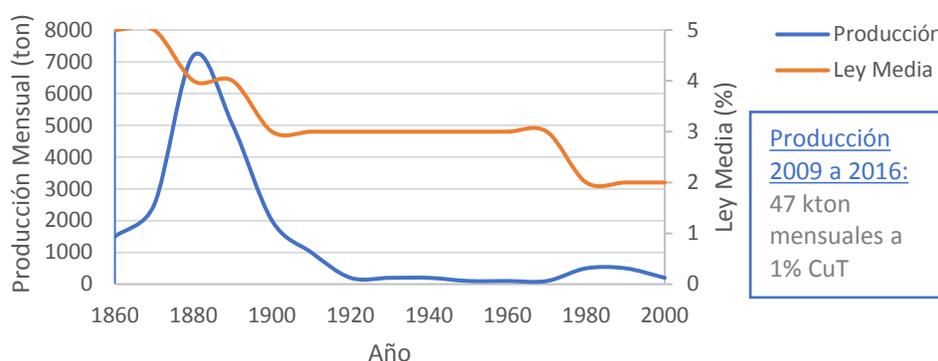


Figura 1 - 17. Producción y ley media aproximadas del yacimiento Panulcillo a lo largo de su historia

1.6.2. Geología distrital del yacimiento Panulcillo

Los principales trabajos geológicos realizados con anterioridad consisten en el trabajo de Araya et. al (1998), Sugaki et. al (2000) y Río Tinto (2001).

Araya (1998) describe una secuencia estratigráfica que consiste, de base a techo, en (1) una intercalación de rocas volcánicas andesíticas con tobas piroclásticas de similar composición, seguida de (2) una “unidad sedimentario – metamórfica” compuesta por calizas, mármoles, skarn y anfibolitas; y finalmente (3) una unidad de andesitas volcánicas basales intercaladas con lutitas. El autor describe rocas microgranodioríticas aledañas al

Plutón, y establece que estas serían el resultado de un metamorfismo de contacto sobre la unidad (1). También señala que las facies metamórficas de la unidad (2) son resultado de este metamorfismo de contacto. Finalmente, establece que una unidad de anfibolitas con alteración de biotita ubicada en las cercanías del Plutón se habría generado producto de este metamorfismo de contacto sobre la unidad (3).

Río Tinto (2001) concuerda con la secuencia estratigráfica y el metamorfismo de contacto causado por el Intrusivo Pejerreyes descrito por Araya (1998). Sin embargo, describe que las rocas volcánicas andesíticas han sido recrystalizadas en hornfels de grano fino. También describe que entre rocas volcánicas andesíticas y sedimentos calcáreos ocurrieron reacciones metasomáticas que produjeron skarn a lo largo de la zona de contacto, aludiendo a que a diferencia de lo planteado por Araya (1998), la formación de skarn no fue directamente producida por el Intrusivo Pejerreyes. Por otro lado, Río Tinto (2001) destaca la presencia en el norte de una gran falla con actitud NNW/60-70W que podría ser la causante de una foliación en el Intrusivo de similar actitud.

En cuanto a la presencia de minerales de Cu, Araya (1998) describe en la unidad (3) una alteración de sílice bandeada y brechoidal asociada a un horizonte de leyes de Cu mayores a 1% intercalado con horizontes de ley menor a 0,5%, ambos con formas lenticulares. El autor señala que estos cuerpos se adelgazan hacia el suroeste y se engruesan hacia el este y menores elevaciones.

Araya (1998) también establece que un metamorfismo progradante habría generado pirrotina, pirita, calcopirita y magnetita como recrystalizaciones de mineral in situ en el skarn, con escasa removilización y aporte extra. En cambio, por un metasomatismo retrógrado hidrotermal y presencia de fluidos a diversas temperaturas se habrían generado asociaciones de minerales de alteración de tipo silíceo, biotítico, clorítico y cuarzo – sericítico en conjunto con una removilización de minerales metálicos preexistentes, generando pirita, calcopirita y bornita; y un aumento de la concentración de Cu en cuerpos minerales. Por ende, existirían dos eventos mineralizadores. Araya (1998) describe que la

mineralización ocurre de forma diseminada y en microvenillas, y señala que no observó vetillas mayores a 1 cm.

Río Tinto (2001) también describe dos estilos de mineralización que concuerdan con los descritos por Araya (1998): uno en el skarn de granate que consiste en calcopirita rellenando intersticios, y otro en los hornfels (o rocas volcánicas andesíticas definidas por Araya (1998)) con calcopirita y bornita diseminadas y en vetillas, en rocas fracturadas con alteración potásica. Río Tinto (2001) señala que estas rocas están envueltas por un halo de intensa alteración de magnetita que ocurre de forma diseminada, y concluye que estos dos tipos de ocurrencia de mineralización de Cu genera dos cuerpos mineralizados mantiformes: el desarrollado en el skarn y explotado en los Rajos Caracoles, Mina Nueva y Rosario (ver figura 2-6); y el ubicado en rocas silicificadas o afectadas con alteración potásica. Ambos cuerpos presentarían potencias de 10 a 100 m, con extensiones de cientos de metros en dirección NS y EW.

En cuanto a las fallas existentes en el yacimiento, Araya (1998) describe una falla en el sector norte, con actitud NNE/83-70W a NS/70-80W. También describe la Falla San Gregorio Norte con actitud NW/70-86SW y cinemática inversa. Al centro del yacimiento en el Rajo Mina Nueva (ver figura 2-6) describe una falla NE/60NW, y al sur describe la Falla Panulcillo con actitud NNW/90-70W. Todas las fallas serían post-mineral. Río Tinto (2001) en cambio, no realiza una descripción detallada de la geometría, cinemática y edad relativa de las fallas.

Con respecto a estudios paragenéticos del yacimiento, Río Tinto (2001) destaca las siguientes etapas de forma cronológica:

1. Recristalización producto del metamorfismo de contacto asociado al Intrusivo Pejerreyes, asociada a K y Fe (biotita, magnetita, piroxeno, anfíbol). Etapa estéril.
2. Enriquecimiento en Si, K y Na que removiliza minerales máficos dejando rocas silicificadas de color rosáceo. Etapa estéril.

3. Evento tectónico en que las rocas silicificadas son brechizadas y milonitizadas. Las rocas calcáreas son plegadas. Etapa estéril.
4. Evento mineralizador de calcopirita, pirita y bornita, acompañado de feldespato potásico, cuarzo, magnetita, piroxeno y clorita. Ocurre como vetillas y vetas en las rocas de caja; y en la matriz de las brechas silicificadas.
5. Formación de vetillas de epidota, cuarzo, calcita, clorita y albita; con menor pirita. Posible cloritización de minerales máficos.
6. Evento de origen supérgeno que incluye alteración de sericita, caolín, limonitas y tal vez clorita.

Sugaki et. al (2000) en cambio, al haber estudiado solamente el skarn de Panulcillo, define las siguientes etapas:

1. Etapa de metamorfismo progrado, donde se forman granate y piroxeno.
2. Etapa de mineralización del skarn, donde anfíbolos como hornblenda y actinolita; y micas como biotita acompañan minerales como magnetita, pirita, pirrotina, calcopirita, esfalerita y galena.
3. Etapa de alteración supérgena, con minerales como clorita, calcita, cuarzo, hematita y goethita acompañando a covelina.

Todos estos antecedentes serán discutidos en el Capítulo de Discusión.

1.6.3. Antecedentes geoquímicos del yacimiento Panulcillo

En el año 2001, la empresa Río Tinto desarrolló el único estudio geoquímico que se ha llevado a cabo en el yacimiento Panulcillo previo a este trabajo. El estudio fue realizado en base a 88 muestras de roca tomadas cada 50 m a lo largo de tres líneas de dirección E-W perpendiculares al yacimiento, ubicadas en la zona norte, central y sur [fig 1-18]. Estas fueron analizadas por AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*) de los elementos Au, Cu y

Zn, con el objetivo de conocer si existían anomalías o “altos” geoquímicos para determinar blancos de interés antes de realizar una campaña de sondajes.

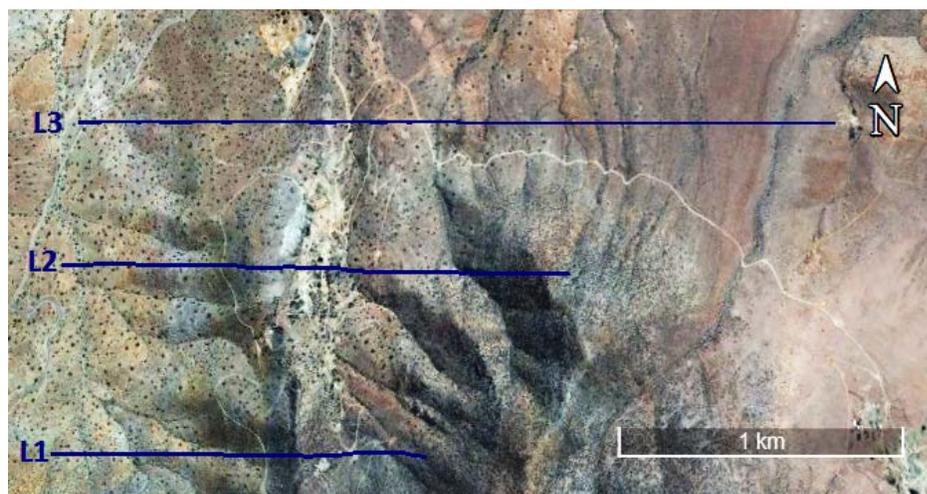


Figura 1 - 18. Líneas geoquímicas realizadas por Río Tinto, 2001. Las coordenadas de inicio y fin de cada línea son las siguientes (WGS84): L1: (285900 ; 6627220) y (287300 ; 6627220) ; L2: (285900 ; 6627870) y (287800 ; 6627870) ; L3: (285950 ; 6628420) y (288800 ; 6628420).

Con los resultados de laboratorio [tabla A2 14], Río Tinto realizó un gráfico para cada línea, indicando la concentración de Au, Cu y Zn de cada muestra [fig 1-19].

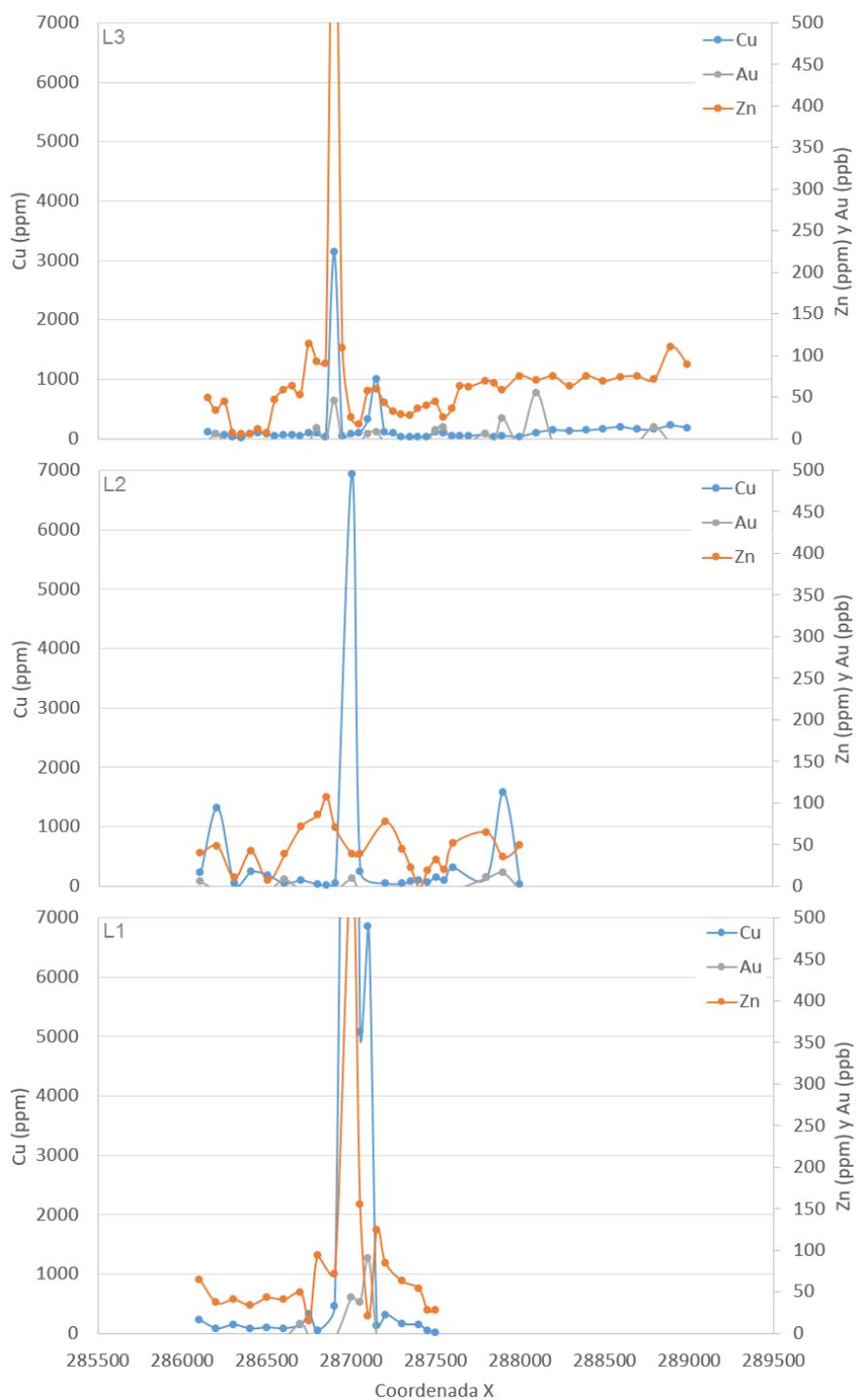


Figura 1 - 19. Concentración de Au, Cu y Zn de muestras tomadas por Río Tinto en líneas 1,2 y 3 [fig 18] y sección geológica (Azul: Jurásico; Verde: Cretácico). Fuente: modificado de Río Tinto, 2001.

A partir de los datos de Río Tinto (2001), se ha generado en este trabajo una matriz de correlación para conocer cómo se relacionan los elementos Au, Cu y Zn entre sí. Esta matriz corresponde a la [tabla 1-2].

Tabla 1- 2. Matriz de correlación entre los elementos Au, Cu y Zn. Fuente: realizada a partir de los datos de Río Tinto, 2001.

	Au	Cu	Zn
Au	1		
Cu	0.54	1	
Zn	0.43	0.59	1

1.7. Metodología

Las metodologías utilizadas para cumplir cada objetivo son las siguientes:

1. a) Se realizó un mapeo de superficie a escala 1:10.000 para conocer y caracterizar las unidades geológicas principales de Panulcillo utilizando imágenes de alta resolución y papel transparente, el cual se colocó sobre la imagen para dibujar los límites de las litologías evidenciadas en terreno. Esto se complementó con puntos tomados por gps en el datum WGS84 y registrando la información en una libreta de terreno (ver mapa en Capítulo de Resultados y puntos de control en [tabla A1 2, anexo 1]).
- b) Se realizó un mapeo de superficie a escala 1:20.000 para conocer y caracterizar límites de las distintas asociaciones de minerales de alteración y minerales de Cu, registrando la información en papel transparente de la misma forma con la cual se realizó el mapa de litologías (Capítulo de Resultados). Además, se tomaron puntos con gps y se anotaron observaciones en la libreta de terreno.

- c) Se tomaron muestras representativas de cada afloramiento, resultando un total de 17 muestras. Estas fueron tomadas para ser enviadas a un laboratorio y realizar análisis petrográficos y calcográficos, y así confirmar litología, alteración y mineralización. Las descripciones de terreno de estas muestras se encuentran en la [tabla A1 1, anexo 1].
- d) Se tomaron 6 muestras de roca en algunos afloramientos para datar y así conocer las edades absolutas de algunas litologías (Capítulo de Resultados). Las muestras fueron preparadas por la autora y luego enviadas a datación con el método de U/Pb en circones, para lo cual se dataron entre 5 a 60 circones por cada muestra dependiendo de la existencia de estos.
2. Se registraron datos de fallas mesoscópicas con brújula Brunton, geoflex, huincha de medir y GPS. Los datos registrados fueron rumbo, manteo, características como relleno de falla, desplazamiento, ancho de la falla y zona afectada, evidencia de estrías, rake y cinemática según los criterios de Doblas (1998) (ver datos de falla en Capítulo 2.2.3). La ubicación de las fallas principales fue representada en el mapa de litologías mediante líneas (Capítulo de Resultados). Los datos como rumbo, manteo y rake de estría fueron ingresados en el programa Faultkin (Marrett and Allmendinger, 1990; Allmendinger et. Al, 2012), para graficar todos los planos de falla medidos para cada falla en una red de Schmidt y conocer, en el caso de que se cuente con datos de estría, cuáles son las direcciones de máximo y mínimo acortamiento compatibles con las fallas medidas.
 3. Se tomaron 57 muestras de distintos afloramientos para ser enviadas a un laboratorio y realizar análisis geoquímicos de ICP – MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) (e.g. Taylor, 2001), para conocer la concentración de ciertos elementos y detectar anomalías geoquímicas por litología y su relación espacial con la mineralización. La descripción de terreno de las muestras se encuentra en el Capítulo de Resultados. Luego, se generaron mapas de anomalías geoquímicas por elemento para conocer si existen halos o zonaciones geoquímicas sobre el yacimiento y se compararon los resultados de las muestras con

mineralización v/s sin mineralización (ver mapas en [fig A2 50 – A2 66], anexo 2]). Finalmente, se generaron grupos de correlación de elementos para poder determinar en conjunto con la zonación de anomalías, si existió más de un evento mineralizador en el yacimiento y ubicarlos dentro de una línea temporal según la asociación que tengan con distintas litologías (Capítulo de Resultados).

A continuación se detallan algunas de las metodologías específicas.

1.7.1. Análisis petrográficos y calcográficos

Se seleccionaron muestras de distintos afloramientos para ser analizadas por petrografía y calcografía (descripción en [tabla A1 1, anexo 1]; y ubicación en [fig A1 1, A1 2 y A1 3, anexo 1]). Esta selección se realizó luego de haber recorrido la zona de estudio, eligiendo muestras que ayudarían a definir de mejor manera algunos elementos clave como litología y asociaciones de minerales de alteración y mineralización de Cu. Las muestras fueron enviadas al laboratorio de ALS Globals en Perth, Australia; donde realizaron los análisis de la siguiente forma:

- a) Se tomaron fotografías de cada una de las muestras recibidas de forma macroscópica, con una escala métrica y en condiciones húmedas para realzar contrastes de la roca.
- b) Cada muestra fue seccionada en forma representativa en pequeños cortes de aproximadamente 24 x 35 mm, los cuales fueron insertados y pegados en placas de vidrio de aproximadamente 27 x 46 mm. Las muestras poco cohesivas o fáciles de desintegrar (RP15, RP55, RP71 y RP75) fueron tratadas previamente con una resina para poder realizar el corte.
- c) El grosor de cada placa de vidrio fue reducido a aproximadamente 1,115 mm en una máquina especializada (Logitech PM5-1AP55).

- d) El grosor de cada corte de roca fue reducido a 35 μm aproximadamente (entre 34 a 38 μm) y finalmente pulido, obteniendo un grosor final de aproximadamente 30 μm . Con esto se generaron “secciones delgadas y pulidas” que permiten realizar petrografía y calcografía en un solo corte.
- e) Se colocaron los cortes en el microscopio Leica DMLP y se tomaron fotografías con distintos aumentos utilizando variados tipos de luz: PPL (*plane polarised light*), XPL (*crossed polarised light*), RPPL (*reflected plane polarised light*) y RXPL (*slightly uncrossed transmitted and reflected plane polarised light*).
- f) En base a todas las fotografías y a lo observado en el microscopio un especialista realizó la descripción y análisis de cada muestra.

1.7.2. Dataciones U-Pb en circones (e.g. Leisen et al., 2015)

Las dataciones U-Pb de circones fueron realizadas en el Laboratorio de Geología Isotópica del Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes (CEGA), ubicado en el Departamento de Geología de la Universidad de Chile.

Para realizar las dataciones se utilizó la técnica LAICP-MS, la cual no solo permite determinar la composición de elementos traza, sino también la composición isotópica y la edad de diversos minerales tales como el circón. Se realizaron dataciones de U-Pb en circón debido a que este es un mineral accesorio presente en rocas ígneas resistente tanto a las alteraciones químicas como físicas, por lo que también se puede encontrar en rocas sedimentarias. El sistema isotópico U-Pb cristaliza a una temperatura cercana a los 800 °C, por ende este mineral se ha convertido en una herramienta extremadamente útil para determinar la edad de cristalización de rocas ígneas y la proveniencia de sedimentos de rocas sedimentarias clásticas.

La metodología utilizada para realizar la datación es la siguiente:

1. Obtención de circones: los circones se separan mediante chancado de la muestra, tamizado, separación por mesa Gemeni (mesa vibradora que permite separar minerales ultrafinos), separación magnética mediante Frantz y concentración utilizando líquidos densos.
2. Montaje de circones: los circones son montados a mano en una cinta de doble contacto junto a estándares de circón. Sobre la muestra se coloca un anillo de plástico de aproximadamente 1 cm de alto, se vierte resina sobre la muestra y se le deja endurecer durante 8 horas aproximadamente. Luego la muestra es separada de la cinta de doble contacto para pulir su superficie y lograr una máxima superficie de exposición de los circones. Para muestras magmáticas se montan unos 50 circones, mientras que para muestras detríticas se tienen más de 150 circones.
3. Análisis visual de los circones: las muestras son fotografiadas bajo la lupa para identificar fracturas e inclusiones en los granos. También se toman imágenes de catodoluminescencia (CL) de los circones para conocer zonaciones y sobrecrecimientos en los circones no visibles bajo la lupa. Esta información es muy relevante para definir la mejor zona de ablación láser (borde o centro).
4. Limpieza de la muestra: los montajes son sometidos a un baño ultrasónico con agua ultrapura para limpiar y eliminar contaminación por manipulación.
5. Ablación láser: se seleccionan zonas de 30 μm en el circón para someterla a un haz de luz (ablación) de un láser. Esto tiene una limitación asociada al tamaño de las zonas de crecimiento del circón vs el tamaño del núcleo de este, además del diámetro óptimo del haz de ablación. Un diámetro de haz muy grande puede ablacionar parte de ambas zonas, obteniéndose una mezcla de ambas zonas (“edad promedio”) que puede no tener significado geológico. Con la ablación se desprenden partículas del circón.
6. Captación de partículas desprendidas del circón: las partículas desprendidas son captadas por un flujo de gases, donde se utilizan He y Ar.

7. ICP-MS: obtención de la cantidad de isótopos de U y Pb. Esto es registrado por los programas Iolite, VisualAge e Isoplot.
8. Determinación de la edad de la muestra: los programas mencionados utilizan una serie de relaciones entre los isótopos de U y Pb para establecer un rango de la edad de la muestra.

1.7.3. Análisis ICP – MS

Se tomaron 57 muestras de distintos tipos litológicos a lo largo de toda la zona de estudio, considerando también afloramientos ubicados al interior de la Mina Delta. Las descripciones de terreno de estas muestras se pueden ver en el capítulo de Resultados. Las muestras fueron enviadas al laboratorio ALS Globals en Colina, Región Metropolitana. En este lugar se realizaron los siguientes análisis ICP - MS:

- Análisis ME-MS61L: las muestras son pulverizadas y sometidas a digestión de cuatro ácidos, donde primero son disueltas con ácido nítrico y perclórico, y luego lixiviadas con ácido clorhídrico. El laboratorio utiliza celdas de colisión y reacción para proveer límites de detección o rangos sumamente bajos. Los elementos detectados y sus rangos se presentan en [tabla 1-3].

Tabla 1- 3. ICP – MS, ME-MS61L. Elementos analizados y rangos de detección instrumental mínimo y máximo

ELEMENTOS A ANALIZAR Y RANGOS (ppm)							CÓDIGO
Ag	0.002-100	Cu	0.02-10,000	Na	0.001%-10%	Sr	0.02-10,000
Al	0.01%-25%	Fe	0.002%-50%	Nb	0.005-500	Ta	0.01-500
As	0.05-10,000	Ga	0.05-10,000	Ni	0.08-10,000	Te	0.04-500
Ba	1-10,000	Ge	0.05-500	P	0.001%-1%	Th	0.004-10,000
Be	0.02-1,000	Hf	0.004-500	Pb	0.01-10,000	Ti	0.001%-10%
Bi	0.005-10,000	In	0.005-500	Rb	0.02-10,000	Tl	0.004-10,000
Ca	0.01%-25%	K	0.01%-10%	Re	0.002-50	U	0.01-2,500
Cd	0.005-1,000	La	0.005-10,000	S	0.01%-10%	V	0.1-10,000
Ce	0.01-500	Li	0.2-10,000	Sb	0.02-10,000	W	0.008-10,000
Co	0.005-10,000	Mg	0.01%-25%	Sc	0.01-10,000	Y	0.01-500
Cr	0.3-10,000	Mn	0.2-50,000	Se	0.2-1000	Zn	0.2-10,000
Cs	0.01-500	Mo	0.02-10,000	Sn	0.02-500	Zr	0.1-500

Fuente: Modificado de Folleto de ALS “ALS Geochemistry – Schedule of Services & Fees 2016”.

- Análisis Au-TL43: este análisis se realizó para conocer concentraciones de Au. Una parte de la muestra es pulverizada y se toman alrededor de 25 a 50 g para disolverlos en una mezcla de ácido clorhídrico y ácido nítrico llamada Agua Regia. Los rangos de detección se presentan en la [tabla 1-4].

Tabla 1- 4. ICP-MS, Au-TL43. Rangos de detección instrumental para el análisis de Au, mínimo y máximo

SUSTANCIA	RANGO (ppm)	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO
Au	0.001-1	Au por extracción con agua regia con acabado ICP-MS. Peso nominal de la muestra de 25 g.	Au-TL43

Fuente: Modificado de “ALS Geochemistry – Schedule of Services & Fees 2016”.

1.7.3. Análisis Geoquímico

Con los resultados obtenidos del laboratorio [tablas A2 1 a A2 4; anexo 2] sumado a la información geológica de cada muestra, se realizaron los siguientes análisis geoquímicos:

- a) Se compararon los elementos contenidos en las muestras con mineralización de Cu, con los elementos contenidos en muestras similares a estas pero sin mineralización o con mineralización de cobre en bajas cantidades.
- b) Para cada elemento, se realizó un estudio estadístico para determinar qué valor de concentración corresponde a una concentración anómala [fig A2 1 a A2 49; anexo 2]. Para esto se definieron tres tipos de anomalía (débil, moderada y fuerte), que separaron los valores en cinco rangos: (1) deprimido o bajo el valor normal de la concentración del elemento en la corteza terrestre (Clarke and Washington, 1924; Wedepohl, 1995; Rudnick and Gao, 2004) [tabla 1 - 5]; (2) dentro del rango normal de la concentración del elemento en la corteza terrestre; (3) anomalía débil, (4) anomalía moderada y (5) anomalía fuerte. Luego se seleccionaron los elementos que poseen zonaciones de concentraciones anómalas en la zona de estudio [tabla

A2 5; anexo 2] para relacionar estas anomalías con las asociaciones de minerales de alteración, minerales de Cu y unidades litológicas [figs A2 50 a A2 66; anexo 2]. También se calculó el promedio de la concentración de cada elemento en algunos afloramientos a analizar [ver afloramientos en tabla A2 12, anexo 2], y se comparó con los rangos de anomalía para conocer cuáles son los elementos anómalos por litología.

- c) Para ciertas litologías, se obtuvieron variables agrupadas y grupos de correlación [tabla A2 13; anexo 2] para conocer qué elementos tienden a variar conjuntamente con otros elementos específicos dentro de un mismo tipo de afloramiento. Esto permite conocer si podrían haber existido distintos eventos de mineralización, ante la posibilidad de que elementos como el Cu, Fe y Au se ubiquen en más de un grupo de correlación. Para esto se generaron matrices de correlación para cada tipo litológico predominante [tabla A2 6 a A2 11; anexo 2].

1.7.3.1. Comparación de concentración de elementos en muestras sin mineralización v/s muestras con mineralización

Se seleccionaron muestras de litologías mineralizadas, con concentraciones altas de Cu y con concentraciones bajas. En los casos en que hubiese más de una muestra con mineralización, o sin mineralización en cada litología, se calculó el promedio de la concentración de cada elemento. Finalmente, se obtuvo el porcentaje que representa la concentración de cada elemento de la muestra con baja concentración de Cu sobre la muestra con alta concentración de Cu.

Con estos porcentajes, se definió que la muestra con baja concentración de Cu estaría deprimida en un elemento en comparación a la muestra con alta concentración de Cu, si es que el porcentaje obtenido se encuentra entre [0% , 20%]. A su vez, la muestra tendría un exceso de concentración de un elemento si el porcentaje se encuentra entre [180% , ∞].

1.7.3.2. Determinación de concentraciones anómalas para cada elemento

Se utilizaron dos métodos para estimar qué concentraciones son anómalas para cada elemento, pero finalmente por razones expuestas en el capítulo de Geoquímica, se decidió usar solamente uno de ellos. Primero, se realizó una estadística básica por elemento, tomando como valor base de la zona el promedio (P) de todas las concentraciones de un elemento. A este valor se le sumaron múltiplos de la desviación estándar (σ) del conjunto de muestras (Oxford University, 2002). Los intervalos de concentraciones anómalas fueron definidos como:

- Rango Anomalía débil: [P; P + 1 σ]
- Rango Anomalía moderada: [P + 1 σ ; P + 2 σ]
- Rango Anomalía fuerte: [P + 2 σ ; P + 3 σ]

Tomando como ejemplo el caso del Cu, los parámetros a utilizar son los siguientes:

- P: 3155 ppm
- σ : 4064, desviación estándar del conjunto de concentraciones de Cu

Los rangos de anomalías serían, por ende:

- Rango Anomalía débil: [3155; 7218] ppm
- Rango Anomalía moderada: [7218; 11282] ppm
- Rango Anomalía moderada: [11282; 15346] ppm

El segundo método utilizado, fue un análisis con gráficos de probabilidad acumulada (eje Y) V/S concentración de cada elemento (eje X) [fig 1-20]. Estos gráficos muestran la suma secuenciada de los porcentajes que representan la probabilidad de encontrarse con cierta concentración para cada elemento. Las separaciones o “quiebres” en el eje Y representan

un aumento en el porcentaje aportado por cierta concentración respecto a la concentración anterior, lo cual se puede interpretar como el inicio de un nuevo grupo perteneciente a cierto rango de anomalía (Palacios et al, 2005). A diferencia del método anterior, el valor base o “background” utilizado fue la concentración promedio de cada elemento en la corteza terrestre (Clarke and Washington, 1924; Wedepohl, 1995; Rudnick and Gao, 2004), valores que se pueden ver en la [tabla 1-3].

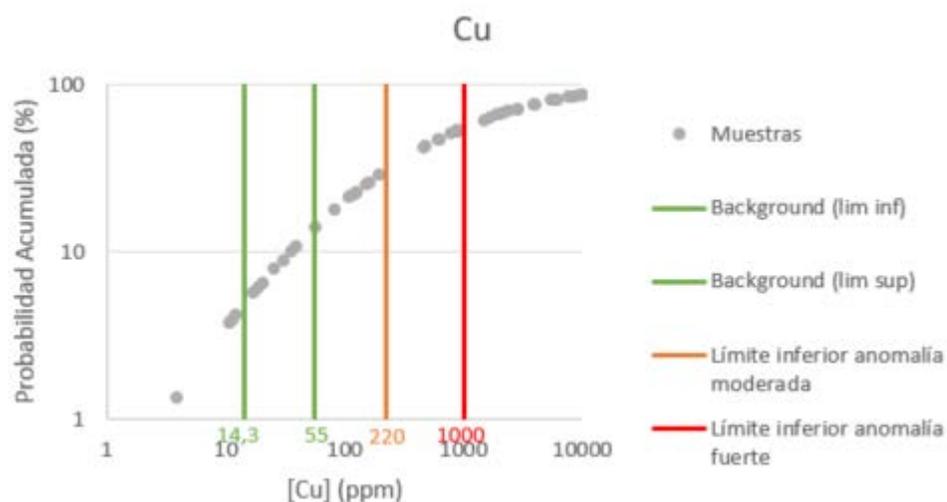


Figura 1 - 20. Ejemplo de un gráfico de probabilidad acumulada. Los valores “Background (lim inf)” y “Background (lim sup)” corresponden al valor mínimo y máximo según la tabla 3, para cada elemento. Los valores “Límite inferior anomalía moderada” y “Límite inferior anomalía fuerte” corresponden a quiebres en la probabilidad acumulada que se consideran como los límites de las anomalías. Estos valores son distintos a los obtenidos por el método de estadística básica.

Tabla 1- 5. Concentración común de un elemento en la corteza terrestre según distintos autores

ELEMENTO	CLARKE 1889/ CLARKE & WASHINGTON 1924	WEDEPOHL 1995	RUDNICK & GAO 2004	UNIDAD
Au	0,004	0,0025	0,0018	ppm
Ag	0,07	0,07	0,055	ppm
Al	8,13	7,96	15	%
As	1,8	1,7	4,7	ppm
Ba	500	668	624	ppm
Be	-	3,1	2,1	ppm
Bi	-	0,123	0,16	ppm
Ca	5,45	2,94	3,59	%
Cd	-	0,102	0,098	ppm

Ce	60	65,7	63	ppm
Co	25	12	17,3	ppm
Cr	-	35	92	ppm
Cs	-	5,8	4,9	ppm
Cu	55	14,3	28	ppm
Fe	6,7	4,4	5	%
Ga	-	-	17,5	ppm
Ge	-	1,4	1,4	ppm
Hf	3	5,8	5,3	ppm
In	-	0,061	0,056	ppm
K	3,19	3,1	2,8	%
La	30	32,3	31	ppm
Li	-	22	24	ppm
Mg	2,09	2,4	2,48	%
Mn	1000	527	1000	ppm
Mo	1,5	1,4	1,1	ppm
Na	3,29	2,9	3,27	%
Nb	-	26	12	ppm
Ni	75	18,6	47	ppm
P	0,23	0,17	0,15	%
Pb	12,5	-	17	ppm
Rb	-	84	110	ppm
Re	0,0005	0,0004	0,0002	ppm
S	0,052	0,0953	0,0631	%
Sb	0,2	0,3	0,4	ppm
Sc	16	7	14	ppm
Se	-	0,083	0,09	ppm
Sn	-	2,5	2,1	ppm
Sr	190	320	316	ppm
Ta	3	1,5	0,9	ppm
Te	-	-	0,002	ppm
Th	10	10,3	10,5	ppm
Ti	0,57	0,54	0,64	%
Tl	-	0,75	-	ppm
U	2,7	2,5	2,7	ppm
V	170	53	97	ppm
W	-	1,4	1,9	ppm
Y	30	20,7	21	ppm
Zn	70	52	67	ppm
Zr	260	237	193	ppm

La probabilidad acumulada se calculó de la siguiente manera:

- Se evaluó de qué forma distribuyen las concentraciones para cada uno de los elementos con el programa Stat Fit (disponible en www.geerms.com), el cual muestra el porcentaje de ajuste de distintas distribuciones a la muestra. La versión para estudiantes de este programa es gratis y permite evaluar hasta 50 muestras con 6 distribuciones distintas.
- Se ordenaron los datos de concentraciones de cada elemento de menor a mayor.
- Se calculó la probabilidad acumulada (eje Y) de cada dato, con la función de Excel `DISTR.LOGNORM(x, media, desviación estándar, acumulado)`, en donde x corresponde al valor de la concentración de cada muestra, la media al promedio de las concentraciones de la muestra, la desviación estándar a la dispersión de las concentraciones respecto a la media de la muestra y acumulado a si se quiere calcular la función de probabilidad acumulada (“verdadero”) o la función de densidad (“falso”). En este caso se calculó la función de probabilidad acumulada.
- Se traspasó la probabilidad acumulada a porcentajes.
- Se graficó la probabilidad acumulada en el eje Y, y la concentración en el eje X.
- Se incluyó como una recta el valor background mínimo y máximo para cada elemento, según distintos autores (Clarke and Washington, 1924; Wedepohl, 1995; Rudnick and Gao, 2004).
- Se analizaron los quiebres en el eje Y, y se definieron los valores de concentraciones que dan inicio a las anomalías moderada y fuerte, incluyéndolos como rectas. Con esto, todo valor bajo el rango del background representa una concentración deprimida; todo valor ubicado entre el límite superior del background y el límite inferior de la anomalía moderada representa una concentración anómala débil; los valores ubicados entre el límite inferior de la anomalía moderada y el límite inferior de la anomalía fuerte representan una concentración anómala moderada; y los valores ubicados sobre el límite inferior de la anomalía fuerte representan una concentración anómala fuerte.

1.7.3.3. Generación de matrices de correlación

La correlación entre dos variables es la fuerza con que están relacionadas linealmente. Esta puede ser una correlación directa (+) (si al aumentar/disminuir el valor de una variable, aumenta/disminuye el valor de la otra variable); o inversa (-) (si al aumentar/disminuir el valor de una variable, disminuye/aumenta el valor de la otra variable). El valor de la correlación varía entre $[-1,1]$, considerándose directa entre $[0,5;1]$, inversa entre $[-0,5;-1]$ e indiferente o sin relación en el rango restante. Si la correlación es -1 o 1 , se considera una relación directa/inversa perfecta, variando en proporciones constantes (Kenney and keeping, 1951).

El coeficiente de correlación más utilizado es el coeficiente de Pearson, el cual tiene la siguiente fórmula para dos variables X e Y:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y}$$

Donde:

σ_{XY} = Covarianza entre X e Y

σ_X = Desviación estándar de X

σ_Y = Desviación estándar de Y

Además, $E[z]$ corresponde al valor esperado de z. A su vez μ_x corresponde a la media de X.

La covarianza indica el grado de variación conjunta de dos variables. Si la covarianza es mayor a cero, las variables tienen una dependencia directa (aunque no necesariamente lineal) y si es menor a cero, indirecta. Si es igual a cero, no existe relación lineal entre las variables. La desviación estándar de una variable es la medida de dispersión de los valores

respecto al promedio de una muestra. También se define como la raíz cuadrada de la varianza (Oxford University, 2002).

Para generar las matrices de correlación se utilizó el complemento de Excel “Herramientas para Análisis”, el cual al activarlo muestra una herramienta en la pestaña “Datos” llamada “Análisis de Datos”. Al ir a esta herramienta, se debe seleccionar “Coeficiente de correlación”. En el rango de entrada, se seleccionan todos los datos de los cuales se quiere obtener el coeficiente de correlación, donde en este caso los datos son las concentraciones de cada elemento en cada muestra, y en rango de salida, se seleccionan las celdas en donde se quieren obtener los coeficientes de correlación entre cada par de variables [fig 1-21]. Así, se obtiene la matriz de correlación.

Rango de entrada		Concentración Elemento 1	Concentración Elemento 2	Concentración Elemento 3
	Muestra 1	7,02	42	8
	Muestra 2	8,55	1,86	55
	Muestra 3	8,69	2,56	656
	Muestra 4	7,09	2,8	76
Rango de salida		Concentración Elemento 1	Concentración Elemento 2	Concentración Elemento 3
	Concentración Elemento 1	1		
	Concentración Elemento 2	-0,611823196	1	
	Concentración Elemento 3	0,643154586	-0,409759778	1

Figura 1 - 21. Rango de entrada (tabla superior) y salida (tabla inferior) en herramienta “Análisis de Datos/Coeficiente de Correlación” utilizada en Excel para obtener matrices de correlación. La tabla superior contiene la concentración de los elementos 1,2 y 3 en las muestras 1,2,3 y 4, obtenidos de los análisis ICP-MS. La tabla inferior contiene los coeficientes de correlación obtenidos con la herramienta de Excel. Se puede ver por ejemplo, que la concentración del elemento 2 en todas las muestras está correlacionada de forma inversa con la concentración del elemento 1. A su vez, la concentración del elemento 3 está correlacionada de forma positiva con la concentración del elemento1. Finalmente, la concentración del elemento 3 no tiene una correlación fuerte con la concentración del elemento 2, pues su valor absoluto se encuentra entre [0;0,5], lo cual no es indicativo.

1.7.3.4. Generación de grupos de correlación

Un grupo de correlación es un conjunto de variables que pueden agruparse debido a que varían similarmente respecto a otras variables. Para la obtención de estos grupos comúnmente se utiliza el “análisis de componentes principales” (Smith, 2002), el cual es un análisis estadístico que se realiza con el fin de reducir el número de variables cuando la lista de variables es extensa, agrupando variables iniciales en nuevas variables finales. La agrupación de variables se realiza con una combinación lineal de variables iniciales asegurando que las nuevas variables representen un gran porcentaje de la variabilidad original, y minimizando la varianza con respecto a los datos de las variables originales. Sin embargo, el agrupar variables no permite que las variables originales se ubiquen en dos variables finales. Por esto, en geoquímica este análisis debe ser complementado con otras observaciones, ya que las variables originales sí pueden ubicarse en dos variables finales. Por ejemplo, el cobre puede estar asociado a dos eventos mineralizadores: uno magmático y otro hidrotermal o supérgeno, por lo que la variable cobre se presentaría en dos grupos de correlación (o dos variables agrupadas). Estos dos grupos de correlación serían los elementos asociados al evento magmático, y los asociados al evento hidrotermal o supérgeno.

En este trabajo, el análisis de componentes principales se realizó con el software libre Real Statistics, el cual permite utilizar la programación del software estadístico “R” en Excel mediante un comando. Para utilizarlo, se debe descargar el paquete de la página www.real-statistics.com, cargar el paquete en complementos de Excel, presionar CTRL+M, multi var, factor analysis, seleccionar los datos de entrada (en este caso el valor de las concentraciones para cada elemento de cada muestra) y la celda en que se escribirán los resultados.

Dentro de todos los análisis que entrega sobre la matriz, este comando arroja una tabla llamada “Factor Matrix (unrotated)” que contiene tantas columnas como nuevas variables que podrían ser creadas a partir de la agrupación de variables originales [fig 1-22].

	1	2	3
Ag	0,972466217	-0,210370619	-0,10026794
Al	-0,784896262	0,582033153	-0,21254474
As	0,985635429	-0,162472316	-0,04610387
Ce	0,984561104	0,020597678	-0,17382511
Co	0,413438333	-0,907341931	-0,07615356
Cu	0,85472682	-0,750348573	0,091158162
Fe	0,111835674	-0,957728385	0,265045511
La	0,991108109	0,058148692	-0,1196806
Mg	0,995906047	0,058244999	-0,06912789
Mn	-0,49037112	-0,821288535	-0,29158413
Mo	-0,526567438	0,228987213	0,818713374
Ni	0,96380595	-0,254719695	-0,07871447
P	0,853514582	-0,289022298	0,433565416
Pb	-0,248575175	-0,96846004	-0,01719111
Re	-0,075532995	0,473595498	-0,87749762
S	0,995492632	0,010579742	-0,09424695
Sb	0,99132172	0,085078552	-0,1002142
Sc	-0,798994469	0,596192042	0,078504056
Th	0,088951168	0,085545381	0,992532862
U	0,168294364	-0,950664574	-0,26060291
Y	-0,33839442	0,253352679	0,906256937
Zn	0,994809322	-0,038094611	-0,0964422
Au	0,992566809	-0,091957123	-0,07971837

Figura 1 - 22. Ejemplo de la obtención de variables agrupadas con el programa Real Statistics en Excel. Cada columna corresponde a una variable agrupada, donde las variables que compondrán esta variable agrupada son las que contienen la mínima varianza (en amarillo). Así, la variable agrupada n°3 contiene los elementos Mo, Th y Y.

Para complementar la metodología de análisis de componentes principales dada la limitación mencionada, se generaron grupos de correlación mediante inspección de las matrices de correlación para cada unidad litológica analizadas, tomando en cuenta los elementos con los cuales un elemento determinado se relaciona de forma directa.

2. RESULTADOS

2.1. Unidades litológicas

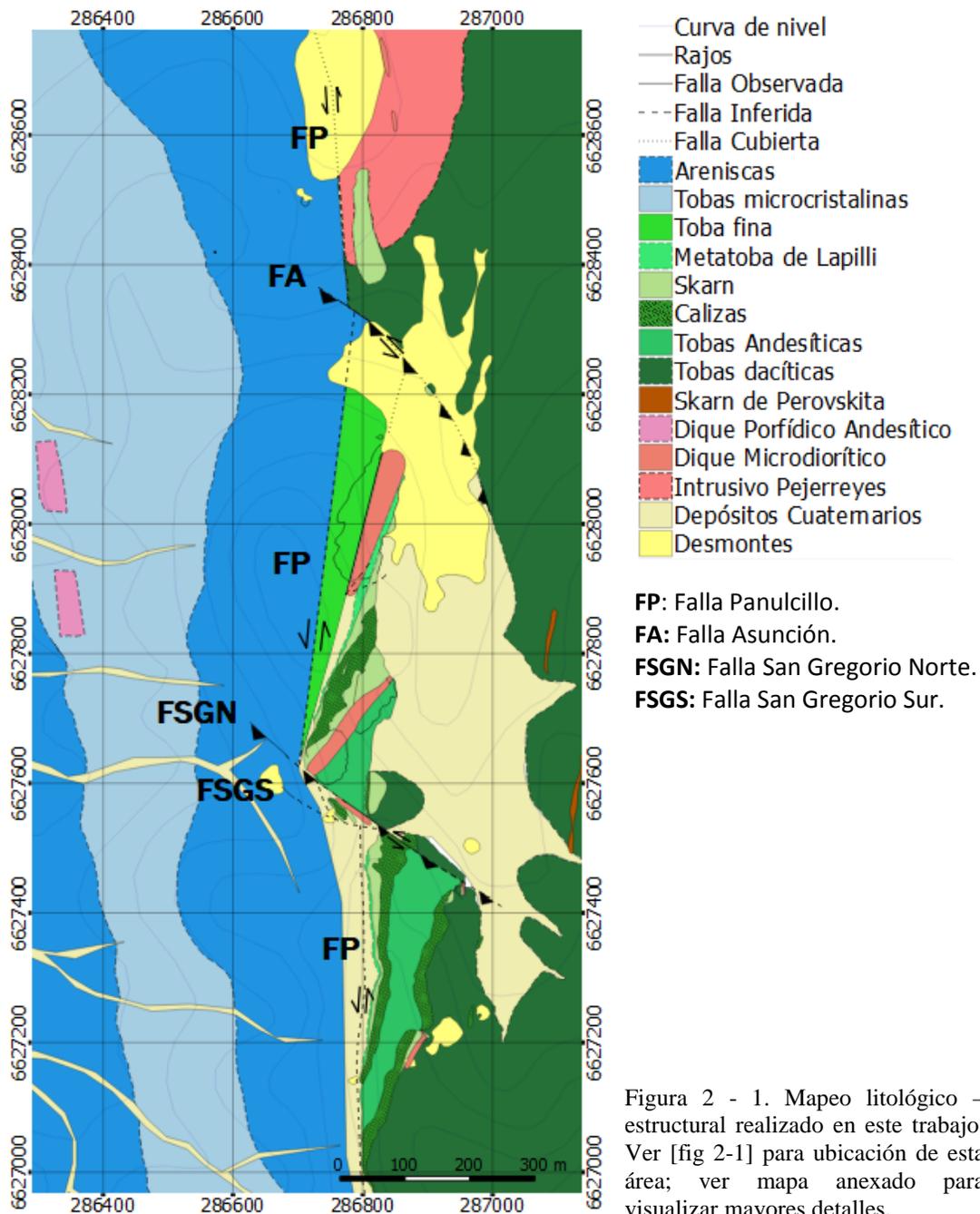
Como resultado del mapeo de litologías y estructuras [fig 2- 1] se obtuvo que al oeste de la Falla Romeral llamada localmente Falla Panulcillo (FP) se encuentra una secuencia volcano-sedimentaria perteneciente al Complejo Volcánico Agua Salada (Jurásico), la cual es intruida por numerosos diques microdioríticos de actitud general N20W/80W y de unos metros de espesor [fig 2-4]. En esta secuencia también intruye un dique andesítico con cristales de plagioclasa de gran tamaño (hasta 7 cm) [fig 2-5].

Al este de la FP se encuentra una secuencia volcano-sedimentaria perteneciente a la Formación Arqueros (Cretácico) intruida por diques microdioríticos mineralizados de rumbo general N20E y manteos de 70-85W a 70-85E, los cuales no habían sido mencionados en los trabajos previos.

En la zona norte del yacimiento y también al este de la FP aflora el Intrusivo Pejerreyes, el cual es limitado por la FP e intruye la secuencia de la Formación Arqueros. En este trabajo, no se ha encontrado una relación entre el Intrusivo Pejerreyes y la mineralización del yacimiento, como tampoco evidencias que indiquen que el Intrusivo ocasione la skarnificación presente en la secuencia sedimentaria a lo largo del yacimiento.

Finalmente, la FP está cortada y desplazada por dos fallas de rumbo NW-SE y manteo de 70W llamadas Asunción (FA, al norte, cuyo nombre ha sido definido en este trabajo) y San Gregorio (al sur, nombre local). A su vez, la Falla San Gregorio se compone de la Falla San Gregorio Norte (FSGN, nombre definido en este trabajo) y Falla San Gregorio Sur (FSGS, subsidiaria a la anterior y cuyo nombre fue definido en este trabajo).

En los siguientes capítulos se desarrolla la descripción de cada una de estas unidades litológicas y fallas, junto con la mineralización de Cu y asociación de minerales de alteración que las acompañan.



En la [fig 2-2] se puede ver una sección W-E confeccionada en la coordenada N: 6628000, en la zona del Rajo Caracoles.

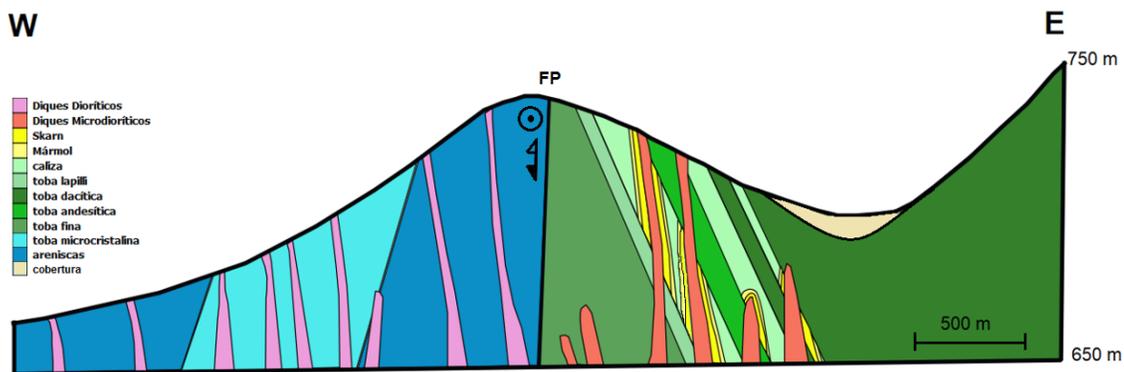


Figura 2 - 2. Sección W – E en coordenada N: 6628000

La Columna Estratigráfica [fig 2-3] muestra los estratos definidos en este trabajo, pertenecientes al Complejo Volcánico Agua Salada y a la Formación Arqueros.

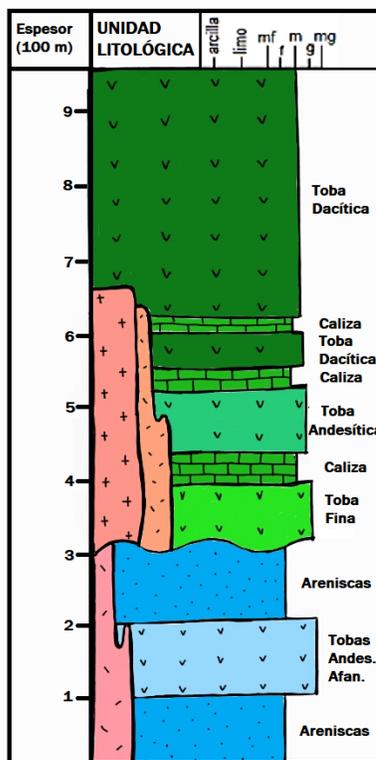


Figura 2 - 3. Columna estratigráfica de afloramientos definidos en este trabajo

2.1.1. Complejo Volcánico Agua Salada (Jas(a))

El Complejo Volcánico Agua Salada se ubica al oeste de la FP y presenta estratos intercalados de areniscas finas y tobas cristalinas; ambos intruidos por diques microdioríticos no mineralizados de actitud general N20W/80W; y en algunas zonas brechizados y/o foliados por acción de la FR [fig 2-4].

Los estratos de areniscas finas alcanzan hasta 100 m de espesor, y contienen clastos de toba y minerales como anfíbolos, magnetita, hematita, granate y cuarzo. En la zona norte, este estrato presenta una franja de hasta 30 m de ancho adyacente a la FP. Esta franja se encuentra foliada con planos de foliación de rumbo general NS - N20W y manteo 80W - 80E. Sin embargo, en otras zonas se ha visto el contacto entre este estrato y tobas ubicadas sobre él, las cuales no presentan foliación. Esto podría indicar que las metaareniscas corresponden a otra unidad más antigua que el Complejo Volcánico Agua Salada, aunque no se han encontrado otras evidencias que apoyen esta hipótesis.

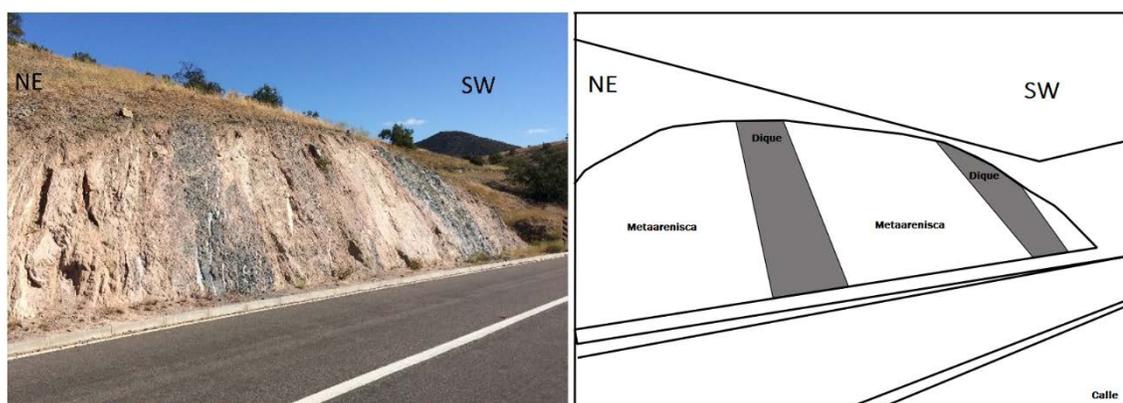


Figura 2 - 4. Metaareniscas finas foliadas por acción de la FR, alteradas con hematita e intruidas por diques microdioríticos de 1 a 2 m de potencia y actitud general N20W/80W (vista en sección). Ubicación: 286322;6628759

El estrato de tobas cristalinas está compuesto por tobas andesíticas y afaníticas de color gris oscuro, muchas veces intercaladas, formando una unidad de aproximadamente 100 m de espesor.

Estos afloramientos fueron reconocidos por Araya (1998) desde la FP hasta 300 m al oeste, quien los definió como un conjunto de andesitas porfídicas y al norte como rocas volcánicas andesíticas con alteración de biotita. Río Tinto (2001) en cambio, definió estos afloramientos como hornfels máficos y hornfels de magnetita y especularita. La definición de rocas volcánicas andesíticas de Araya (1998) concuerda con la composición de las tobas definida en este trabajo, de la misma forma que la ubicación de la alteración de biotita concuerda con la franja de alteración biotítica definida en este trabajo (ver mapa de alteraciones, Capítulo de Resultados). La definición de hornfels máficos de Río Tinto también concuerda con la franja de alteración biotítica.

Los diques microdioríticos no mineralizados [fig 2-4] que intruyen a las areniscas y tobas poseen potencias de hasta 3 m con un rumbo general N – NW y manteos entre 50 a 85W. Su composición varía de microdiorítica a cuarzo-monzonítica y andesítica a medida que los afloramientos se ubican a una cota mayor. El análisis realizado a la muestra RP09 de uno de estos diques, describe una microdiorita compuesta en un 55% de plagioclasa acompañada en menor medida por biotita y óxidos de hierro. Los feldespatos están reemplazados ocasionalmente por tremolita y actinolita, menor epidota y trazas de biotita, mientras que la matriz presenta una fuerte alteración de actinolita. Estos diques no fueron definidos por Araya (1998) y Río Tinto (2010), sino que probablemente fueron reconocidos como parte de las rocas volcánicas andesíticas o hornfels.

Localmente ha sido reconocido un dique andesítico con cristales de plagioclasa de hasta 7 cm [fig 2-5]. Este dique presenta una potencia de hasta 10 m con límites bien definidos y matriz fuertemente alterada con hematita. Los análisis realizados a la muestra RP71 de este dique, indican que corresponde a un dique de textura porfídica holocristalina, inequigranular y porosa, con megacristales de plagioclasa cuyos bordes son notorios macroscópicamente, pero al microscopio no están bien definidos. La matriz contiene alteración de hematita, tremolita, actinolita y sericita.



Figura 2 - 5. Dique andesítico con fenocristales de plagioclasas de grano mayor a 5 cm (vista en planta).
Ubicación: 286316; 6627900

La roca de caja de este dique (tobas cristalinas) se encuentra brechizada y a su vez, los clastos de toba se encuentran alargados en dirección N20E [fig 2-6]. Los análisis realizados a la muestra RP75 de esta brecha, establecen que los clastos tienen un origen metasedimentario cuyo protolito corresponde a una toba o arenisca muy fina, de grano menor a 0.05 mm; con cuarzo y hematita intercrecida y en menor medida alteración de sericita. La matriz consiste en cuarzo recrystalizado, sericita, hematita e ilmenita.

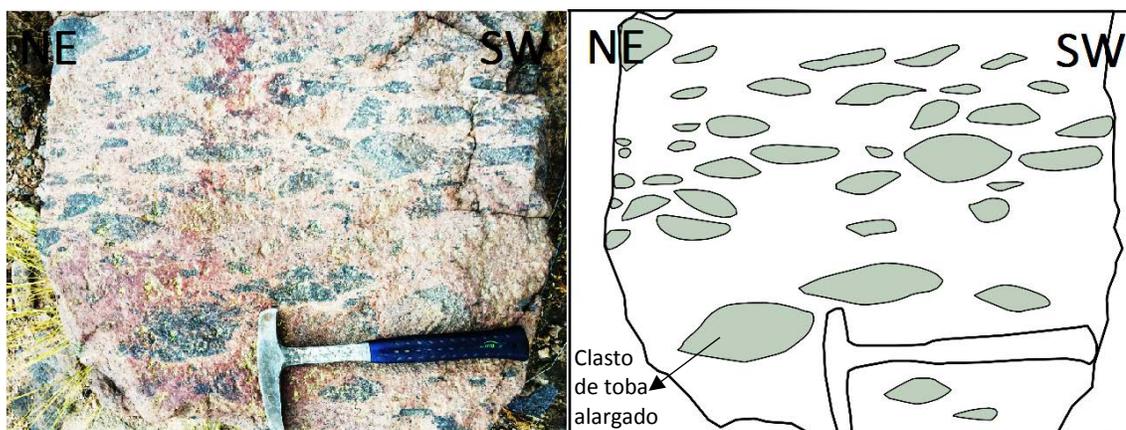


Figura 2 - 6. Brecha hidrotermal con clastos alargados en dirección NS a N20E y cuya matriz presenta una fuerte alteración de hematita (vista en planta). Ubicación: 286314; 6627870

A diferencia de lo señalado por Emparán y Pineda (2006), quienes describen un manto general hacia el este para los afloramientos del Complejo Volcánico Agua Salada en la

zona adyacente a la FR, en este trabajo se ha descrito un manto de 55-70W en los afloramientos adyacentes a esta falla.

2.1.2. Formación Arqueros

La secuencia estratigráfica de la Formación Arqueros reconocida en la zona de estudio posee una actitud general de N30/65E, disminuyendo su manto a medida que se avanza hacia el este. De base a techo, las litologías reconocidas son las siguientes:

- i. Tobas microafaníticas: estrato de hasta 85 m de espesor, compuesto por tobas finas microafaníticas, color gris claro a gris oscuro. Estas afloran en la pared oeste del Rajo Caracoles (rajo norte en la [fig 2-1]), único lugar donde han sido reconocidas. En el trabajo de Araya (1998) estos afloramientos fueron definidos como lutitas, mientras que Río Tinto (2001) los definió como cherts o hornfels no diferenciados; probablemente dado a su apariencia afanítica y reducido tamaño de grano. En este trabajo, se han descartado estas descripciones de terreno previas y se ha confirmado que el afloramiento corresponde a una toba fina gracias al análisis realizado a la muestra RP40, donde se indica que la muestra corresponde a una toba fina de composición andesítica, compuesta en un 80% por una matriz fina de feldespatos que en su mayoría han sido reemplazados por alteración de actinolita. También posee granos intercrecidos de tremolita, clorita y hematita. Por otro lado, en el borde oeste del Rajo Caracoles, estas tobas presentan una alteración de hematita en nódulos de hasta 20 cm de diámetro [fig 2-7].

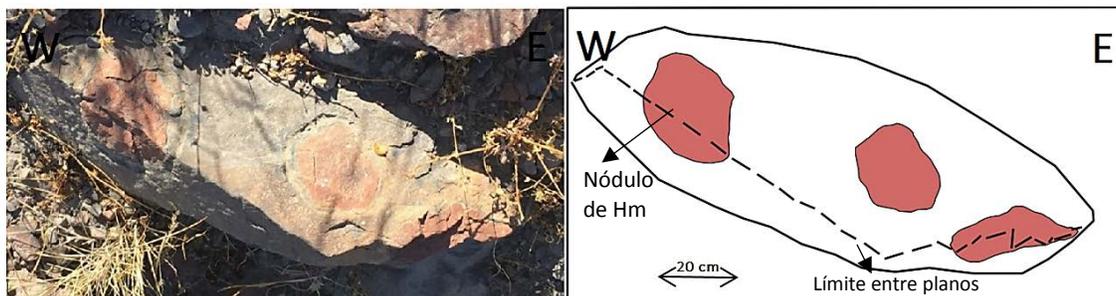


Figura 2 - 7. Nódulos de hematita en tobas microafaníticas finas (vista en planta). Ubicación: 286721; 6627983

El análisis petrográfico realizado a la muestra RP57 de estos afloramientos describe una toba de composición traquítica intensamente pigmentada por hematita, tanto en la matriz como en nódulos. Los nódulos de hematita también presentan cuarzo, tremolita y clorita y algunas de estas muestran deformación y débil cizalle. Localmente, este estrato presenta cornificación ocasionado por metamorfismo de contacto producto de la intrusión de un dique microandesítico, zona que contiene hasta 10 m de espesor. Al borde este del Rajo Caracoles se ha tomado la muestra RP55 de un afloramiento afectado por este metamorfismo de contacto, [fig 2-8] a la cual se le realizó un análisis petrográfico que indicó que corresponde a una meta toba de lapilli con alteración de tremolita, actinolita, clorita y epidota.

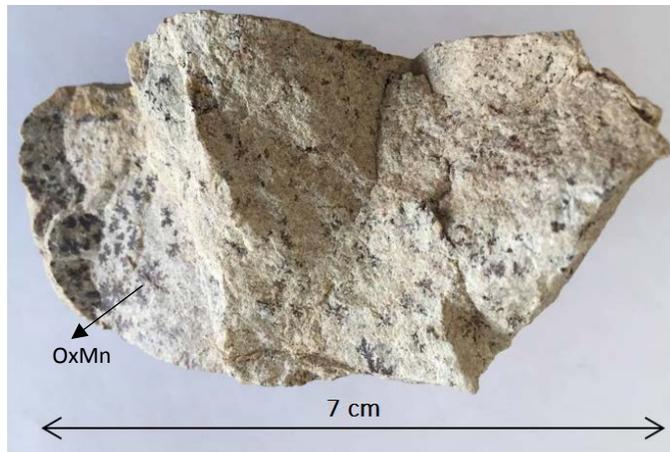


Figura 2 - 8. Meta toba de lapilli con óxidos de manganeso producto de una alteración supérgena.
Ubicación: 286820; 6627930.

- ii. Calizas: estrato de hasta 30 m de espesor, el cual aparentemente no presenta fósiles. Tiene asociadas las principales labores superficiales de óxidos de cobre del sector, las cuales son el Rajo Caracoles (norte), Rajo Mina Nueva (centro) y Rajo Rosario (sur). En cercanías a diques mineralizados la caliza ha sido recristalizada en mármol y skarn de grano fino, el cual se puede ver en la base y techo de este estrato [fig 2-9]. Además, las calizas presentan localmente vetillas de calcita de orientación NW a EW con manteo de 75N a subvertical [fig 2-10].



Figura 2 - 9. Vista en planta de skarn y mármol. Ubicación: 286812; 6627451

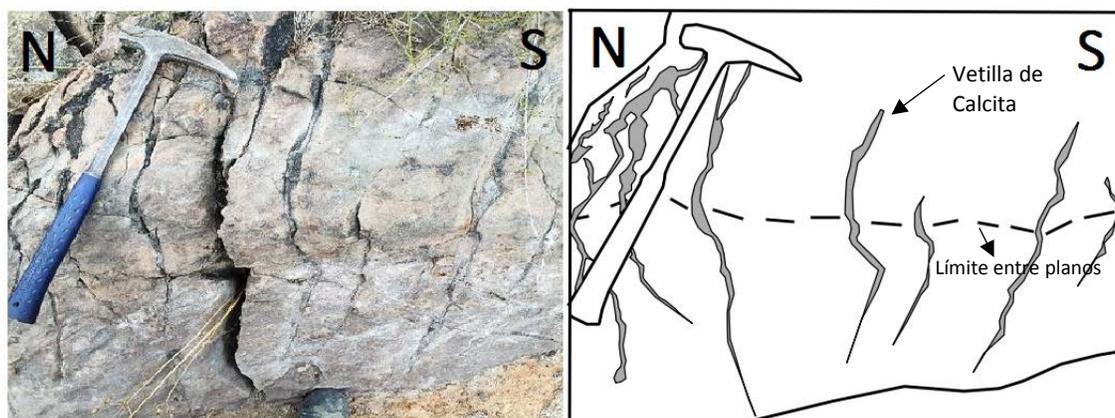


Figura 2 - 10. Vista en sección de vetillas de calcita de rumbo NW a EW, en calizas. Zona rajo Mina Nueva. Ubicación: 286742; 6627733

El análisis petrográfico realizado a la muestra RP10 de mármol, establece que la muestra tiene una textura granoblástica compuesta por 70% de calcita recristalizada y un 29% de clastos angulares a subredondeados de traquita, de tamaño menor a 1 cm. La presencia de estos clastos en las calizas es de esperar debido al ambiente de depositación de estos estratos, el cual corresponde a un ambiente sedimentario marino en el cual suceden eventos de depositación de sedimentos marinos con depositación de material proveniente de erupciones volcánicas.

El análisis petrográfico realizado a la muestra RP15 de skarn, establece que está compuesto por 40% de granate de tamaño menor a 1.5 mm, pero en agregados mayores a 5 mm. En zonas oxidadas, el granate presenta goethita en los bordes de grano y en fracturas. La matriz es granoblástica de calcita (50%) alterada en menor medida con actinolita, muscovita, biotita y tremolita (5% en conjunto). En cuanto a minerales de mena (5%), se observa calcopirita parcialmente oxidada y menor covelina en fracturas de la calcopirita, con pirita asociada a la calcopirita. También se exhibe malaquita asociada a zonas oxidadas.

Las calizas fueron reconocidas por Araya (1998), quien las definió como calizas de guijarros y calizas granatíferas. Las calizas de guijarros corresponderían a las calizas que tienen skarn en su superficie, y las calizas granatíferas a los últimos halos del skarn donde mantienen una textura similar a la caliza pero contienen algunos granates de color verde. Río Tinto las ha definido como mármol y skarn de granate, y en algunas zonas como hornfels calcosilicatados. Sin embargo, ninguno de los estudios previos reconoció tres estratos de calizas distintos como en este trabajo.

- iii. Tobas andesíticas: estrato de tobas de cristales de aproximadamente 80 m de espesor. Contienen gran cantidad de plagioclasas de hasta 2 mm, muchas de las cuales presentan textura fragmental [fig 2-11].



Figura 2 - 11. Muestra de toba entre calizas, tomada a la entrada de la Rampa Caracoles.

Ubicación: 286870; 6627937

Los análisis petrográficos de la muestra RP16 tomada de estos afloramientos indican que la toba corresponde a una toba andesítica con una alteración de actinolita sobreimpuesta. En cuanto a minerales opacos, destacan algunos granos pequeños de ilmenita y de calcopirita.

- iv. Calizas: estrato de calizas de hasta 25 m de espesor con características similares al estrato de calizas descrito en el punto ii, aunque tiene asociados laboreos superficiales y subterráneos de menor tamaño. Los laboreos subterráneos se encuentran a pocos metros de profundidad, en donde explotaron óxidos de cobre.
- v. Alternancia de tobas andesíticas y dacíticas: estrato de tobas de espesor total desconocida, pero en la zona de estudio presenta hasta 600 m de espesor. Contiene plagioclasa con tamaños de 1 a 5 mm de forma tabular e irregular; y baja cantidad de cuarzo [fig 2-12].



Figura 2 - 12. Toba dacítica (vista en planta). Ubicación: 287152; 6628087

Los análisis realizados a la muestra RP41 indican que la muestra tiene composición andesítica, con feldespatos de textura fragmental orientados aleatoriamente; con reemplazo de alteración de actinolita y ocasionalmente clorita. La toba también presenta clastos en su matriz, los cuales contienen mineralización de magnetita, ilmenita, pirita y trazas de calcopirita (5% en conjunto). Los análisis realizados a la muestra RP51, ubicada unos 500 m al sureste de la muestra anterior, establecen que la muestra corresponde a una toba andesítica de vidrio y cristales de feldespatos con intensa alteración de clorita y actinolita. Los minerales opacos (3%) consisten en magnetita, hematita, martita, rutilo y titanita.

Estas tobas fueron definidas por Araya (1998) como andesitas porfídicas, mientras que Río Tinto (2001) las definió como hornfels máficos aludiendo a una cornificación producto del Intrusivo Pejerreyes.

- vi. Calizas: tercer estrato de calizas, de hasta 15 m de espesor, el cual tiene en su base y techo al estrato de alternancia de tobas andesíticas y dacíticas. Este estrato contiene gran cantidad de calcita con mineralización de sulfuros de cobre de ocurrencia masiva (calcopirita y bornita), algunos oxidados in situ.

La calcita se presenta en cuerpos decamétricos con granos de hasta 10 cm, reconocidos en laboreos subterráneos. Estos cuerpos corresponden a bolsones sin continuidad entre ellos, los cuales ocurren dentro de este estrato de calizas.

- vii. Skarn de perovskita: 400 m hacia el este del tercer estrato de calizas, ha sido reconocido un skarn [fig 2-13] que según los análisis de la muestra RP70, consiste en un skarn de perovskita en roca de caja de toba de composición andesítica. Está compuesto por un 10% de granos de perovskita (trióxido de titanio y calcio), un 65% de granos finos de perovskita, y el 25% restante corresponde a traquita, con intercrecimiento de albita y micas blancas.



Figura 2 - 13. Brecha hidrotermal de perovskita (vista en planta). Ubicación: 287092; 6627832

El skarn de perovskita es de forma tabular con orientación N-NE, siendo su potencia aparente de hasta 10 m. En este afloramiento se ven óxidos de cobre y se aprecia alteración de clorita, granate, epidota, hematita y jarosita. No se ha identificado la fuente que genera la skarnificación.

En la zona superficial del yacimiento y cercanías de la FR, la secuencia perteneciente a la Formación Arqueros se encuentra intruida de norte a sur por distintos diques con

mineralización de cobre, cuya composición en la zona central es microdiorítica pero al sur también se han reconocido diques monzoníticos. Estos diques no fueron identificados por Araya (1998) ni Río Tinto (2001), sin embargo en este trabajo han sido reconocidos en laboreos superficiales y subterráneos de distinta envergadura, con rumbos que varían de N60W a N20E y manteos de 70-85W a 70-85E. Poseen potencias de 1 a 20 m donde los de mayor tamaño fueron explotados en los Rajos Caracoles, Mina Nueva y Rosario. Al intruir cerca de calizas, han generado en ellas halos de metamorfismo de contacto (mármol y skarn), los que generalmente se encuentran mineralizados [fig 2-14].

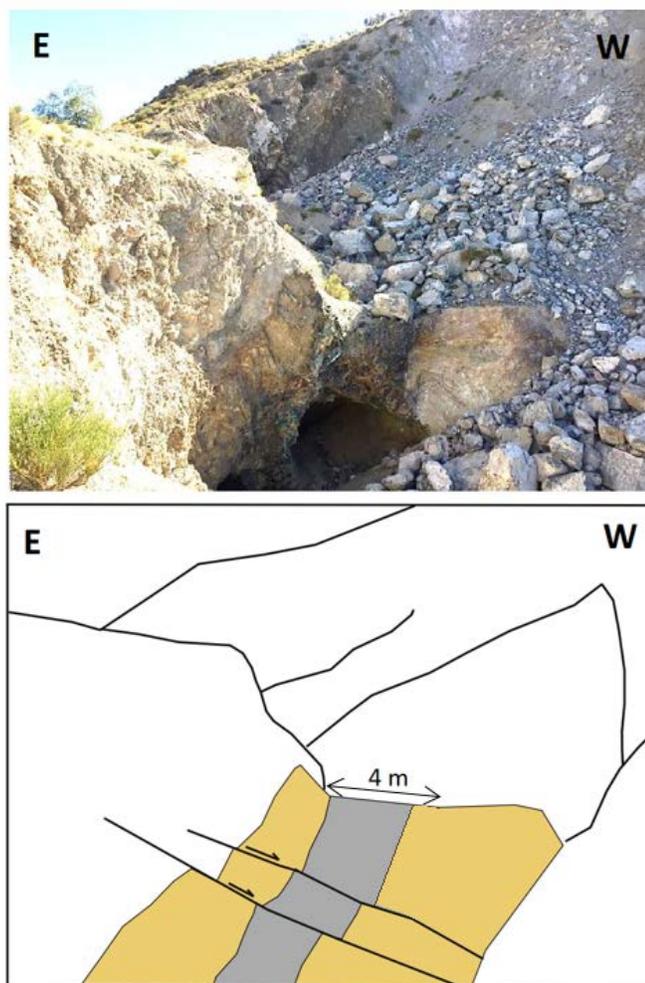


Figura 2 - 14. Vista en sección de dique en Rajo Caracoles, intruyendo tobas finas y generando skarn en rocas calcáreas. Ubicación: 286812; 6627977

Los análisis realizados a la muestra RP64 de dique mineralizado con óxidos de cobre tomada del Rajo Caracoles, indican una composición cuarzo-monzodiorítica de textura holocristalina e inequigranular. Contiene microfenocristales de feldespato (35%), los cuales a veces están reemplazados por clorita, biotita, muscovita y actinolita. El resto del dique (60%) corresponde a feldespatos finos, cuarzo, biotita, clorita, muscovita y anfíbulas. La biotita corresponde al 40% de esta “matriz” o al 25% de la muestra, y la matriz presenta una alteración potásica fuerte. Finalmente, minerales opacos (5%) corresponden a magnetita, kenomagnetita, hematita, goethita, pirita y calcopirita.

2.1.3. Intrusivo Pejerreyes (Kigd)

En la zona de estudio, el intrusivo llamado Pejerreyes (Kigd(d) en Emparán y Pineda, 2006) está compuesto por dioritas y granodioritas con textura fanerítica equigranular de grano grueso. En lugares ubicados hasta a 30 m de la traza inferida de la FP, el Intrusivo presenta foliación magmática sintectónica con rumbo N10W a N25W y manteo 70W a 85W, presentando un bandeamiento intercalado de minerales máficos y félsicos [fig 2-15].



Figura 2 - 15. Foliación magmática sintectónica con rumbo general 16W/71W en el Intrusivo Pejerreyes. Ubicación: 285866;6631261

Localmente en el área de estudio, las observaciones en terreno han permitido localizar el intrusivo en distintos puntos, cuyas características se pueden resumir en dos facies:

- Granodiorítica: de textura fanerítica de grano fino, con textura holocristalina e inequigranular, de cristales de plagioclasa, cuarzo, biotita, feldespato potásico y en menor cantidad anfíbol. Punto de observación: (285866,6631261). Posee 30% de feldespato potásico de grano menor a 0.7 mm, 40% de plagioclasa de grano menor a 1 mm, con micas y óxidos de hierro en fracturas y bordes de grano; 25% de cuarzo de grano menor a 0.5 mm, 3% de biotita y 2% de minerales opacos y traza (hematita, ilmenita, titanita, entre otros). Además, contiene clorita (muestra RP88). Punto de observación: (286859,6629065).
- Diorítica: de grano medio a grueso, intruida por vetillas de feldespato potásico y cuarzo. Compuesta 50% de plagioclasa, 15% de feldespato potásico, 15% de hornblenda, 10% de cuarzo y el resto por minerales como biotita y actinolita, apatito y titanita, magnetita, hematita e ilmenita (muestra RP87). Punto de observación: (286839,6629906) [fig 2-16].



Figura 2 - 16. Diorita con vetilla de kfeld. Ubicación: 286849; 6629910

Los límites sur y oeste del Intrusivo Pejerreyes definidos en este trabajo no fueron identificados en los trabajos de Araya (1998) y Río Tinto (2001). En este trabajo se

reconoce que la FP limita el Intrusivo hacia el oeste y a su vez, que el Intrusivo limita la mineralización hacia el norte. Esto último indica que el Intrusivo es más joven que la secuencia cretácica y los diques mineralizados que intruyen a esta secuencia.

Las facies dioríticas no tendrían relación con los diques microdioríticos mineralizados, puesto que el Intrusivo presenta facies graníticas a dioríticas en toda su extensión, lo cual se ha visto en terreno y también es descrito por Emparán y Pineda (2006). Además, se reconoce claramente el límite de las dioritas, el cual está al norte del yacimiento. Por último, no se describe ni en la Mina Delta ni en los sondajes presencia de estas dioritas más al sur, por lo cual es poco probable que el Intrusivo corresponda a la cámara magmática de los diques microdioríticos mineralizados, sobretodo porque es estéril.

2.1.4. Otras unidades litológicas

En cuanto a las demás unidades litológicas descritas en el apartado de Geología Regional y mencionadas en Emparán y Pineda (2006), la unidad de intrusivos JKd correspondiente a dioritas de 143 - 162 Ma que intruyen al Complejo Volcánico Agua Salada no ha sido reconocida en la zona de estudio. Tampoco ha sido reconocida la unidad Kh(b), correspondiente a pórfidos dioríticos y andesíticos de 94 - 96 Ma que intruyen a la Formación Arqueros.

Por otro lado, en cuanto a la unidad MPLc, se han reconocido sedimentos de mediana consolidación consistentes en arenas y conglomerados en algunas zonas sobre el Intrusivo Pejerreyes y rellenando quebradas, aunque en estas últimas los sedimentos corresponden a arenas poco cohesionadas que se han atribuido a sedimentos cuaternarios.

2.2. Resultados dataciones

La descripción de terreno de las muestras enviadas a datación, junto con el resultado de la datación se presenta en la [tabla 2-1].

Tabla 2 - 1. Descripción de terreno de muestras enviadas a datación, y resultado de datación. Coordenadas en WGS84.

ID	ESTE	NORTE	ALTURA	DESCRIPCIÓN	RANGO DE EDAD SEGÚN UNIDAD LITOLÓGICA (Emparán y Pineda 2006)	RESULTADO DATACIÓN (este trabajo)
CMP-244-16	286401	6627880	640	<i>Litología:</i> toba de cristales de composición andesítica perteneciente al Complejo Volcánico Agua Salada <i>Alteración:</i> si, esp <i>Mineralización:</i> no tiene	170 a 145 Ma	No se obtuvieron circones para poder datar la muestra
CMP-244C-16	286918	6627482	728	<i>Litología:</i> toba de cristales dacítica a andesítica perteneciente a la Formación Arqueros, ubicada entre el primer y segundo estrato de calizas <i>Alteración:</i> bt, mt <i>Mineralización:</i> no tiene	145 a 135 Ma	No se obtuvieron circones para poder datar la muestra
CMP-244B-16	287070	6628318	627	<i>Litología:</i> toba de cristales de composición dacítica perteneciente a la Formación Arqueros, ubicada sobre el tercer estrato de calizas <i>Alteración:</i> no tiene <i>Mineralización:</i> no tiene	135 a 130 Ma	Se obtuvieron 15 circones cuya datación tuvo una alta dispersión de edades, por lo cual no se pudo obtener una edad absoluta de la muestra
CMP-241-16	286840	6628080	650	<i>Litología:</i> dique microdiorítico que intruye a metaareniscas <i>Alteración:</i> bt, mt <i>Mineralización:</i> no tiene	130 Ma	Se obtuvieron 5 circones cuya datación tuvo una alta dispersión de edades, por lo cual no se pudo obtener una edad absoluta de la muestra
CMP-244D-16	287798	6629945	444	<i>Litología:</i> Intrusivo Pejerreyes. Monzogranodiorita <i>Alteración:</i> bt <i>Mineralización:</i> no tiene	125 a 110 Ma	120.7 ± 1.1 Ma

CMP-238b-16	286846	6629071	563	<i>Litología:</i> Intrusivo Pejerreyes. Monzogranodiorita porfídica <i>Alteración:</i> kfeld, mt, cl, sp, sil <i>Mineralización:</i> no tiene	125 a 110 Ma	123.2 ± 1.0 Ma
-------------	--------	---------	-----	--	--------------	----------------

2.3. Asociaciones minerales de alteración y de Cu

2.3.1. Asociaciones minerales de alteración

Con el mapeo realizado en superficie se han definido zonas que presentan ciertas asociaciones de minerales, tales como clorita y epidota; feldespatos potásico, granate, hematita y biotita, entre otras. También se mapearon las zonas mineralizadas con óxidos y sulfuros de cobre [fig 2-17].

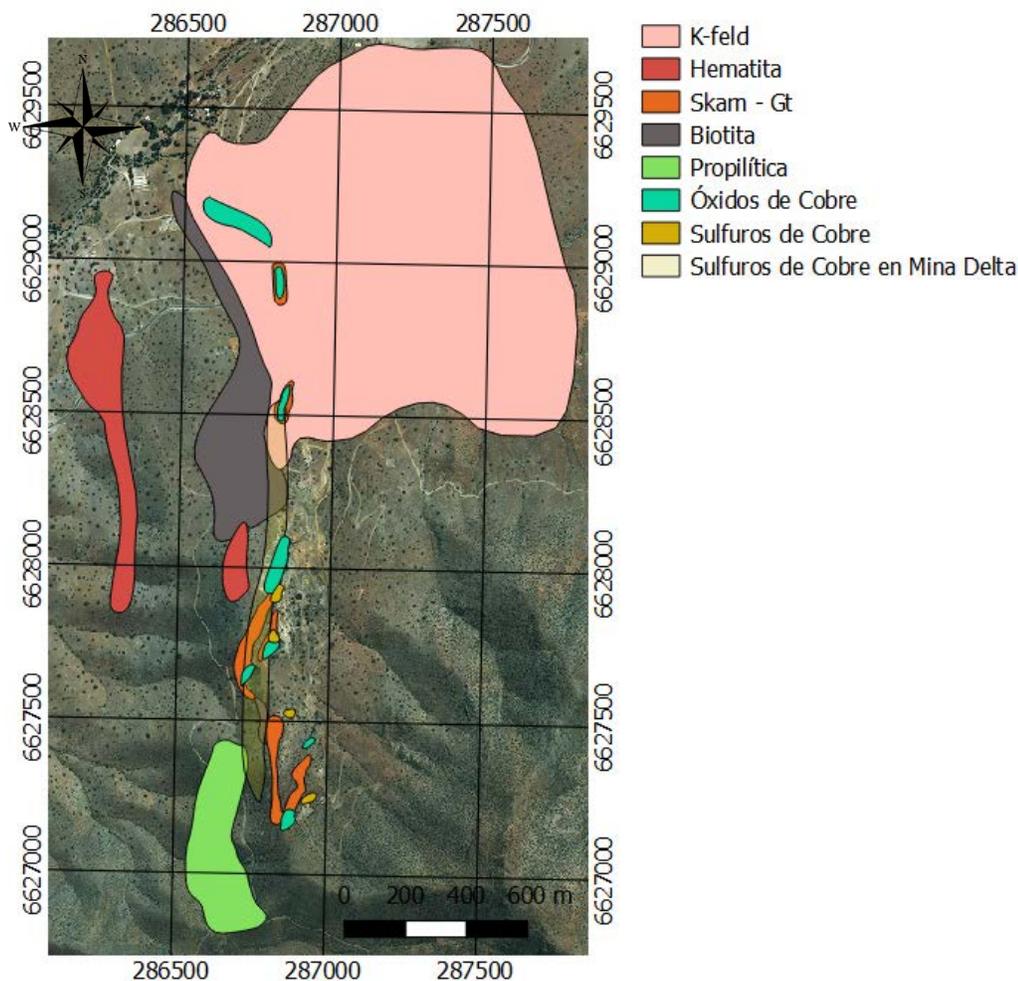


Figura 2 - 17. Distribución espacial de las asociaciones de minerales de alteración y mineralización

Unos 400 m al oeste de la FP, en los estratos pertenecientes al Complejo Volcánico de Agua Salada, existe una franja de aproximadamente 10 m de potencia y 1200 m de largo con una fuerte alteración de hematita (la cual no presenta mineralización de Cu). Los afloramientos afectados por esta alteración corresponden a metaareniscas, dique andesítico de megacrístales de plagioclasa y brechas tobáceas adyacentes a este dique, los cuales contienen hematita en su matriz [fig 2-4, 2-5, 2-6, 2-7 y 2-18]. Por otro lado, al oeste del Rajo Caracoles y adyacente al E de la FP, también se presenta una alteración de hematita en tobas finas pertenecientes a la Formación Arqueros [fig 2-10], la cual se encuentra tanto en la matriz como en nódulos de hasta 20 cm de diámetro.

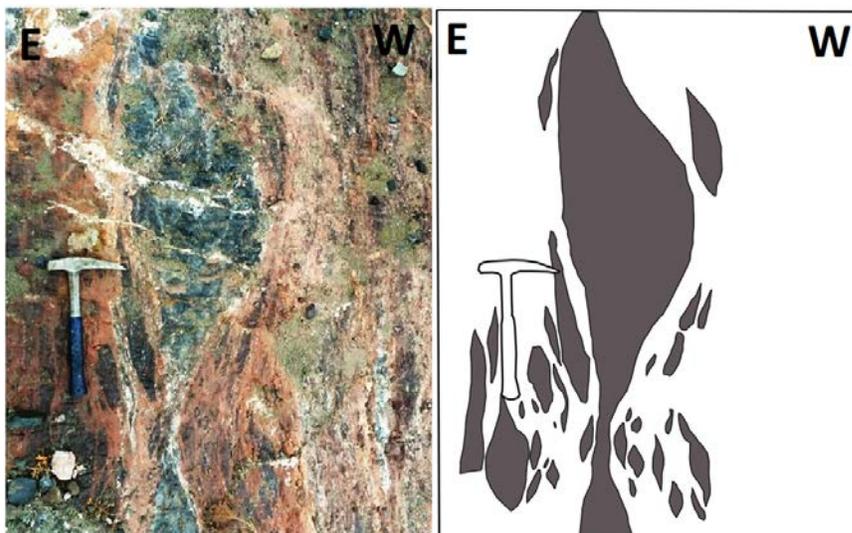


Figura 2 - 18. Vista en planta de alteración de hematita en matriz de brecha de toba, con clastos alargados en dirección general N10E por acción de la FP. Ubicación: 286212; 6628874

En la zona sur y también al oeste de la FP, se ha reconocido una fuerte alteración propilítica que afecta a afloramientos tobáceos. Esta generalmente se presenta en forma de epidota tabular y acicular de forma masiva y menor clorita, en nódulos de hasta 20 cm de diámetro [fig 2-19].

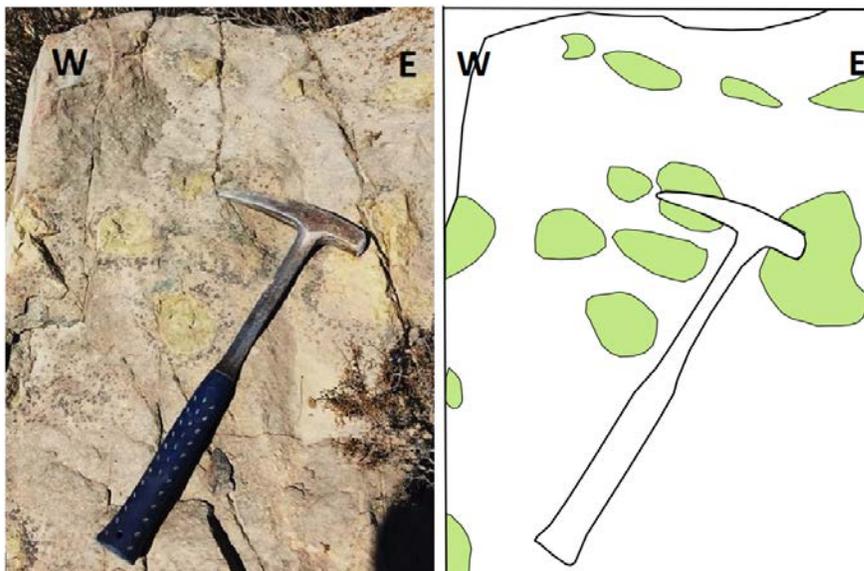


Figura 2 - 19. Vista en planta de alteración de epidota en nódulos, en afloramientos de tobas. Ubicación: 286661; 6627391

En la zona norte de la traza de la FP, tanto en areniscas como en el Intrusivo Pejerreyes existe una fuerte alteración de biotita. La biotita se presenta de forma diseminada en afloramientos cercanos al Rajo Caracoles. Sin embargo, más al norte en zonas de menor cota (tales como el tramo norte de la Mina Asunción, situado a una menor cota con una diferencia de 150 m en la vertical) se ha reconocido biotita en forma de vetillas de hasta 5 cm de espesor, con granos de hasta 7 cm de largo. Estas vetillas han sido vistas tanto en zonas estériles como zonas aledañas a mineralización de cobre, poseen rumbo y manto variables aunque un gran número de estas vetillas tienen rumbo general NS y manto subvertical.

Por otro lado, de norte a sur y al E de la FP, se pueden reconocer distintos afloramientos que contienen granate. Esta alteración producto de un metasomatismo generalmente va acompañada de menores cantidades de actinolita, epidota y biotita cloritizada (que representa un metamorfismo retrógrado). Según la cercanía a los diques que formaron el skarn, los granates son de grano grueso (hasta 2 cm) y color negro cuando se encuentran en contacto o muy cercanos a los diques. A mayores distancias, varían de grano medio a

fino; y de color marrón oscuro o rojo a color caramelo o ámbar. Los granates más distales a la fuente de calor son de color verde.

Cabe destacar que gracias a los análisis petrográficos y calcográficos realizados a distintas muestras, se ha descubierto que en toda la zona de estudio existe una leve alteración de hematita, epidota, muscovita, biotita, tremolita, actinolita e ilmenita. A estos minerales se agregan en la zona este clorita, rutilo, martita, kenomagnetita y titanita.

2.3.2. Asociaciones minerales de Cu

En cuanto a la mineralización, los estratos de calizas presentan localmente óxidos de cobre en fracturas (generalmente crisocola) en la pared oeste del Rajo Rosario. Los cuerpos de calcita ubicados en el tercer estrato de calizas presentan nódulos de hasta 7 cm de diámetro con contenidos de calcopirita y bornita masivas, muchas veces oxidadas *in situ* a malaquita y crisocola [fig 2-20].

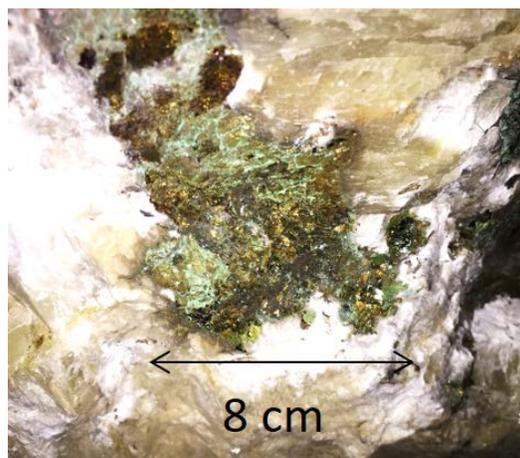


Figura 2 - 20. Cúmulo de sulfuros de cobre (calcopirita y bornita) oxidados *in situ* (crisocola) en bolsón de calcita en laboreo subterráneo. Ubicación: 286975; 6627241 en cota 760 msnm

El skarn explotado en los rajos presenta óxidos y sulfuros de Cu de forma diseminada y en vetillas de hasta 3 mm. Sin embargo, el skarn explotado de forma subterránea en la Mina San Gregorio y Mina Delta posee solamente sulfuros de cobre (calcopirita y bornita) diseminados y en vetillas. Estas vetillas poseen rumbo y manteo variables, aunque muchas de estas tienen rumbo NS a N25E y manteo subvertical o subhorizontal (ver datos de vetillas en [tabla 2-2]); se ubican en fracturas y planos de estratificación y tienen hasta 10 cm de espesor. También contienen pirita y ocasionalmente granos gruesos de magnetita; son de límites rectos y no generan halos [fig 2-21 y 2-22].



Figura 2 - 21. Vista en sección de veta de calcopirita - pirita de rumbo N15E y manteo subhorizontal en skarn (granatita) al interior de la Mina Delta. Ubicación: 286814; 6627848 en cota 475 msnm.

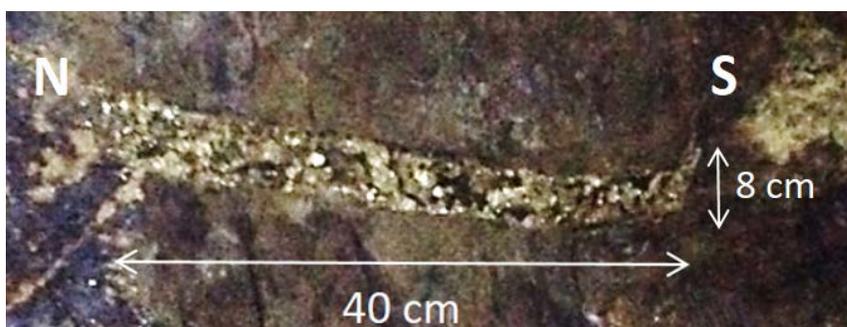


Figura 2 - 22. Vista en planta de veta de calcopirita - magnetita - pirita con rumbo N10E y manteo subvertical; y 10 cm de espesor, ubicada en skarn al interior de un laboreo subterráneo. Ubicación: 286836; 6627986 en cota 676 msnm aproximadamente

La veta que muestra la [fig 2-22] pertenece al arreglo de vetas representado mediante el esquema de la [fig 2-23].

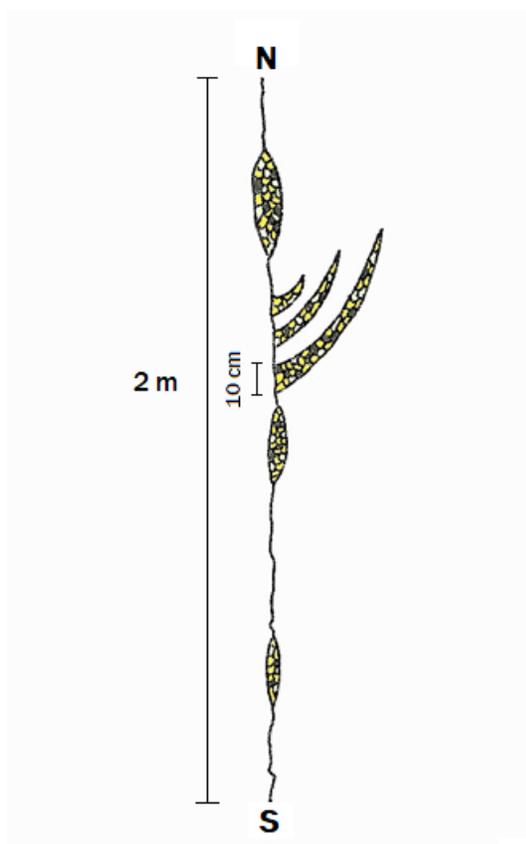


Figura 2 - 23. Vista en planta de esquema que representa el arreglo de vetas de calcopirita – magnetita – pirita al que pertenece la veta de la [fig 2-22]. Ubicación: 286836; 6627986 en cota 676 msnm aproximadamente

Los diques mineralizados ubicados en superficie contienen óxidos de cobre y baja cantidad de sulfuros de cobre (calcopirita acompañada de pirita), donde los óxidos ocupan hasta un 3% del volumen de la muestra, mientras que los sulfuros hasta un 0,3%. Estos mismos diques en profundidad, al interior de la Mina Delta, contienen calcopirita, bornita y pirita diseminadas y en vetillas de hasta 2 cm de espesor [fig 2-24].

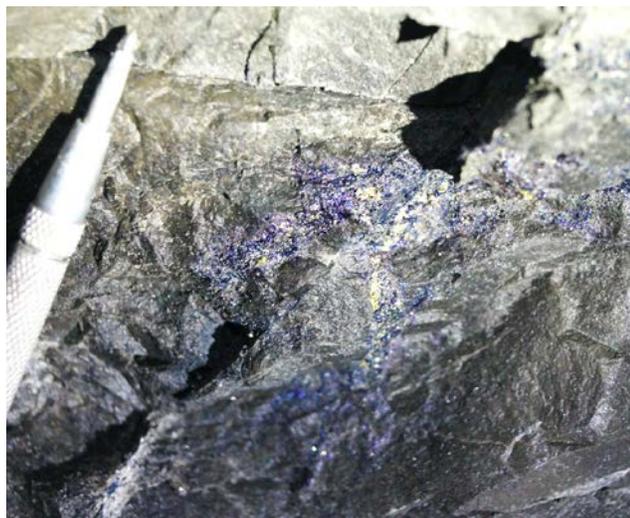


Figura 2 - 24. Vista en sección de vetilla de bornita con calcopirita de actitud N20E/40-70W al interior de la Mina Delta. Ubicación: 286732; 6627846 en cota 475 msnm

En la zona norte de la mina y cercano a la FP, se ubica una brecha hidrotermal de clastos angulosos a subredondeados, en una matriz alterada con kfeld. Esta brecha se ha identificado desde los 535 msnm (mayor cota conocida), con un límite inferior desconocido, al interior de la Mina Delta en los niveles 535, 505, 475 y 445. La geometría de la brecha es tabular con 30 m de potencia, y es limitada por la FP la cual se ubica al W. En la zona este del yacimiento esta brecha es estéril, pero en la zona oeste, adyacente a la FP, la brecha contiene calcopirita y menor bornita diseminadas.

Tabla 2 - 2. Vetillas con mineralización de cobre de espesor > 0,5 cm medidas a lo largo del yacimiento. Coordenadas en WGS84.

Lugar	Mineral	Norte	Este	Altura	Rumbo	Manteo	Espesor
Cercanías FSGN, Interior Mina	Cpy - Py	6627494	286801	545	N15E	75W	0,7 cm
	Cpy - Py	6627494	286801	545	N16E	57W	1 cm
	Cpy - Py	6627494	286801	545	N12E	62W	0,8 cm
	Cpy - Py	6627494	286801	545	N25E	73W	1,5 cm
	Cpy - Py	6627494	286801	545	N28E	80w	0,6 cm

	Cpy - Py	6627494	286801	545	N40W	71W	0,5 cm
	Cpy - Py	6627494	286801	545	N35W	66W	0,5 cm
Laboreo Subterráneo [fig 2-22]	Cpy - Py - Mt	6627986	286836	676	N10E	85W	10 cm
	Cpy - Py - Mt	6627986	286836	676	N05E	85W	8 cm
	Cpy - Py - Mt	6627986	286836	676	N03E	85W	7 cm
	Cpy - Py - Mt	6627986	286836	676	N25E	85W	10 cm
	Cpy - Py - Mt	6627986	286836	676	N20E	85W	6 cm
	Cpy - Py - Mt	6627986	286836	676	N16E	85W	4 cm
	Cpy - Py - Mt	6627986	286836	676	N10E	14E	8 cm
	Cpy - Py - Mt	6627986	286836	676	N12E	25E	10 cm
	Cpy - Py - Mt	6627986	286836	676	N07E	13E	11 cm
	Cpy - Py - Mt	6627986	286836	676	N05E	10E	10 cm
Interior Mina [fig 2-21]	Cpy - Py	6627848	286814	475	N15E	05E	10 cm
	Cpy - Py	6627848	286814	475	N32E	60W	0,5 cm
	Cpy - Py	6627848	286814	475	N12W	74W	0,5 cm
Interior Mina [fig 2-24]	Cpy - Bo	6627846	286732	475	N20E	40W	0,5 cm
	Cpy - Bo	6627846	286732	475	N38E	76W	0,5 cm
	Cpy - Bo	6627846	286732	475	N24W	03W	0,5 cm
	Cpy - Bo	6627846	286732	475	N47W	23E	0,5 cm
	Cpy - Bo	6627846	286732	475	N11W	54E	0,5 cm
	Cpy - Bo	6627846	286732	475	N10W	48E	0,5 cm

2.4. Sistemas de falla distritales y locales

Las principales estructuras identificadas en este trabajo se presentan en la [fig 2-25]. Estas corresponden a la Falla Panulcillo, Falla Asunción, Falla San Gregorio Norte, Falla San Gregorio Sur y un conjunto de fallas menores asociadas a la Falla Panulcillo.

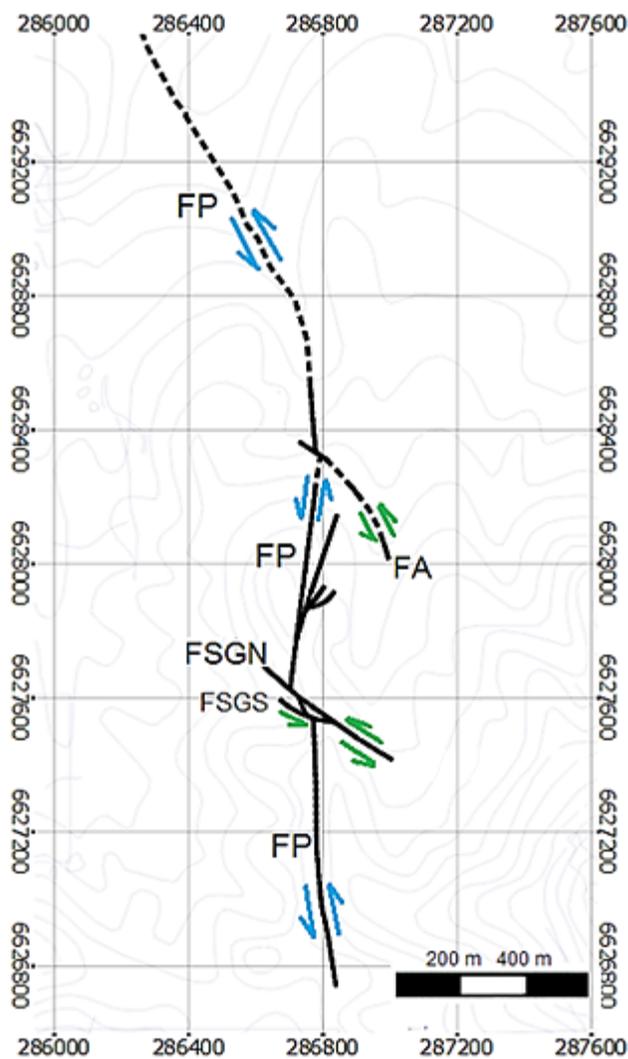


Figura 2 - 25. Esquema simplificado con las principales fallas estudiadas del yacimiento Panulcillo. FP: Falla Panulcillo. FA: Falla Asunción. FSGN: Falla San Gregorio Norte. FSGS: Falla San Gregorio Sur.

2.2.4.1. Falla Panulcillo

La Falla Panulcillo, cuyo rumbo varía de N20W a N10E y su manteo general es de 85W, es una estructura distrital que representa a la Falla Romeral, de carácter regional. La FP tiene 5 a 13 m de potencia observada en la Rampa Sur de la Mina Delta y cruza todo el yacimiento, con más de 2 km de largo en la zona de estudio. En general no presenta salbanda a excepción de algunos lugares observados dentro de la Mina Delta; y no posee minerales de mena en su núcleo. Sin embargo, la FP limita la mineralización de cobre por el oeste, indicando con ello que el último movimiento de esta falla es más joven que los eventos mineralizadores principales del yacimiento. En consecuencia, el último movimiento de esta falla es post – mineral.

Según Richards et al (2007), esta falla tuvo en algún momento un movimiento inverso que levantó el bloque oeste Jurásico sobre un bloque perteneciente al Cretácico; y luego habría tenido un movimiento de rumbo siniestral. El último movimiento de la falla habría tenido un movimiento de carácter normal, desplazando hacia abajo el bloque colgante ubicado al oeste de la Falla. En este trabajo, este movimiento está documentado por estrías verticales de fallas subsidiarias que nacen de la FP, las cuales también poseen estrías verticales, steps y sentido de mineralización hidrotermal en steps que aluden a un movimiento normal [fig 2-26].

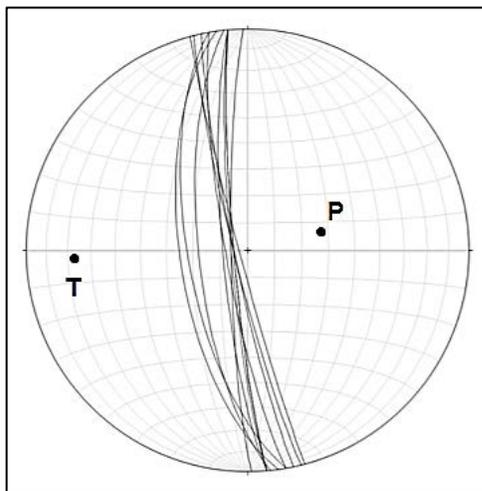


Figura 2 - 26. Red de Schmidt que muestra los planos de falla medidos para la FP, junto con los ejes de acortamiento (P) y tensión (T) calculados con el programa Faultkin utilizando el plano de falla en el cual se pudo medir la estría. Los datos de estos planos de falla se encuentran en la [tabla 2-3].

En el núcleo y zona de daño de la FP existe una fuerte alteración de biotita y menor muscovita. La roca ubicada en el núcleo de la falla presenta muy baja competencia pudiendo disgregarse con la mano, lo cual hace peligroso el acceso a esta falla en labores subterráneas dado a que constantemente caen planchones de roca del techo y paredes. En superficie, dada la baja competencia de la roca, la falla se manifiesta como una zona muy erosionada y poco cohesionada, lo que a simple vista dificulta la distinción de la zona de falla y de superficies discretas estriadas. Esto también ha imposibilitado la toma de datos de rumbo y manteo en superficie, puesto que solo se identificaron unos pocos planos de falla mal conservados.

Sin embargo, se ha podido acceder a algunos lugares dentro de la Mina Delta para poder medir rumbo y manteo de la falla. Además, se han obtenido otros datos sobre la actitud de esta falla medidos en distintos lugares de la mina (Dextre, comunicación escrita) que hoy se encuentran fortificados, por lo cual ya no se puede apreciar la falla en sí. Todos estos datos se presentan en la [tabla 2-3].

Tabla 2 - 3. Rumbo y manto de la Falla Panulcillo tomados en distintos lugares del yacimiento

RUMBO Y MANTEO	RAKE DE LA ESTRÍA	SENTIDO DE MOVIMIENTO	UBICACIÓN (WGS84)	FUENTE
N05W/84W	-	-	286664; 6627673. Superficie	Este trabajo
N05W/81W	-	-	286664; 6627673. Superficie	Este trabajo
N06W/72W	84° hacia el N	Normal	286664; 6627673. Superficie	Este trabajo
N15W/87W	-	Siniestral	286799; 6626903. Interior Mina	Este trabajo
N11W/84W	-	Siniestral	286799; 6626903. Interior Mina	Este trabajo
N06W/86W	-	-	286799; 6626903. Interior Mina	Este trabajo
N10W/82W	-	-	286799; 6626903. Interior Mina	Este trabajo
N12W/85W	-	-	286799; 6626903. Interior Mina	Christian Dextre
N05W/85W	-	-	286799; 6626903. Interior Mina	Christian Dextre
N14W/85W	-	-	286799; 6626903. Interior Mina	Christian Dextre
N05W/85W	-	-	286708; 6627307. Interior Mina	Christian Dextre
N08W/65W	-	-	286812; 6628297. Interior Mina	Christian Dextre
N10W/68W	-	-	286812; 6628297. Interior Mina	Christian Dextre

2.2.3.2. Falla Asunción

La Falla Asunción es una estructura de carácter local que tiene hasta 3 m de potencia y 200 m de largo observado, con una actitud general NNW/70W. Esta falla corta y desplaza a la FP y a la mineralización de forma siniestral – inversa [fig 2-27], con un desplazamiento en la horizontal de unos 10 a 20 m, y en la vertical de hasta 100 m (ambos obtenidos a partir de datos de superficie y de la ubicación de la mineralización en la Mina Delta). Esta falla se ha definido como inversa dado a su manteo y a que la mineralización baja de cota a medida que se avanza hacia el norte (según modelo de bloques del yacimiento).

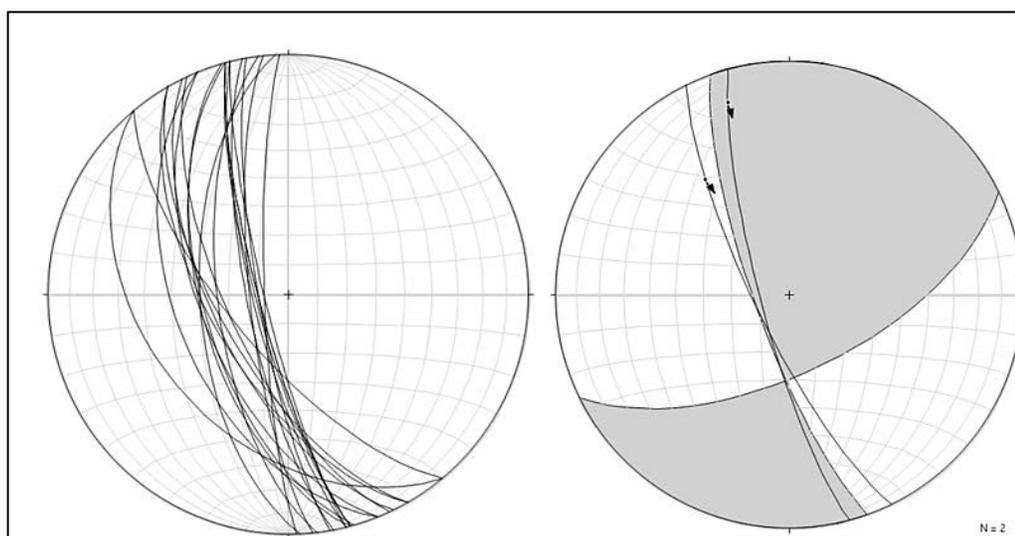


Figura 2 - 27. A la izquierda, red de Schmidt que muestra los planos de falla medidos para la FA. A la derecha, diagrama de acortamiento (P) y tensión (T) calculado con el programa Faultkin utilizando los planos de falla en donde se pudo medir estrías. Los datos de estos planos de falla se encuentran en la [tabla 2-4].

La falla concentra mineralización de sulfuros de cobre en profundidad, aumentando las leyes en las cercanías de la falla al E de la FP (esto ha sido observado en datos proporcionados por ENAMI sobre el modelo de bloques de la Mina Delta, datos confidenciales). Por otro lado, no se observa mineralización en superficie en los planos de

falla. En cuanto a sus características físicas, no posee minerales de relleno, ni salbanda ni alteraciones que la caractericen. Se identifica como una serie de planos paralelos con roca muy fracturada.

La actitud de distintos planos de la Falla Asunción se presenta en la [tabla 2-4].

Tabla 2 - 4. Rumbo y manto de la Falla Asunción tomados en distintos lugares del yacimiento

RUMBO Y MANTEO	RAKE DE LA ESTRÍA	SENTIDO DE MOVIMIENTO	UBICACIÓN (WGS84)	FUENTE
N30W/63W	-	-	287002; 6628069. Superficie	Este trabajo
N22W/51W	-	Siniestral	287002; 6628069. Superficie	Este trabajo
N16W/61W	-	Siniestral	287002; 6628069. Superficie	Este trabajo
N30W/66W	-	-	287002; 6628069. Superficie	Este trabajo
N10W/85W	-	-	287002; 6628069. Superficie	Este trabajo
N15W/80W	10-15° hacia el N	Siniestral	287002; 6628069. Superficie	Este trabajo
N07W/66W	-	-	287002; 6628069. Superficie	Este trabajo
N26W/64W	-	-	287002; 6628069. Superficie	Este trabajo
N25W/69W	-	Siniestral – Inversa	286748; 6628435. Superficie	Este trabajo
N22W/60W	-	-	286748; 6628435. Superficie	Este trabajo
N15W/79W	-	-	286748; 6628435. Superficie	Este trabajo
N26W/78W	40° hacia el N	Siniestral - Inversa	286748; 6628435. Superficie	Este trabajo

N14W/82W	-	Siniestral	286748; 6628435. Superficie	Este trabajo
N03W/60W	-	-	286748; 6628435. Superficie	Este trabajo
N15W/60W	-	-	286748; 6628435. Superficie	Este trabajo
N15W/80W	-	-	286914; 6628185. Interior Mina	Este trabajo
N02W/82W	-	-	286914; 6628185. Interior Mina	Este trabajo
N06W/77W	-	-	286914; 6628185. Interior Mina	Este trabajo
N11W/76W	-	-	286914; 6628185. Interior Mina	Este trabajo
N40W/40W	-	-	286789; 6628240. Interior Mina	Christian Dextre
N40W/70W	-	-	286789; 6628240. Interior Mina	Christian Dextre

2.2.4.3. Falla San Gregorio Norte

La Falla San Gregorio Norte es una estructura de carácter local que posee hasta 4 m de potencia y 500 m de largo observado, con una actitud general NW/70W. Esta falla, al igual que la Falla Asunción, corta y desplaza a la FP y a la mineralización de forma siniestral – inversa, con un desplazamiento en la horizontal de hasta 100 m, y en la vertical de hasta 20 m (ambos estimados a partir de la ubicación de afloramientos desplazados en superficie y de la ubicación de la mineralización, lo cual ha sido observado en datos proporcionados por ENAMI sobre el modelo de bloques de la Mina Delta, datos confidenciales) [fig 2-28].

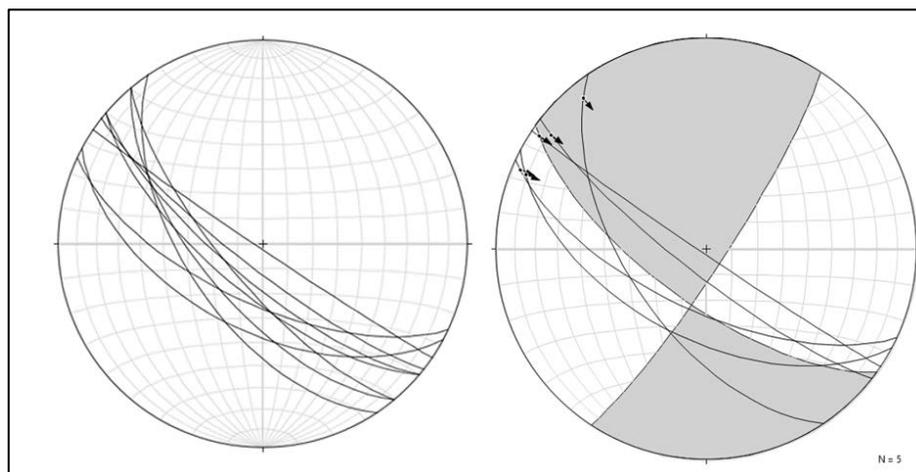


Figura 2 - 28. A la izquierda, red de Schmidt que muestra los planos de falla medidos para la FSGN. A la derecha, diagrama de acortamiento (P) y tensión (T) calculado con el programa Faultkin utilizando los planos de falla en donde se pudo medir estrías. Los datos de estos planos de falla se encuentran en la [tabla 2-5].

Esta falla, al igual que la Falla Asunción, también concentra mineralización de sulfuros de cobre en profundidad, aumentando las leyes en las cercanías de la falla al E de la FP (lo cual ha sido visto en el modelo de bloques de la Mina Delta, datos confidenciales). A diferencia de la Falla Asunción, en las cercanías de la Falla San Gregorio Norte sí se observa mineralización en superficie, principalmente de óxidos de cobre. En cuanto a sus características físicas, no posee minerales de relleno, ni salbanda ni asociaciones de minerales de alteración que la caractericen. Se identifica como una serie de planos paralelos con roca muy fracturada, pero en superficie no se han identificado afloramientos con planos de falla ya que los afloramientos se encuentran erosionados o cubiertos de regolito y de suelo, lo que ha dificultado medir planos de falla.

Los datos de esta falla se presentan en la [tabla 2-5].

Tabla 2 - 5. Rumbo y manto de la Falla San Gregorio Norte tomados en distintos lugares del yacimiento

RUMBO Y MANTEO	RAKE DE LA ESTRÍA	SENTIDO DE MOVIMIENTO	UBICACIÓN (WGS84)	FUENTE
N34W/59W	5-10° hacia el W	Siniestral	286660; 6627674. Superficie	Este trabajo
N65W/66W	5° hacia el W	Siniestral	286660; 6627674. Superficie	Este trabajo
N62W/55W	10° hacia el W	Siniestral	286660; 6627674. Superficie	Este trabajo
N52W/80W	5-10° hacia el W	Siniestral	286660; 6627674. Superficie	Este trabajo
N56W/88W	5° hacia el W	Siniestral	286660; 6627674. Superficie	Este trabajo
N50W/70W	-	-	286772; 6627505. Interior Mina	Christian Dextre
N40W/65W	-	-	286749; 6627524. Interior Mina	Christian Dextre
N50W/75W	-	-	286741; 6627544. Interior Mina	Christian Dextre
N40W/74W	-	-	286712; 6627578. Interior Mina	Christian Dextre

2.2.4.4. Falla San Gregorio Sur

La Falla San Gregorio Sur es una estructura de carácter local que posee hasta 2 m de potencia y 200 m de largo observado, con una actitud general NW/80W. Esta falla nace del extremo SE de la Falla San Gregorio Norte, y dadas las características cinemáticas que posee esa última, probablemente la Falla San Gregorio Sur tuvo un movimiento siniestral (no se han identificado marcadores de desplazamiento de esta falla) [fig 2-29].

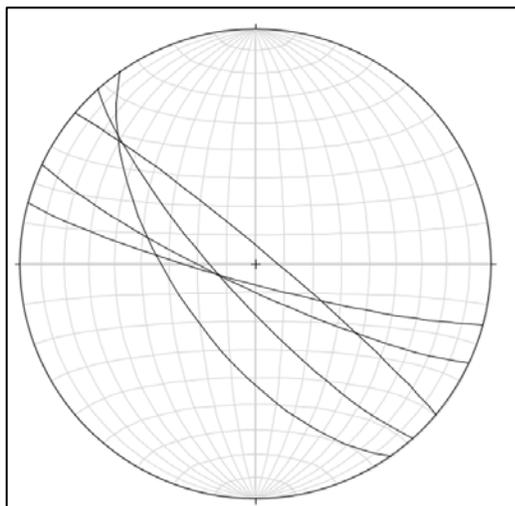


Figura 2 - 29. Red de Schmidt con los datos de falla medidos para la FSGS. Los datos de estos planos de falla se encuentran en la [tabla 2-6].

No se ha determinado una relación entre esta falla y la mineralización en profundidad, sin embargo existen óxidos de cobre espacialmente asociados a ella en superficie. En cuanto a sus características físicas, es similar a la Falla San Gregorio Norte: no posee minerales de relleno, ni salbanda ni minerales de alteración que la caractericen. Se identifica como una serie de superficies paralelas con roca muy fracturada, siendo difícil de observar en superficie de deslizamiento específica dada la erosión de los afloramientos.

Los datos de esta falla se presentan en la [tabla 2-6].

Tabla 2 - 6. Rumbo y manteo de la Falla San Gregorio Sur tomados en distintos lugares del yacimiento

RUMBO Y MANTEO	RAKE DE LA ESTRÍA	SENTIDO DE MOVIMIENTO	UBICACIÓN (WGS84)	FUENTE
N65W/81W	-	-	286660; 6627674. Superficie	Este trabajo
N42W/78W	-	-	286660; 6627674. Superficie	Este trabajo
N50W/85E	-	-	286660; 6627674. Superficie	Este trabajo

N75W/83W	-	-	286770; 6627483. Interior Mina	Christian Dextre
N35W/62W	-	-	286748; 6627510. Interior Mina	Christian Dextre

2.2.4.5. Fallas NNE subsidiarias a la FP

Existe un conjunto de fallas espacialmente asociadas a la Falla Panulcillo en su traza central, que han sido reconocidas en el borde y cercanías del Rajo Caracoles (rajo norte). Estas fallas, de actitud general N10-20E/55W, tienen largos de metros a cientos de metros, y cuyos últimos movimientos habrían tenido un carácter normal con desplazamiento final de hasta 4 m en la vertical (lo cual ha sido observado en el modelo de bloques de la Mina Delta, datos confidenciales). Al interior de la Mina Delta, la zona afectada por estas fallas contiene un mayor contenido de sulfuros de Cu, por lo cual estas fallas podrían haber actuado como canalizadoras de fluidos mineralizados.

2.5. Geoquímica

2.5.1. Descripción y ubicación de muestras

Se tomaron 58 muestras de roca para estudiar la geoquímica que posee el yacimiento Panulcillo en base a análisis ICP – MS, con los cuales se obtuvo la concentración de 49 elementos distintos por cada muestra. La descripción de terreno de cada muestra y su ubicación se muestran en la [tabla 2-7] y [fig 2-30 a 2-33]:

Tabla 2 - 7. Descripción de terreno de muestras enviadas a análisis ICP – MS. Coordenadas en WGS84

ID	ESTE	NORTE	ALTURA	DESCRIPCIÓN
RP01	286852	6627820	475	Muestra interior mina, nivel 475. <i>Litología:</i> skarn de cobre, presenta oquedades. <i>Alteración:</i> biotita, epidota, granates color marrón <i>Mineralización:</i> calcopirita y bornita
RP02	286850	6627820	475	Muestra interior mina, nivel 475. <i>Litología:</i> Dique o complejo subvolcánico microandesítico, con plagioclasas de hasta 1 mm anhedrales y en baja medida tabulares. <i>Alteración:</i> biotita <i>Mineralización:</i> calcopirita y bornita
RP05	286850	6627920	475	Muestra interior mina, nivel 475. <i>Litología:</i> dique o complejo subvolcánico andesítico, con plagioclasas de hasta 1 mm anhedrales <i>Alteración:</i> kfeld <i>Mineralización:</i> calcopirita, bornita, pirita y trazas de óxidos de cobre
RP06	286850	6628020	475	Muestra interior mina, nivel 475. <i>Litología:</i> dique o complejo subvolcánico andesítico, con plagioclasas de hasta 1 mm anhedrales <i>Alteración:</i> biotita <i>Mineralización:</i> calcopirita y bornita
RP07	286646	6628860	547	<i>Litología:</i> dique microdiorítico fino <i>Alteración:</i> biotita <i>Mineralización:</i> pirita escasa
RP08	286773	6625480	555	<i>Litología:</i> dique microdiorítico fino <i>Alteración:</i> limonita, actinolita, magnetismo moderado <i>Mineralización:</i> no tiene
RP09	286443	6625856	586	<i>Litología:</i> Dique microdiorítico fino <i>Alteración:</i> biotita <i>Mineralización:</i> óxidos de cobre y posibles remanentes de sulfuros
RP15	286819	6627746	700	<i>Litología:</i> skarn de cobre <i>Alteración:</i> biotita cloritizada, granates color marrón, oxidación sobreimpuesta, actinolita. Magnetismo leve a mediano <i>Mineralización:</i> pirita, calcopirita, bornita, oxidación in situ de sulfuros de cobre
RP19	286817	6627852	696	<i>Litología:</i> skarn de cobre fuertemente alterado <i>Alteración:</i> granates color negro, pirolusita, clorita, limonita, leve magnetismo <i>Mineralización:</i> óxidos de cobre rellenando espacios entre cristales de granate, veta de mt con venillas de crisocola de 1 a 2 mm, sulfatos de cobre y escasos sulfuros de cobre

RP39	286897	6627845	675	<i>Litología:</i> desconocida, podría corresponder a una toba entre calizas dada su ubicación <i>Alteración:</i> pirolusita, epidota, arcillas, yeso, clorita <i>Mineralización:</i> escasos óxidos de cobre
RP44	286902	6627206	782	<i>Litología:</i> dique microandesítico <i>Alteración:</i> magnetismo moderado, hematita <i>Mineralización:</i> no se observa
RP52	286874	6627968	672	<i>Litología:</i> toba de cristales de composición andesítica, ubicada entre calizas. <i>Alteración:</i> magnetismo leve, biotita <i>Mineralización:</i> no tiene
RP53a	286828	6628002	664	<i>Litología:</i> vetarrón de calcopirita, pirita y magnetita con granos de gran tamaño (hasta 2 cm en granos de pirita). El vetarrón poseía cerca de 10 cm de espesor. <i>Alteración:</i> magnetita, actinolita, biotita, granates color caramelo, arcillas y leve argilización en zonas alrededor de pirita. <i>Mineralización:</i> calcopirita, pirita, localmente digenita o covelina y sulfatos de cobre
RP53b	286813	6628002	664	<i>Litología:</i> dique afanítico en límite con vetarrón de muestra RP53a. <i>Alteración:</i> limonita superficial y en vetillas menores a 1 mm, hematita y yeso escasos. Bt escasa <i>Mineralización:</i> pirita y calcopirita escasas
RP54a	286813	6628002	664	<i>Litología:</i> veta de biotita. La veta tiene espesor de hasta 7 cm, los cristales de biotita son centimétricos de hasta 5 cm, color negro a verde oscuro. <i>Alteración:</i> oxidación, hematita, limonita. Mt muy fuerte en cúmulos <i>Mineralización:</i> pirita junto a cristales de biotita, de granos centimétricos
RP55	286813	6628002	674	<i>Litología:</i> meta toba de lapilli o caliza muy alterada <i>Alteración:</i> pirolusita, limonitas <i>Mineralización:</i> óxidos de cobre en baja cantidad al centro de cúmulos de origen no identificado
RP59	286782	6627875	711	<i>Litología:</i> skarn de cobre <i>Alteración:</i> granates, silicificación <i>Mineralización:</i> sulfuros y óxidos de cobre
RP63	286716	6627659	706	<i>Litología:</i> skarn de granate <i>Alteración:</i> granate, silicificación <i>Mineralización:</i> óxidos de cobre escasos
RP64	286849	6628103	663	<i>Litología:</i> dique microdiorítico <i>Alteración:</i> magnetismo fuerte, biotita, limonitas <i>Mineralización:</i> óxidos de cobre
RP70	287090	6627824	690	<i>Litología:</i> brecha hidrotermal <i>Alteración:</i> sílice, cúmulos de granate rodeados por halos de epidota y clorita, oxidación sobreimpuesta, kfeld <i>Mineralización:</i> óxidos de cobre en baja cantidad

RP72	286309	6627892	618	<i>Litología:</i> desconocida, halo cercano de dique diferenciado de plagioclasas centimétricas (muestra RP71), por lo que podría tratarse del mismo dique <i>Alteración:</i> kfeld <i>Mineralización:</i> no tiene
RP73	286309	6627892	618	<i>Litología:</i> desconocida, halo lejano de la muestra RP71. <i>Alteración:</i> argilización, silificación, limonitas, hematita <i>Mineralización:</i> escasos sulfuros de cobre
RP76	286842	6628451	600	<i>Litología:</i> desconocida, roca fuertemente alterada <i>Alteración:</i> granates negros, halo silificado, alteración calcosilicatada, leve magnetismo <i>Mineralización:</i> escasos sulfuros de cobre
RP83	286830	6628903	572	<i>Litología:</i> veta de cuarzo, con textura oquerosa en algunas zonas <i>Alteración:</i> óxidos de manganeso?, kfeld, clorita <i>Mineralización:</i> óxidos de cobre
RP86	286676	6629128	531	<i>Litología:</i> dique alterado afanítico <i>Alteración:</i> pirolusita, limonitas, clorita <i>Mineralización:</i> no tiene
RP87	286852	6629909	476	<i>Litología:</i> diorita de grano medio a grueso, con pequeños cristales amarillos no identificados <i>Alteración:</i> no tiene <i>Mineralización:</i> no tiene
RP88	286665	6629534	497	<i>Litología:</i> granodiorita a granito de grano medio a grueso <i>Alteración:</i> kfeld <i>Mineralización:</i> no tiene
RP89	287191	6629711	498	<i>Litología:</i> intrusivo Pejerreyes, facie granítica. Textura fanerítica de grano fino <i>Alteración:</i> nódulos elipsoidales de biotita con halos de oxidación (hm?), los cuales tienen magnetismo moderado. La biotita en las partes sin nódulos no tiene asociado magnetismo. <i>Mineralización:</i> no tiene
RP90	286169	6626614	666	<i>Litología:</i> dique afanítico con fenocristales menores a 1 mm de piroxeno? Y cristales de plagioclasa tabulares menores a 1 mm <i>Alteración:</i> magnetismo fuerte, silificación. Pirolucita, óxidos de manganeso, hematita <i>Mineralización:</i> óxidos de cobre en pátinas y vetillas menores a 1 mm
DW1	286425	6627220	644	<i>Litología:</i> dique cuarzo-monzonítico de rumbo N10E <i>Alteración:</i> clorita, epidota, magnetismo leve <i>Mineralización:</i> no tiene
DW2	286345	6627581	617	<i>Litología:</i> dique cuarzo-monodiorítico de 1,5 m de espesor y actitud N25E/75W <i>Alteración:</i> silificación, sericita? <i>Mineralización:</i> posible calcopirita y bornita diseminada

DW3	286605	6628451	610	<i>Litología:</i> dique diorítico de cristales de plagioclasa pequeños, de actitud N335/80W <i>Alteración:</i> epidota, magnetismo bajo <i>Mineralización:</i> no tiene
DEM1	286962	6627480	720	<i>Litología:</i> dique sienítico de textura granular fina, fuertemente alterado. <i>Alteración:</i> granate, calcita, kfeld <i>Mineralización:</i> escasos sulfuros de cobre
DEM2	286782	6627550	728	<i>Litología:</i> dique monzonítico de granos finos, de actitud N04E/50E <i>Alteración:</i> epidota, kfeld, nódulos con granates verdes, manganeso <i>Mineralización:</i> calcopirita, óxidos de cobre y fierro
DEM3A	286767	6627676	715	<i>Litología:</i> dique monzonítico con anfíbola y plagioclasa de textura fanerítica e hipabisal <i>Alteración:</i> óxidos superficiales, cristales de granate menores a 1 mm <i>Mineralización:</i> calcopirita
DEM4	286782	6627732	711	<i>Litología:</i> dique afanítico de rumbo N30W <i>Alteración:</i> magnetismo moderado, oxidación superficial y en fracturas. <i>Mineralización:</i> óxidos de cobre
DEM5	286807	6627924	678	<i>Litología:</i> dique microdiorítico <i>Alteración:</i> silicificación <i>Mineralización:</i> calcopirita y pirita diseminadas y en vetillas, bornita diseminada
DEM6	286840	6628451	600	<i>Litología:</i> dique microgranodiorítico. Podría ser dique proveniente del Intrusivo Pejerreyes. Se encuentra próximo a skarn con óxidos de cobre y tiene actitud N09W/84W <i>Alteración:</i> epidota, granates marrón oscuro, caramelo y verdosos <i>Mineralización:</i> sulfuros de cobre?
DEM7	286779	6628956	561	<i>Litología:</i> dique microgranodiorítico. Podría provenir del Intrusivo Pejerreyes. Se encuentra próximo a skarn con óxidos de cobre <i>Alteración:</i> epidota, granate, actinolita, kfeld, magnetismo moderado <i>Mineralización:</i> óxidos de cobre
S1	286916	6627221	779	<i>Litología:</i> skarn de cobre <i>Alteración:</i> granates color verde y caramelo, limonitas, calcita <i>Mineralización:</i> óxidos de cobre
S2	286833	6627443	750	<i>Litología:</i> caliza marmórea, en parte skarn. Posee fragmentos de roca grisácea, probablemente una toba. <i>Alteración:</i> calcita con cristales de 1 a 2 mm, granates (5%), kfeld (5%) <i>Mineralización:</i> óxidos de cobre, trazas de calcopirita
S3	286719	6627671	706	<i>Litología:</i> skarn de cobre <i>Alteración:</i> granates, calcita <i>Mineralización:</i> óxidos de cobre en cúmulos

S4	286845	6628461	600	<p><i>Litología:</i> skarn de cobre</p> <p><i>Alteración:</i> granates color marrón oscuro a negros, hematita, limonitas, oxidación superficial, biotita</p> <p><i>Mineralización:</i> óxidos de cobre</p>
S5	286778	6628865	563	<p><i>Litología:</i> skarn de cobre</p> <p><i>Alteración:</i> granate verdoso y caramelo, algunos granates negros. Pátinas de óxidos de hierro, limonitas</p> <p><i>Mineralización:</i> trazas de óxidos de cobre</p>
S6	286779	6628956	561	<p><i>Litología:</i> skarn de cobre</p> <p><i>Alteración:</i> granates color marrón oscuro a negros, hematita, limonitas, oxidación superficial</p> <p><i>Mineralización:</i> óxidos de cobre</p>
IP1	286927	6629130	547	<p><i>Litología:</i> Intrusivo Pejerreyes, facie granítica.</p> <p><i>Alteración:</i> magnetita, clorita</p> <p><i>Mineralización:</i> no tiene</p>
IP2	287536	6630824	544	<p><i>Litología:</i> Intrusivo Pejerreyes, facie granodiorítica a diorítica</p> <p><i>Alteración:</i> clorita, kfeld</p> <p><i>Mineralización:</i> no tiene</p>
IP4	287865	6630168	466	<p><i>Litología:</i> Intrusivo Pejerreyes, facie granodiorítica.</p> <p><i>Alteración:</i> kfeld, agnetismo moderado, epidota</p> <p><i>Mineralización:</i> no tiene</p>
IP7A	287210	6630562	486	<p><i>Litología:</i> Intrusivo Pejerreyes, facie granodiorítica.</p> <p><i>Alteración:</i> hematita, magnetismo moderado, trazas de clorita y epidota</p> <p><i>Mineralización:</i> no tiene</p>
IM-G1	286810	6627180	475	<p>Muestra interior mina, nivel 475.</p> <p><i>Litología:</i> skarn o “granatita”</p> <p><i>Alteración:</i> granates color caramelo, escasos granos de actinolita</p> <p><i>Mineralización:</i> calcopirita y piritita en vetillas y diseminada</p>
IM-G2	286775	6627390	475	<p>Muestra interior mina, nivel 475.</p> <p><i>Litología:</i> skarn o “granatita”</p> <p><i>Alteración:</i> granates color caramelo, limonitas</p> <p><i>Mineralización:</i> calcopirita y piritita en vetillas y diseminada</p>
IM-G3	286800	6627510	475	<p>Muestra interior mina, nivel 475.</p> <p><i>Litología:</i> skarn o “granatita”</p> <p><i>Alteración:</i> granates color caramelo, actinolita, limonitas</p> <p><i>Mineralización:</i> calcopirita y piritita en vetillas y diseminada, bornita diseminada</p>
IM-D1	286800	6627180	475	<p>Muestra interior mina, nivel 475.</p> <p><i>Litología:</i> dique microcuarzodiorítico, con plagioclasas anhedrales a tabulares muy pequeñas (<1 mm) en una matriz de granos extremadamente finos que los hacen imposibles de distinguir, y escasos granos de cuarzo.</p> <p><i>Alteración:</i> biotita, escasa clorita, magnetismo moderado</p> <p><i>Mineralización:</i> calcopirita y piritita diseminadas y en vetillas</p>

IM-D2	286760	6627390	475	<p>Muestra interior mina, nivel 475.</p> <p><i>Litología:</i> dique microcuarzodiorítico, con plagioclasas anhedrales a tabulares muy pequeñas (<1 mm) en una matriz de granos extremadamente finos que los hacen imposibles de distinguir, y escasos granos de cuarzo.</p> <p><i>Alteración:</i> biotita, magnetismo moderado</p> <p><i>Mineralización:</i> calcopirita y pirita diseminadas y en vetillas, bornita diseminada</p>
IM-D3	286770	6627510	475	<p>Muestra interior mina, nivel 475.</p> <p><i>Litología:</i> dique microcuarzodiorítico, con plagioclasas anhedrales a tabulares muy pequeñas (<1 mm) en una matriz de granos extremadamente finos que los hacen imposibles de distinguir, y escasos granos de cuarzo.</p> <p><i>Alteración:</i> biotita</p> <p><i>Mineralización:</i> calcopirita y pirita diseminadas y en vetillas</p>
IM-D4	286800	6627830	475	<p>Muestra interior mina, nivel 475.</p> <p><i>Litología:</i> dique microcuarzodiorítico, con plagioclasas anhedrales a tabulares muy pequeñas (<1 mm) en una matriz de granos extremadamente finos que los hacen imposibles de distinguir, y escasos granos de cuarzo.</p> <p><i>Alteración:</i> biotita, escaso kfeld, magnetismo moderado</p> <p><i>Mineralización:</i> calcopirita y pirita diseminadas y en vetillas</p>
IM-D5	286850	6627950	475	<p>Muestra interior mina, nivel 475.</p> <p><i>Litología:</i> dique microcuarzodiorítico, con plagioclasas anhedrales a tabulares muy pequeñas (<1 mm) en una matriz de granos extremadamente finos que los hacen imposibles de distinguir, y escasos granos de cuarzo.</p> <p><i>Alteración:</i> biotita, kfeld, magnetismo leve</p> <p><i>Mineralización:</i> calcopirita y pirita diseminadas y en vetillas, bornita diseminada</p>
IM-D6	286800	6628320	475	<p>Muestra interior mina, nivel 475.</p> <p><i>Litología:</i> dique microcuarzodiorítico, con plagioclasas anhedrales a tabulares muy pequeñas (<1 mm) en una matriz de granos extremadamente finos que los hacen imposibles de distinguir, y escasos granos de cuarzo.</p> <p><i>Alteración:</i> biotita, kfeld, magnetismo leve</p> <p><i>Mineralización:</i> calcopirita y pirita diseminadas y en vetillas</p>

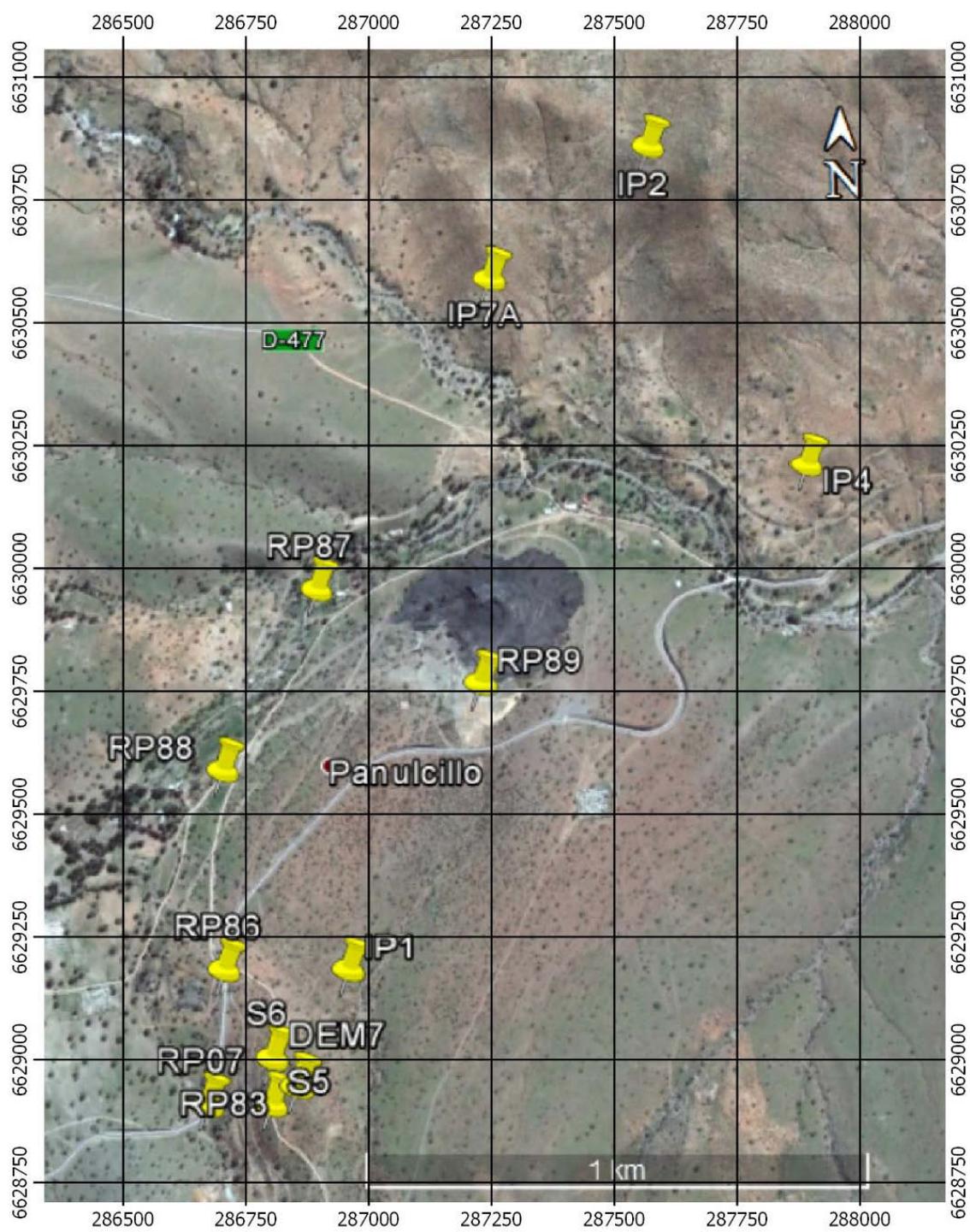


Figura 2 - 30. Ubicación de muestras enviadas a ICP, zona norte

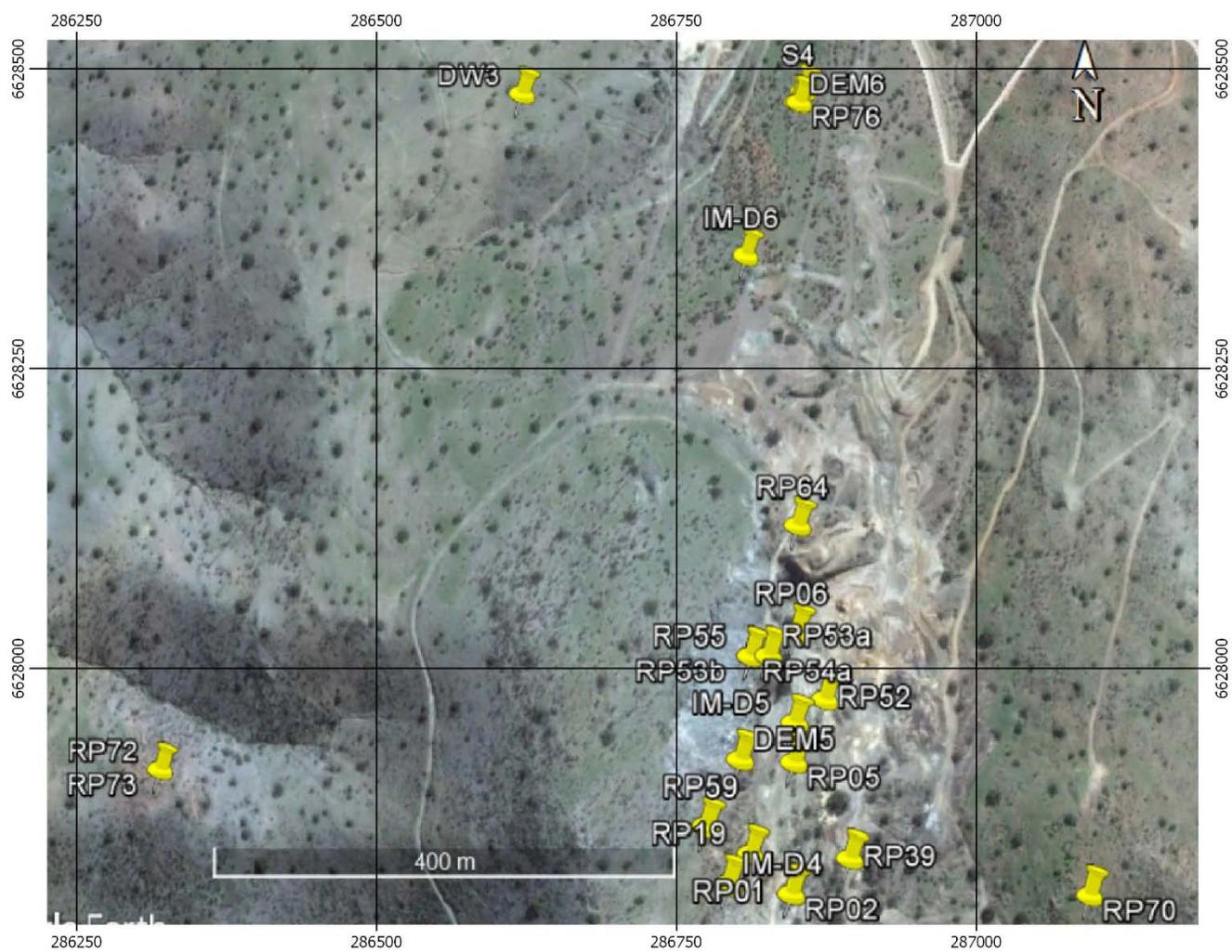


Figura 2 - 31. Ubicación de muestras enviadas a ICP, zona centro norte

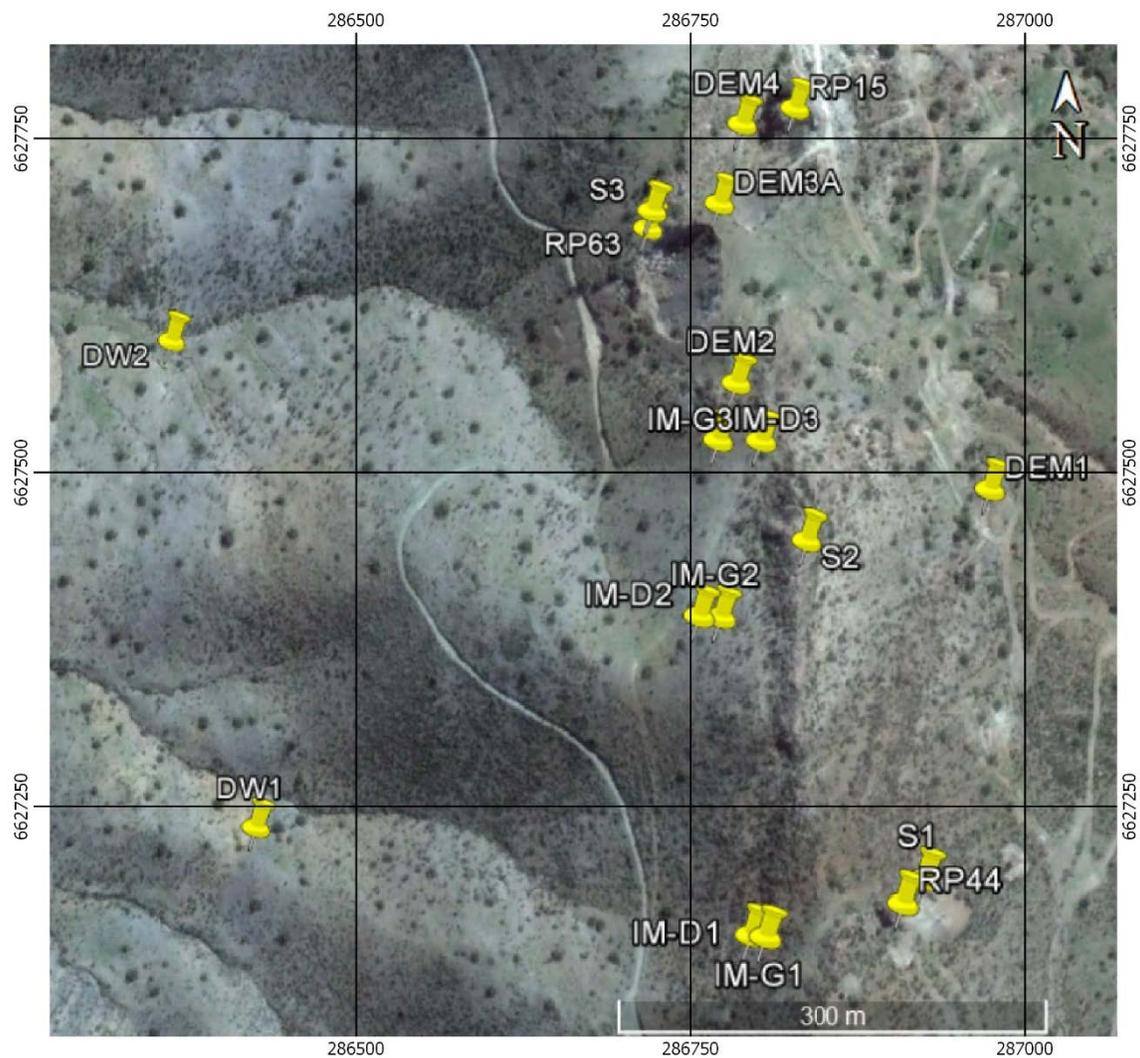


Figura 2 - 32. Ubicación de muestras enviadas a ICP, zona centro sur

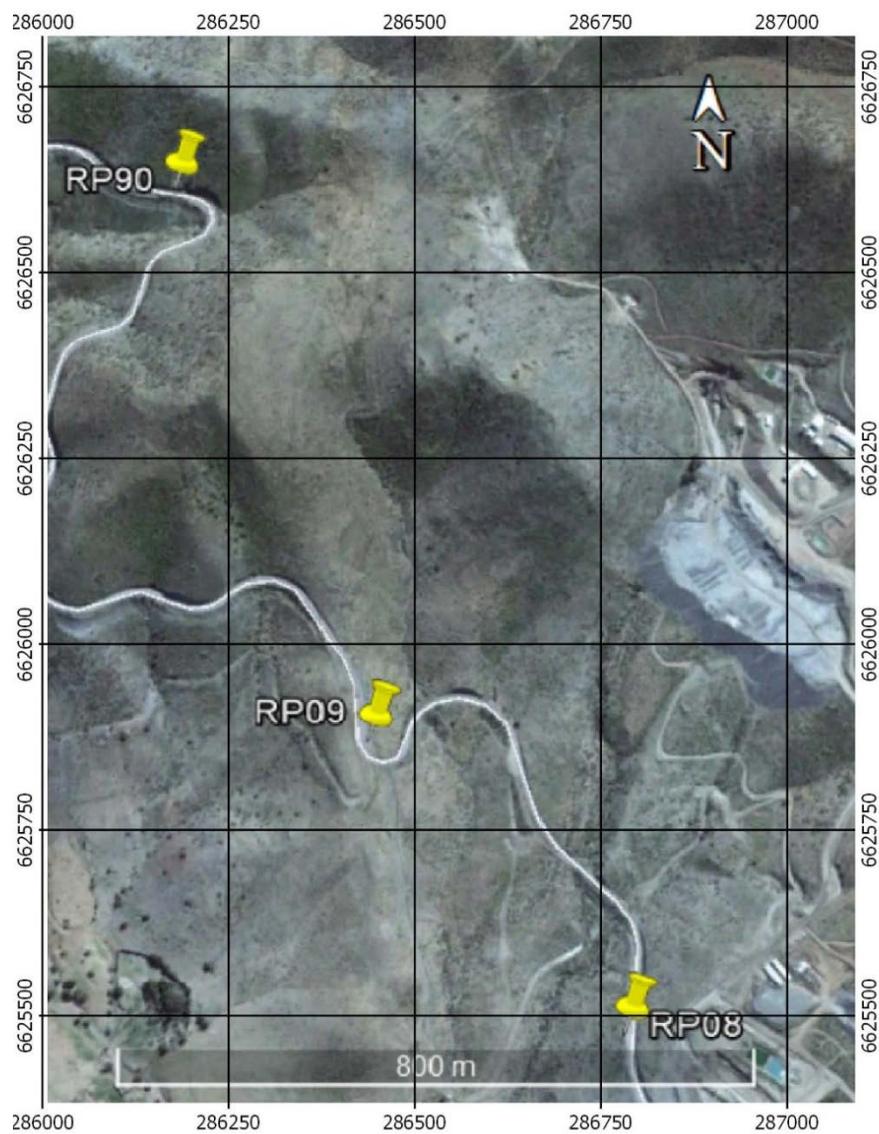


Figura 2 - 33. Ubicación de muestras enviadas a ICP, zona sur

2.5.2. Concentración de elementos en muestras mineralizadas v/s no mineralizadas

Las muestras seleccionadas por unidad litológica para realizar este análisis se encuentran en la [tabla 2-8].

Tabla 2 - 8. Muestras seleccionadas para comparar la variación en la concentración de elementos en muestras sin mineralización v/s con mineralización

			Cu (ppm)
Skarn de superficie	Sin Mineralización	S2	640
		S5	859
	Con Mineralización	RP15	>10000
		RP19	>10000
Skarn Interior Mina	Sin Mineralización	RP01	20.8
	Con Mineralización	IM-G2	882
		IM-G3	891
Diques mineralizados de superficie	Sin Mineralización	DEM6	84.1
	Con Mineralización	DEM4	>10000
		DEM5	>10000
Diques interior mina	Sin Mineralización	RP02	19
	Con Mineralización	RP05	>10000
		RP06	>10000
		IM-D4	>10000

De este ejercicio, con respecto a cada litología se obtuvo lo siguiente:

- i. Skarn de superficie: las muestras con baja concentración de Cu, en comparación con las que tienen alta concentración, se encuentran deprimidas en los elementos Ag, As, Be, Bi, Cd, Co, Cu, Ni, Pb, S, Sb, Se, Te, Tl, U, Zn y Au. A su vez, presentan un exceso de Li y Na.
- ii. Skarn interior mina: las muestras con baja concentración de Cu, en comparación con las que tienen alta concentración, se encuentran deprimidas en los elementos Ag, Ba, Be, Cd, Co, Cs, Cu, K, Li, Mg, P, Pb, Rb, S, Sr y Zn. A su vez, presentan un exceso de Nb y Re.

- iii. Diques microdioríticos mineralizados de superficie: las muestras con baja concentración de Cu, en comparación con las que tienen alta concentración, se encuentran deprimidas en los elementos Ag, Bi, Cd, Te y Au. A su vez, presentan un exceso de Ba, Be, K, Li, Nb, Rb, Sr, Ta y Tl.
- iv. Diques microdioríticos mineralizados interior mina: las muestras con baja concentración de Cu, en comparación con las que tienen alta concentración, se encuentran deprimidas en los elementos Ag, As, Ba, Bi, Cd, Hf, In, Nb, Re, S, Sb, Sn, Ta, Th, U, Zr y Au. A su vez, presentan un exceso de Cs, Li, Mg, Mn, Ni, Sr, Tl y V.

Los resultados numéricos obtenidos de este ejercicio se presentan en la [tabla 2-9].

Tabla 2 - 9. Elementos deprimidos (celeste) y con exceso (naranja) de concentración en muestras sin mineralización, comparadas con muestras con mineralización

Skarn de superficie		Skarn interior mina		Diques Min. De superficie		Diques interior mina	
Ag	1%	Ag	9%	Ag	4%	Ag	2%
As	13%	Ba	10%	Bi	10%	As	11%
Be	15%	Be	11%	Cd	20%	Ba	16%
Bi	3%	Cd	5%	Te	4%	Bi	2%
Cd	1%	Co	19%	Au	3%	Cd	8%
Co	2%	Cs	7%	Ba	203%	Hf	3%
Cu	7%	Cu	2%	Be	264%	In	17%
Ni	2%	K	16%	K	262%	Nb	11%
Pb	5%	Li	20%	Li	755%	Re	5%
S	0%	Mg	21%	Nb	317%	S	2%
Sb	4%	P	14%	Rb	447%	Sb	20%
Se	10%	Pb	9%	Sr	260%	Sn	17%
Te	2%	Rb	15%	Ta	219%	Ta	12%
Tl	6%	S	5%	Tl	262%	Th	6%
U	12%	Sr	14%			U	12%
Zn	1%	Zn	9%			Zr	3%
Au	4%	Nb	220%			Au	3%
Li	189%	Re	480%			Cs	1143%
Na	6759%					Li	547%
						Mg	442%
						Mn	228%
						Ni	185%
						Sr	347%
						Tl	213%
						V	188%

2.5.3. Zonación espacial de elementos y anomalías por litología

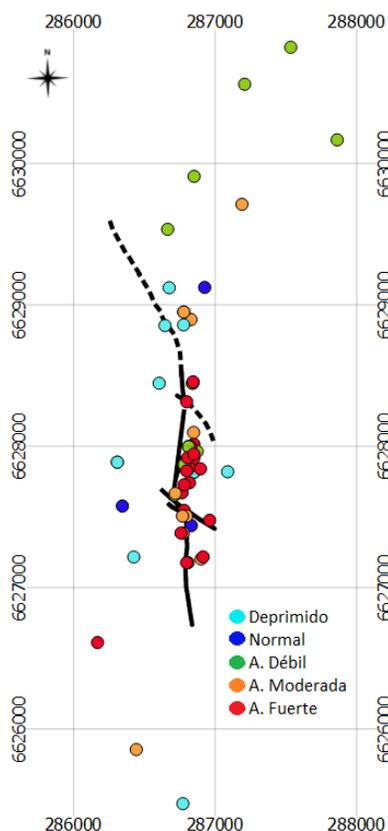


Figura 2 - 34. Ejemplo de un mapa de anomalías, el cual corresponde al elemento Ag. En este caso, este elemento presenta una zonación de anomalías, puesto que sobre la zona del yacimiento presenta una concentración fuertemente anómala, la cual baja a moderadamente anómala en dirección N-S y a deprimida o en el background en dirección E-W, perpendicular al yacimiento.

Al comparar los rangos obtenidos con la estadística básica y con los gráficos de probabilidad acumulada, lo obtenido con la estadística básica presentó valores mucho más altos que los obtenidos con los gráficos, lo cual muchas veces era erróneo e incluso sobrepasaba en gran forma los límites de concentración dados por las muestras. Por esto, finalmente se llevó a cabo la metodología de los gráficos de probabilidad acumulada y se recomienda utilizar esta metodología para análisis posteriores.

Con los rangos obtenidos, se crearon mapas que muestran la ubicación de cada muestra junto con el tipo de anomalía que posee para cada elemento. Un ejemplo de estos mapas se muestra en la [fig 2-34].

Con estos mapas se encontraron los elementos que presentan una zonación espacial de anomalías [fig 2-35], los cuales serán llamados “elementos guía”. Cabe destacar que esta selección de elementos es independiente a la litología, alteración, mineralización y profundidad a la cual fue tomada la muestra.

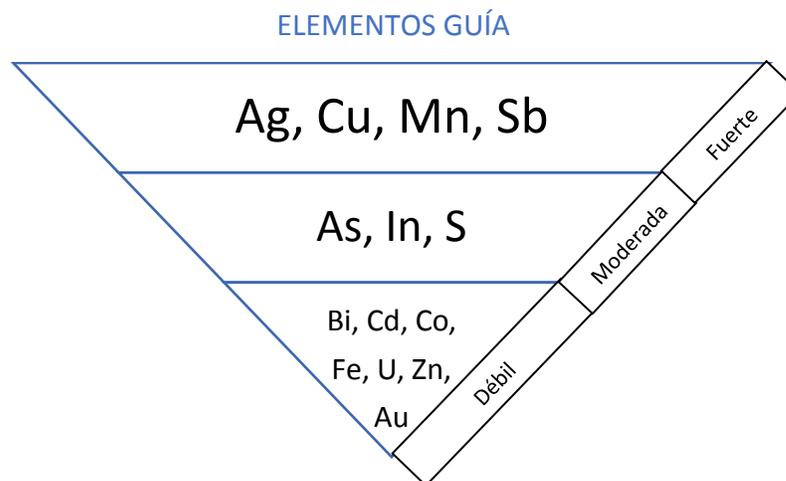


Figura 2 - 35. Elementos que han presentado halos o zonaciones de anomalías en la zona de estudio, y que sobre el yacimiento presentan el tipo de anomalía que muestra la figura. Estos elementos disminuyen en gran cantidad su concentración a medida que se avanza en dirección E-W (perpendicular al yacimiento).

Por otro lado, se definieron los elementos que presentan cada tipo de anomalía en ciertas litologías [tabla 2-10].

Tabla 2 - 10. Elementos con concentraciones anómalas tipo débil, moderada y fuerte según litología

Litología	Anomalía Débil	Anomalía Moderada	Anomalía Fuerte
Skarn Interior Mina (hipógeno)	Fe, S, Se, Sn, W, Zn	Ag, As, Bi, Ca, Cd, Cu, In, Re, Sb, Te, U, Au	Mn, Mo
Skarn Superficie (supérgeno)	Mo, Re	Bi, Ca, Co, Fe, In, S, Se, U, W, Au	Ag, As, Cd, Cu, Mn, Sb, Te, Zn
Diques Min. Interior Mina (hipógeno)	Bi, In, Mn, Mo, Na, Sc, Se, Sn, Th, U, Zn	As, Ga, Re, S, Au	Ag, Cu, Sb, Te
Diques Min. Superficie (supérgeno)	Bi, Ca, Cd, Co, Mo, Na, Re, S, Sc, U, V	As, In, Mn, Se, Zn, Au	Ag, Cu, Sb, Te
Diques dioríticos W FP (supérgeno)	As, Fe, In, Na, Re, Se, Au	Ag, Cu, Ga, Mn, Sb, Sc, V	Te
Intrusivo Pejerreyes (supérgeno)	Ag, As, Ba, Cs, Cu, K, Mo, Se, Sn, Sr, U, W, Au	Ga, Rb, Th	Sb

2.5.4. Grupos de correlación

Los resultados de los grupos obtenidos por el análisis de componentes principales y por inspección se presentan en la [tabla A2 13; anexo 2]. Analizando ambos resultados, finalmente se definieron los grupos de correlación para ciertas litologías del yacimiento Panulcillo [tabla 2-11].

Tabla 2 - 11. Grupos de correlación (GC) propuestos para cada tipo litológico. En este ejercicio se han extraído los elementos Mn, Sb y Te, los cuales presentan anomalías locales generales. Cabe destacar que la numeración no indica importancia ni magnitud de la correlación entre los elementos de cada grupo.

Litología	GC1	GC2	GC3	GC4	GC5
Skarn Interior Mina	Ag, As, Bi, Cd, Co, Cs, Cu, In, Na, Ni, P, Pb, Re, S, Tl, U, Zn, Au	Ba, Be, Ca, Hf, K, Li, Mg, Rb, Sr, Th, W, Zr	Fe, La, Cd, Co, Cs, Ga	-	-
Skarn Superficie	Ag, As, Be, Cd, Ce, Cu, In, La, Ni, Re, S, Se, Zn, Au	Cr, Ga, Ge, Mo, Sc	Fe, Ge, Mn, Ti, V	Co, Cu, Se, Te, U	Ba, Cs, K, Rb, Sr
Diques Min. Interior Mina	Ag, As, Bi, Cd, Cu, Mo, P, Pb, Se, Ti, Zn	Al, Co, Fe, In, Re, Ni, S, Sn, V, W, Au	Ba, Be, Ce, Cu, Ge, Hf, K, Mg, La, Nb, Rb, Ta, Th, Y, Zr	-	-
Diques Min Superficie	Ag, As, Cd, Co, Cs, Cu, In, Mo, Pb, U	Al, Ca, Cs, Ga, Na, P, Pb, Ti, W	Cu, Ce, Ge, La, Nb, Sb, Se, Sn, Ta, Th, Y, Au	Sc, Fe, Ni, V	-
Diques W FP	Ag, Ba, Bi, Cu, Mo, Ni, Pb, Re, S, Sc, Sr, Ti	Al, Ga, K, P, Rb, Sn, Ti, Tl, W	Bi, Ca, Co, Cr, Cu, In, Li, Mg, Se, Zn, Au	-	-
Intrusivo Pejerreyes	Al, Ca, Co, Cu, Fe, Ga, Hf, K, Mg, Nb, Ni, P, Rb, Sc, Sr, Ta, Th, Ti, Tl, U, V, Y	Ba, Be, Cs, Li, Mo, Na, Pb	Ag, As, Cr, Ge, La, Se	-	-

3. Discusión

3.1. Unidades litológicas y metamorfismo ocasionado por Intrusivo Pejerreyes

En la zona de estudio, la Formación Arqueros (Ka(d)) presenta calizas, las cuales no están señaladas por Emparán y Pineda (2006). Sin embargo, los autores sí describen calizas en la facie Ka(c), las cuales se encuentran 25 km al norte del yacimiento Panulcillo. Esta facie Ka(c) es definida por los autores como rocas sedimentarias (calizas y areniscas) marinas en parte fosilíferas con intercalaciones de tobas andesíticas; de actitud N20W/51E y un espesor de 350 m, donde las calizas presentan estratos de 10 a 40 m de espesor (Emparán y Pineda, 2006).

Por otro lado, los autores también definen la existencia de calizas en la facie Ka(b) ubicada a 15 km al norte del yacimiento Panulcillo. Esta facie tiene un espesor de 170 m con actitud N02W/42E y está compuesta por una alternancia de lavas andesíticas, areniscas, calizas y escasas rocas piroclásticas. Las calizas son esparíticas con fragmentos líticos y forman estratos con espesores de 7 a 10 m [Emparán y Pineda, 2006].

Según lo descrito por Emparán y Pineda (2006) en las facies Ka(b) y Ka(c), a pesar de que las calizas de la zona de estudio no son fosilíferas, los estratos son similares a la facie Ka(c), a excepción de su rumbo y manteo. Por ende, existen nuevas evidencias de la existencia de calizas en la zona de estudio, lo cual es relevante a la hora de buscar nuevos yacimientos tipo skarn.

En cuanto a los trabajos previos realizados por Araya (1998) y Río Tinto (2001), la descripción general de los afloramientos realizada en este trabajo es similar a la de los trabajos previos. Sin embargo, este trabajo fue realizado con un mayor detalle y teniendo en cuenta el cambio litológico que genera la FP entre los afloramientos ubicados al oeste y este de su traza. En el trabajo de Araya no se consideró la FP como una falla regional

que pone en contacto unidades litológicas de distintas edades y origen, por lo cual las tobas no fueron diferenciadas en cuanto a su origen.

Por otro lado, se infiere una tendencia por parte de Río Tinto (2001) a considerar un metamorfismo ocasionado por el Intrusivo Pejerreyes en gran parte de los afloramientos del sector. Un ejemplo de esto es que tanto al oeste como al este de la FP los estratos de tobas y areniscas fueron definidos como hornfels, aludiendo a un halo de metamorfismo de contacto. En este trabajo en cambio, se ha identificado una menor influencia del Intrusivo en los afloramientos, la que se manifiesta con la ocurrencia de feldespatos potásicos en las cercanías del contacto con el Plutón, así como la presencia de granate negro de grano grueso en los afloramientos de skarn al norte del yacimiento. Además, el Intrusivo también podría ser el causante de la asociación de actinolita, tremolita, biotita y muscovita presente en toda la zona de estudio. Por otro lado, el skarn ubicado en la parte central y sur del yacimiento habría sido generado por los diques que cortan esta secuencia estratigráfica y no por el Intrusivo, dado a que se distingue skarn aledaño a los diques, y un halo de metamorfismo consistente en una transición de skarn a mármol en la parte más distal del dique, donde finalmente se observan calizas sin metamorfismo fuera del halo.

3.2. Edad de los diques microdioríticos mineralizados que intruyen la Formación Arqueros y su relación con el Intrusivo Pejerreyes

Los diques y los estratos cretácicos se encuentran limitados al norte por el Intrusivo Pejerreyes. Por ende, dadas las relaciones de corte, la edad estimada por distintos autores sobre la Formación Arqueros (115 – 131 Ma) y la edad datada en este trabajo para el Intrusivo ($120,7 \pm 1,1$ Ma y $123,2 \pm 1$ Ma), los diques microdioríticos podrían tener una edad de 123 – 131 Ma. Esto, debido a que el Intrusivo Pejerreyes corta y envuelve estratos de skarn mineralizado por diques mineralizados al norte del yacimiento (Mina Asunción), por lo cual el Intrusivo sería más joven que los diques mineralizados. Además, el Intrusivo corta la mayor parte de la secuencia estratigráfica de la Formación Arqueros y también la

mineralización. No hay yacimientos reconocidos en superficie más al norte de la Mina Asunción, y todas las muestras del intrusivo y los sondajes han indicado que el Intrusivo es estéril, no tiene mineralización de cobre, por ende la mineralización que hay más al norte provendría de los diques mineralizados. Esto también es apoyado por evidencias geoquímicas obtenidas en este trabajo, ya que las muestras enviadas análisis geoquímicos no poseen mineralización de Cu; sumado a que los grupos de correlación obtenidos para el Intrusivo Pejerreyes no están asociados al Cu y son muy distintos a los de los diques mineralizados. Las facies dioríticas del Intrusivo, en consecuencia, no serían contemporáneas a los diques microdioríticos mineralizados.

3.3. Paragénesis del yacimiento Panulcillo

En cuanto a las alteraciones presentes en el yacimiento, Araya (1998) y Río Tinto (2001) parten de la base que los primeros eventos ocurren gracias a la Intrusión de Pejerreyes, pero en este trabajo se ha propuesto que Pejerreyes intruye después de los diques mineralizados. Hay que mencionar que dada las asociaciones de minerales de alteración de hematita, epidota, feldespatos potásicos y biotita descritas y a la presencia de calcita y actinolita (entre otros); dado a que la mineralización provendría de diques mineralizados que traen a su vez como consecuencia la formación de skarn en rocas calcáreas; y dado al control estructural existente en Panulcillo, el yacimiento posee numerosas características existentes en otros yacimientos tipo IOCG. Además, dada la existencia de skarn, el yacimiento correspondería a un IOCG con un skarn asociado.

Dado lo observado en Panulcillo y los distintos modelos de IOCG (Sillitoe, 2003; Barton and Johnson, 2004) la alteración potásica (kfeld – bt) habría sido la primera en ocurrir, probablemente en conjunto con la adición de magnetita. Luego se habrían generado minerales como actinolita, turmalina, anfíbolita, clorita, epidota y sericita, en conjunto con la mineralización de calcopirita, bornita y pirita. Estos sulfuros se habrían oxidado cercano a la superficie, formando los niveles superficiales de óxidos de cobre y mixtos

donde se ve calcopirita en conjunto con bornita y crisocola. Finalmente, habría se habría depositado calcita en fracturas y hematita.

3.4. Anomalías geoquímicas y posible origen de la mineralización en Panulcillo

Al comparar los elementos contenidos en muestras sin mineralización de Cu v/s muestras con mineralización, en general la mineralización va acompañada de un aumento en la concentración de los elementos {Ag, As, Au, Ba, Bi, Cd, S, Sb, Te, U}. En ambos tipos de skarn también va acompañada de un aumento en la concentración de {Be, Co, Pb, Zn}; de {Ni, Se, Tl} en skarn de superficie y {K, Mg, P, Rb} en skarn interior mina. En los diques de interior mina, también va acompañada de un aumento en la concentración de {Hf, In, Nb, Re, Sn, Ta, Th, Zr}. Por otro lado, si se comparan estos resultados con los elementos guía obtenidos con el estudio geoquímico de este trabajo, todos estos elementos acompañan las anomalías de Cu a excepción del Mn y Fe. El Mn presenta una fuerte anomalía sobre el yacimiento, la cual podría estar ligada más bien a procesos superficiales o al skarn (ya que los skarn presentan fuertes anomalías de Mn). El Fe sin embargo, presenta una anomalía débil sobre el yacimiento pero al comparar su concentración en muestras mineralizadas y no mineralizadas no tuvo mayores variaciones. Al incluir a este análisis los grupos de correlación obtenidos, se ve que el Mn solamente aparece en un grupo de correlación del skarn de superficie, lo cual evidencia que no está relacionado con la mineralización de Cu. El Fe en cambio, aparece en varios grupos de correlación, ligado al Au o a elementos que a su vez están ligados al Cu y al Au. Esto junto a la anomalía débil que presenta el Fe sobre el yacimiento, apunta a que el Fe estaría relacionado en menor medida a la mineralización de Cu.

Por otro lado, los grupos de correlación de los diques microdioríticos de interior mina generalmente se mantienen tanto en el skarn interior mina como en el skarn de superficie y diques mineralizados de superficie. Esto apuntaría a que la composición del skarn ha sido influenciada por la interacción con los diques mineralizados. Además, existe otro

grupo de elementos que solamente se encuentran en los diques de interior mina y en el skarn de interior mina, no así en los afloramientos de superficie (salvo excepciones como Be, Ce y La); y existen otros elementos que se encuentran en los diques de interior mina y los skarn, pero no en los diques de superficie [tabla 3-1].

Tabla 3 - 1. Comparación de elementos contenidos en grupos de correlación en diques interior mina, diques de superficie, skarn interior mina y skarn de superficie

	Dique Interior Mina y todas las demás litologías	Diques interior mina, skarn interior mina y de superficie	Diques interior mina, skarn de superficie y diques de superficie
Elementos	Ag, As, Bi, Cd, Cu, Mo, P, Pb, Se, Ti, Zn; Al, Co, Fe, In, Re, Ni, S, Sn, V, W, Au	Ba, Be, Hf, K, Mg, Rb, Th, Zr	Ce, Cu, Ge, La, Nb, Ta, Y

En cuanto al origen de la mineralización en el yacimiento, se ha obtenido que el Cu se ubica en un segundo grupo de correlación, ligado a {Co, Se, Te, U} en skarn de superficie y a {Ba, Be, Ce, Ge, Hf, K, Mg, La, Nb, Rb, Ta, Th, Y, Zr} en los diques de interior mina, algunos de los elementos que también habían sido mencionados al comparar las muestras con mineralización v/s sin mineralización. Esto demuestra que el Cu se encuentra asociado a grupos distintos dependiendo de la profundidad. Además, el Au se encuentra asociado al Fe en los diques interior mina, pero en el skarn se encuentra asociado al Cu. Todo esto podría apuntar a que existió más de un evento mineralizador de Cu, por lo cual se propone que ocurrieron dos eventos distintos de mineralización: (1) uno asociado a los diques, donde existía mineralización de Fe-Cu-Au; y (2) otro evento que transportó Cu (y en baja medida Au) hacia la superficie junto con otros elementos. El asociado a eventos magmáticos tendría mineralización de Cu – Fe – Au acompañada de {Ag, As, Bi, Cd, Mo, P, Pb, Se, Ti, Zn}, mientras que el asociado a eventos hidrotermales tendría mineralización de Cu – Au acompañada de {Ce, Ge, La, Nb, Se, Sn, Ta, Th, U, Y}.

A estos dos eventos, se debe agregar un evento supérgeno de mineralización de Cu, el cual ha formado óxidos de cobre producto de la oxidación in situ de sulfuros de cobre y la

migración de estos óxidos mediante el transporte de fluidos por fallas y fracturas. A este evento podría relacionarse la anomalía superficial que existe de Mn, Zn y Sb.

La variación de estos elementos por litología y en profundidad se puede ver en una figura esquemática realizada con este propósito [fig 3-1]

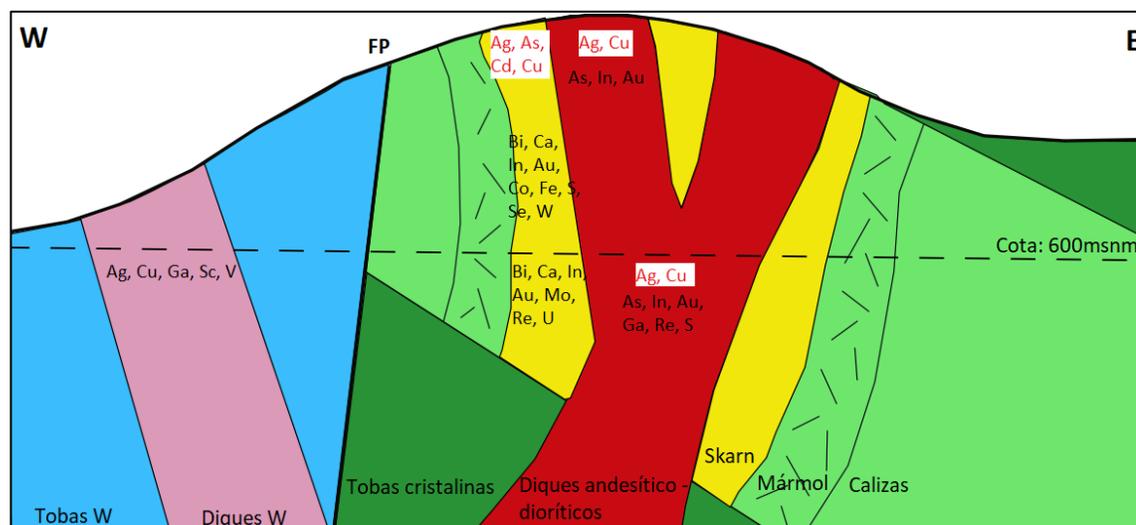


Figura 3 - 1. Sección esquemática W-E del yacimiento, en la cual se indican en rojo los elementos que presentan una anomalía fuerte en cada litología, y en negro los que presentan una anomalía moderada. Para los diques mineralizados al E de la Falla Panulcillo, se hace la distinción entre los diques cercanos a la superficie, y los diques en profundidad o interior mina. Lo mismo ocurre para el caso del skarn (superficie e interior mina). Así, se puede apreciar la variación de anomalías en la vertical en una misma litología.

Finalmente, es importante recalcar el hecho de que los elementos guía (dado la zonación que poseen) y los grupos de correlación que acompañan estos elementos pueden ser utilizados como elementos a analizar en la exploración de yacimientos similares a Panulcillo (tanto en formación como en ubicación cercana a la Falla Romeral y misma franja metalogénica), en una franja de no más de 300 m de ancho y perpendicular al yacimiento (dirección E-W), recomendada en base a la ubicación de estas zonaciones y lo obtenido por Río Tinto (2001). Además, esta exploración puede ser complementada con las anomalías que se podrían encontrar en ciertas litologías, al comparar con las anomalías presentes en cada litología analizada del yacimiento Panulcillo.

3.5. Modelo estructural propuesto para el yacimiento Panulcillo

En el yacimiento Panulcillo existen numerosas vetillas de calcopirita – pirita, calcopirita – pirita – magnetita y calcopirita – bornita con rumbos generales NS a N30E y manteos subverticales; de igual forma, los principales diques mineralizadores presentes en el yacimiento como los que se pueden encontrar en los rajos Caracoles y Mina Nueva poseen rumbo general N20E con manteos de 50W a 85W. Estos diques están asociados a las fallas de rumbo general N20E y manteo subvertical, subsidiarias a la FP. Lo anterior sugiere que en algún momento la FP podría haber tenido una cinemática de rumbo dextral [fig 3-2 (1)], lo cual generó fallas tipo Riedel de rumbo N20E que serían las fallas subsidiarias mencionadas [fig 3-2 (2,3)], y grietas de tensión de rumbos N20E a N40E en las cuales precipitaron minerales como calcopirita y pirita [fig 2-23; fig 3-2 (4)]. Por lo tanto, al menos un parte de la mineralización del yacimiento podría ser coetánea a un movimiento dextral de la FP.

Los esfuerzos presentes al momento de producirse movimientos de rumbo dextrales en la FP podrían haber generado un movimiento de carácter inverso en las fallas de rumbo noroeste y manteo 70SW llamadas FSGN y FA, lo cual sería compatible con la existencia de vetillas de calcopirita – pirita, calcopirita – pirita – magnetita y calcopirita – bornita con rumbos NS a N30E y manteos subhorizontales en las cercanías a estas fallas [fig 3-2 (6)]. Según esto, las vetillas de manteo subvertical y subhorizontal serían coetáneas.

El cambio de movimiento dextral a siniestral de la FP concuerda con las características geométricas del arreglo de vetas presentado en la [fig 2-23; fig 3-2 (5)], en donde se aprecia que las vetas tienen una curvatura que se condice con un movimiento posterior a la mineralización de carácter siniestral, el cual habría deformado las vetas de calcopirita – pirita – magnetita y también las habría cortado y desplazado, razón por la cual no son reconocidas en el lado W del arreglo.

La orientación de las estructuras, vetas y diques mencionados, junto con el hecho de que se ha estimado una edad de entre 131 a 123 Ma para los diques micriodioríticos

mineralizados, concuerdan con lo documentado por Veloso et al (2016) con respecto a los estados de stress postulados para la región, donde hasta los 125 Ma aproximadamente existió un régimen de transtensión dextral, seguido de un régimen de transtensión siniestral del SFA. Estas estructuras y su cinemática dextral también son muy similares a lo evidenciado por López et al (2014) en el yacimiento El Espino, a pesar de que El Espino (90 Ma) es más joven que Panulcillo (130 – 125 Ma).

Hacia los 90 Ma aproximadamente, el SFA entra en un régimen de contracción (Veloso et al, 2016; Richards et al, 2017), el cual habría puesto en contacto las unidades litológicas jurásicas con las unidades litológicas cretácicas [fig 3-2 (7)]. Esto habría ocasionado movimientos inversos en las fallas subsidiarias NNE y dado continuidad al movimiento siniestral de las fallas noroeste. Finalmente, los últimos movimientos del SFA de carácter extensional asociados al cuaternario habrían generado una cinemática normal en las fallas subsidiarias NNE [fig 3-2 (8)].

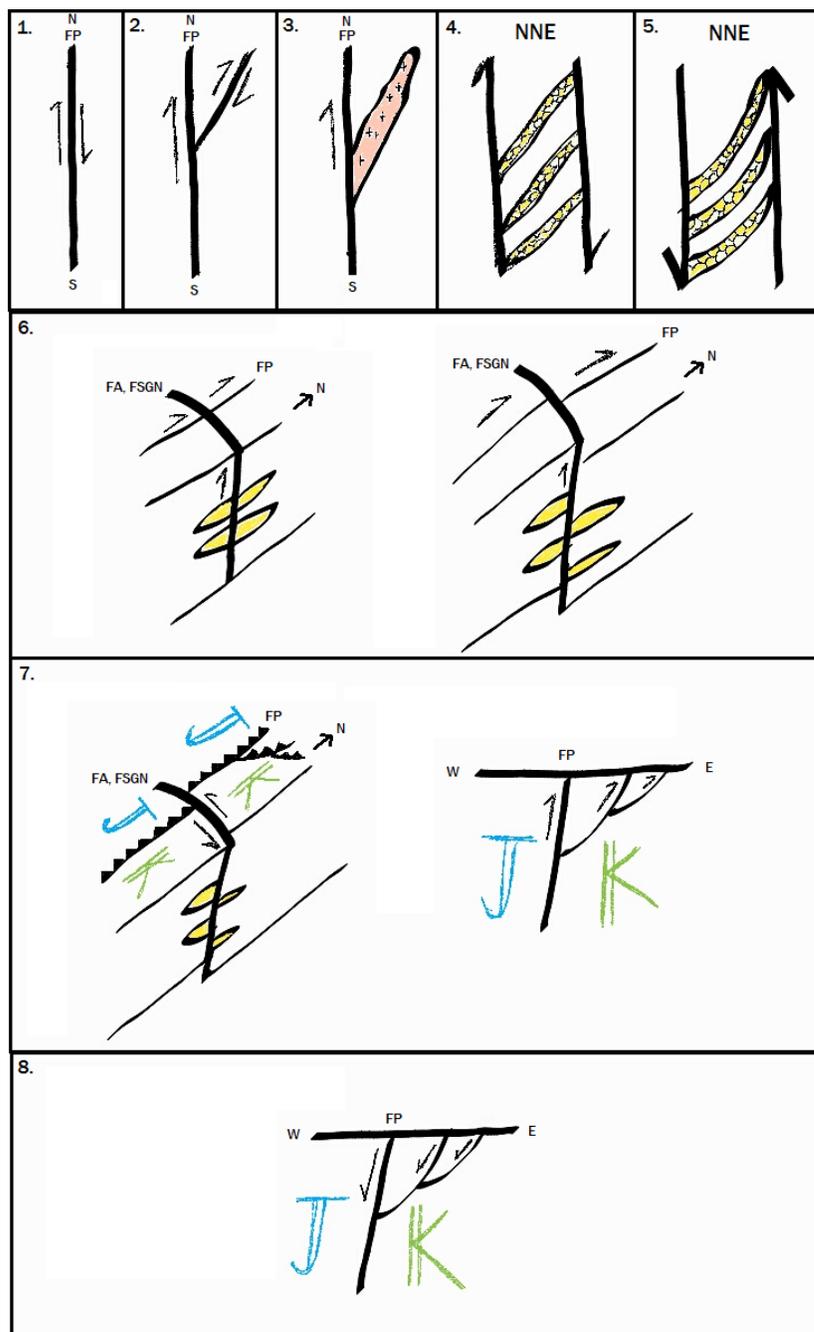


Figura 3 - 2. Esquema representativo del modelo estructural existente en Panulcillo. 1. Movimiento dextral de la FP (~ 130 Ma) 2. Formación de fallas tipo Riedel subsidiarias a la FP 3. Intrusión de diques mineralizados 4. Formación de grietas de tensión, en las cuales se forman vetas de cpy – py – mt 5. Movimiento siniestral de la FP, el cual modifica geoméricamente las vetas de cpy – py – mt (FP (~125 Ma) 6. Movimiento inverso de fallas NW Asunción y San Gregorio Norte 7. Movimiento siniestral de fallas NW, y movimiento inverso de FP y subsidiarias FP (~90 Ma) 8. Movimiento normal de FP y subsidiarias en el cuaternario

4. CONCLUSIONES

En base a toda las evidencias y discusión planteada en este trabajo, se propone lo siguiente:

1. El yacimiento Panulcillo corresponde a un yacimiento tipo IOCG con un skarn asociado, cuya mineralización proviene de diques microdioríticos mineralizados de una edad entre 131 a 123 Ma. Estos diques han generado skarn en las rocas calcáreas de la secuencia estratigráfica que alberga al yacimiento, el cual también está mineralizado.
2. El yacimiento se encuentra limitado al norte por el Intrusivo Pejerreyes, diorítico a granodiorítico, de 120 a 123 Ma en la zona de estudio, el cual es estéril y no tiene relación con los diques microdioríticos mineralizados. Este corta la secuencia estratigráfica de la Formación Arqueros y la mineralización.
3. El yacimiento se encuentra modificado por la acción de la Falla Panulcillo de carácter general N10W/85W, la cual lo limita por el oeste; y la acción de fallas NW/70SW que lo desplazan de forma sinistral inversa. Así, de sur a norte, la mineralización se va desplazando hacia al oeste y también va disminuyendo su cota, aumentando la profundidad del yacimiento. La FP habría tenido una cinemática de rumbo dextral cercano a los 130 – 125 Ma, que facilitó la formación de fallas subsidiarias tipo Riedel de rumbo NNE, la intrusión de diques mineralizados y la formación de vetas de calcopirita – pirita, calcopirita – pirita – magnetita y calcopirita – bornita en direcciones NNE y manteos subverticales. Luego la mineralización habría sido modificada espacialmente por un régimen transtensional sinistral, en donde la FP habría tenido una cinemática sinistral.
4. Los resultados geoquímicos apuntan a la existencia de dos eventos mineralizadores en el yacimiento: uno asociado a eventos magmáticos y otro a eventos hidrotermales. El evento magmático correspondería a la intrusión de los diques microdioríticos mineralizadores, mientras que el evento hidrotermal correspondería a una concentración de minerales de cobre producto de la circulación de fluidos. Esto se habría generado gracias al calor de los diques como

también al del Intrusivo Pejerreyes, y habría sido facilitado por el aumento en la cantidad de fracturas y permeabilidad ocasionado en el yacimiento debido a la acción de las fallas NW y NS.

REFERENCIAS

Aguilar, G, Riquelme, R, Martinod, J, Darrozes, J. (2013). *Rol del clima y la tectónica en la evolución geomorfológica de los Andes Semiáridos chilenos entre los 27 – 32°S*. *Andean Geology* 40 (1): 79-101.

Allmendinger, R, Carzozo, N, Fisher, D. (2012). *Structural geology algorithms: vectors & tensors*. Cambridge University Press, 289 pp. Cambridge, England.

ALS Globals Geochemistry. (2015). Au – TL43 and Au – TL44 Determination of Trace Level Gold by Aqua Regia Digestion – ICP – MS finish. *Geochemical Procedure*.

ALS Globals Geochemistry. (2016). Me – MS61L: Lowest Detection Limit Super Trace Multi – Element Analysis by Four – Acid Digestion and ICP – MS / ICP – AES. *Geochemical Procedure*.

Araya, M, Narváez, P, Navarro, J. (1998). *Informe geológico y evaluación de reservas yacimiento Panulcillo, Proyecto Delta – Ovalle*. La Serena, Región de Coquimbo, Chile.

Arévalo, C, Grocott, J, Martin, W, Pringle, M, Taylor, G. (2006). *Structural Setting of the Candelaria Fe Oxide Cu-Au Deposit, Chilean Andes (27°30'S)*. Society of Economic Geologists, Inc. *Economic Geology*, v. 101.

Barton, M. (2014). *Iron Oxide (-Cu-Au-REE-P-Ag-U-Co) Systems*. Treatise on Geochemistry, 2 ed. University of Arizona, Tucson, AZ, USA.

Barton, M. and Johnson, D. (2004). *Footprints of Fe – oxide (-Cu-Au) systems*. Mineral System Footprints and their Recognition Under Cover, Center for Mineral Resources, Department of Geosciences, University of Arizona, Tucson, USA.

- Benavides, J, Kyser, T, Clark, A. (2007). *The Mantoverde Iron Oxide-Copper-Gold District, III Región , Chile: The Role of Regionally Derived, Nonmagmatic Fluids in Chalcopyrite Mineralization*. Economic Geology, v.102, p. 415-440.
- Bookstrom, A. (1977). *The Magnetite Deposits of El Romeral, Chile*. Economic Geology, v. 72, p. 1101-1130.
- Brown, D, Díaz, F, Grocott, J. (1991). *Atacama Fault System: History of displacement and tectonic significance for the Mesozoic – Recent evolution of northern Chile*. VI Congreso Geológico Chileno, No 6, Actas: 129 – 132. Viña del Mar, Chile.
- Cembrano, J, Garrido, I, Marquardt, M. (2009). *Tectonic setting of IOCG deposits in the Central Andes: Strike – slip – dominated deformation*. XII Congreso Geológico Chileno. Santiago.
- Chen, H, Cooke, D, Baker, M. (2013). *Mesozoic Iron Oxide Copper – Gold Mineralization in the Central Andes and the Gondwana Supercontinent Breakup*. Society of Economic Geologists.
- Clarke, F, Washington, H. (1924). *The composition of the Earth´s crust*. United States Geological Survey, Professional Paper, 127:117.
- Clarke, F. (1889). *The relative abundance of the chemical elements*. Philosophical Society of Washington Bulletin, Vol: 11, 131 – 142.
- Doblas, M. (1998). *Slickenside kinematic indicators*. Tectonophysics 295 (1998) 187–197.
- Einaudi, M, Meinert, L and Newberry, R. (1997). *Skarn type deposits*. Department of Applied Earth Sciences, Stanford University, Stanford, California, USA.
- Emparán, C, Calderón, G. (2014). *Geología del área Ovalle – Peñablanca*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile.

Emparán, C, Pineda, G. (2000). Área La Serena – La Higuera. Región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, No. 18, 1 mapa escala 1:100.000, Santiago.

Emparán, C, Pineda, G. (2006). *Geología del área de Andacollo – Puerto Aldea. Región de Coquimbo*. Servicio Nacional de Geología y minería. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, No. 96, 85 p.1, mapa escala 1:100.000. Santiago.

Empresa Nacional de Minería. (2015). *Reporte de Sustentabilidad 2015*. Santiago, Chile.

González, E. (1954). *Estudio geológico – económico del distrito minero de Panulcillo y regiones vecinas*. Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Vol. 11, No. 11.

González, G, Carrizo, D. (2003). *Segmentación, cinemática y cronología relativa de la deformación tardía de la Falla Salar del Carmen, Sistema de Fallas de Atacama (23°40'S), norte de Chile*. Revista Geológica de Chile, Vol. 30, pp. 223-244.

Hervé, M. (1987). *Movimiento sinistral en el cretácico inferior de la zona de falla Atacama al norte de Paposo [24°s]*. Revista Geológica de Chile, Vol. 31, pp. 37 – 42, Chile.

Hervé, M. (2003). *Algunas características de los yacimientos del tipo OxFe – Cu – Au en Chile*. Santiago, Chile.

Kenney, J, Keeping, E. (1951). *Mathematics of Statistics*. 2nd edition, Princeton, New Jersey, USA.

Larsen, P. (1988). *Relay structures in a lower Permian basement involved extension system, East Greenland*. Journal of Structural Geology. Vol 10, pp. 3 – 8.

Leisen, M, Barra, F, Romero, R, Morata, D, Reich, M. (2015). *Geocronología U-Pb de circones mediante ablación laser acomplado a un ICP-MS multicolector*:

Metodología utilizada en el Laboratorio de Geoquímica Isotópica del Centro Fondap CEGA, Universidad de Chile. XIV Congreso Geológico Chileno, La Serena, Chile.

Leveille, R and Marschik, R. (1998). *Iron Oxide Copper – Gold deposits in South America*. Phelps Dodge Exploration Corporation, Rio de Janeiro, Brazil; and Department Of Mineralogy, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Germany.

Lopez, G, Hitzman, M, Nelson, E. (2014). Alteration patterns and structural controls of the El Espino IOCG mining district, Chile. *Mineralium Deposita*, v. 49, pp 235 – 259.

Maksaev, V. (2001). *Depósitos tipo skarn*. Curso de Metalogénesis, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Maksaev, V. (2001). *Reseña metalogénica de Chile y de los procesos que determinan la metalogénesis andina*. Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Maksaev, V. (2005). *World Skarn Deposits: Skarns of Chile*. Economic Geology, 100th Anniversary Volume, Society of Economic Geologists, Littleton, Colorado, USA, pp. 299 – 336.

Maksaev, V. (2007). *Características generales de los yacimientos IOCG*. Santiago, Chile.

Marret, R, Allmendinger, R. (1990). *Kinematic analysis of fault – slip data*. Journal of structural geology, v. 12, 973 – 986.

Meinert, L, Dipple, G and Nicolescu, S. (2005). *World Skarn Deposits*. Society of Economic Geologists, Economic Geology 100th Anniversary Volume. Pp 299-336.

Meinert, L. (1992). *Skarns and Skarn Deposits*. Geoscience Canada, Vol. 19, N. 4. Washington, USA.

Meinert, L. (1997). *Exploration Models for Skarn Deposits*. Department of Geology, Washington State University, Washington, USA.

Naranjo, J. (1987). *Interpretación de la actividad cenozoica superior a lo largo de la Zona de Fallas de Atacama, norte de Chile*. Revista Geológica de Chile, Vol. 31, pp. 43-55.

Olivares, V, Cembrano, J, Arancibia, G, Reyes, N, Herrera, V, Faulkner, D. (2010). *Significado tectónico y migración de fluidos hidrotermales en una red de fallas y vetas de un Dúplex de rumbo: un ejemplo del Sistema de Falla de Atacama*. Andean Geology, Vol. 37 (2), pp. 473 – 497.

Oxford University Press, (2002). *Oxford Dictionary of Statistics*.

Oyarzún, R, Rodríguez, M, Pincheira, M, Doblas, M, Helle, S. (1999). *The Candelaria (Cu-Fe-Au) and Punta del Cobre (Cu-Fe) deposits (Copiapó, Chile): A case of extension- elated granitoid emplacement and mineralization processes*. Mineralium Deposita, v. 34, p.799–801.

Palacios, C, Guerra, N, Townley, B, Lahsen, A, Parada, M. (2005). *Geochemistry: Exploration, Environmental, Analysis*, Vol. 5, p 371-378. Geological Society of London.

Richards, J, López, G, Jing Zhu, J, Creaser, R, Locock, A, Mumin, H. (2017). *Contrasting tectonic settings and sulfur contents of magmas associated with Cretaceous Porphyry Cu, Mo, Au and Intrusion – Related Iron Oxide Cu – Au Deposits in Northern Chile*. Economic Geology, v. 112, pp. 295 – 318.

Rieger, A, Marschik, R, Díaz, M, Holzl, S, Chiaradía, M, Akker, B, Spangenberg, J. (2010). *The Hypogene Iron Oxide Copper Gold Mineralization in the Mantoverde District, Northern Chile*. Society of Economic Geologists, Economic Geology, v. 105, pp 1271 – 1299.

Río Tinto. (2001). *Informe Final Proyecto Delta*. Antofagasta, Chile.

Rudnick, R, Gao, S. (2004). *Composition of the Continental Crust*. Treatise on Geochemistry. Holland H.D. and Turekian K.K. Editors. Elsevier, Amsterdam. Vol 3: 1-64.

Scheuber, E, Andriessen, A. (1990). *The kinematics and geodynamic significance of the Atacama Fault Zone, northern Chile*. Journal Structural Geology, Vol. 12, pp. 243 – 257.

Sillitoe, R. (2003). *Iron oxide – copper – gold deposits: an Andean view*. Mineralium Deposita, 38: 787 – 812.

Smith, L. (2002). *A tutorial on Principal Components Analysis*. Department of Computer Science, University of Otago, New Zeland.

Sugaki, A, Campos, E, Kojima, S. (2000). *Mineralogy of the Panulcillo skarn copper deposit, Coquimbo Region, Chile*. Revista Geológica de Chile, vol. 27, No. 2, p. 139 – 155.

Taylor, H. (2001). *Inductively Coupled Plasm – Mass Spectrometry. Practices and Techniques*. USA: Academic Press.

Thiele, R, Pincheira, M. (1987). *Tectónica transpresiva y movimiento de desgarre en el segmento sur de la zona de Falla Atacama, Chile*. Revista Geológica de Chile, Vol. 31, p. 77 – 94.

Veloso, E, Cembrano, J, Arancibia, G, Heuser et al. (2016). *Tectono-metallogenetic evolution of the Fe – Cu deposit of Dominga, northern Chile*. Mineralium Deposita, v 52 – 4, pp 595 – 620.

Vila, T, Lindsay, N, Zamora, R. (1996). *Geology of the Manto Verde copper deposit, northern Chile: a specularite – rich, hydrothermal – tectonic breccia related to the Atacama Fault Zone*. Empresa Minera de Mantos Blancos S.A.

Vivallo, W. (2009). *Yacimientos de óxidos de hierro – cobre – oro en Chile*. XII Chilean Geological Congress, Santiago, Chile.

Wedepohl, K. (1995). *The composition of the continental crust*. *Geochimica et Cosmochimica*. Vol 59: 1,217 – 1,239.

Xu, Jing, Zheng, Youye, Sun, Xiang y Shen, Yahui. (2015). *Alteration and mineralization at the Zhibula Cu skarn deposit, Gangdese belt, Tibet*. *Ore geology reviews*, Elsevier.

ANEXOS

Anexo 1

Tabla A1 1. Descripción de terreno de muestras enviadas a análisis petrográficos y calcográficos.
Coordenadas en WGS84

ID	ESTE	NORTE	ALTURA	DESCRIPCIÓN	ANÁLISIS	OBJETIVO
RP02	286850	6627820	475	Muestra interior mina, nivel 475. Esta muestra es del mismo tipo que la litología que contiene mineralización de interés (calcopirita y bornita) y es explotada dentro de la Mina Delta. <i>Litología:</i> Dique o lava microandesítica, con plagioclasas de hasta 1 mm anhedrales y en baja medida tabulares. <i>Alteración:</i> biotita <i>Mineralización:</i> calcopirita y bornita	Petrografía Calcografía	Determinar si la mineralización está contenida en un estrato volcánico o en un dique o complejo subvolcánico de grandes dimensiones
RP09	286443	6625856	586	<i>Litología:</i> Dique microdiorítico <i>Alteración:</i> biotita <i>Mineralización:</i> óxidos de cobre y posibles remanentes de sulfuros	Petrografía Calcografía	Determinar si contiene sulfuros de cobre; conocer alteración en detalle y confirmar litología
RP10	286729	6627702	710	<i>Litología:</i> caliza marmolizada con cúmulos de un material oscuro no identificado (materia orgánica? Sulfuros de cobre?). <i>Alteración:</i> calcita, kfeld, limonitas, oxidación superficial <i>Mineralización:</i> no tiene	Petrografía	Obtener una descripción de detalle del tipo de caliza, averiguar si contiene fósiles que permitan conocer su edad, confirmar que no posee mineralización de cobre
RP15	286819	6627746	700	<i>Litología:</i> skarn de cobre <i>Alteración:</i> biotita cloritizada, granates color marrón, oxidación sobreimpuesta, actinolita. Magnetismo leve a mediano <i>Mineralización:</i> pirita, calcopirita, bornita, oxidación in situ de sulfuros de cobre	Petrografía Calcografía	Conocer el tipo de granate presente, obtener una descripción de detalle de los minerales contenidos en la matriz
RP16	286812	6627691	706	<i>Litología:</i> toba o lava andesítica microcristalina, con algunas vetillas de cuarzo <i>Alteración:</i> no se distingue <i>Mineralización:</i> no tiene	Petrografía	Determinar si este estrato corresponde a una lava o una toba; conocer alteración y confirmar que no posee mineralización de cobre

RP40	286728	6627980	720	<p><i>Litología:</i> tobas finas afaníticas (llamadas lutitas por Araya, 1998)</p> <p><i>Alteración:</i> silicificación, no posee magnetismo</p> <p><i>Mineralización:</i> no tiene</p>	Petrografía	Conocer si efectivamente se trata de una toba, y obtener una descripción de detalle. Descartar existencia de mineralización
RP41	286880	6627526	728	<p><i>Litología:</i> toba andesítica con plagioclasas seriadas en cúmulos</p> <p><i>Alteración:</i> biotita, magnetismo moderado</p> <p><i>Mineralización:</i> no tiene</p>	Petrografía	Confirmar que no tiene mineralización. Comparar en detalle esta toba con toba de muestra RP51 para conocer si corresponden al mismo evento
RP51	287239	6627343	773	<p><i>Litología:</i> toba de composición andesítica</p> <p><i>Alteración:</i> clorita, epidota (escasa), kfeld, albita, magnetismo fuerte</p> <p><i>Mineralización:</i> no tiene</p>	Petrografía	Confirmar que no tiene mineralización. Comparar con muestra RP41
RP55	286813	6628002	674	<p><i>Litología:</i> meta toba de lapilli o caliza muy alterada</p> <p><i>Alteración:</i> pirolusita, limonitas</p> <p><i>Mineralización:</i> óxidos de cobre en baja cantidad al centro de cúmulos de origen no identificado</p>	Petrografía	Determinar litología y conocer a qué están asociados los óxidos de cobre
RP57	286730	6627902	729	<p><i>Litología:</i> toba de cristales con grandes nódulos de hematita?</p> <p><i>Alteración:</i> hematita o kfeld</p> <p><i>Mineralización:</i> no tiene</p>	Petrografía	Determinar la alteración presente en la roca
RP58	286798	6627893	703	<p><i>Litología:</i> dique félsico o pequeño estrato de toba milonitizado, con lineaciones N12E</p> <p><i>Alteración:</i> sílice?</p> <p><i>Mineralización:</i> no tiene</p>	Petrografía	Conocer litología y detalles de la milonita, determinar alteración
RP64	286849	6628103	663	<p><i>Litología:</i> dique microdiorítico</p> <p><i>Alteración:</i> magnetismo fuerte</p> <p><i>Mineralización:</i> óxidos de cobre</p>	Petrografía Calcografía	Conocer la ocurrencia de la mineralización en el dique y determinar si posee sulfuros de cobre
RP70	287090	6627824	690	<p><i>Litología:</i> brecha hidrotermal</p> <p><i>Alteración:</i> sílice, cúmulos de granate rodeados por halos de epidota y clorita, oxidación sobreimpuesta, kfeld</p> <p><i>Mineralización:</i> óxidos de cobre en baja cantidad</p>	Petrografía	Conocer en detalle la matriz de la brecha y la litología de los clastos; determinar si posee sulfuros de cobre

RP71	286309	6627890	618	<p><i>Litología:</i> desconocida. Posee plagioclasas argilizadas de hasta 7 cm en una matriz totalmente alterada, se cree que podría ser un dique de magma diferenciado al tener límites bien definidos</p> <p><i>Alteración:</i> kfeld, oxidación superficial, biotita</p> <p><i>Mineralización:</i> no tiene</p>	Petrografía	Conocer litología y confirmar que no posee mineralización
RP75	286343	6627875	623	<p><i>Litología:</i> brecha de clastos tobáceos</p> <p><i>Alteración:</i> kfeld</p> <p><i>Mineralización:</i> no tiene</p>	Petrografía	Conocer composición de la matriz de la matriz y de los clastos; confirmar que no tiene mineralización
RP87	286852	6629909	476	<p><i>Litología:</i> diorita de grano medio a grueso, con pequeños cristales amarillos no identificados</p> <p><i>Alteración:</i> no tiene</p> <p><i>Mineralización:</i> no tiene</p>	Petrografía Calcografía	Conocer en detalle la facie diorítica del Intrusivo Pejerreyes, confirmar que no posee mineralización
RP88	286665	6629534	497	<p><i>Litología:</i> granodiorita a granito de grano medio a grueso</p> <p><i>Alteración:</i> kfeld</p> <p><i>Mineralización:</i> no tiene</p>	Petrografía Calcografía	Conocer en detalle la facie granítica del Intrusivo Pejerreyes, confirmar que no posee mineralización

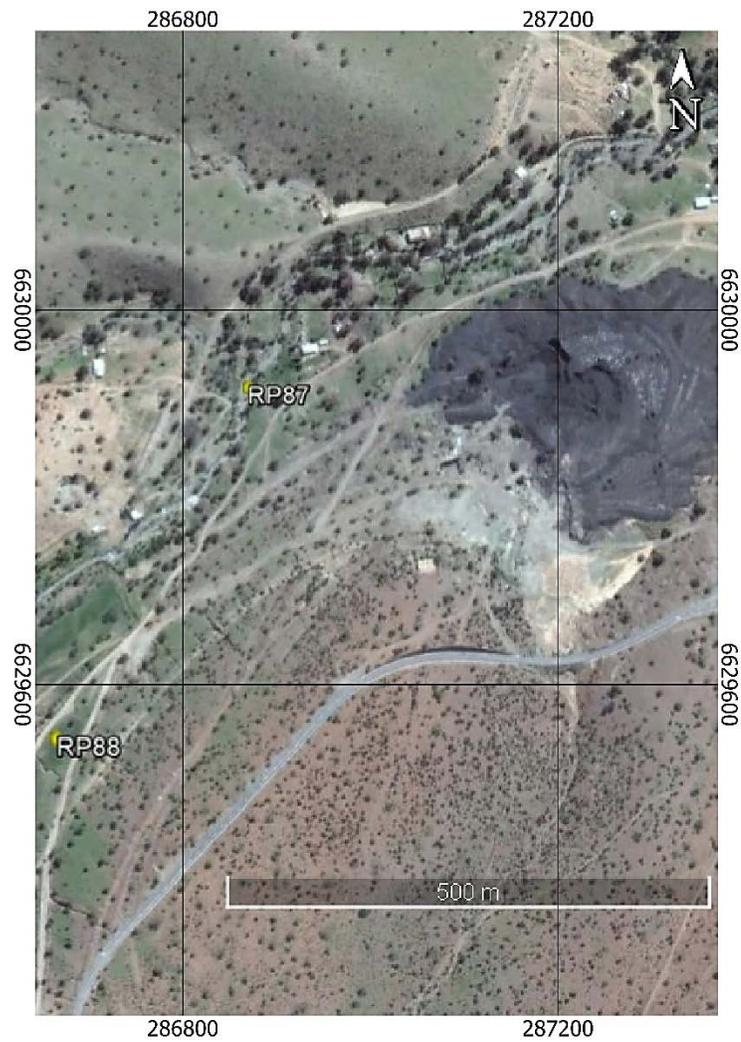


Figura A1 1. Ubicación de muestras para petrografía y calcografía, zona norte

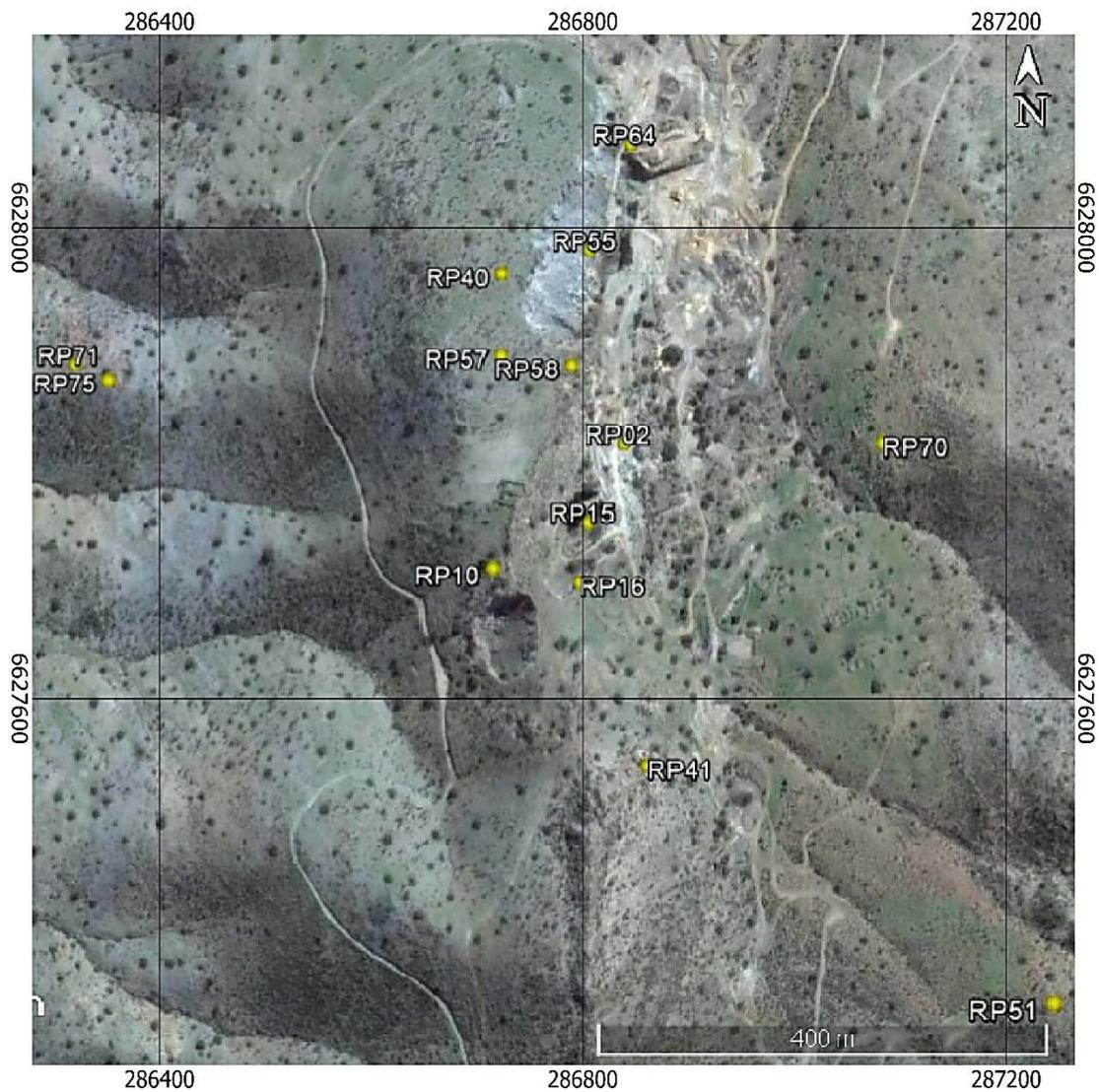


Figura A1 2. Ubicación de muestras para petrografía y calcografía, zona centro



Figura A1 3. Ubicación de muestras para petrografía y calcografía, zona sur

Tabla A1 2. Puntos de control tomados en terreno

Dato	Este	Norte	Dato	Este	Norte
Areniscas	286543	6626812	Skarn	286821	6627942
Areniscas	286514	6626835	Skarn	286821	6627498
Areniscas	286415	6627886	Skarn	286825	6627488
Areniscas	286369	6627889	Skarn	286827	6627475
Areniscas	286416	6628024	Skarn	286829	6627454
Areniscas	286356	6628030	Skarn	286832	6627439
Areniscas	286555	6627156	Skarn	286857	6627160
Caliza	286695	6627654	Skarn	286877	6627183
Caliza	286708	6627670	Skarn	286888	6627203
Caliza	286718	6627687	Skarn	286901	6627225
Caliza	286725	6627706	Skarn	286921	6627240
Caliza	286736	6627723	Skarn	286950	6627335

Caliza	286742	6627741	Skarn	286814	6628387
Caliza	286713	6627666	Skarn	286806	6628419
Caliza	286719	6627679	Skarn	286807	6628456
Caliza	286728	6627699	Skarn	286803	6628851
Caliza	286735	6627716	Skarn	286787	6628878
Caliza	286748	6627755	Skarn	286765	6628917
Caliza	286756	6627771	Skarn	286750	6628952
Caliza	286761	6627789	Skarn	286777	6628957
Caliza	286757	6627553	Skarn	286807	6628952
Caliza	286744	6627567	Skarn	286811	6628911
Caliza	286734	6627580	Tobas	286546	6628055
Caliza	286810	6627492	Tobas	286609	6628038
Caliza	286812	6627476	Tobas	286631	6627957
Caliza	286812	6627461	Tobas	286672	6627867
Caliza	286814	6627453	Tobas	286675	6627970
Caliza	286815	6627443	Tobas	286678	6628034
Caliza	286815	6627434	Tobas	286708	6628170
Caliza	286807	6627457	Tobas	286658	6628165
Caliza	286815	6627421	Tobas	286609	6628129
Caliza	286818	6627410	Tobas	286854	6627050
Caliza	286817	6627397	Tobas	286862	6627026
Caliza	286818	6627387	Tobas	286898	6627006
Caliza	286818	6627379	Tobas	286933	6626992
Caliza	286818	6627365	Tobas	286967	6626984
Caliza	286818	6627350	Tobas	287008	6626964
Caliza	286816	6627336	Tobas	287048	6626941
Caliza	286817	6627324	Tobas	286949	6627127
Caliza	286823	6627309	Tobas	286993	6627117
Caliza	286825	6627297	Tobas	287029	6627086
Caliza	286824	6627287	Tobas	287051	6627130
Caliza	286820	6627274	Tobas	287084	6627188
Caliza	286817	6627259	Tobas	287089	6627252
Caliza	286819	6627247	Tobas	287048	6627261
Caliza	286819	6627236	Tobas	287114	6627286

Caliza	286819	6627222	Tobas	287043	6627306
Caliza	286814	6627211	Tobas	287037	6627365
Caliza	286812	6627190	Tobas	287007	6627324
Caliza	286791	6627053	Tobas	287386	6627430
Caliza	286804	6627075	Tobas	287405	6627489
Caliza	286818	6627093	Tobas	287428	6627544
Caliza	286828	6627117	Tobas	287420	6627609
Caliza	286836	6627140	Tobas	287411	6627664
Caliza	286845	6627163	Tobas	287406	6627732
Caliza	286857	6627185	Tobas	287409	6627811
Caliza	286872	6627197	Tobas	287401	6627873
Caliza	286884	6627221	Tobas	287369	6627951
Caliza	286892	6627249	Tobas	287327	6628031
Caliza	286880	6627284	Tobas	286849	6627231
Caliza	286890	6627308	Tobas	286853	6627296
Caliza	286894	6627333	Tobas	286860	6627354
Caliza	286903	6627358	Tobas	286871	6627415
Caliza	286907	6627383	Tobas	287089	6627951
Caliza	286914	6627406	Tobas	287117	6628076
Caliza	286921	6627428	Tobas	287146	6628159
Dique Min	286903	6627187	Tobas	287155	6628244
Dique Min	286871	6627167	Tobas	287185	6628339
Dique Min	286949	6627433	Tobas	287098	6628295
Dique Min	286779	6627549	Tobas	287088	6628401
Dique Min	286764	6627656	Tobas	286741	6628267
Dique Min	286782	6627683	Tobas	286745	6628356
Dique Min	286846	6628098	Tobas	286603	6628235
Dique Min	286800	6627958	Tobas	286497	6628269
Dique Min	286785	6627918	Tobas	286490	6628371
Dique Plg	286336	6627887	Tobas	286499	6628454
Dique Plg	286317	6627900	Tobas Finas	286758	6627916
Dique Plg	286279	6627900	Tobas Finas	286741	6627931
Dique Plg	286337	6628039	Tobas Finas	286737	6627960
Dique Plg	286313	6628045	Tobas Finas	286741	6627999

FA	286760	6628395	Tobas Finas	286758	6628035
FA	286992	6628058	Tobas Finas	286771	6628066
FA	286920	6628195	Tobas Finas	286797	6628095
FP	286750	6628466	Tobas Finas	286711	6627954
FP	286748	6628432	Tobas Finas	286719	6628002
FP	286743	6628398	Tobas Finas	286730	6628052
FSGN	286789	6627547	Tobas Finas	286751	6628087
FSGN	286713	6627616	Tobas y diques	286749	6627104
FSGN	286659	6627674	Tobas y diques	286741	6627161
FSGS	286748	6627552	Tobas y diques	286735	6627279
Intrusivo	286985	6628440	Tobas y diques	286721	6627356
Intrusivo	286850	6628417	Tobas y diques	286745	6627398
Intrusivo	286862	6628492	Tobas y diques	286765	6627435
Intrusivo	286990	6628548	Tobas y diques	286680	6627316
Intrusivo	286971	6628632	Tobas y diques	286684	6627369
Intrusivo	286984	6628713	Tobas y diques	286655	6627394
Intrusivo	286975	6628819	Tobas y diques	286625	6627407
Intrusivo	286985	6628933	Tobas y diques	286650	6627336
Intrusivo	287004	6629053	Tobas y diques	286614	6627350
Intrusivo	286929	6629023	Tobas y diques	286583	6627371
Intrusivo	286917	6628950	Tobas y diques	286553	6627421
Intrusivo	286913	6628826	Tobas y diques	286563	6627481
Intrusivo	286894	6628654	Tobas y diques	286612	6627495
Intrusivo	286866	6628955	Tobas y diques	286664	6627493
Intrusivo	286848	6629074	Tobas y diques	286700	6627512
Intrusivo	286781	6629117	Tobas y diques	286680	6627642
Intrusivo	286759	6629193	Tobas y diques	286614	6627710
Intrusivo	286679	6628900	Tobas y diques	286609	6627776
Intrusivo	286707	6628845	Tobas y diques	286582	6627809
Intrusivo	286700	6628978	Tobas y diques	286563	6627861
Intrusivo	286704	6629049	Tobas y diques	286563	6627924
Intrusivo	286707	6629161	Tobas y diques	286557	6627995
Intrusivo	286410	6629384	Tobas y diques	286757	6626959
Intrusivo	286502	6629235	Tobas y diques	286757	6626890

Intrusivo	286539	6629306	Tobas y diques	286734	6626842
Intrusivo	286574	6629405	Tobas y diques	286668	6626832
Intrusivo	286742	6629606	Tobas y diques	286621	6626827
Intrusivo	286843	6629912	Tobas y diques	286591	6626788
Intrusivo	287191	6629653	Tobas y diques	286452	6628026
Skarn	286714	6627653	Tobas y diques	286504	6628040
Skarn	286723	6627671	Tobas y diques	286463	6627894
Skarn	286728	6627688	Tobas y diques	286516	6627891
Skarn	286788	6627724	Tobas y diques	286708	6627116
Skarn	286792	6627741	Tobas y diques	286670	6627124
Skarn	286798	6627761	Tobas y diques	286636	6627134
Skarn	286738	6627705	Tobas y diques	286606	6627146

Anexo 2: Geoquímica

Tabla A2 1. Resultados ICP – MS, parte 1 de 4

SAMPLE	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	Hf	In	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na
UNIT	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%
RP01	0,038	7,02	42	8	0,04	0,074	23,2	0,065	28,1	3,35	21,7	0,11	20,8	9,69	15,55	0,14	2,05	0,153	0,04	8,9	1,3	0,18	15250	2,39	0,038
RP02	0,048	8,55	1,86	55	1,1	0,019	1,13	0,008	18,05	24,3	20,3	7,24	19	9,1	19,8	0,1	0,129	0,063	1,16	7,7	40,1	3,65	1650	0,97	4,54
RP05	0,855	8,69	2,56	656	2,93	0,021	0,93	0,034	105,5	2,23	4,9	0,2	10000	3,52	22,1	0,21	7,3	0,208	5,3	44,5	4,5	0,22	351	1,02	3,59
RP06	2,13	7,09	2,8	76	1,18	1,605	0,87	0,108	10,15	90,6	21,2	1,17	10000	17,95	21,8	0,16	1,475	0,755	1,17	3,76	11,2	1,33	1020	0,36	4,32
RP07	0,031	8,38	1,38	256	0,7	0,044	4,33	0,038	11,95	30,1	35,7	0,28	12,35	7,54	19,45	0,09	0,589	0,094	0,66	4,21	12,3	3,13	2290	0,63	3,27
RP08	0,014	8,54	3,44	49	0,93	0,027	1,63	0,007	23,9	9,95	2,4	0,47	30,7	7,2	18,75	0,1	0,824	0,06	0,23	10,75	8,8	1,36	1290	0,11	5,64
RP09	0,264	8,32	5,38	351	0,62	0,108	4,93	0,01	16,1	35,5	33,4	0,78	2070	4,59	17,3	0,08	0,974	0,126	0,92	6,42	26,2	3,48	3420	0,37	3,21
RP15	10,4	4,46	244	160	3,44	8,14	22,4	10,75	132,5	277	23,5	0,4	10000	13,1	10,7	0,2	2,45	2,95	0,27	84	1,5	0,92	9250	0,51	0,026
RP19	3,22	5,03	98,7	8	0,61	2,66	17,85	5,39	32,1	417	19,1	0,47	10000	17,5	12,5	0,19	3,1	0,625	0,04	10,95	1,2	0,22	24100	3,36	0,032
RP39	1,775	6,7	43,9	122	0,91	0,587	13,2	1,52	43,3	265	27,7	0,28	10000	10,5	14,95	0,1	1,41	1,46	0,21	13,3	9,3	1,52	16950	13,8	0,202
RP44	0,213	8,04	12,15	168	0,87	1,05	4,63	0,078	21,7	32,6	146,5	5,45	2170	7,56	17,65	0,08	2,07	0,112	0,61	8,94	14,9	3,78	3860	0,7	4,03
RP52	0,097	8,09	4,5	16	0,98	0,042	1,2	0,164	20,7	37,1	45,9	4,69	57,2	8,59	20,3	0,09	0,402	0,141	0,25	7,91	117,5	3,82	1900	0,58	4,63
RP53a	4,72	3,97	53,7	3	1,52	4,11	10,7	0,088	20,4	904	52,1	0,11	3910	19,85	10,45	0,16	0,89	1,045	0,01	10,6	7,8	2,78	6320	1,56	0,033
RP53b	1,405	7,96	8,38	539	0,85	0,533	3,44	0,74	20	43,3	30	3,48	6260	5,35	17,8	0,07	2,48	0,139	2,27	7,2	11,6	2,62	3600	0,51	4,26
RP54a	3,44	1,99	97,9	24	0,4	2,2	0,83	2,63	4,74	1115	15,4	0,46	10000	37,2	5,25	0,27	0,043	2,8	0,41	2,06	6,1	2,37	2480	1,49	0,131
RP55	0,086	6,98	31,2	14	1,55	0,453	20,3	0,37	28,2	56	51,3	0,14	622	5,56	12,85	0,09	1,71	0,302	0,09	10,75	8,4	3,37	15550	0,65	0,064
RP59	0,071	6,14	54,6	303	1,15	0,434	18,65	0,037	17,5	7,52	29,8	10	2420	12,25	21,4	0,17	5,1	0,496	1,71	6,31	6,3	0,2	10350	10,05	0,685
RP63	0,072	8,71	25,1	164	2,18	0,124	10,9	0,018	30,3	8,6	10,4	70	789	4,1	15,65	0,08	3,76	0,103	1,1	10,3	15,2	1,79	4960	7,07	4,03
RP64	0,602	9,2	3,47	149	0,81	0,038	2,32	0,265	11,25	28,1	29,8	2,43	1490	7,74	19,05	0,08	0,953	0,053	1,53	3,78	21,9	1,9	1435	0,34	5,05
RP70	0,047	7,46	49,5	68	0,32	0,254	6,57	0,05	26,6	2,62	5,2	0,42	117	4,58	12,3	0,13	2,74	0,369	0,31	7,64	3,2	0,11	4250	1,1	5,3
RP72	0,037	7,52	41,6	41	0,13	0,218	1,8	0,087	42,3	1,145	20,3	0,25	26,1	5,99	7,49	0,11	0,125	0,005	0,08	14,35	4,3	0,04	118	0,94	0,16
RP73	0,009	9,61	84,7	120	0,09	0,106	0,08	0,024	25,3	0,966	13,1	0,04	11,45	4,22	8,81	0,08	0,111	0,005	0,01	10,8	6,8	0,02	68,6	0,5	0,014
RP76	0,047	7,78	22,2	175	0,5	0,099	7,91	0,02	39,8	2,23	22,7	0,93	36,1	5,26	14,9	0,11	2,28	0,235	0,75	12	6,5	0,12	3750	1,31	4,91
RP83	0,422	8,74	6,74	493	0,53	0,148	2,85	0,072	28,3	39,4	13,4	0,24	8620	2,43	12,2	0,11	0,968	0,743	1,25	11,65	3,6	0,39	1480	34,7	5,23
RP86	0,038	8,28	8,21	66	1,26	0,023	11,15	0,073	41,6	37,3	41,3	2,63	487	6,3	12,8	0,11	1,705	0,404	0,18	16,4	10,5	1,95	5810	1,43	2,04
RP87	0,104	7,86	15,2	724	2,54	0,168	3,74	0,067	51,4	18,45	8,8	15,25	200	5,51	18,1	0,12	1,08	0,04	3,31	20	22,3	1,44	1295	1,29	2,73
RP88	0,081	7,4	5,83	462	3,07	0,018	0,27	0,106	102	4,28	29,3	17,6	40,3	1,91	16,9	0,16	3,91	0,016	4,96	47,5	9,8	0,21	255	3,03	2,1
RP89	0,192	7,37	15,05	327	3,59	0,053	0,48	0,198	78,7	5,08	5,3	19,15	111,5	2,27	17,35	0,1	5,78	0,043	5,21	9,32	18,8	0,19	473	1,85	2,13
RP90	1,525	8,81	3,7	321	0,97	0,111	5,78	0,014	31,8	41,9	54,3	0,58	1960	8,07	18,75	0,13	1,145	0,196	0,97	12,25	15,6	4,02	2450	3,14	3,09

Tabla A2 10. Resultados ICP – MS, parte 2 de 4

SAMPLE UNIT	Ag ppm	Al %	As ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm	Ca %	Cd ppm	Ce ppm	Co ppm	Cr ppm	Cs ppm	Cu ppm	Fe %	Ga ppm	Ge ppm	Hf ppm	In ppm	K %	La ppm	Li ppm	Mg %	Mn ppm	Mo ppm	Na %
DW1	0,02	8,73	4,01	26	1,09	0,056	1,01	0,033	40,9	14,55	10,8	2,01	10,95	5,65	20	0,14	1,48	0,035	0,17	18,65	6,7	0,69	714	0,56	6,23
DW2	0,058	10,85	6,4	240	1,36	0,021	0,76	0,005	10,55	4,78	18,8	1,07	17,45	6,6	27,4	0,11	0,108	0,061	2,55	4,2	2,9	0,25	151,5	0,43	4,75
DW3	0,009	8,85	5,8	86	1,22	0,061	4,78	0,008	26,4	29,7	57,7	0,66	3,91	8,54	21	0,14	0,922	0,066	0,12	10,5	13,5	3,26	3890	0,43	4,18
DEM1	1,08	8,22	32,5	460	1,69	1,025	5,76	0,063	25,2	15,55	31,8	1,48	2910	5,75	15,05	0,09	2,75	0,306	1,76	10,65	28,4	2,62	4380	1,67	3,22
DEM2	1,06	8,32	32,3	460	1,72	0,987	5,71	0,064	22,6	15,5	32,8	1,57	2870	5,71	15,05	0,1	2,89	0,33	1,75	9,48	28,8	2,62	4320	1,68	3,2
DEM3A	1,035	8,45	32,3	460	1,7	1,015	5,79	0,066	24,1	15,6	32,1	1,64	2850	5,77	14,85	0,1	2,71	0,308	1,77	10,5	27,1	2,65	4410	1,68	3,21
DEM4	2,56	6,98	44,2	66	0,86	1,085	15,1	0,808	30,5	43,8	36,2	15,25	10000	6,68	15,1	0,11	2,29	0,751	0,33	12,65	4	1,54	11250	2,54	1,885
DEM5	2,49	6,93	42,9	64	0,9	1,09	15,25	0,765	30,5	43,2	36,3	14,9	10000	6,67	14,6	0,12	2,28	0,717	0,32	12,8	4	1,53	11300	2,39	1,865
DEM6	0,089	9,5	26,6	132	2,32	0,106	11,65	0,154	27,3	15,2	20,4	5,41	84,1	5,02	14,85	0,11	2,6	0,244	0,85	10,3	30,2	1,79	5440	1,58	1,53
DEM7	2,01	8,76	29,1	155	0,95	0,715	1,22	0,098	52,7	49,8	6,3	1,46	10000	5,66	17,9	0,18	2	1,935	0,85	20,1	2,2	0,08	540	4,45	5,66
S1	2,53	4,91	39,6	114	0,35	13,65	24,4	0,045	32,9	11,85	31	0,42	7930	5,62	10,4	0,12	1,7	0,513	0,42	15,2	6,3	0,93	8890	1,53	0,122
S2	0,061	4,43	2,33	4	0,52	0,202	21,5	0,017	29	0,512	3,2	0,1	640	0,79	9,35	0,05	6,18	0,051	0,04	12,5	0,3	0,03	2330	0,47	3,84
S3	0,28	5,28	93,9	7	0,28	1,03	22,9	0,789	14,2	11,6	22	0,16	1725	9,65	12,4	0,11	2,51	0,835	0,02	6,48	2,2	0,2	13250	1,25	0,047
S4	0,877	4,98	87,3	10	0,45	24,8	19,65	0,199	42	8,24	23,2	0,11	7820	9,53	12,85	0,14	5,23	0,685	0,01	15,8	3,6	0,13	13250	1,71	0,026
S5	0,048	5,95	41,8	34	0,08	0,142	20,5	0,134	30,5	12,25	28	0,49	859	13,75	14,9	0,15	2,41	0,765	0,1	15,95	4,8	0,29	19800	1,42	0,08
S6	0,547	4,82	39,7	44	0,18	0,348	15,85	0,054	29,4	141	24	1,27	5980	20,9	15,15	0,25	2,57	1,41	0,24	12,65	3,3	0,2	14650	3,89	0,115
IP1	0,063	7,95	13,1	2070	0,89	0,055	1	0,059	37,2	8,95	19,6	0,78	122,5	4,15	15,8	0,12	5,11	0,033	4,15	14,85	3,8	0,48	379	4,93	1,165
IP2	0,08	8,8	8,43	680	2,14	0,052	3,94	0,06	54,5	20,2	8,4	8,69	162	5,6	20	0,17	0,753	0,08	2,94	23,5	27	1,5	1210	3,69	2,76
IP4	0,073	9,47	7,38	710	2,11	0,048	4,77	0,062	56,3	19,8	9,7	9,33	156	5,73	21,3	0,15	1,095	0,059	2,56	24,9	19,6	1,74	1205	2,65	3,12
IP7A	0,072	8,77	5,88	550	1,86	0,048	3,93	0,034	51,1	18,05	12,1	8,78	127	5,2	19,6	0,14	0,622	0,042	2,73	22,6	21,8	1,52	1100	3,22	2,83
IM-G1	0,142	6,96	38,9	149	0,59	0,129	20,8	0,051	14,35	5,77	25,4	0,3	472	9,15	15,25	0,14	2,56	0,352	0,26	5,26	11,9	1,23	14200	57,4	0,046
IM-G2	0,383	6,3	78,4	84	0,35	0,209	22,1	1,25	29,2	17,8	18,2	1,66	882	10,65	16,1	0,16	2,26	0,504	0,25	10,95	6,5	0,87	16600	3,65	0,122
IM-G3	0,426	6,32	77,1	83	0,36	0,248	22	1,235	29,2	18	18,5	1,6	891	10,65	15,75	0,14	2,27	0,498	0,25	10,8	6,7	0,87	16800	3,95	0,123
IM-D1	0,863	8,36	21,1	250	1,2	0,284	4,97	0,367	22,4	16,85	21,5	2,51	4080	3,62	18,65	0,09	2,03	0,125	1,13	8,88	15,7	2,59	2750	8,91	4,94
IM-D2	4,34	7,62	43,4	282	1,84	1,87	2,56	0,122	80,8	12,75	11,2	0,54	10000	5,1	19,55	0,18	3,93	0,19	2,01	35,3	6,1	0,93	813	2,46	4,17
IM-D3	0,402	7,53	7,5	182	0,93	0,147	8,42	0,036	41,8	33,4	55,4	4,59	5550	6,53	17,25	0,13	2,89	0,461	1,73	18,05	12,8	2,67	2920	2,31	1,83
IM-D4	4,29	7,63	44,1	282	1,95	1,89	2,55	0,157	82,4	11,1	10,1	0,53	10000	5,12	19,65	0,17	3,98	0,18	2,03	35,5	6,3	0,93	803	2,35	4,18
IM-D5	3,01	8,35	4,94	362	1,44	0,806	2,65	0,013	64,5	12,65	24,8	1,13	8430	4,42	20,4	0,17	4,25	0,069	1,95	27,6	8,3	1,44	1750	0,87	4,82
IM-D6	3,04	8,51	5,36	373	1,48	0,819	2,69	0,024	62,9	13,25	25,7	1,12	8610	4,53	21	0,16	4,36	0,055	2,01	27	8,5	1,47	1780	0,83	4,92

Tabla A2 19. Resultados ICP – MS, parte 3 de 4

SAMPLE UNIT	Nb ppm	Ni ppm	P %	Pb ppm	Rb ppm	Re ppm	S %	Sb ppm	Sc ppm	Se ppm	Sn ppm	Sr ppm	Ta ppm	Te ppm	Th ppm	Ti %	Tl ppm	U ppm	V ppm	W ppm	Y ppm	Zn ppm	Zr ppm	Au ppm
RP01	3,48	0,91	0,032	2,47	1,69	0,024	0,02	0,91	15,85	0,5	2,07	4,74	0,22	0,07	2,93	0,29	0,008	12,3	163	3,54	17,05	18,3	81,9	0,004
RP02	0,824	12,2	0,04	2,3	18,45	0,002	0,04	0,48	25,1	0,3	0,6	214	0,06	0,04	1,125	0,383	0,192	0,41	248	0,655	8,65	66,4	4,1	0,001
RP05	12,9	0,9	0,059	1,81	96,3	0,007	1,96	1,18	17,5	0,4	3,03	41,4	0,86	0,04	34,6	0,367	0,088	5,58	9,7	1,55	39,5	35	275	0,002
RP06	2,1	17,05	0,105	1,01	30	0,116	3,17	0,56	23,3	2	4,46	63,7	0,14	0,13	4,08	0,427	0,12	1,43	266	2,53	10,45	110	52,1	0,079
RP07	0,749	25,3	0,042	1,14	7,33	0,002	0,01	0,28	31,3	0,5	1,14	371	0,05	0,04	0,79	0,418	0,038	0,42	308	0,454	11,85	56,6	11,7	0,002
RP08	1,97	2,38	0,112	0,9	4,74	0,002	0,01	0,46	19	0,2	1,22	159	0,13	0,04	2,4	0,42	0,012	0,45	225	0,97	16,35	22,2	21,7	0,001
RP09	1,205	23,2	0,058	2,13	9,63	0,002	0,01	0,98	28,4	0,4	0,65	387	0,08	0,29	0,985	0,463	0,042	0,34	290	0,454	10,55	118,5	18,4	0,014
RP15	2,27	82	0,214	2,33	17,05	0,011	5,63	34,3	11,35	6,4	1,6	73,1	0,13	5,61	4,55	0,194	0,038	24,7	95,8	1,485	17,6	7240	83,2	0,409
RP19	4,83	29,9	0,134	45,2	1,87	0,004	0,53	1,2	12,55	3,5	1,84	43	0,42	2,42	4,26	0,255	0,333	47,6	145,5	2,39	23,6	1025	127,5	0,085
RP39	3,23	48,9	0,108	5960	5,62	0,002	0,13	6,02	19,35	1,5	1,79	34,7	0,1	1,83	5,24	0,283	0,028	11,1	161,5	3,96	10,35	2060	48,2	0,189
RP44	2,35	38	0,081	7,48	11,95	0,002	0,04	3	31,9	0,4	1,16	134	0,17	0,54	2,79	0,463	0,08	0,86	248	1,36	15,05	158,5	68,1	0,008
RP52	1,795	17,55	0,076	8,14	5,36	0,002	0,01	0,53	27,8	0,4	0,98	94,2	0,13	0,09	2,92	0,451	0,063	0,75	263	1,005	13,95	92,7	12,5	0,003
RP53a	3,88	291	0,06	11,25	0,49	0,065	10	2,99	18,25	9,8	1,21	48,5	0,1	9,29	2,61	0,221	0,015	3,18	82,1	4,41	5,89	230	27,8	0,002
RP53b	3,47	21,3	0,117	6,45	58,6	0,01	1,27	1,18	19,35	0,7	1,5	333	0,25	0,7	5,23	0,416	0,187	3,49	198	0,444	11,9	808	87,2	0,017
RP54a	1,24	852	0,002	12,9	23,6	0,086	10	0,67	0,56	19,4	0,78	11,1	0,05	17,5	0,111	0,024	0,033	0,55	10,7	0,762	0,28	2530	2,6	0,001
RP55	3,53	9,73	0,063	1,26	3,02	0,002	0,02	5,06	31	0,6	1,86	58,2	0,11	0,13	2,99	0,368	0,009	4,07	195,5	3,76	12,65	189	55,9	0,002
RP59	5,28	3,27	0,128	2,85	68,4	0,002	0,02	0,5	15,7	0,7	5,46	209	0,31	0,24	6,41	0,285	0,113	3,03	204	15,8	58	19,5	167	0,013
RP63	4,38	4,09	0,199	2,58	23,9	0,008	0,04	3,17	30,5	0,5	2,12	321	0,29	0,08	4,99	0,618	0,075	3,28	284	1	34,9	64,8	106	0,004
RP64	1,895	17,3	0,076	2,32	61,2	0,002	0,01	0,68	30,1	0,5	0,92	254	0,14	0,04	3,25	0,483	0,316	0,73	253	0,398	14,25	321	29,4	0,002
RP70	4,46	0,87	0,109	0,8	6,64	0,002	0,02	5,59	14,2	0,7	1,54	163	0,35	0,04	8,05	0,374	0,034	2,14	117,5	14,7	26,2	14,8	70	0,001
RP72	0,313	1,7	0,101	5,79	5,69	0,002	6,18	1,15	1,31	0,2	0,51	804	0,03	0,11	0,458	0,087	0,055	0,22	31,7	0,593	7,76	7,1	3,4	0,001
RP73	0,372	1,22	0,071	4,1	0,35	0,002	0,09	1,89	1,43	0,7	0,87	229	0,03	0,13	0,226	0,165	0,004	0,06	47,1	0,175	7,79	3	3,1	0,001
RP76	2,15	1,69	0,102	4,4	16,1	0,002	0,01	2,26	25,5	0,6	1,2	299	0,15	0,04	2,53	0,384	0,103	1,1	131	1,66	18,8	28,1	71,5	0,001
RP83	2,92	11	0,098	4,52	14,7	0,002	0,04	1,9	21,6	5,8	1,55	259	0,22	0,48	4,11	0,47	0,022	1,7	103,5	0,416	22,3	51	20,5	0,462
RP86	3,63	5,1	0,091	0,55	6,6	0,002	0,01	0,8	25	0,7	1,35	156,5	0,14	0,04	2,93	0,403	0,015	6	114,5	0,321	11	53,2	56,2	0,012
RP87	7,94	4,75	0,2	12,65	124	0,002	0,01	2,58	19,6	0,4	3,05	497	0,8	0,04	12,3	0,484	0,299	3,24	183,5	4,11	27,9	95,6	17,9	0,003
RP88	13,9	3,27	0,032	17,95	410	0,002	0,02	1,36	6,12	0,2	5,77	173	1,33	0,04	150	0,18	0,82	16,7	34,5	4,07	37,7	18,4	108,5	0,001
RP89	15	0,98	0,024	10,55	500	0,002	0,01	1,37	6,64	0,4	5,91	160,5	1,36	0,04	159	0,2	0,648	16,55	19,9	1,3	28,7	71,4	170,5	0,001
RP90	1,845	32,7	0,133	2,16	17,6	0,008	0,03	0,97	44	0,6	0,99	506	0,12	1,27	2,08	0,544	0,048	0,45	352	0,469	19,75	49,6	27,4	0,013

Tabla A2 27. Resultados ICP – MS, parte 4 de 4

SAMPLE	Nb	Ni	P	Pb	Rb	Re	S	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr	Au
UNIT	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm							
DW1	3,27	4,61	0,169	1,62	12,2	0,002	0,01	0,43	17,8	0,2	0,58	94,7	0,23	0,04	4,39	0,395	0,026	0,69	160	0,424	17,05	22,1	54,2	0,001
DW2	2,4	6,65	0,187	0,77	120	0,002	0,01	2,5	31,1	0,2	4,59	94,3	0,18	0,12	3,46	0,556	0,08	0,78	322	2,51	12,6	3,2	4,4	0,005
DW3	1,575	20,4	0,086	1,06	1,91	0,002	0,01	0,56	37,5	0,2	1,03	213	0,11	0,04	3,39	0,443	0,012	0,61	220	0,418	17,55	109	20,3	0,001
DEM1	3,41	14,1	0,12	10,75	38,3	0,003	0,01	4,32	24,4	0,3	0,99	249	0,23	0,16	5,96	0,424	0,113	3,52	174,5	1,805	15,15	153,5	89,9	0,016
DEM2	3,33	14,25	0,119	10,35	42,2	0,006	0,01	4,07	23,5	0,2	0,93	248	0,24	0,22	5,5	0,418	0,127	3,38	173	1,735	14,55	151,5	88,9	0,016
DEM3A	3,36	14,25	0,121	10,6	48,5	0,004	0,01	4,32	23,7	0,2	0,99	250	0,24	0,23	5,83	0,424	0,118	3,44	173,5	2,32	15,35	153	90,9	0,021
DEM4	2,83	17,95	0,135	20	7,09	0,002	0,03	3,21	22,5	0,7	1,29	140	0,16	0,98	4,99	0,356	0,034	5,61	190	3,17	16,9	443	77,7	0,082
DEM5	2,71	17,3	0,135	19,8	6,55	0,002	0,03	3,15	22,2	0,9	1,31	138	0,16	1,05	4,77	0,354	0,037	5,51	190	3,16	16,7	447	77,2	0,15
DEM6	8,79	7,64	0,143	7,01	30,5	0,002	0,03	2,67	21,9	0,2	1,1	362	0,35	0,04	5,08	0,411	0,093	2,95	144	2,96	15,7	105,5	77,5	0,003
DEM7	16,05	8,89	0,084	3,7	19,25	0,002	0,04	8,59	17,55	10,9	3,21	116	1,14	0,95	15,5	0,453	0,044	4,61	48,2	1,37	46,5	155	49,8	0,899
S1	1,76	21,2	0,17	0,69	12,55	0,003	0,15	3,25	13,7	0,9	0,63	89,9	0,13	2,66	4,17	0,23	0,018	3,31	84,1	7,87	17,75	42,2	58,6	0,13
S2	5,85	0,25	0,065	0,61	0,47	0,002	0,01	0,4	9,56	0,6	1,89	59,9	0,4	0,04	13,35	0,218	0,006	3,29	31,5	0,52	22,6	4,6	227	0,005
S3	2,37	1,41	0,109	4,16	1,12	0,002	0,01	2,16	14,25	0,2	1,69	6,44	0,17	0,68	2,7	0,263	0,008	4,78	118	8,26	21,4	142	93,5	0,014
S4	5,88	4,09	0,108	1,19	0,71	0,002	0,03	0,85	12	0,7	1,93	3,69	0,37	9,34	12	0,247	0,009	8,65	79,8	37,7	28,5	33,2	150	0,067
S5	2,36	2,12	0,172	1,75	5,41	0,002	0,01	0,97	15,1	0,4	1,49	36,5	0,2	0,13	2,13	0,3	0,018	5,52	151	5,49	22	52,9	92,6	0,015
S6	2,05	17,85	0,083	2,74	9,29	0,002	0,01	11,95	13,55	3,7	5,8	125	0,19	0,52	2,57	0,34	0,017	12,15	210	4,04	36,5	22,5	98,1	0,131
IP1	5,3	4,93	0,084	4,39	74,1	0,002	0,02	3,53	10,1	0,4	1,99	151,5	0,39	0,04	13,25	0,376	0,118	3,32	97,9	0,708	29,1	15,5	171,5	0,003
IP2	6,68	4,52	0,134	9,21	132	0,002	0,01	1,43	21	0,2	2,43	543	0,5	0,04	20,4	0,442	0,23	4,25	175	6,11	24,5	67,8	15,7	0,004
IP4	5,48	5,89	0,139	12,4	107	0,002	0,01	1,3	22,2	0,2	2,06	629	0,4	0,04	15,4	0,443	0,224	3,64	193,5	1,73	25,6	82,5	21,7	0,003
IP7A	5,63	5,4	0,113	11,1	126	0,002	0,01	1,01	18,45	0,2	1,87	518	0,36	0,04	34,2	0,402	0,243	4,78	167	2,1	21,5	79,7	12,8	0,001
IM-G1	11,7	1,01	0,055	1,2	11,35	0,012	0,13	2,18	19,65	0,2	2,64	165	0,41	0,08	8,55	0,366	0,012	12,6	137,5	4,44	24,3	26,6	95,6	0,006
IM-G2	1,575	1,5	0,224	29,5	11,45	0,004	0,4	1,16	10,1	0,5	3,03	34,4	0,15	0,17	5,62	0,252	0,03	8,85	132,5	4,36	14,7	197,5	86,8	0,008
IM-G3	1,595	1,55	0,227	27,9	11,15	0,006	0,4	1,22	10,1	0,5	3,03	32,9	0,15	0,24	5,61	0,25	0,037	8,99	132,5	4,39	14,55	204	86,3	0,009
IM-D1	2,72	9,44	0,16	2,04	44,5	0,01	0,73	0,83	24,9	5,4	0,96	258	0,21	0,56	5,47	0,444	0,149	7,22	225	0,886	20,6	367	65,9	0,025
IM-D2	7,84	2	0,126	4,59	41,4	0,006	1	5,73	19,95	0,2	3,07	79,3	0,52	0,04	17,75	0,454	0,063	3,63	119,5	0,867	34,6	70,7	144	0,007
IM-D3	4,34	18,35	0,064	1,99	41,8	0,002	0,62	0,99	25,7	0,5	3,08	190,5	0,3	0,11	10,2	0,366	0,064	4,4	180	0,834	16,9	86,3	105	0,032
IM-D4	7,86	1,88	0,127	4,94	40,8	0,005	0,99	5,59	20,2	0,2	3,12	80	0,54	0,04	18	0,446	0,062	3,45	119	0,904	35	69,2	145	0,008
IM-D5	7,47	8,5	0,082	2,19	53,2	0,006	0,54	0,63	19,3	0,3	2,76	190,5	0,51	0,07	17,6	0,377	0,092	3,86	116	0,476	30	72	147	0,001
IM-D6	7,75	8,51	0,085	2,19	52,7	0,006	0,55	0,66	19,5	0,2	2,9	196	0,53	0,09	17,25	0,384	0,095	3,76	120	0,485	30,5	75,3	151,5	0,001

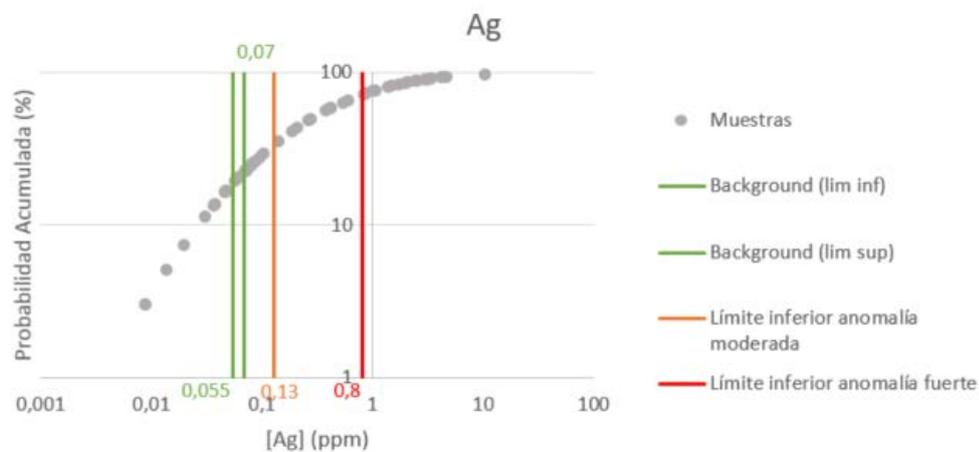


Figura A2 7. Rangos de anomalías para Ag

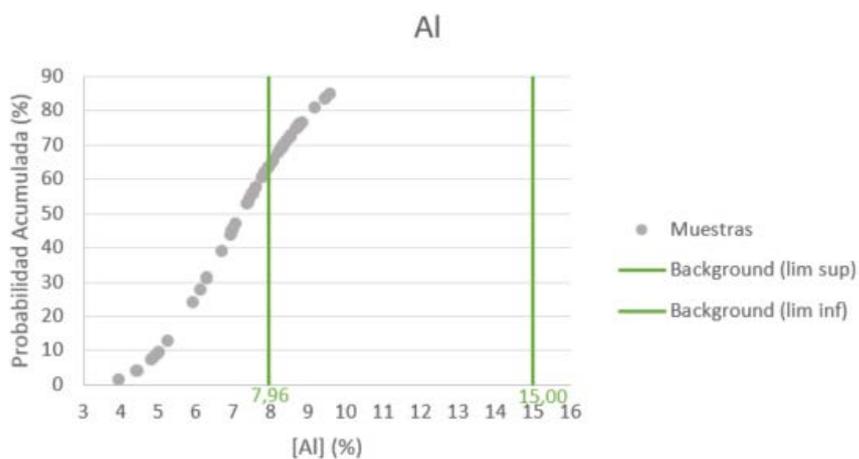


Figura A2 8. Rangos de anomalías para Al

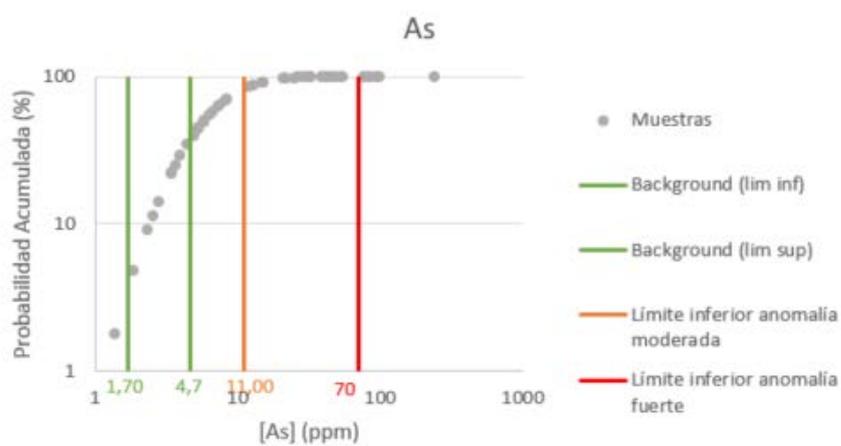


Figura A2 9. Rangos de anomalías para As

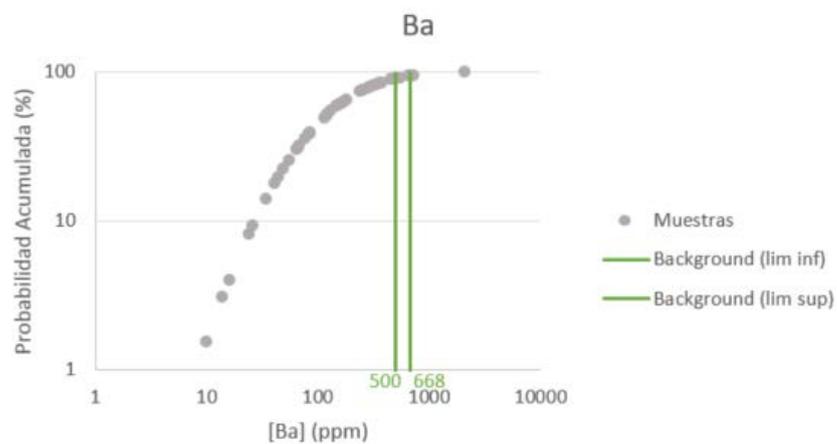


Figura A2 10. Rangos de anomalías para Ba

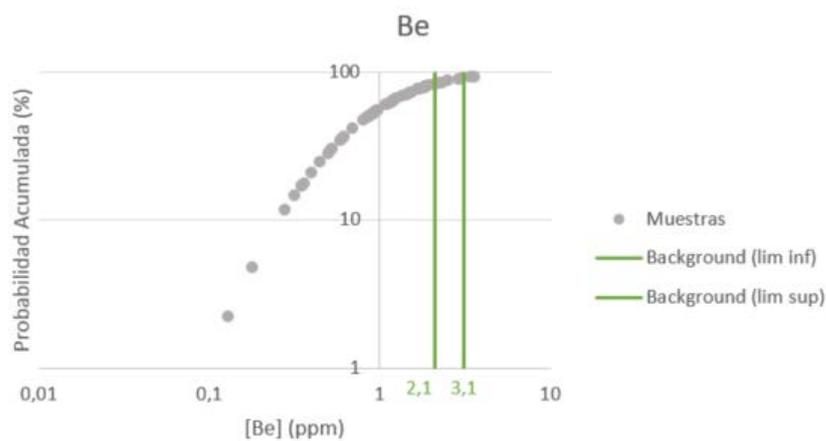


Figura A2 11. Rangos de anomalías para Be

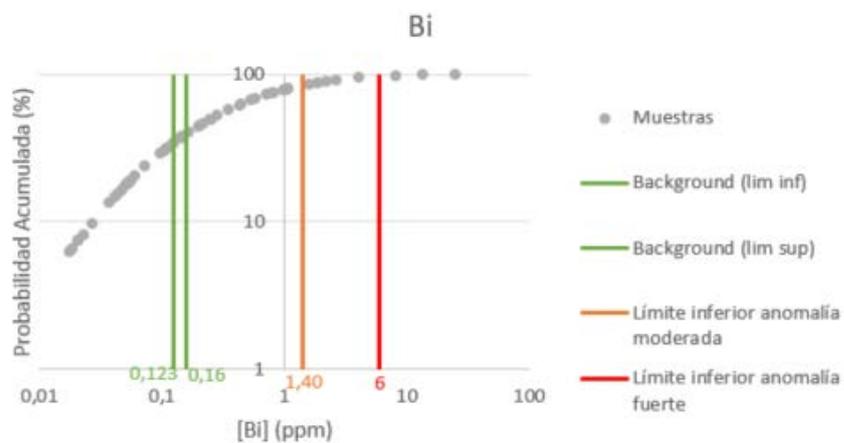


Figura A2 12. Rangos de anomalías para Bi

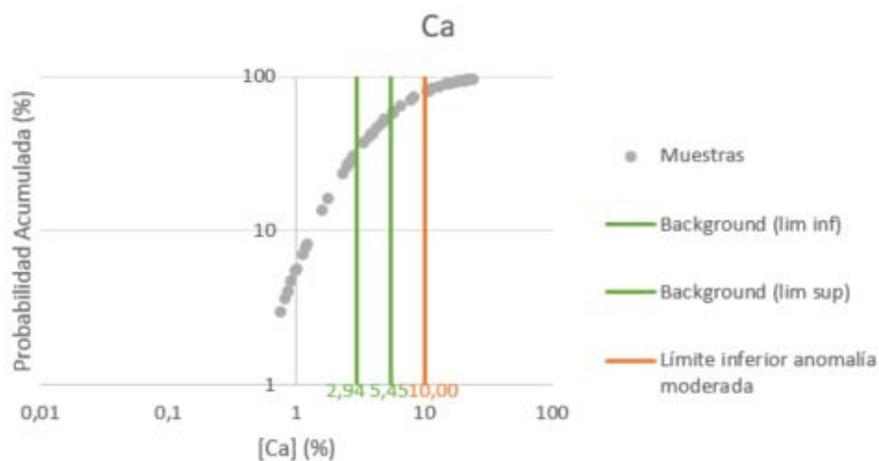


Figura A2 13. Rangos de anomalías para Ca

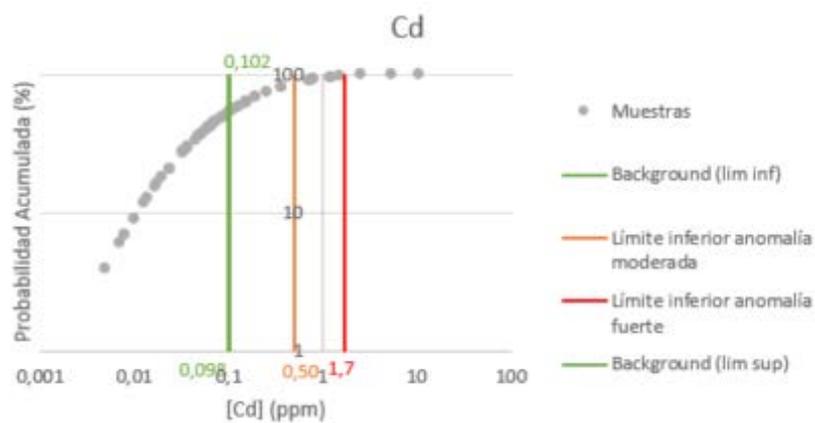


Figura A2 14. Rangos de anomalías para Cd

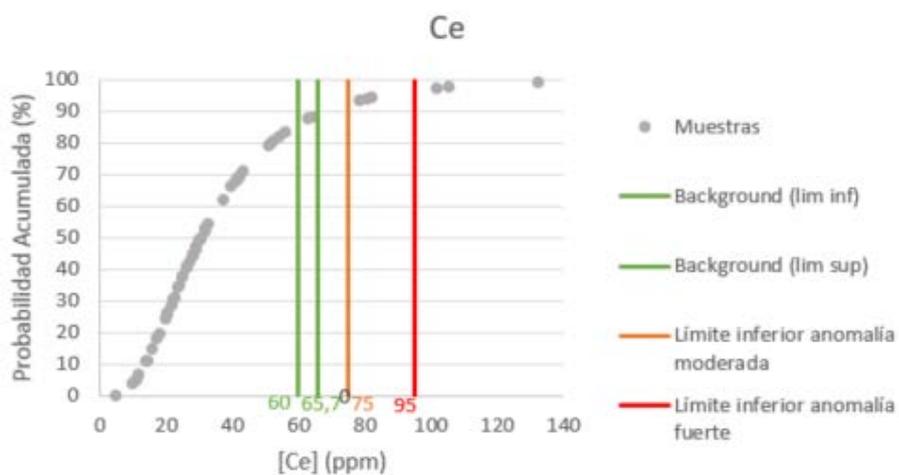


Figura A2 15. Rangos de anomalías para Ce

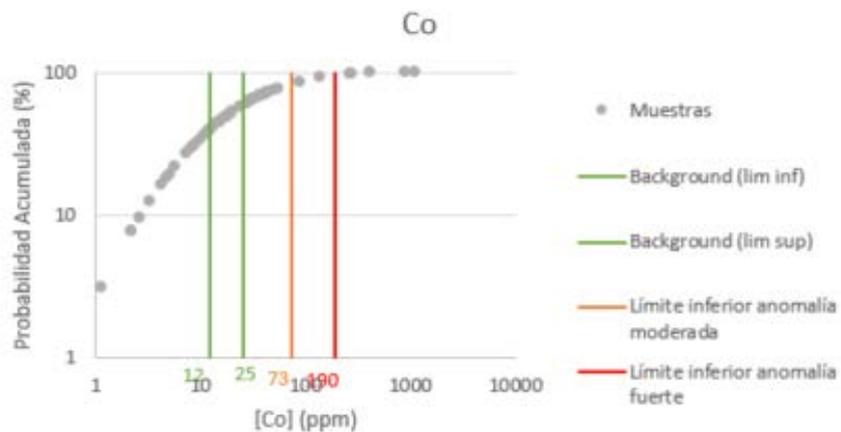


Figura A2 16. Rangos de anomalías para Co

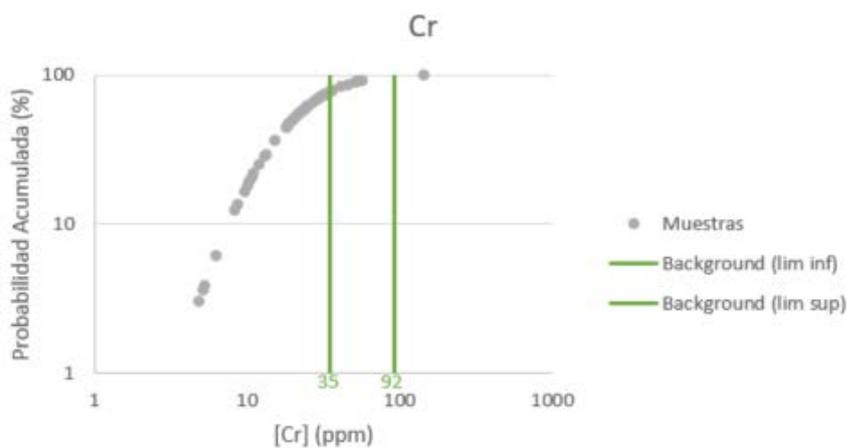


Figura A2 17. Rangos de anomalías para Cr

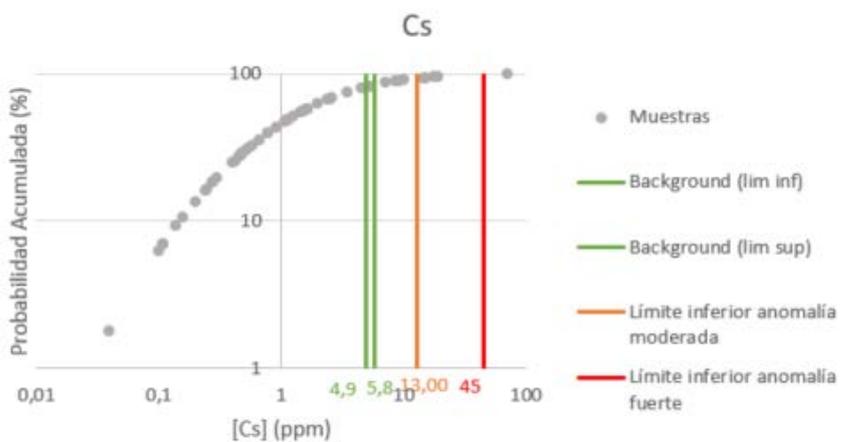


Figura A2 18. Rangos de anomalías para Cs

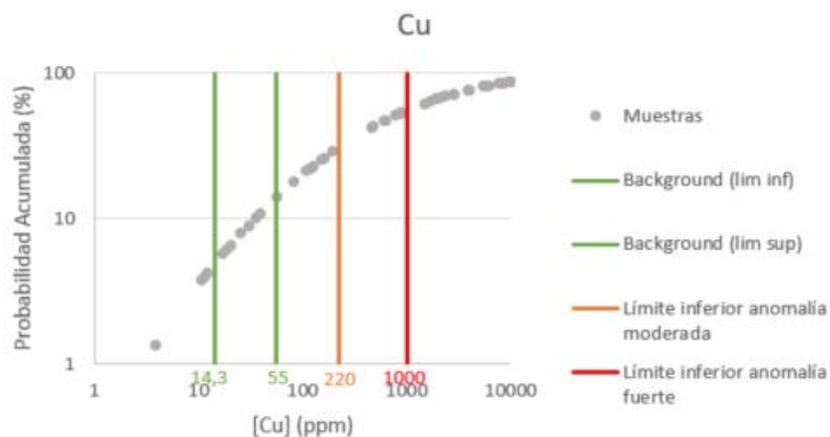


Figura A2 19. Rangos de anomalías para Cu

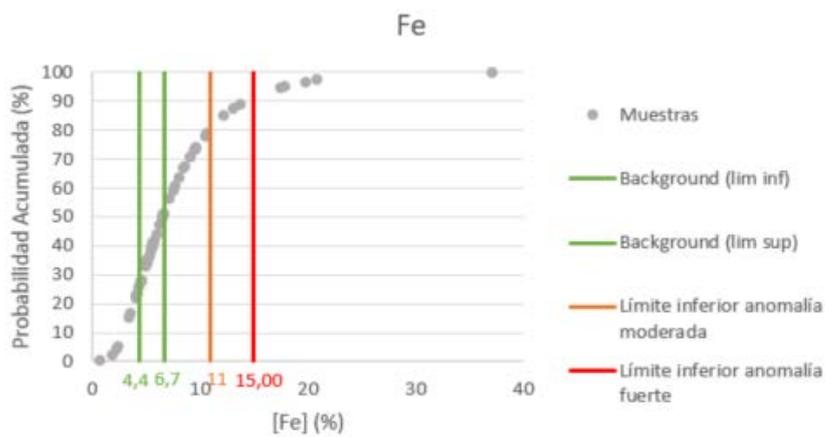


Figura A2 20. Rangos de anomalías para Fe

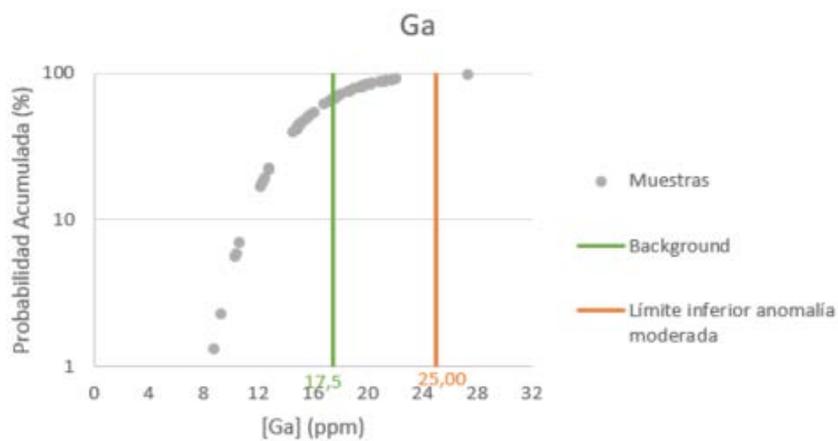


Figura A2 21. Rangos de anomalías para Ga

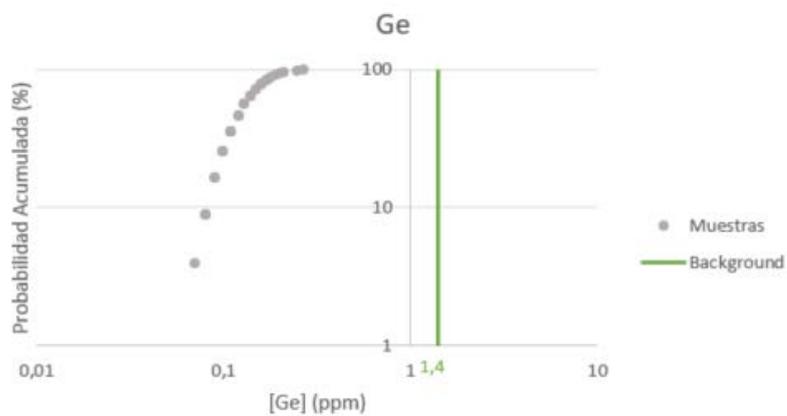


Figura A2 22. Rangos de anomalías para Ge

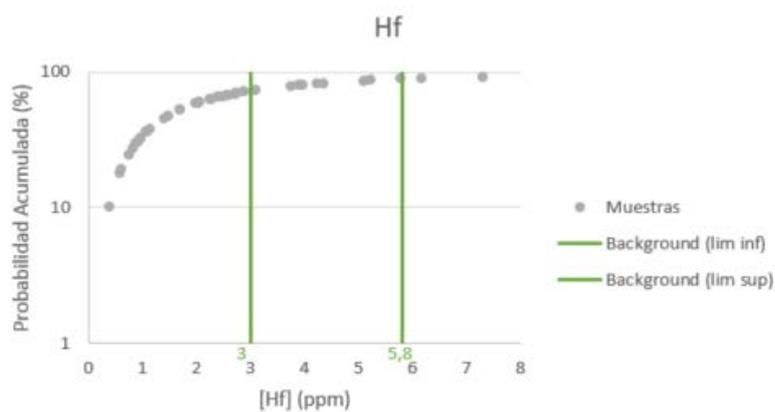


Figura A2 23. Rangos de anomalías para Hf

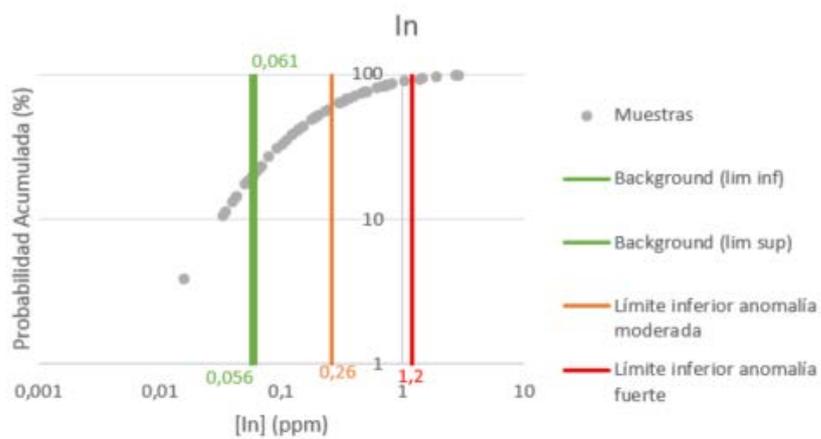


Figura A2 24. Rangos de anomalías para In

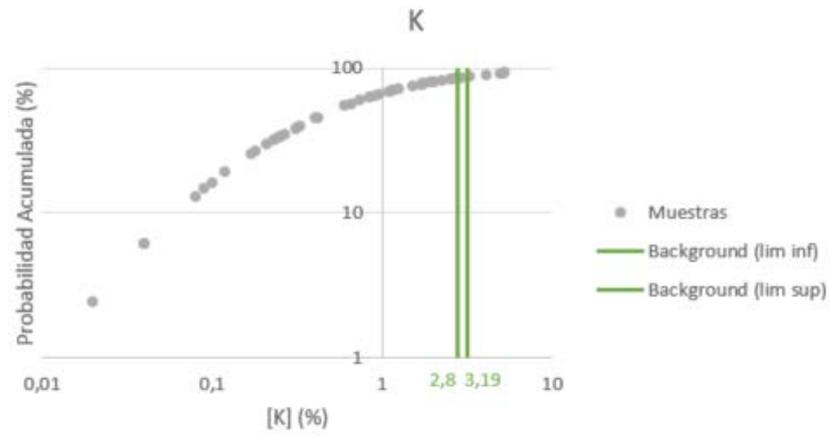


Figura A2 25. Rangos de anomalías para K

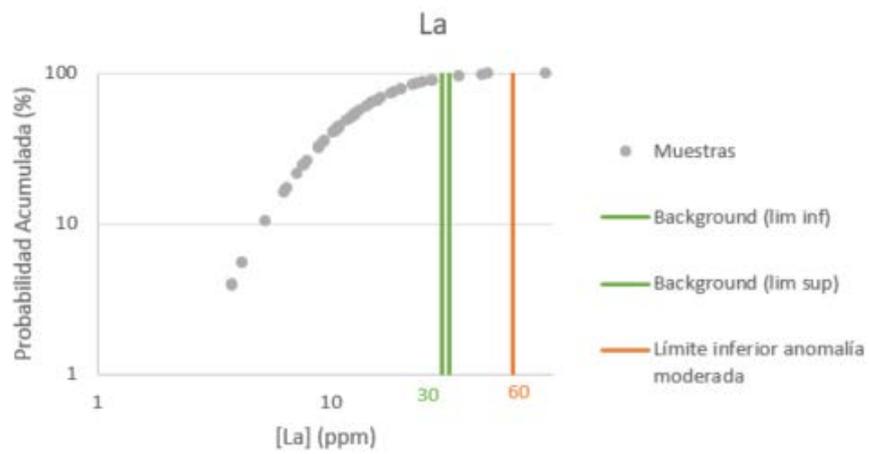


Figura A2 26. Rangos de anomalías para La

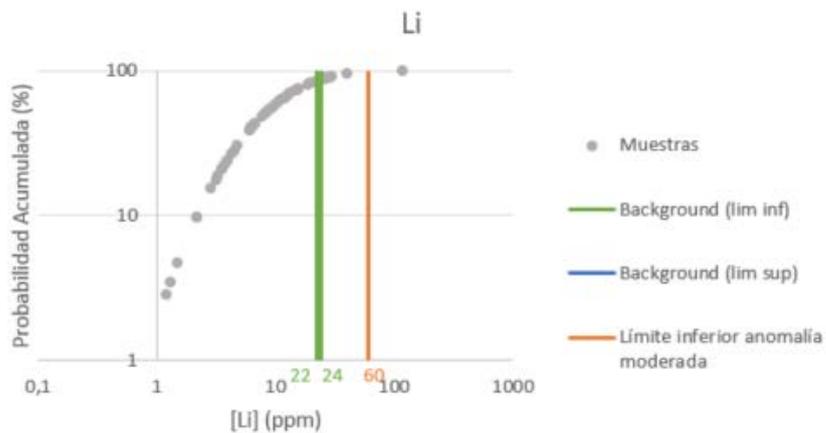


Figura A2 27. Rangos de anomalías para Li

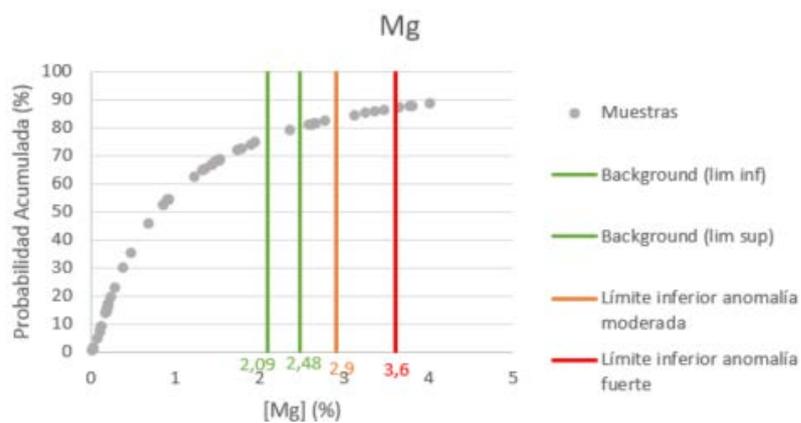


Figura A2 28. Rangos de anomalías para Mg

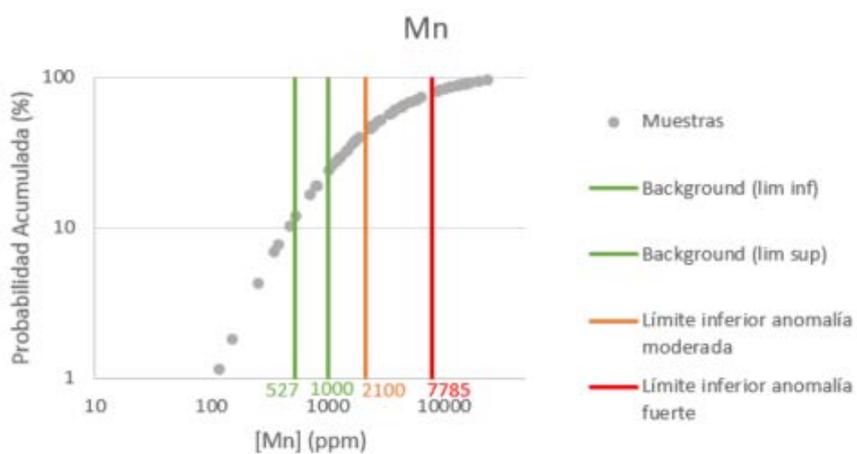


Figura A2 29. Rangos de anomalías para Mn

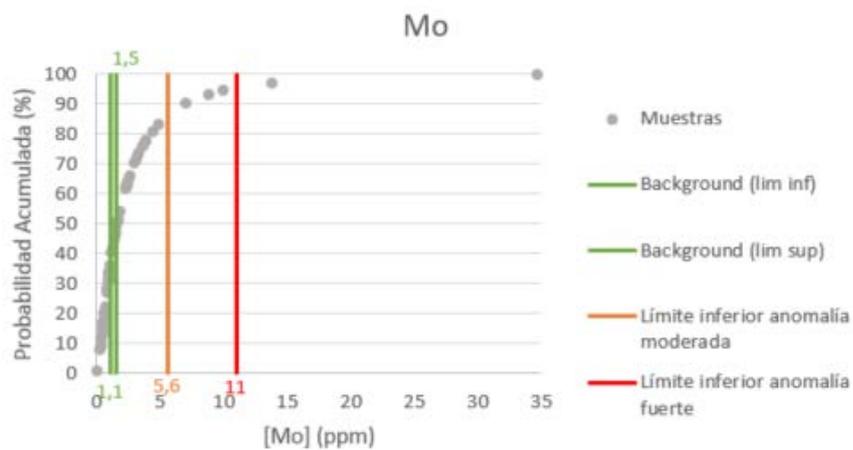


Figura A2 30. Rangos de anomalías para Mo

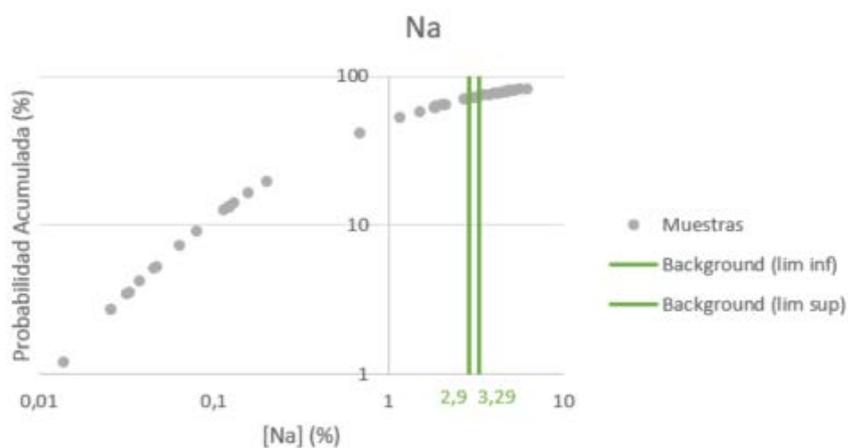


Figura A2 31. Rangos de anomalías para Na

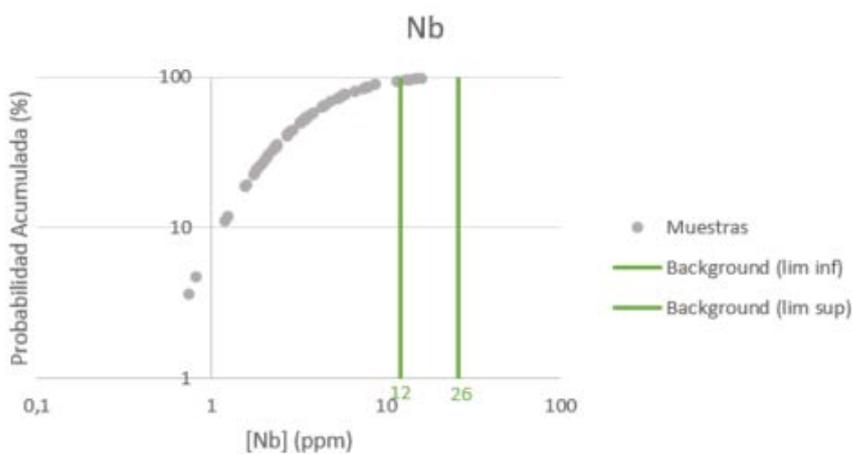


Figura A2 32. Rangos de anomalías para Nb

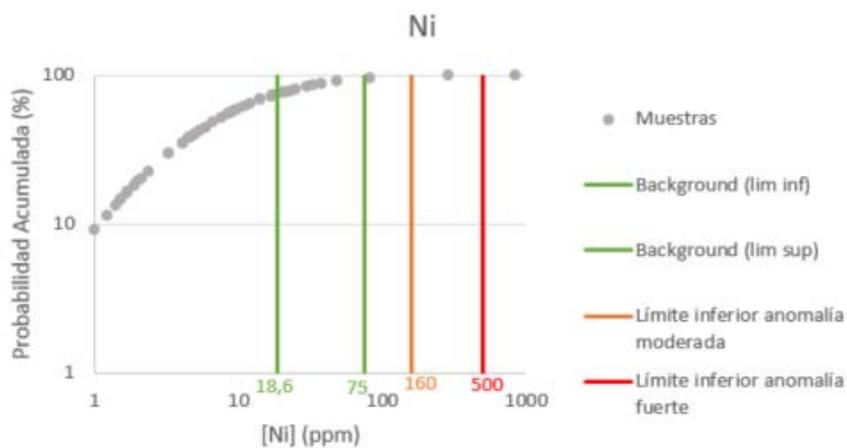


Figura A2 33. Rangos de anomalías para Ni

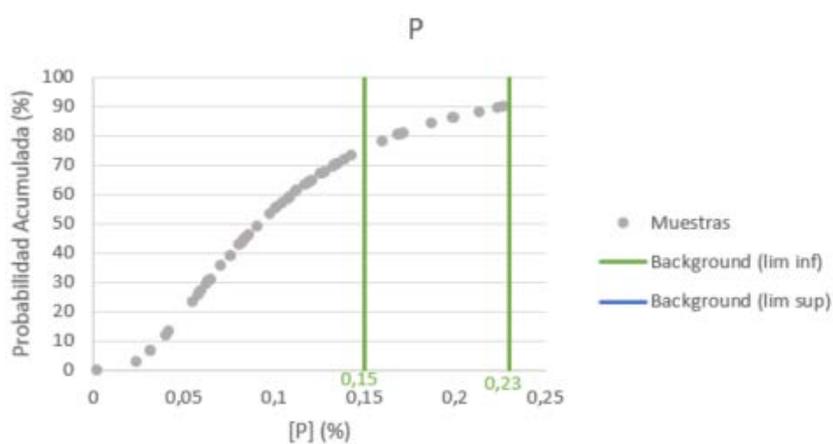


Figura A2 34. Rangos de anomalías para P

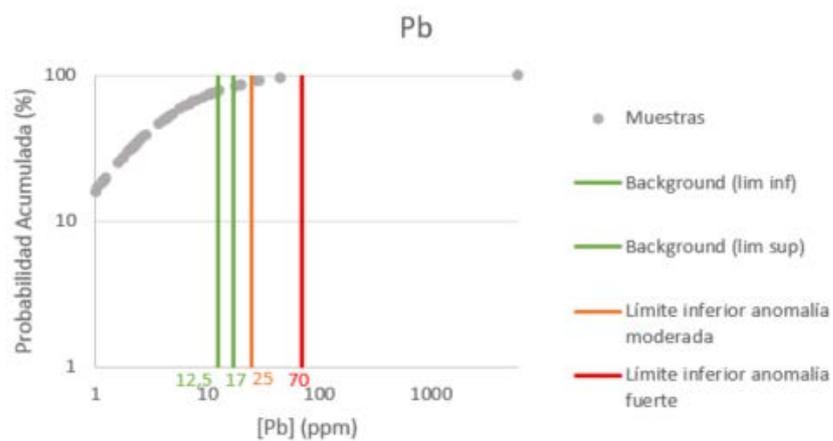


Figura A2 35. Rangos de anomalías para Pb

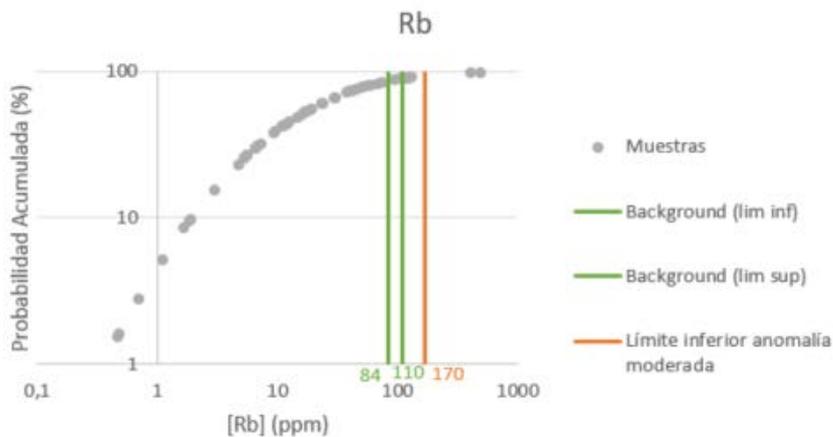


Figura A2 36. Rangos de anomalías para Rb

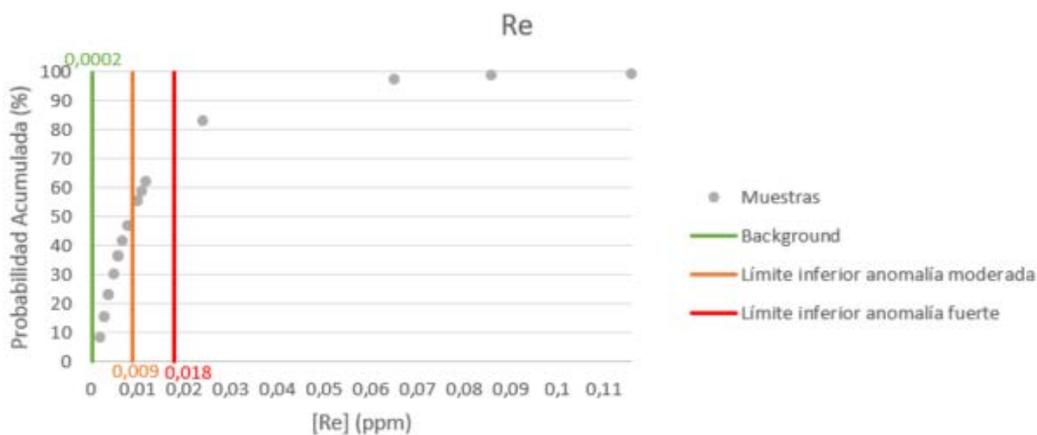


Figura A2 37. Rangos de anomalías para Re

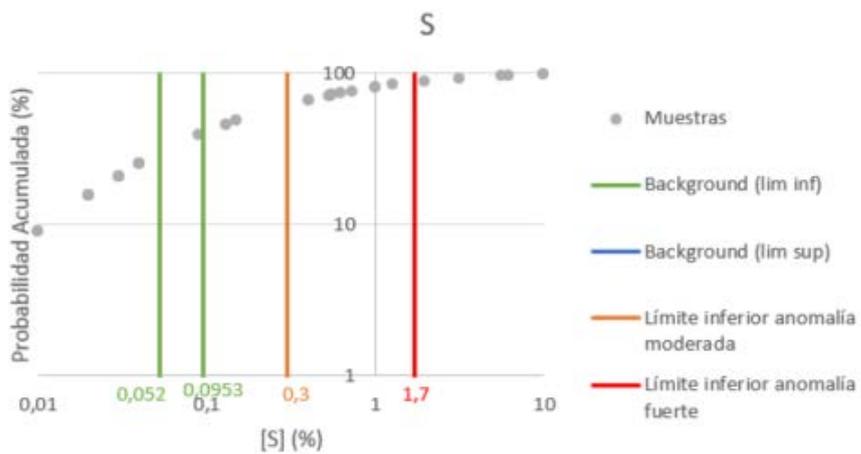


Figura A2 38. Rangos de anomalías para S

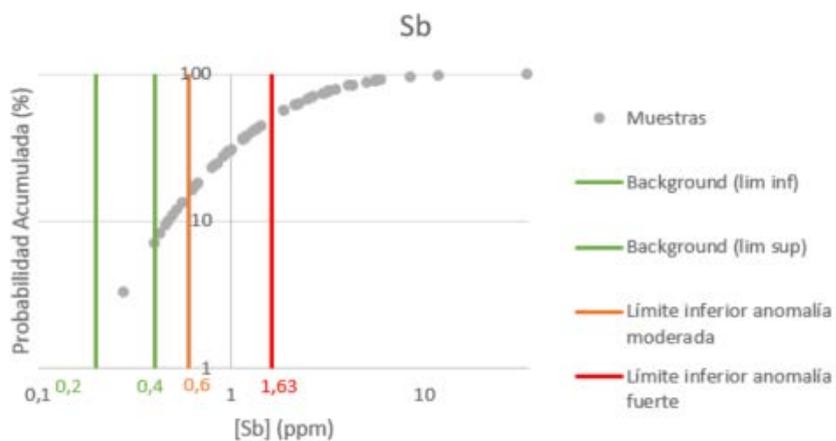


Figura A2 39. Rangos de anomalías para Sb

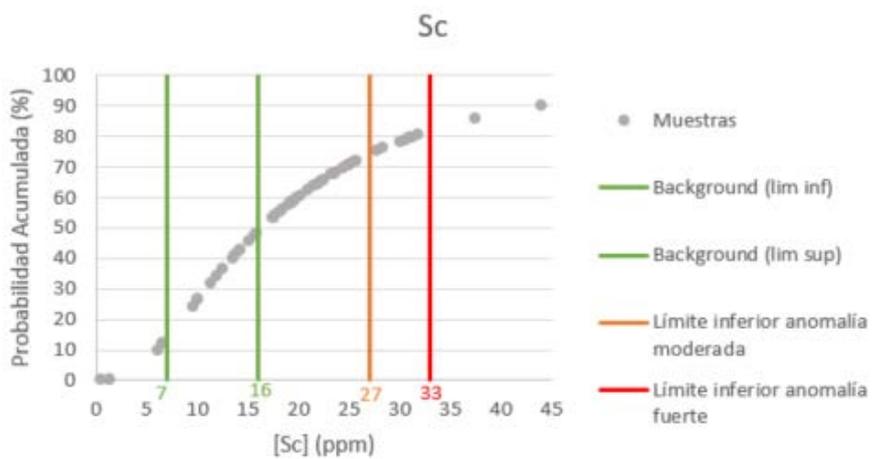


Figura A2 40. Rangos de anomalías para Sc

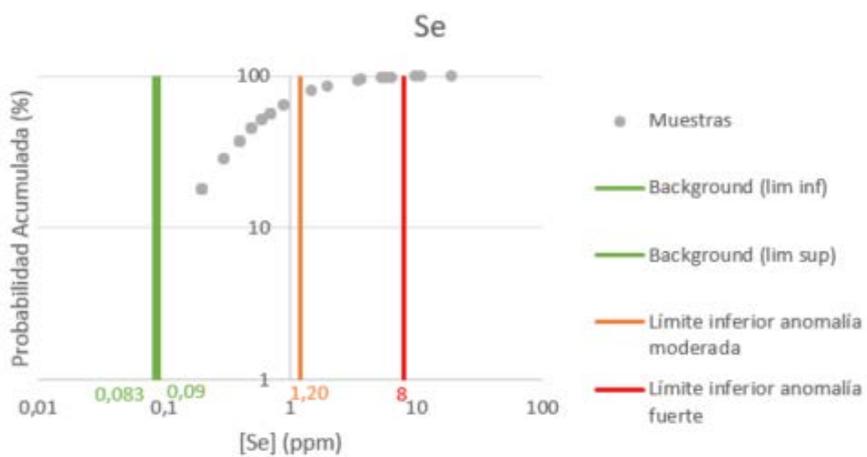


Figura A2 41. Rangos de anomalías para Se

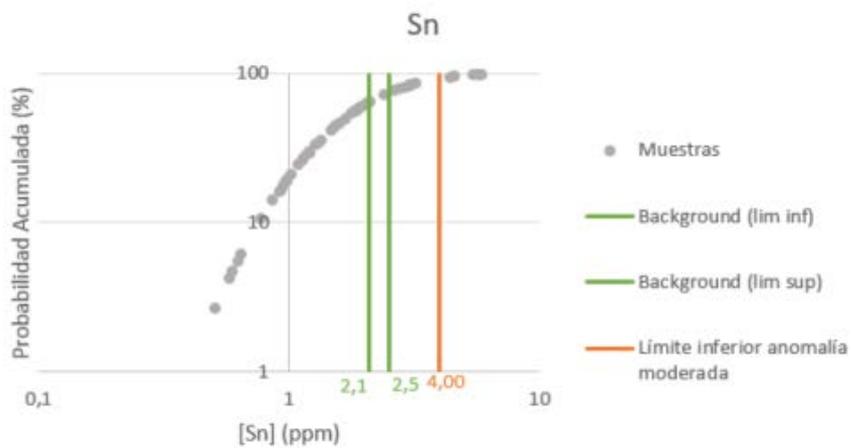


Figura A2 42. Rangos de anomalías para Sn

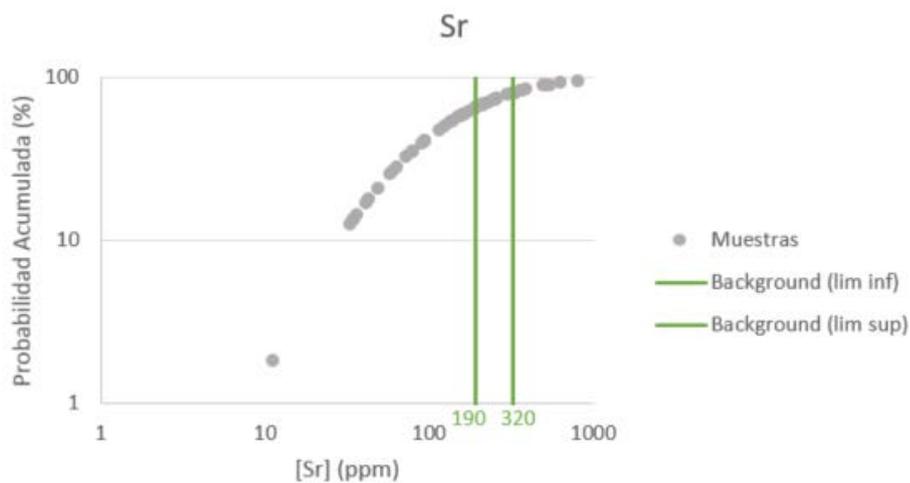


Figura A2 43. Rangos de anomalías para Sr

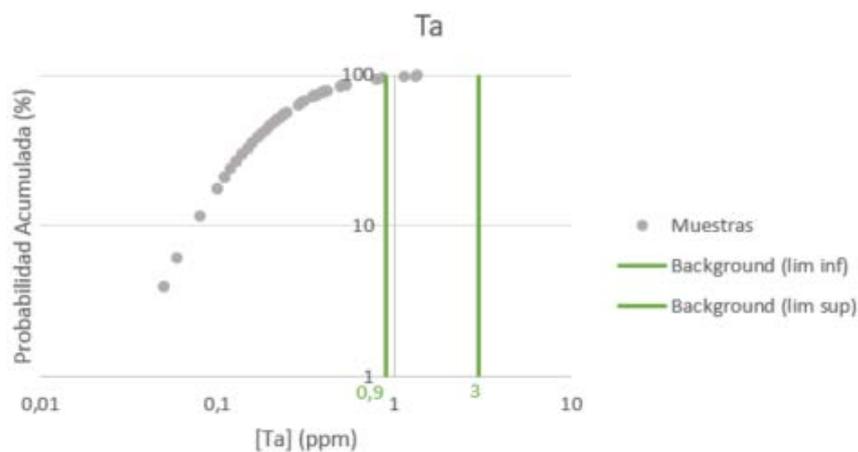


Figura A2 44. Rangos de anomalías para Ta

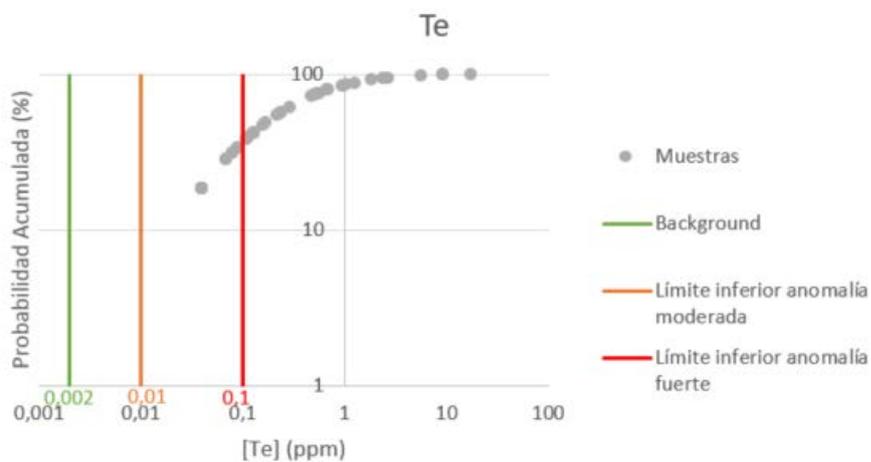


Figura A2 45. Rangos de anomalías para Te

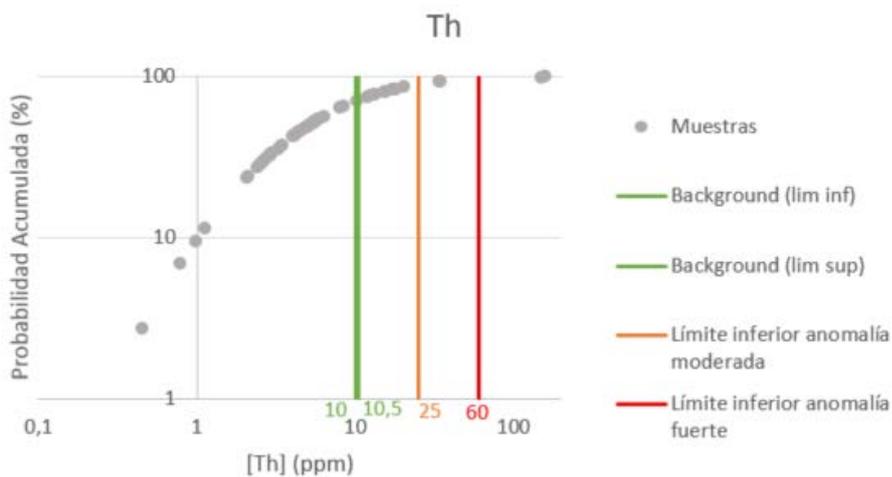


Figura A2 46. Rangos de anomalías para Th

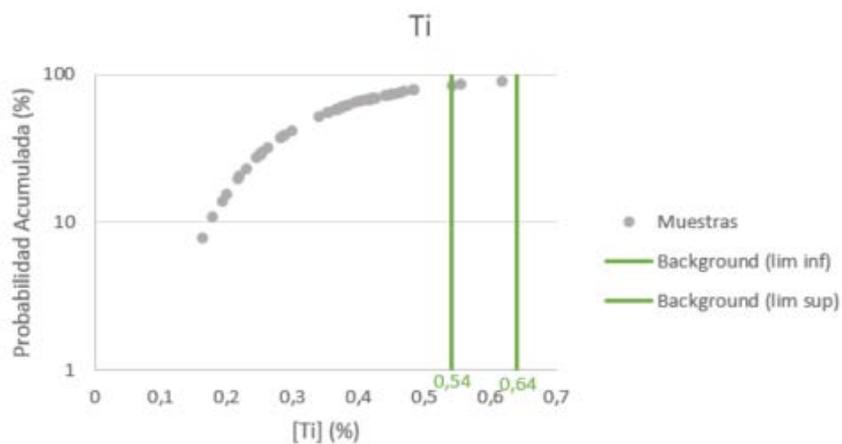


Figura A2 47. Rangos de anomalías para Ti

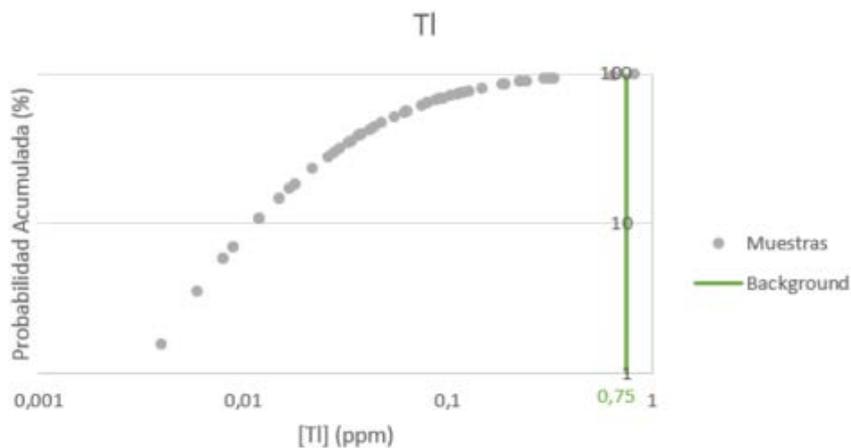


Figura A2 48. Rangos de anomalías para TI

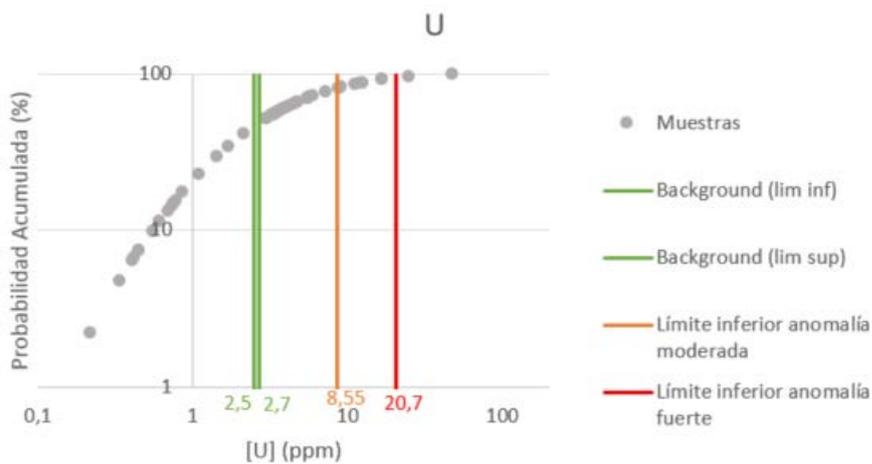


Figura A2 49. Rangos de anomalías para U

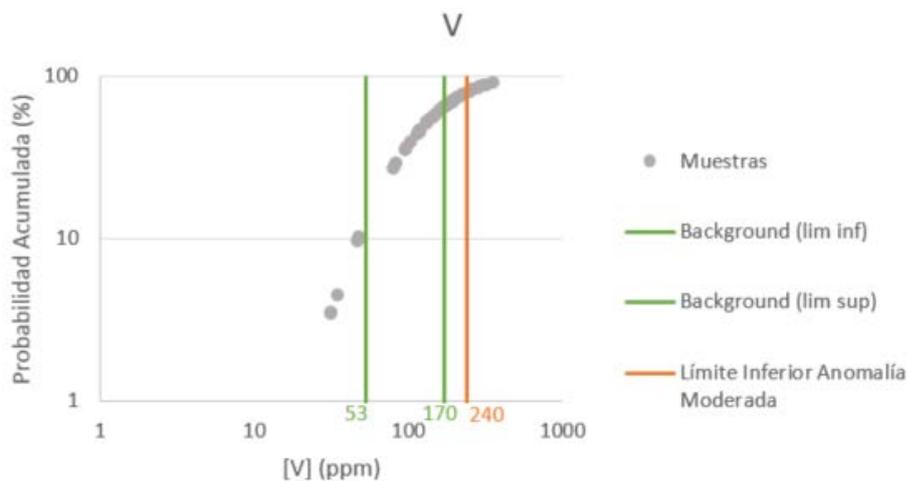


Figura A2 50. Rangos de anomalías para V

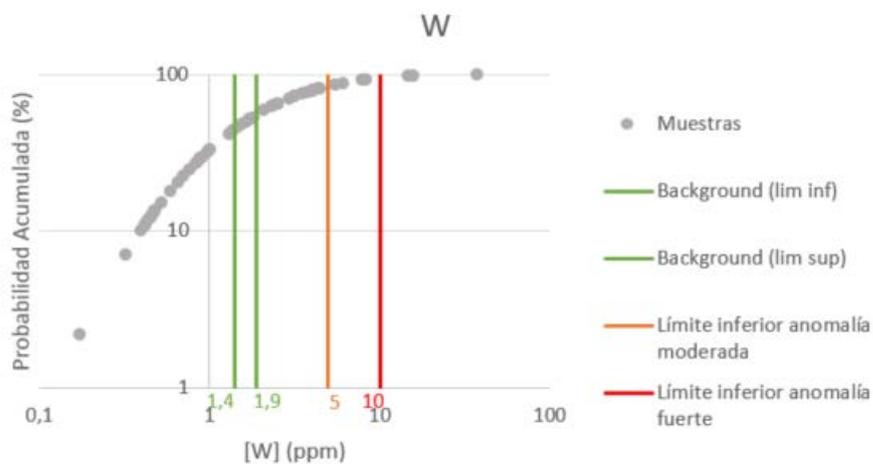


Figura A2 51. Rangos de anomalías para W

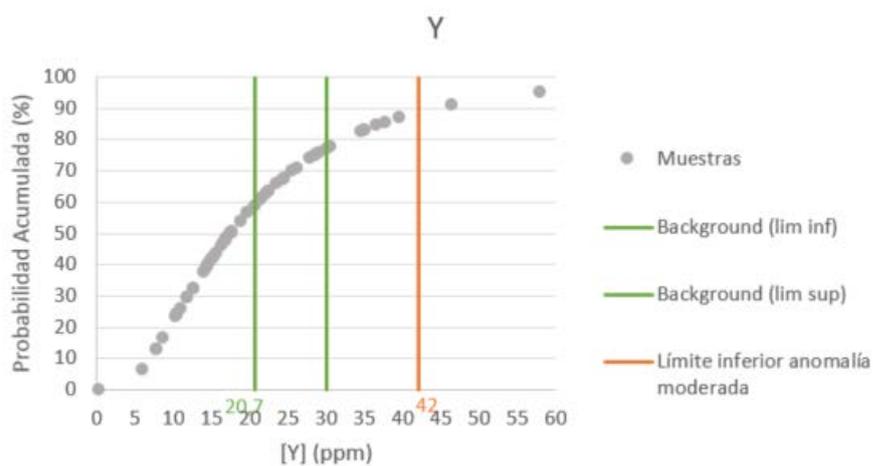


Figura A2 52. Rangos de anomalías para Y

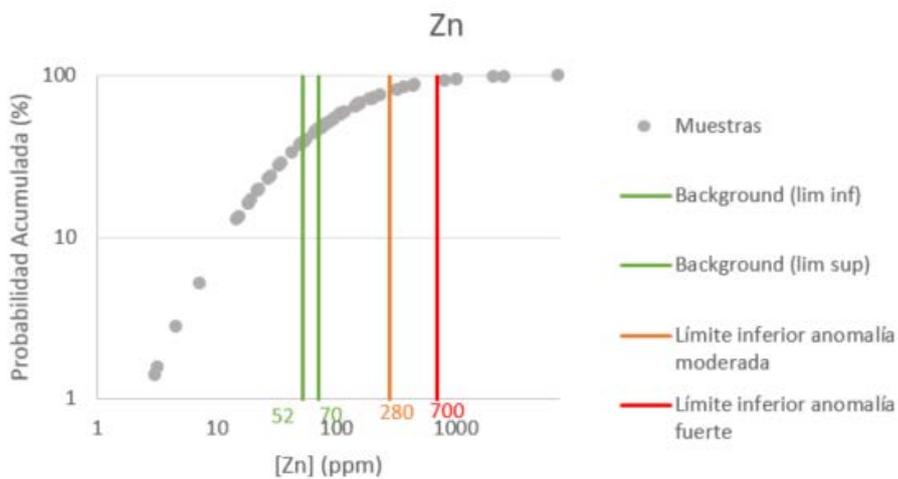


Figura A2 53. Rangos de anomalías para Zn

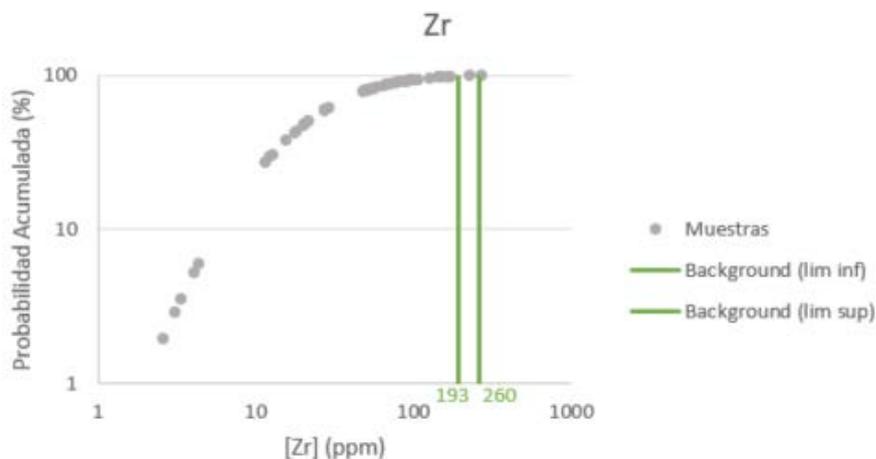


Figura A2 54. Rangos de anomalías para Zr

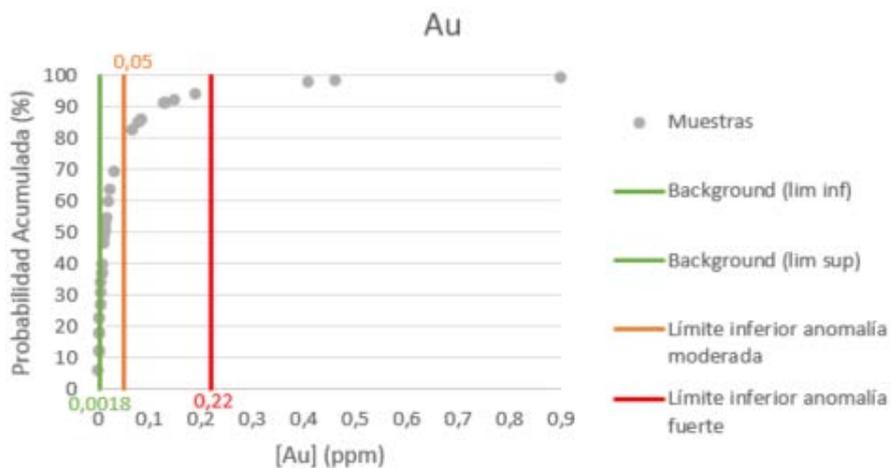


Figura A2 55. Rangos de anomalías para Au

Tabla A2 31. Elementos que presentan zonaciones en el yacimiento

ELEMENTOS CON ZONACIÓN DE ANOMALÍAS				
Ag	As	Bi	Cd	Ce
Co	Cs	Cu	Fe	In
Mg	Mn	S	Sb	U
	Zn	Au		

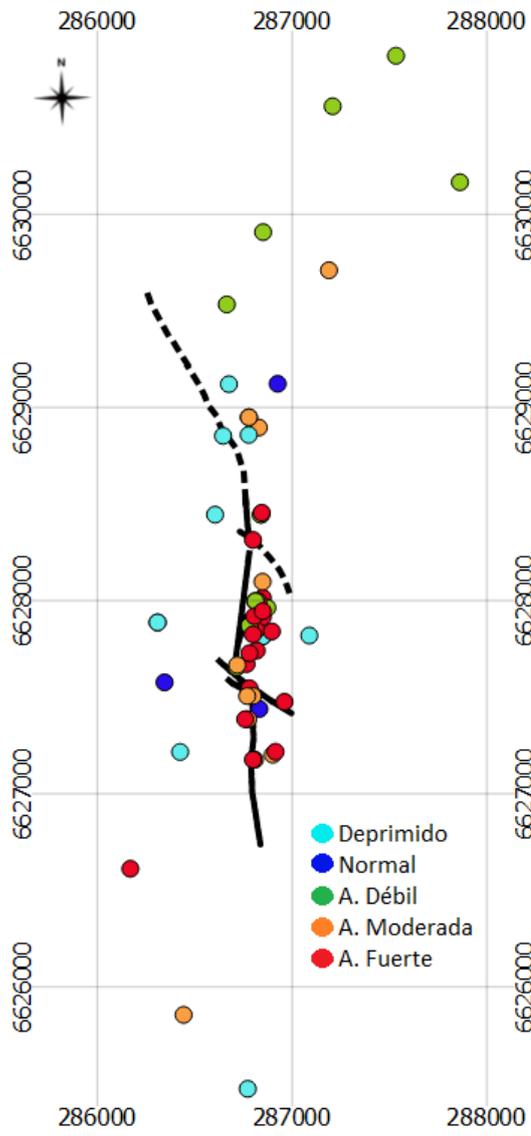


Figura A2 57. Distribución de anomalías de Ag en el yacimiento

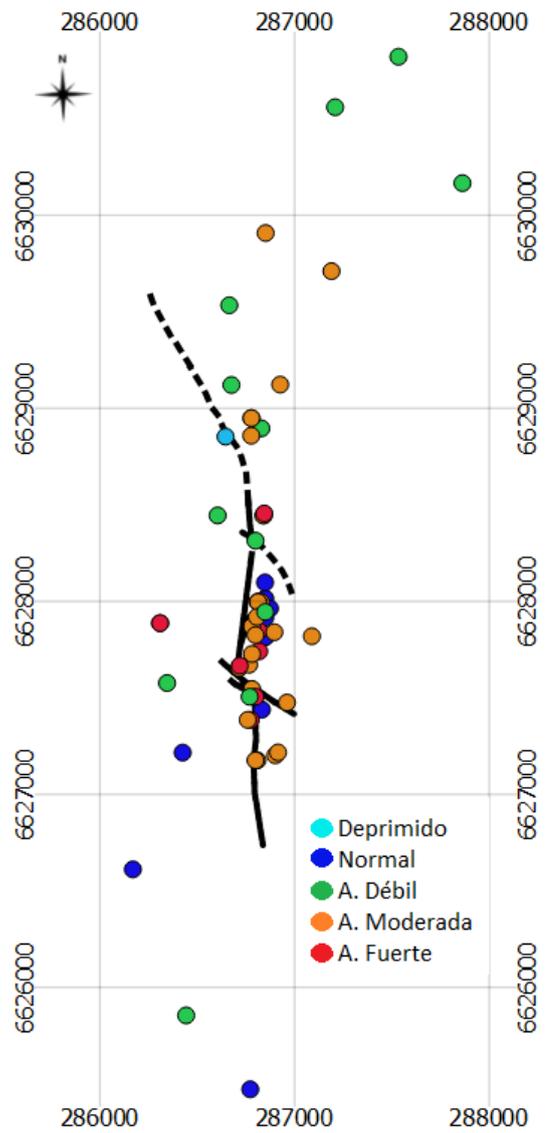


Figura A2 56. Distribución de anomalías de As en el yacimiento

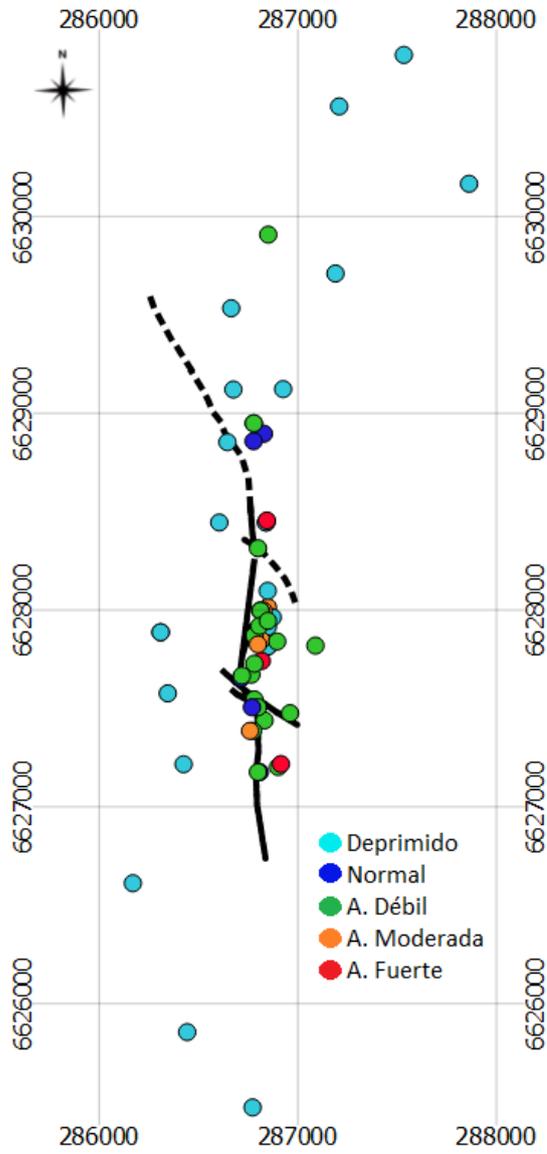


Figura A2 59. Distribución de anomalías de Bi en el yacimiento

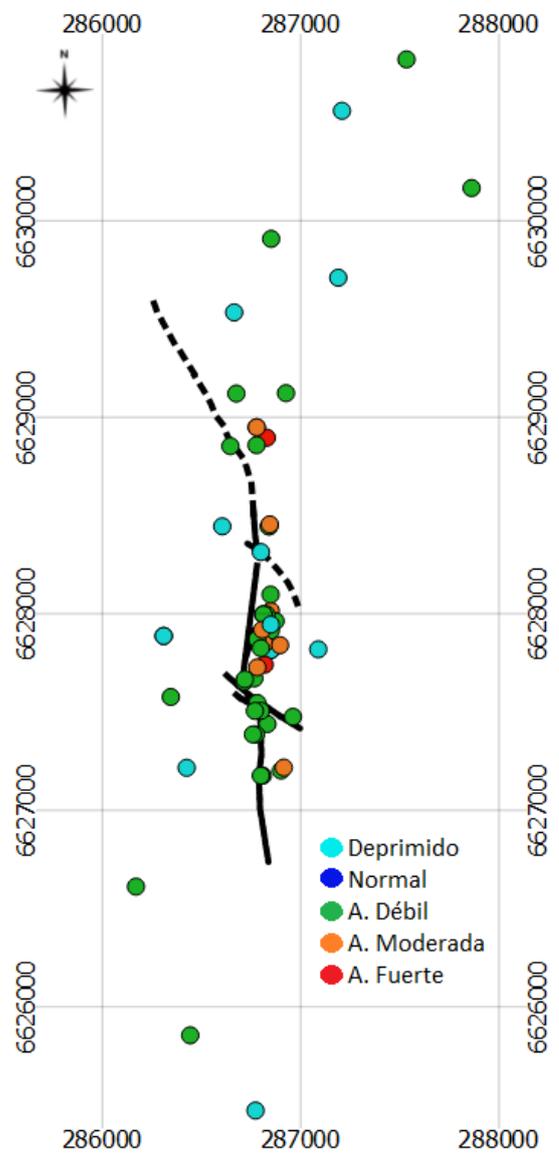


Figura A2 58. Distribución de anomalías de Cd en el yacimiento

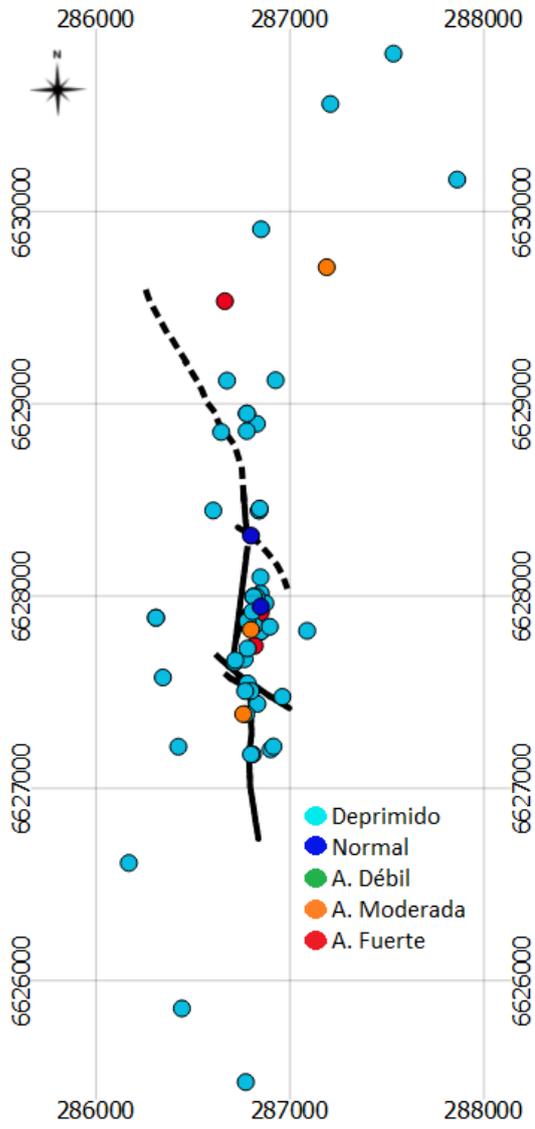


Figura A2 61. Distribución de anomalías de Ce en el yacimiento

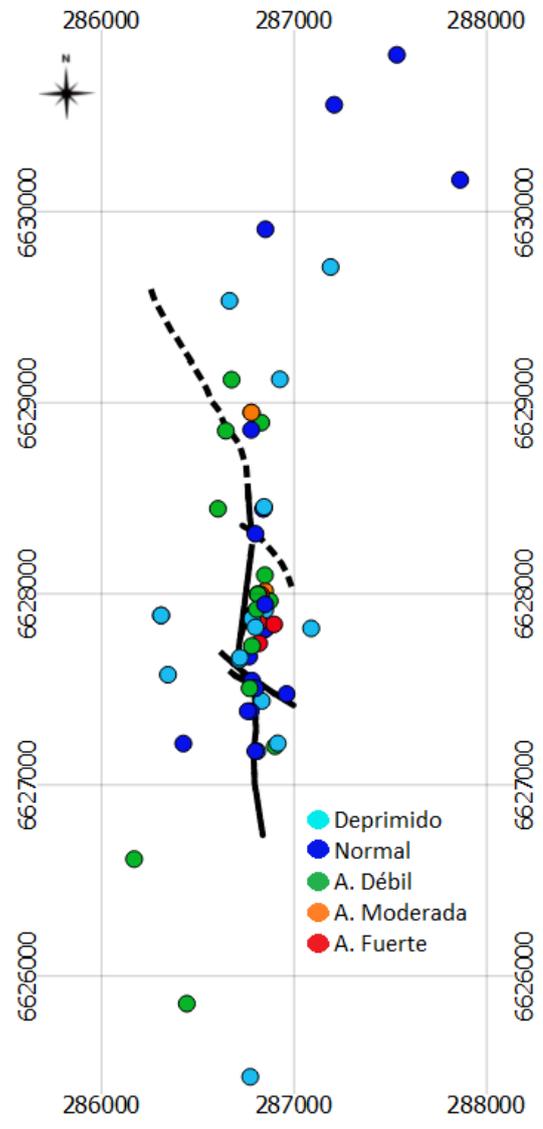


Figura A2 60. Distribución de anomalías de Co en el yacimiento

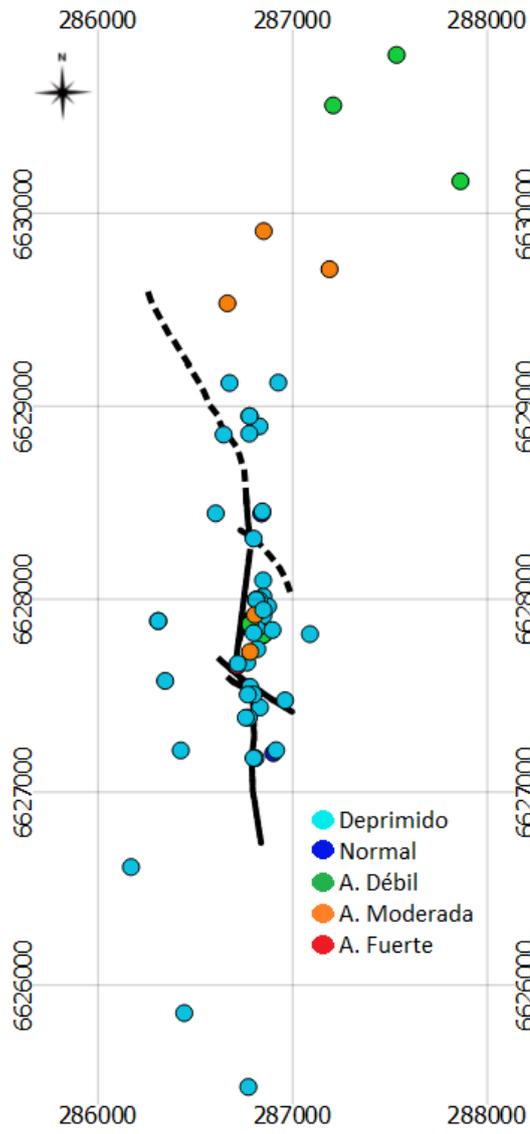


Figura A2 62. Distribución de anomalías de Cs en el yacimiento

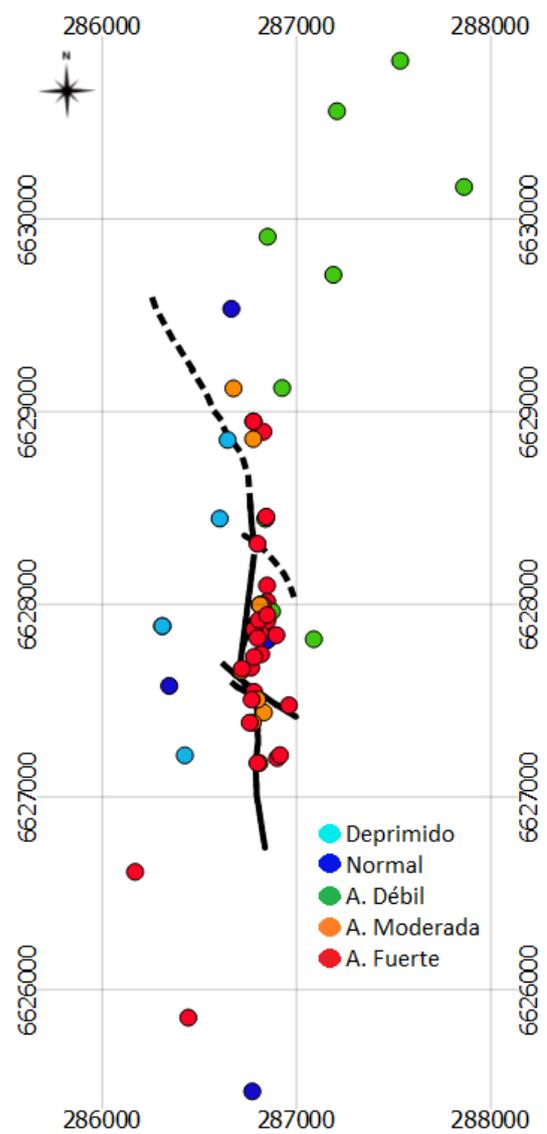


Figura A2 63. Distribución de anomalías de Cu en el yacimiento

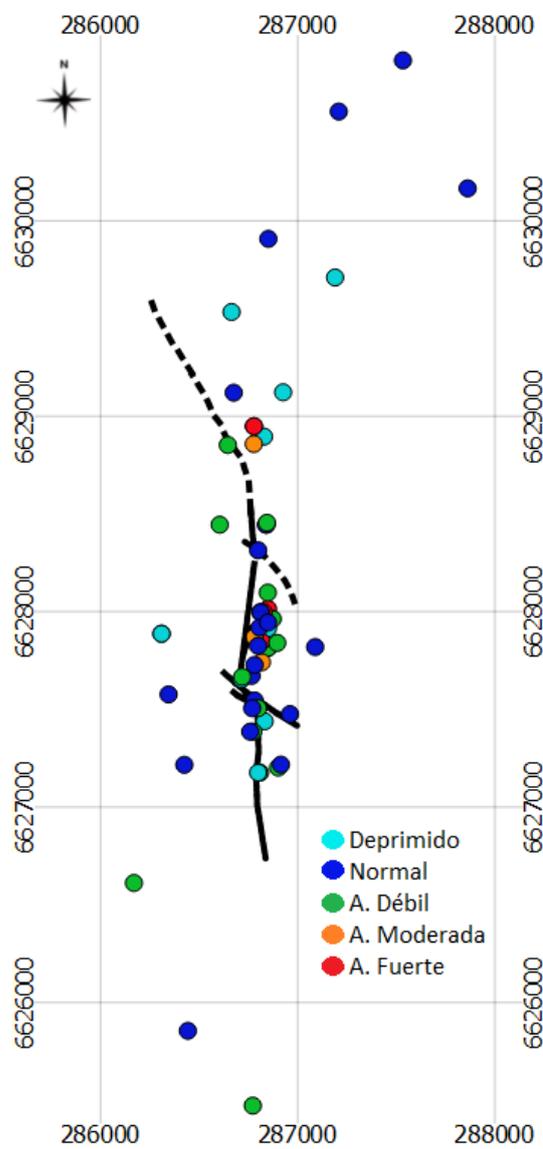


Figura A2 65. Distribución de anomalías de Fe en el yacimiento

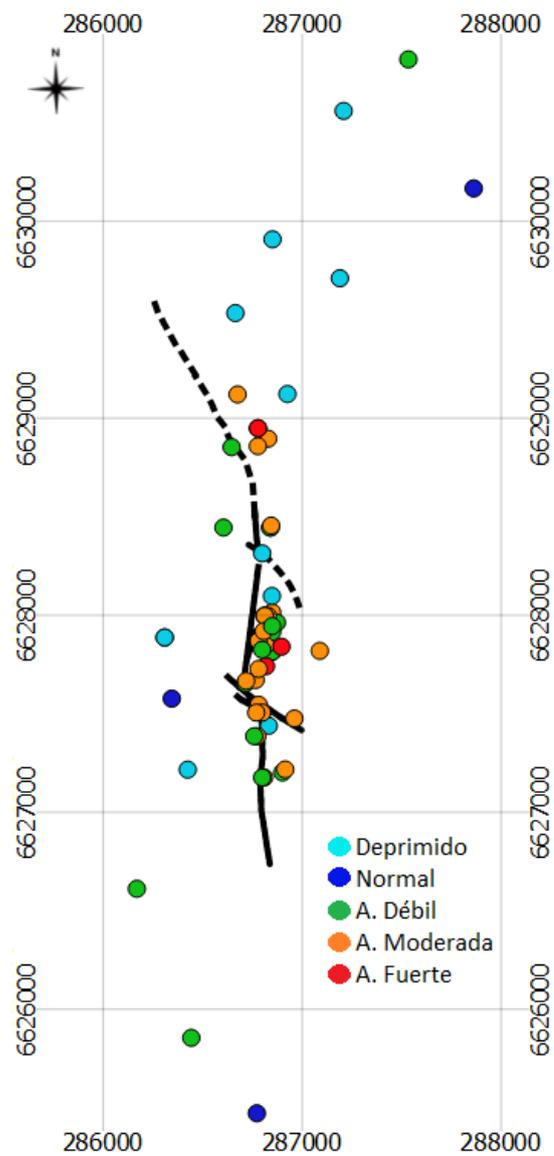


Figura A2 64. Distribución de anomalías de In en el yacimiento

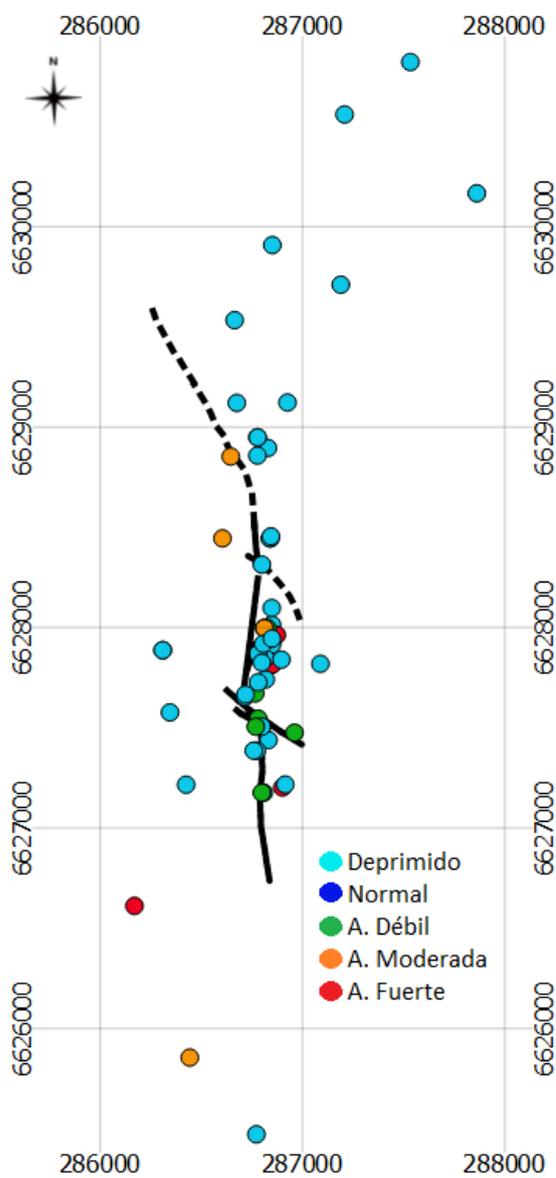


Figura A2 67. Distribución de anomalías de Mg en el yacimiento

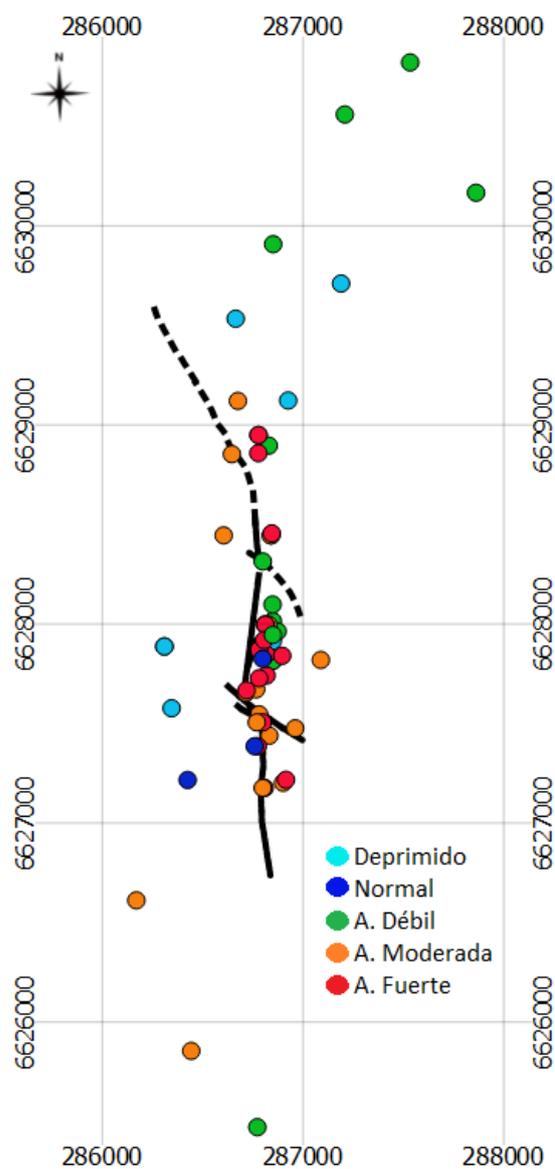


Figura A2 66. Distribución de anomalías de Mn en el yacimiento

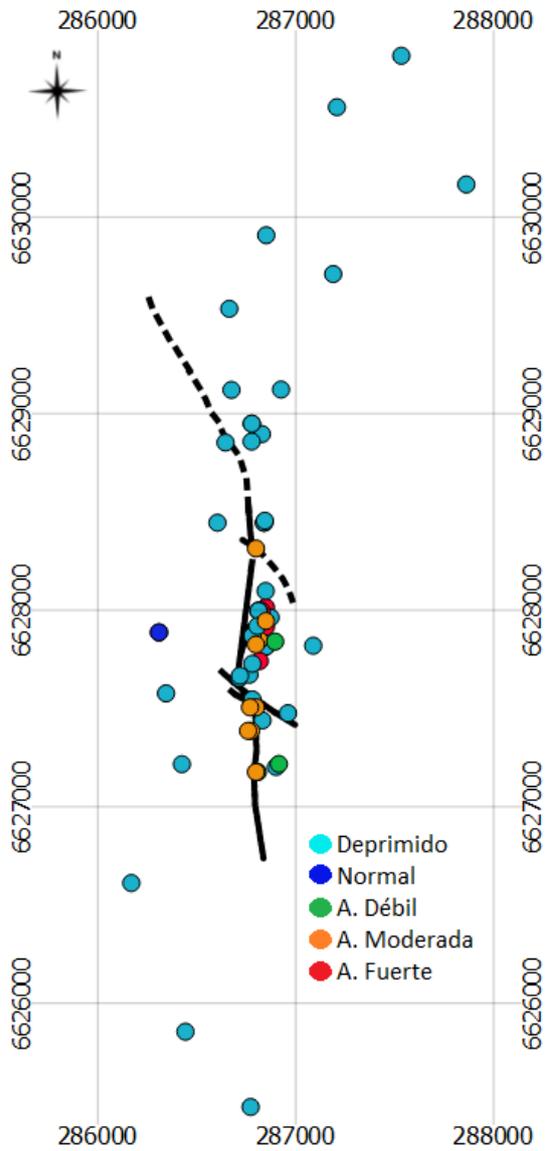


Figura A2 69. Distribución de anomalías de S en el yacimiento

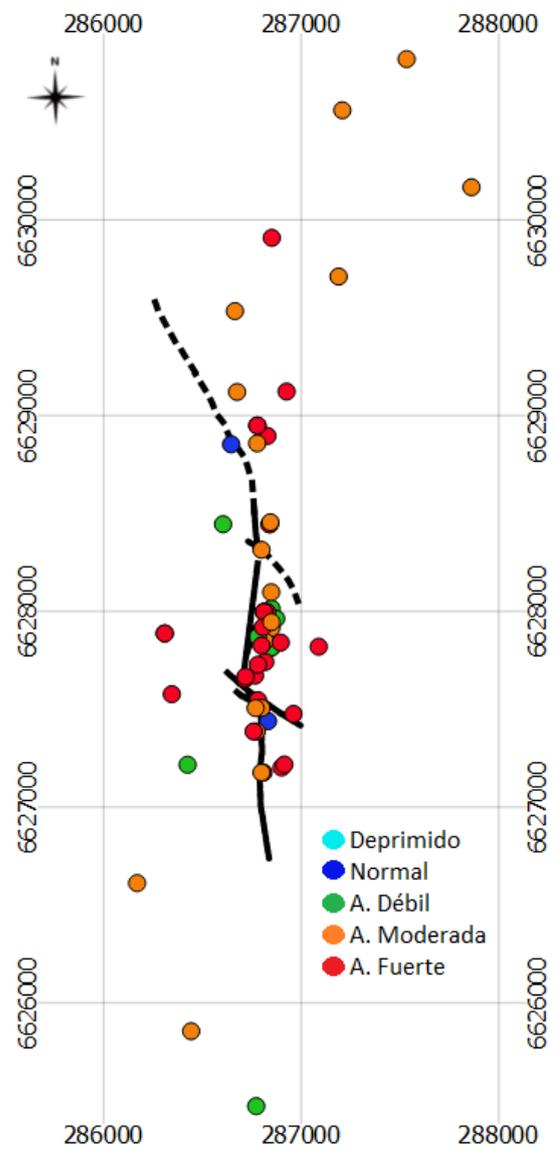


Figura A2 68. Distribución de anomalías de Sb en el yacimiento

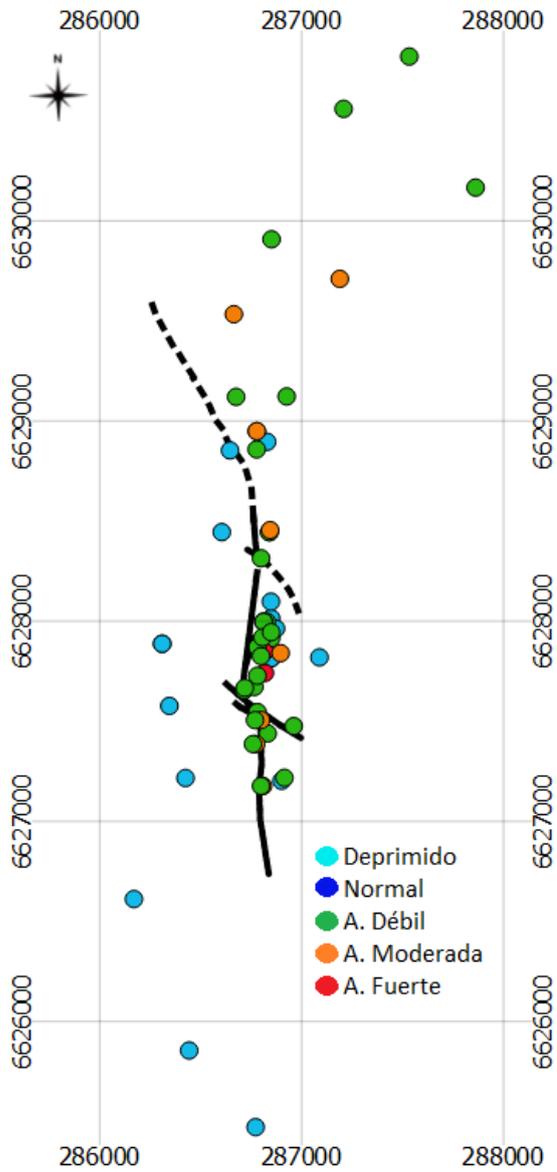


Figura A2 71. Distribución de anomalías de U en el yacimiento

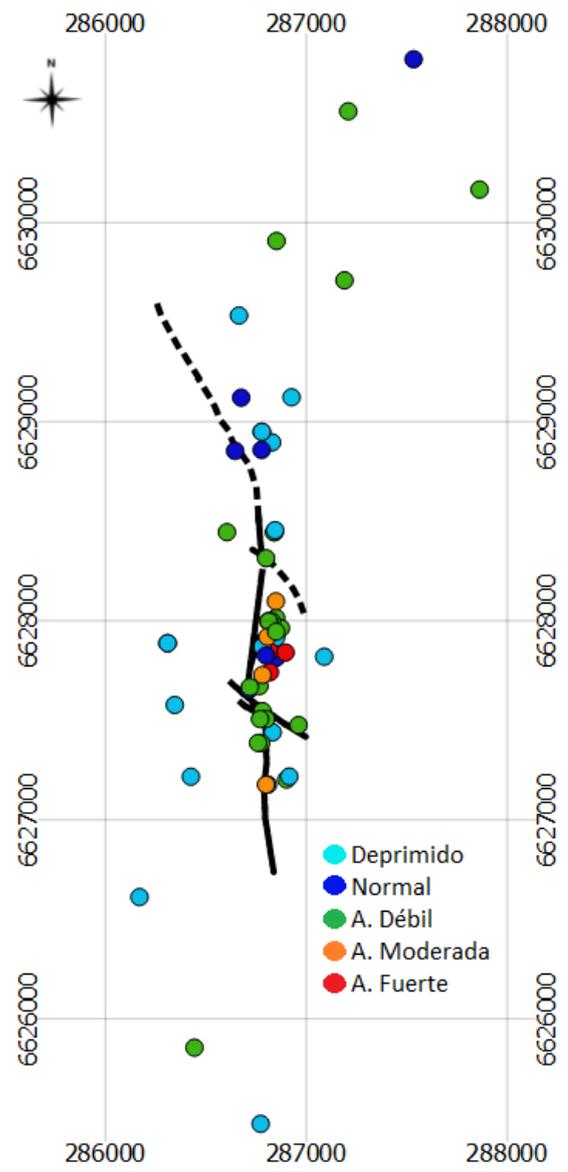


Figura A2 70. Distribución de anomalías de Zn en el yacimiento

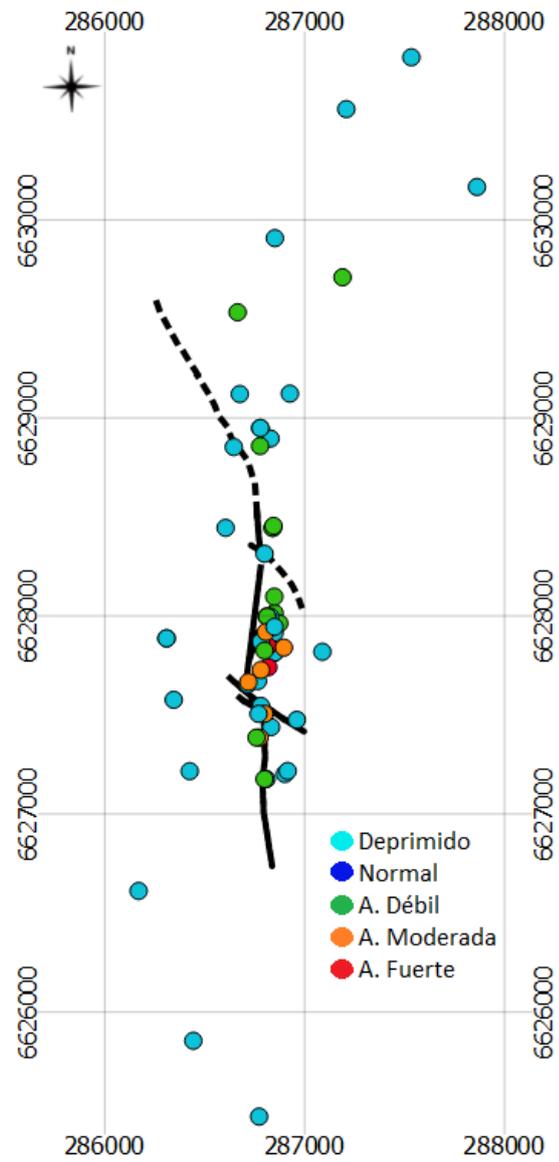


Figura A2 72. Distribución de anomalías de Au en el yacimiento

Tabla A2 32. Matriz de correlación de skarn interior mina

0,9	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	Hf	In	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na
Ag																									
Al	-0,98	1																							
As	0,952	-0,993	1																						
Ba				1																					
Be					1																				
Bi	0,992	-0,948	0,912			1																			
Ca				-1	-0,99		1																		
Cd	0,967	-0,997	0,999			0,932		1																	
Ce									1																
Co	0,991	-0,997	0,982			0,967		0,991		1															
Cr									-0,913		1														
Cs	0,983	-0,999	0,988			0,953		0,995		0,999		1													
Cu	0,97	-0,921				0,968				0,944		0,932	1												
Fe								0,957		0,91	-0,986	0,923		1											
Ga											-0,927			0,913	1										
Ge																1									
Hf				0,99	0,98		-0,996										1								
In	0,954					0,953				0,925		0,913	0,998					1							
K																			1						
La									0,959	-0,992			0,957	0,905						1					
Li				1	0,99		-0,999										0,994				1				
Mg				0,99	0,99		-0,969										0,946		0,94		0,976	1			
Mn		-0,909	0,951					0,936			-0,989			0,996							0,968		1		
Mo									-0,995												-0,927			1	
Na	0,984	-1	0,991			0,956		0,997		0,998		0,999	0,924	0,932					0,902				0,908		1

0,9	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	Hf	In	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	
Na	0,984	-1	0,991			0,956		0,997		0,998		0,999	0,924	0,932					0,902				0,908		1	
Nb								-0,993			0,954										-0,985		-0,915	0,978		
Ni	0,994	-0,995	0,98			0,975		0,989		0,999		0,995	0,942	0,909					0,922						0,997	
P	0,987	-0,999	0,988			0,96		0,995		0,999		0,999	0,931	0,925					0,91						1	
Pb	0,957	-0,995	1			0,917		0,999		0,986	-0,908	0,992		0,964									0,942		0,993	
Rb																										
Re	-0,923					-0,918							-0,988						0,903	1			0,92			
S	0,996	-0,985	0,957		0,91	0,977				0,994		0,99	0,974					-0,995	-0,91						0,986	
Sb							-0,941	0,971										0,965			0,93			0,976		
Sc							-0,946	-0,951													-0,967		-0,998		-0,918	
Se		0,921	-0,961					0,997		0,991	-0,908		-0,999	-0,915						0,936					-1	
Sn	0,949					0,951			0,917		0,903	0,997							1							
Sr							-0,922	-0,966										0,951			0,911			0,986		
Ta								-0,98			0,976			-0,928						-0,996			-0,946	0,956		
Te	0,95	-0,927	0,92			0,961		0,93		0,936		0,923													0,938	
Th				1	0,99		-0,999											0,997			0,999	0,97				
Ti								-0,962		0,908				-0,953						-0,999		0,999	0,97	-0,968	0,932	
Tl	0,988	-0,973	0,958			0,985		0,969		0,981		0,972	0,924					0,9					-0,94	0,962	0,979	
U	-0,951	0,993	-1			-0,911		-0,998		-0,982	0,919	-0,988		-0,971									-0,951		-0,991	
V													-0,946						-0,961	-0,98						
W					0,9														1				0,95			
Y									-0,984		0,971			-0,92						-0,994				-0,94	0,962	0,999
Zn	0,978	-0,998	0,995		0,96	0,95	0,95	0,999		0,995		0,997	0,909	0,944							0,974	0,9	0,923		0,999	
Zr							-0,978											0,992						0,932		
Au	0,984	-0,928				0,996		0,907		0,953		0,936	0,981					0,972					0,932		0,936	

0,9	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	Re	S	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr	Au		
Na	1																										
Nb		1																									
Ni	0,997		1																								
P	1		0,998	1																							
Pb	0,993		0,982	0,991	1																						
Rb						1																					
Re						-0,926	1																				
S	0,986		0,992	0,989	0,963		-0,938	1																			
Sb		0,91							1																		
Sc	-0,918	0,908		-0,91	-0,953					1																	
Se		-0,983							-0,971		1																
Sn			0,914	0,901		0,912	-0,995	0,95				1															
Sr		0,93							0,997		-0,98		1														
Ta		0,996								0,941	-0,96			1													
Te	0,938		0,953	0,938	0,915			0,92							1												
Th									0,94				0,924			1											
Ti		0,987								0,963	-0,94						1										
Tl	0,979		0,99	0,981	0,958			0,97									0,99				1						
U	-0,991		0,979	0,988	-1			0,96		0,961							-0,92			0,967	1						
V						-0,986	0,973					-0,97										1					
W						0,996																-0,972	1				
Y		0,988								0,934	-0,97		0,903	1				0,996					1				
Zn	0,999		0,995	0,998	0,996			0,98		-0,932					0,94				0,98	-0,994				1			
Zr									0,985		-0,92		0,979			0,981									1		
Au	0,936		0,96	0,943			-0,944	0,97				0,97			0,93				0,966		-0,902		0,927			1	

Tabla A2 50. Matriz de correlación Diques interior mina

0.6		Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	Hf	In	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na
Ag	1																									
Al		1																								
As	0.683		1																							
Ba				1																						
Be					1																					
Bi	0.889	-0.668	0.679		0.85	1																				
Ca							1																			
Cd								1																		
Ce					0.85	0.86			1																	
Co		-0.687			-0.64				-0.691	1																
Cr						-0.72		0.817		0.623	1															
Cs	-0.701				-0.63	-0.62				-0.63		1														
Cu	0.71						0.656			-0.642	0.96		-0.935	1												
Fe		-0.615			-0.66			-0.87				-0.645		1												
Ga															1											
Ge					0.69	0.70				0.808			-0.775	0.875		0.609	1									
Hf					0.96	0.85				0.919			-0.717	0.686			0.82	1								
In	-0.790									0.801				0.790				1								
K					0.89	0.91				0.792								0.73	0.879		1					
La					0.83	0.85				1	-0.693		-0.622	0.62	-0.643			0.8	0.909		0.78	1				
Li	-0.604				-0.63					-0.652			0.919	-0.918				-0.75	-0.767			-0.648	1			
Mg	-0.623				-0.7	-0.8				-0.768			0.938	-0.948				-0.93	-0.818		-0.66	-0.76	0.868	1		
Mn						-0.77		0.809				0.819		-0.61									0.74	1		
Mo									0.912																1	
Na								-0.613																		1

0.6		Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	Hf	In	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na
Na								-0.613																		1
Nb					0.93	0.88				0.967	-0.603		-0.709	0.687			0.86	0.985		0.87	0.96	-0.727	-0.83			
Ni					-0.7	-0.84				-0.835	0.724	0.799			0.622			-0.679			-0.832	0.65	0.649			
P			0.694						0.884																0.704	
Pb	0.702		0.918																							
Rb				0.97	0.82		0.604			0.746							0.66	0.925		0.93	0.727	-0.609	-0.67			
Re		-0.604								0.927	0.66				0.904				0.829							
S							0.725								0.638				0.783							
Sb	0.733		0.944							-0.863		0.619	0.785	-0.744		-0.642	-0.88	-0.857		-0.7	-0.858	0.665	0.87	0.711		
Se								0.871																	0.852	
Sn		-0.648											-0.646	0.857			0.72		0.668			-0.722	-0.7			
Sr					-0.68								0.603	-0.756			-0.82						0.8	0.876		
Ta					0.94	0.88				0.966	-0.619		-0.711	0.68	-0.605			0.84	0.987		0.86	0.959	-0.731	-0.82		
Te									0.858									-0.63							0.914	
Th					0.95	0.91				0.95			-0.669	0.651				0.85	0.986		0.92	0.941	-0.69	-0.81		
Ti			0.803				0.725		0.745																	
U	-0.605								-0.697					0.649	-0.779			-0.7	-0.671			-0.705	0.853	0.69		
V				0.6											-0.684										0.694	
W				-0.93	-0.86					-0.973	0.698			0.606	0.671			-0.79	-0.969		-0.86	-0.968	0.644	0.74		
Y					0.86	0.81				0.753				0.747					0.838							
Zn								0.892		0.955	-0.706			-0.759	0.671	-0.699		0.75	0.905		0.69	0.953	-0.742	-0.8		
Zr					0.95	0.87				0.924				-0.701	0.681			-0.66			0.9	0.914	-0.751	-0.82		0.929
Au		-0.735							-0.615	0.94					0.83				0.931			-0.622				

0.6		Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	Re	S	Sb	Se	Sn	Sr	Ta	Tc	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr	Au	
Na	1																									
Nb		1																								
Ni		-0.764	1																							
P				1																						
Pb			-0.65		1																					
Rb		0.87				1																				
Re							1																			
S								1																		
Sb			-0.633		0.948				1																	
Se	-0.903		0.783			-0.704				1																
Sn				0.637							1															
Sr									0.72			1														
Ta									-0.72				1													
Tc	0.999	-0.768				0.873				-0.899				1												
Th	0.994	-0.739		0.627		0.906				-0.877	0.97				1											
Ti				0.881						0.666						1										
Tl		-0.67										-0.7		-0.67		-0.626		1								
U						0.623									0.61				1							
V	-0.988	0.763				-0.859				0.867					-0.99	-0.984		0.635		1						
W							0.879	0.97													1					
Y		0.94	-0.878			0.734				-0.881					0.95	0.906					-0.678		1			
Zn				0.677							0.97					0.99								1		
Zr		0.986	-0.682			0.927				-0.849					0.99	0.992					-0.667			1		
Au			0.655				0.896	0.73													0.619	0.804			1	

Tabla A2 59. Matriz de correlación Diques mineralizados del E en superficie

0,6		Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	Hf	In	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	
Ag		1																									
Al		-0,744	1																								
As		0,631		1																							
Ba					1																						
Be						1																					
Bi			-0,757	0,625			1																				
Ca				0,7				1																			
Cd		0,675	-0,705						1																		
Ce										1																	
Co		0,685				-0,83				0,652	1																
Cr												1															
Cs		0,606	-0,751					0,878	0,778																		
Cu		0,955	-0,696					0,656	0,648	0,847																	
Fe																											
Ga																											
Ge																											
Hf																											
In		0,623																									
K																											
La																											
Li		-0,765	0,609																								
Mg																											
Mn																											
Mo		0,63																									
Na																											

0,6		Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	Hf	In	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	
Na																											
Nb																											
Ni																											
P																											
Pb		0,653	-0,85	0,807				0,789	0,862					0,826													
Rb																											
Re																											
S																											
Sb																											
Sc																											
Se																											
Sn																											
Sr																											
Ta																											
Te		0,837	-0,743																								
Th																											
Ti		-0,669	0,728	-0,784																							
Tl																											
U		0,873	-0,61	0,837																							
V																											
W																											
Y																											
Zn																											
Zr																											
Au																											

0,6		Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	Re	S	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr	Au		
Na		1																										
Nb			1																									
Ni				1																								
P					1																							
Pb						1																						
Rb							1																					
Re								1																				
S									1																			
Sb										1																		
Sc											1																	
Se												1																
Sn													1															
Sr														1														
Ta															1													
Te																1												
Th																	1											
Ti																		1										
Tl																			1									
U																				1								
V																					1							
W																						1						
Y																							1					
Zn																								1				
Zr																									1			
Au																										1		

Tabla A2 80. Concentración promedio de cada elemento en cada litología

Elemento	Skarn Interior Mina	Skarn Superficie	Dique Interior Mina	Dique Min Superficie	Dique W	Intrusivo Pejerreyes	Unidad
Ag	0,25	2,00	2,11	1,25	0,24	0,10	ppm
Al	6,65	5,11	8,04	8,24	8,85	8,23	%
As	59,10	77,99	14,85	26,39	4,79	10,12	ppm
Ba	81,00	76,00	279,78	265,30	174,38	789,00	ppm
Be	0,34	0,78	1,56	1,27	1,02	2,31	ppm
Bi	0,17	5,71	0,83	0,76	0,06	0,06	ppm
Ca	22,03	20,41	2,97	7,09	4,30	2,59	%
Cd	0,65	1,94	0,10	0,31	0,02	0,08	ppm
Ce	25,21	40,01	54,28	26,59	25,40	61,60	ppm
Co	11,23	98,55	24,13	30,27	25,47	13,54	ppm
Cr	20,95	22,64	21,68	40,22	31,80	13,31	ppm
Cs	0,92	1,49	2,11	5,31	1,06	11,37	ppm
Cu	566,45	5263,78	7409,89	4863,41	574,05	131,33	ppm
Fe	10,04	11,45	6,65	6,19	6,81	4,34	%
Ga	15,66	13,29	20,02	16,19	19,43	18,44	ppm
Ge	0,15	0,15	0,15	0,10	0,11	0,14	ppm
Hf	2,29	3,47	3,37	2,30	0,97	2,62	ppm
In	0,38	0,93	0,23	0,49	0,13	0,04	ppm
K	0,20	0,32	2,05	1,20	0,73	3,69	%
La	8,98	19,98	23,14	10,64	10,42	23,24	ppm
Li	6,60	3,28	12,61	17,31	12,06	17,59	ppm
Mg	0,79	0,35	1,69	2,11	2,27	1,01	%
Mn	15712,50	12874,44	1537,44	5053,50	2501,94	845,29	ppm
Mo	16,85	2,69	2,23	1,75	0,89	2,95	ppm
Na	0,08	0,55	4,15	3,39	4,05	2,41	%
Nb	4,59	3,63	5,98	4,82	2,08	8,56	ppm
Ni	1,24	18,01	8,76	17,10	15,04	4,25	ppm
P	0,13	0,13	0,09	0,11	0,11	0,10	%
Pb	15,27	6,84	2,56	9,85	1,29	11,18	ppm
Re	8,91	12,99	46,57	32,41	22,50	0,00	ppm
Rb	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	210,44	ppm
S	0,24	0,71	1,07	0,15	0,01	0,01	%
Sb	1,37	6,18	1,85	3,52	0,87	1,80	ppm

Sc	13,93	13,08	21,72	23,71	29,26	14,87	ppm
Se	0,43	1,90	1,06	1,50	0,38	0,29	ppm
Sn	2,69	2,48	2,66	1,34	1,44	3,30	ppm
Sr	59,26	71,84	145,93	222,40	247,69	381,71	ppm
Ta	0,23	0,26	0,41	0,31	0,13	0,73	ppm
Te	0,14	2,40	0,12	0,49	0,24	0,00	ppm
Th	5,68	5,79	14,01	5,89	2,55	57,79	ppm
Ti	0,29	0,26	0,41	0,42	0,46	0,36	%
Tl	0,02	0,06	0,10	0,11	0,03	0,37	ppm
U	10,69	12,56	3,75	3,41	1,22	7,50	ppm
V	141,38	124,41	155,91	179,22	248,94	124,47	ppm
W	4,18	9,28	1,02	1,87	0,75	2,88	ppm
Y	17,65	27,55	25,13	18,21	14,59	27,86	ppm
Zn	111,60	953,54	105,77	289,60	54,30	61,56	ppm
Zr	87,65	121,94	121,07	73,66	26,79	74,09	ppm
Au	0,01	0,10	0,02	0,12	0,01	0,00	ppm

Tabla A2 81. Grupos de correlación generados por el método de componentes principales (CP) y por el método de inspección (INS). Cabe destacar que la numeración no indica importancia.

Litología	CP1	CP2	CP3	INS1	INS2	INS3	INS4
Skarn Interior Mina	Ag, Al, As, Bi, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, La, Mn, Na, Ni, P, Pb, Sc, Te, Ti, Tl, U, Zn, Au	Ba, Be, Ca, Hf, K, Li, Mg, Rb, Sb, Sr, Th, W, Zr	-	Ag, As, Bi, Cd, Co, Cs, Cu, In, Na, Ni, P, Pb, Re, S, Tl, U, Zn, Au	Ba, Be, Hf, Li, Mg, Th	Fe, La, Mn, Cd, Co, Cs, Ga	-
Skarn Superficie	Ag, As, Cd, Ce, In, La, Ni, Re, S, Sb, Se, Zn, Au	Cr, Ga, Ge, Mo, Sc, V	-	Ag, As, Be, Cd, Ce, Cu, In, La, Ni, Re, S, Sb, Se, Zn, Au	Fe, Ge, Mn, Ti, V	Co, Cu, Se, Te, U	Ba, Cs, K, Rb, Sr
Diques Interior Mina	Ba, Be, Ce, Ge, Hf, La, Mg, Nb, Sc, Ta, Th, V, Y, Zr	Al, Co, Fe, In, Re, S, Sn, W, Au	As, Cd, Mo, Ti	Ag, As, Bi, Cu, Pb, Sb, Ti	Ba, Be, Ce, Cu, Hf, K, La, Nb, Rb, Ta, Th, Y, Zr	Cd, Mo, P, Se, Te, Zn	Co, Fe, In, Re, Ni, S, V, W, Au
Diques Min Superficie	Ce, Cu, Ge, In, La, Mo, Sn, Th, Y	Al, Ca, Cs, Ga, Mn, Na,	-	Ag, As, Cd, Co, Cs, Cu,	Cu, Ce, Ge, La, Nb, Sb, Se,	Sc, Fe, Ni, V	-

		P, Pb, Ti, W		In, Mo, Pb, Te, U	Sn, Ta, Th, Y, Au		
Diques W	Co, Li, Mg, Ni, Sr	Ba, Cd, Ce, Cs, Ga, Hf, K, La, Ti, Tl, U, V, Zr	-	Ag, Ba, Bi, Cu, Mo, Ni, Pb, Re, S, Sc, Sr, Te, Ti	Al, Ga, K, P, Rb, Sb, Sn, Ti, Tl, W	Bi, Ca, Co, Cr, Cu, In, Li, Mg, Mn, Se, Zn, Au	-
Intrusivo Pejerreyes	Al, Ca, Co, Cu, Fe, Hf, K, Mg, Mn, Nb, Ni, P, Rb, Sc, Sr, Ta, Th, Ti, Tl, U, V, Y	Ba, Be, Cs, Li, Mo, Na, Pb, Sb	Ag, As, Cr, Ge, La, Se	Al, Ca, Co, Cu, Fe, Ga, Mg, Mn, Ni, P, Sc, Sr, Ti, V	-	-	-

Tabla A2 82. Resultados de laboratorio de muestras enviadas a AAS por Río Tinto, 2001

Muestra	ESTE	NORTE	Au (ppb)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
LINEA 3 (NORTE)					
562054203	286150	6628750	-5	104	49
562054204	286200	6628750	6	75	34
562054205	286250	6628750	-5	60	44
562054206	286300	6628750	-5	31	7
562054207	286350	6628750	-5	12	5
562054208	286400	6628750	-5	70	6
562054209	286450	6628750	-5	98	11
562054210	286500	6628750	-5	69	7
562054211	286550	6628750	-5	40	47
562054212	286600	6628750	-5	53	58
562054213	286650	6628750	-5	57	63
562054214	286700	6628750	-5	47	53
562054215	286750	6628750	-5	85	114
562054216	286800	6628750	13	88	92
562054217	286850	6628750	-5	26	90
562054218	286900	6628750	45	3137	776
562054219	286950	6628750	-5	37	109
562054220	287000	6628750	-5	83	25
562054221	287050	6628750	-5	94	17
562054222	287100	6628750	6	320	57
562054223	287150	6628750	8	1006	59
562054224	287200	6628750	-5	111	43
562054225	287250	6628750	-5	87	33
562054226	287300	6628750	-5	32	29

562054227	287350	6628750	-5	21	28
562054228	287400	6628750	-5	28	36
562054229	287450	6628750	-5	31	40
562054230	287500	6628750	10	108	44
562054231	287550	6628750	14	100	26
562054232	287600	6628750	-5	35	36
562054233	287650	6628750	-5	42	63
562054234	287700	6628750	-5	41	62
562054235	287800	6628750	6	69	69
562054236	287850	6628750	-5	20	67
562054237	287900	6628750	24	46	58
562054238	288000	6628750	-5	30	75
562054239	288100	6628750	55	100	70
562054240	288200	6628750	-5	141	75
562054241	288300	6628750	-5	129	63
562054242	288400	6628750	-5	136	75
562054243	288500	6628750	-5	165	69
562054244	288600	6628750	-5	198	74
562054245	288700	6628750	-5	151	75
562054246	288800	6628750	14	156	71
562054247	288900	6628750	-5	216	110
562054248	289000	6628750	-5	179	89
LINEA 2 (CENTRO)					
562054249	286100	6628200	6	225	40
562054250	286200	6628200	-5	1320	48
562054251	286300	6628200	-5	45	10
562054252	286400	6628200	-5	243	42
562054253	286500	6628200	-5	185	7
562054254	286600	6628200	8	48	38
562054255	286700	6628200	-5	97	72
562054256	286800	6628200	-5	25	86
562054257	286850	6628200	-5	16	107
562054258	286900	6628200	-5	50	70
562054259	287000	6628200	9	6936	39
562054260	287050	6628200	-5	240	38
562054261	287200	6628200	-5	51	77
562054262	287300	6628200	-5	43	45
562054263	287350	6628200	-5	72	22
562054264	287400	6628200	-5	88	-1
562054265	287450	6628200	-5	68	19
562054266	287500	6628200	-5	147	32
562054267	287550	6628200	-5	98	20

562054268	287600	6628200	-5	306	51
562054269	287800	6628200	10	143	65
562054270	287900	6628200	16	1583	35
562054271	288000	6628200	-5	21	49
LINEA 1 (SUR)					
562054272	286100	6627550	-5	225	65
562054273	286200	6627550	-5	81	37
562054274	286300	6627550	-5	143	41
562054275	286400	6627550	-5	79	34
562054276	286500	6627550	-5	97	43
562054277	286600	6627550	-5	82	41
562054278	286700	6627550	12	143	49
562054279	286750	6627500	-5	331	15
562054280	286800	6627500	-5	38	94
562054281	286900	6627500	-5	451	72
562054282	287000	6627500	43	25183	570
562054283	287050	6627500	37	5069	155
562054284	287100	6627500	90	6858	21
562054285	287150	6627500	-5	120	125
562054286	287200	6627500	-5	317	85
562054287	287300	6627500	-5	160	63
562054288	287400	6627500	-5	141	54
562054289	287450	6627550	-5	39	28
562054290	287500	6627550	-5	20	28