

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos.....	2
1.2. Hipótesis de trabajo.....	2
1.3. Ubicación y Accesos.....	3
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Sistemas magmático-hidrotermal.....	4
2.1.1. Depósitos Epitermales.....	4
2.1.2. Depósitos mesotermales.....	8
2.2 Solubilidad de metales.....	9
2.2.1 Solubilidad del oro.....	9
2.2.2 Solubilidad de la plata.....	11
2.2.3. Solubilidad de cobre.....	14
2.2.4. Solubilidad de zinc.....	15
2.2.5. Solubilidad del plomo.....	16
2.3. Texturas diagnósticas de cuarzo y calcita.....	17
2.2.4. Inclusiones Fluidas.....	20
Procesos que pueden afectar una inclusión después del atrapamiento.....	22
3. MARCO GEOLÓGICO.....	23
3.1. Geología regional.....	23
3.2. Estratigrafía del distrito.....	24
2.3. Intrusivos.....	27
2.3. Mineralización.....	27
4. METODOLOGÍA.....	29
4.1. Análisis de muestras de mano.....	29
4.2. Preparación de cortes.....	30
4.3. Filosofía del estudio de inclusiones fluidas.....	31
4.4. Petrografía de inclusiones fluidas.....	32
5. RESULTADOS.....	34
5.1 Análisis de muestras de mano.....	34
5.2. Geoquímica.....	37
5.3. Texturas de minerales de ganga en la Veta Don Leopoldo.....	39
5.4. Petrografía de inclusiones fluidas.....	45
5.5. Distribución de metales en profundidad.....	51
6. DISCUSIONES.....	55
6.1. Geoquímica.....	55
6.2. Análisis textural.....	58
6.3. Petrografía.....	63
6.4. Petrografía de inclusiones fluidas.....	66
6.5. Evolución del fluido y ambiente de formación.....	70
6.6. Mecanismos de deposición.....	73
7. CONCLUSIONES.....	76
8. BIBLIOGRAFÍA.....	78
9. ANEXOS.....	82
Anexo A: Descripción muestras de mano.....	82
Anexo B: Resultados de análisis geoquímicos.....	88
Anexo C: Texturas minerales de ganga veta Don Leopoldo.....	91
Anexo D: Petrografía de inclusiones fluidas.....	94

Anexo E: Petrografía de inclusiones fluidas.....	100
Anexo F: Boiling Confidence Factor.....	103

Índice de figuras

Figura 1: Rutas de acceso y ubicación del área de estudio. Figura generada con el software Google Earth.....	3
Figura 2: Configuración geológica y características de los depósitos epitermales de alta sulfuración y baja sulfuración. También se sugiere un vínculo genético entre los depósitos de Au-Cu epitermales de alta sulfuración y los pórfidos subvolcánicos de tipo Cu-Au (Hedenquist et al., 2000).....	5
Figura 3: Etapas para la formación de un depósito de alta sulfidización. a) etapa inicial donde una fase vapor predominantemente magmática es responsable de lixiviar la roca caja y desarrollar un halo de alteración argílica avanzada alrededor del conducto principal. b1) Etapa de deposición de la mena, en este caso el oro es transportado como complejo clorurado y b2) el transporte de oro es por medio de complejos sulfurados. (Tomado de Arribas et al., 1995).....	7
Figura 4: Solubilidad del oro para un fluido magmático conteniendo 2.0 m ΣCl el cual se enfría desde 500°C a 300°C a presión constante de 1kbar (modelo isocórico). El estado de oxidación está fijado por la condición $f\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}=1$. El pH es fijado por la coexistencia de feldespato-K, moscovita y cuarzo (Tomado de Gammons y Williams, 1997).....	10
Figura 5: Solubilidad del oro en salmuera conteniendo $\Sigma\text{Cl}= 5\text{m}$ que se separa de una fase vapor a 500°C, y 0.5 kbars, y luego se enfría hasta los 300°C (Tomado de Gammons y Williams, 1997).....	11
Figura 6: Diagrama mostrando el área de predominio de la solubilidad de la plata y la especiación a 250 °C como una función del pH y el estado de oxidación. Las actividades del cloruro y ΣS son constantes a 0.1 y 0.01, respectivamente. (Tomado de Gammons y Barnes, 1989).....	12
Figura 7: Diagrama mostrando el área predominante para la solubilidad de la plata y la especiación como una función de la temperatura y el pH (Tomado de Gammons y Barnes, 1989).....	13
Figura 8: Líneas continuas muestran la concentración del complejo CuCl a 350°C, mientras las líneas discontinuas representan la concentración de los complejos $\{\text{Cu}(\text{HS})_2+\text{Cu}(\text{HS})_2(\text{H}_2\text{S})\}$ (Modificado de Crerar y Barnes, 1976).....	14
Figura 9: Diagrama de predominancia para complejos sulfurados de Zn-S-HS como una función del pH a $P = P_{\text{sat}}$, and $m(\text{S total}) = 0.1$. (Tomado de Tagirov y Seward, 2010).....	15
Figura 10: Texturas de sílice y calcita observadas en el ambiente epitermal. Las texturas A – M son características de una deposición rápida, como puede ocurrir durante la ebullición, mientras que las texturas N – R indican que los fluidos que precipitan el mineral no estaban ebulliciendo (Tomado de Moncada et al., 2012).....	20
Figura 11: Diferentes arreglos de inclusiones dentro de cristales prismáticos de cuarzo. Encerradas en contornos de color rosado se muestran inclusiones de tipo primario, las cuales pueden reconocerse dentro de zonas de crecimiento del cristal, como aisladas en el centro. Dentro de contornos celestes se observan inclusiones secundarias que suelen presentarse a lo largo de fracturas desarrolladas post-atrapamiento. En contornos amarillos se muestran inclusiones pseudosecundarias las cuales limitan abruptamente la zona de crecimiento del cristal.....	21
Figura 12: Mapa geológico de la zona de estudio (Modificado de Collins and Moore, 2010).....	27
Figura 13: Muestra de roca DM-153, mostrando mineralización de calcopirita y pirita.....	29
Figura 14: Máquina PetroThin utilizada para preparar los cortes de roca.....	31

Figura 15: Microscopio Olympus BX53, conectado con Linkam THN-600. Universidad de Chile.....	33
Figura 16: Muestras de mano pertenecientes a la veta Don Leopoldo. A. Alteración de tipo propilítica. B. Alteración de tipo argílica, marcada por la presencia de arcillas y cuarzo. C. Se presenta una brecha altamente alterada en su superficie, la cual se encuentra rellena por cuarzo con textura coloforme. D. Se muestran distintos tamaños de vetillas, algunas de las cuales están rellenas principalmente por epidota y clorita, y otras por cuarzo y clorita. E y F. Principales minerales de mena dentro del depósito, los cuales corresponden a calcopirita, esfalerita y galena.....	35
Figura 17: A y B. Se observa textura de cuarzo jigsaw tanto a nicoles paralelos como cruzados, la cual es ampliamente vista durante el estudio. C y D, muestran textura comb en la cual es posible ver arreglos de inclusiones primarias tanto ricas en líquido como vapor. E y F, se presenta cuarzo zonal, donde claramente las zonas de crecimiento están delimitadas por la presencia de inclusiones en el cristal.....	40
Figura 17: (Continuación) G y H, corresponde a un núcleo central de cuarzo prismático en el cual crecen pequeños cristales los cuales muestran un patrón de extinción plumoso. I y J, se observa textura de cuarzo crustiforme a nicoles cruzados y paralelos respectivamente, se puede observar como el grosor de cada banda varía entre 0.1 - 0.3 mm.....	41
Figura 18: Microfotografía mostrando texturas de calcita en hoja junto con sus productos de reemplazo por cristales de cuarzo. A y B muestran cristales de calcita en hojas de tamaños milimétricos a nicoles cruzados y paralelos respectivamente. C y D, muestran cuarzo reemplazando calcita, en la cual los antiguos moldes de calcita solo se reconocen debido a su concentración de impurezas. E y F, muestran moldes de calcita claramente definidos los cuales fueron reemplazados por cuarzo jigsaw. G y H, muestra calcita rómbica la cual fue el tipo de textura más comúnmente vista.....	43
Figura 19: Gráfico resumen de las cantidades de tipos de textura de cuarzo y calcita encontrados a lo largo de este estudio.....	44
Figura 20: Inclusiones ricas en líquido coexistiendo con inclusiones ricas en vapor.....	46
Figura 21: Inclusiones trifásicas mostrando halita, vapor y una fase predominante fluida.....	47
Figura 22: Inclusiones ricas en líquido coexistiendo con inclusiones ricas en vapor.....	48
Figura 23: Microfotografía mostrando diferentes arreglos de familias de inclusiones fluidas dentro de un cristal de cuarzo. Se puede observar cómo se trata de familias de inclusiones ricas en vapor, las cuales se encuentran hospedadas en fracturas selladas dentro del cristal.....	49
Figura 24: Inclusiones ricas en vapor coexistiendo con inclusiones ricas en líquido en cuarzo euedral.....	50
Figura 25: Plot de concentraciones de oro dentro de la veta Don Leopoldo.....	51
Figura 26: Distribuciones del contenido de plata de las muestras pertenecientes a la veta Don Leopoldo.....	52
Figura 27: Plot de concentraciones de metales base en profundidad, donde para mayor simplicidad, los metales cobre, plomo y zinc han sido sumados.....	53
Figura 28: Distribución de los distintos tipos de inclusiones fluidas dentro de la veta Don Leopoldo.....	54
Figura 29: Valores máximo y mínimo de roca total de elementos menores para muestras pertenecientes a la veta Don Leopoldo, y su correspondiente valor promedio en la corteza continental. (Los valores para elementos menores y trazas en la corteza han sido tomados de White W.M., 2013).....	56
Figura 30: Gráfico mostrando la relación existente entre la concentración de oro versus zinc, plomo y cobre. La concentración de metales base ha sido planteada en porcentaje en peso %wt, mientras que la ley de oro ha sido representada en partes por millón (ppm).....	57

Figura 31: Distribución de los diferentes tipos de texturas encontrados dentro de la veta Don Leopoldo, tanto para cuarzo como calcita, los principales minerales de ganga.....	59
Figura 32: Gráfico representando los diferentes tipos de texturas, presencia de fias de inclusiones ricas en líquido y FIA's de inclusiones ricas en vapor (referido como 'característica' en esta discusión) y su relación con los grados de mena observados.....	61
Figura 33: A. Asociación de alteración propilítica de la etapa de pre-mineralización de la veta Don Leopoldo. B. Vista a nicoles cruzados. C. Asociación de alteración argílica con desarrollo de illita dentro de cristales de cuarzo. D. Vista alteración argílica a nicoles cruzados.....	64
Figura 34: Microfotografía mostrando diferentes arreglos de inclusiones. A. FIA vapor primaria en cuarzo comb. B. Amplificación de microfotografía A, con aumento x80. C. Se muestra cristales de pirita alineados con inclusiones ricas en vapor. D. Vista de microfotografía C, con aumento x80. E. Muestra DM-34, mostrando la presencia de dos eventos de fracturamiento y atrapamiento de inclusiones. F. Inclusiones con illita en su interior.....	68
Figura 35: Principales eventos presentes en el sistema y su relación con el tipo de inclusión encontrado.....	69
Figura 36: Sección longitudinal de la veta Don Leopoldo, en dirección oeste-este. Los sets de valores señalados para cada muestra corresponden al Factor de confianza de ebullición (rojo), ley de oro (azul) y ley de plata (verde).....	74