

## TABLA DE CONTENIDO

---

Capítulo 1. Introducción y motivación .....	1
1.1 Objetivos .....	2
1.1.1 Objetivo General.....	2
1.1.2 Objetivo Específico .....	2
1.2 Alcances.....	3
1.3 Metodología .....	4
1.3.1 Caracterización de modelos geológicos .....	4
1.3.2 Parametrización de modelos geológicos .....	4
1.3.3 Segmentación de modelos geológicos usando Clústeres Jerárquicos .....	5
1.3.4 Enriquecimiento de grupos conformados usando base de datos .....	5
1.3.5 Caracterización de Factores no geológicos .....	5
1.3.6 Parametrización de factores no geológicos .....	5
1.3.7 Esquema de metodología .....	6
Capítulo 2. Antecedentes .....	7
2.1 Depósitos minerales.....	7
2.2 Exploración minera.....	8
2.2.1 Etapa de exploración geológica.....	9
2.3 Modelos geológicos.....	10
2.3.1 Pórfidos cupríferos.....	10

2.3.2	Skarns .....	14
2.3.3	Depósitos epitermales .....	17
2.3.4	Depósitos estratoligados .....	20
2.3.5	Iron Oxide Copper-Gold (IOCG) y Iron Oxide Apatite (IOA) .....	23
2.3.6	Sulfuros Masivos Volcanogénicos .....	24
2.4	Modelos de segmentación .....	27
2.4.1	Métodos Jerárquicos de Análisis de Clústeres .....	29
2.4.2	Árboles de regresión y clasificación.....	33
Capítulo 3.	Caracterización de modelos geológicos.....	35
3.1	Resumen de características por depósito .....	37
3.1.1	Pórfidos cobre(Au-Mo).....	37
3.1.2	Skarn de cobre .....	37
3.1.3	Skarn de hierro .....	38
3.1.4	Skarn de zinc – plomo .....	38
3.1.5	VMS de cobre.....	39
3.1.6	VMS polimetálico (Au-Ag).....	39
3.1.7	Sedex de plata.....	40
3.1.8	Estratoligado de cobre.....	40
3.1.9	Estratoligado de hierro.....	41
3.1.10	Estratoligado de plata.....	41

3.1.11	Epitermal de oro .....	42
3.1.12	Epitermal de plata .....	42
3.1.13	Tipo Carlin de oro .....	43
3.1.14	IOCG de cobre .....	44
3.1.15	IOCG y IOA de hierro .....	45
3.1.16	IOCG de oro .....	46
Capítulo 4.	Parametrización de modelos geológicos .....	47
Capítulo 5.	Segmentación de modelos geológicos .....	56
5.1	Ponderación de parámetros .....	60
Capítulo 6.	Enriquecimiento empírico de grupos .....	61
6.1	Preparación de datos .....	61
Capítulo 7.	Caracterización de factores no geológicos .....	66
7.1	Condiciones geográficas .....	68
7.2	Infraestructura .....	68
7.3	Contexto social .....	69
7.4	Legalidad .....	70
7.5	Económicos .....	70
Capítulo 8.	Parametrización de factores no geológicos .....	71
8.1	Condiciones geográficas .....	71
8.1.1	Lejanía o Cercanía .....	71

8.1.2	Altura sobre el nivel de mar .....	72
8.1.3	Clima .....	73
8.2	Infraestructura .....	74
8.2.1	Facilidad de acceso y disponibilidad de terreno para instalaciones.....	74
8.2.2	Disponibilidad de recursos energéticos y hídricos .....	74
8.3	Legalidad.....	75
8.4	Contexto social.....	75
8.4.1	Disponibilidad de recursos humanos .....	76
8.4.2	Trabajo de sociabilización previo con comunidades.....	76
8.5	Económicos.....	77
8.5.1	Estabilidad económica de la zona .....	77
Capítulo 9.	Ejemplo de Aplicación, evaluación geológica.....	78
Capítulo 10.	Conclusiones y Recomendaciones .....	81
10.1	Recomendaciones .....	83
Capítulo 11.	Bibliografía .....	84
Anexos A:	Valores finales asignados por grupo y tipos de variables .....	87
11.1	Grupo 1: Pórfidos.....	87
11.2	Grupo 2: SME .....	88
11.3	Grupo 3: IOCG-IOA .....	91
11.4	Grupo 4: Epitermales .....	93

Anexos B: Árboles de regresión .....	95
11.5 Depósitos vs Mineralogía.....	95
11.6 Depósitos vs alteraciones hidrotermales.....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Organigrama típico de una empresa junior de exploración y esquematización del flujo de información. ....	1
Figura 2: Esquema gráfico de la metodología desarrollada .....	6
Figura 3: Zonación de alteraciones (izquierda) y mineralización (derecha) típicas. Lowell & Guilbert (1970) .....	12
Figura 4: Perfil típico de una zona de enriquecimiento supérgeno.....	13
Figura 5 De izquierda a derecha Skarn masivo pervasivo, Skarn asociado a vetas y Skarn estratiforme (Ray and Webster,1991). ....	14
Figura 6: Esquema de depósitos epitermales de baja y alta sulfuración.....	20
Figura 7: Esquema mostrando el sistema de circulación de aguas marinas que dan origen a depósitos de sulfuros masivos en los fondos oceánicos. ....	25
Figura 8: Representación gráfica de la segmentación de dato .....	27
Figura 9: Ejemplo de estructura de un Dendograma.....	29
Figura 10 Dendograma resultante para el ejemplo anterior. ....	32
Figura 11: esquema de división de datos en árboles de clasificación .....	33
Figura 12: Dendograma resultante de los depósitos minerales trabajados.....	56
Figura 13: Dendograma de los depósitos con línea indicando los grupos .....	58
Figura 14 : frecuencia de minerales. Porcentaje(naranja) N° Reportes (azul).....	63
Figura 15 Representación de nodos en árbol de clasificación .....	65
Figura 16: Árbol de clasificación de factores no geológicos.....	67
Figura 17 Árbol de regresión de pórfidos cupríferos vs minerales. ....	95

Figura 18 Árbol de regresión de Cobre en sedimentos (Estratoligado de Cu) vs minerales. ....	96
Figura 19 Árbol de regresión de skarns de cobre vs minerales.....	97
Figura 20 Árbol de regresión de skarns de hierro vs minerales. ....	98
Figura 21 Árbol de regresión de vetas epitermales vs minerales. ....	99
Figura 22 Árbol de regresión de vetas polimetálicas (epitermales) vs minerales. ....	100
Figura 23 Árbol de regresión de VMS vs minerales. ....	101
Figura 24 Árbol de regresión de pórfidos de cobre vs alteraciones.....	102
Figura 25 Árbol de regresión de cobre en sedimentos vs alteraciones. ....	103
Figura 26 Árbol de regresión de Skarns de cobre vs alteraciones. ....	104
Figura 27 Árbol de regresión de Skarns de hierro vs alteraciones. ....	105
Figura 28 Árbol de regresión de vetas epitermales vs alteraciones. ....	106
Figura 29 Árbol de regresión de vetas polimetálicas vs alteraciones. ....	107
Figura 30: Árbol de regresión de VMS vs alteraciones. ....	108

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ejemplo simplificado del tipo de parametrización realizada para cada tipo de yacimiento .....	4
Tabla 2 Definición de las etapas de exploración (modificado de Lord et al,2001) .....	8
Tabla 3: Matriz de distancias iniciales, nivel K=1. ....	30
Tabla 4 Matriz de distancias, nivel K=2. ....	31
Tabla 5 Matriz de distancias, nivel K=3. ....	31
Tabla 6 Matriz de distancias, nivel K=4. ....	31
Tabla 7 Matriz de distancias, nivel K=5. ....	32
Tabla 8 Matriz de distancias, nivel K=6 (final). ....	32
Tabla 9: Resumen de principales metales de producción por tipo de yacimiento .....	35
Tabla 10: Resumen de número tipos de variables estudiadas .....	36
Tabla 11:Resumen de características de pórfidos cupríferos .....	37
Tabla 12: Resumen de características skarns de cobre.....	37
Tabla 13:Resumen de características skarns de hierro .....	38
Tabla 14: Resumen de características skarns de zinc-plomo .....	38
Tabla 15: Resumen características VMS de Cobre.....	39
Tabla 16: Resumen características VMS polimetálicos.....	39
Tabla 17: Resumen características depósitos Sedex de plata .....	40
Tabla 18: Resumen características Estratoligados de Cobre.....	40
Tabla 19: Resumen características Estratoligados de Hierro.....	41



Tabla 20: Resumen características Estratoligados de Plata .....	41
Tabla 21: Resumen características Epitermales de Oro .....	42
Tabla 22: Resumen características Epitermales de Plata .....	42
Tabla 23: Resumen características Carlin de Oro .....	43
Tabla 24: Resumen características IOCG de Cobre .....	44
Tabla 25: Resumen características IOCG-IOA de Hierro .....	45
Tabla 26: Resumen características IOCG de Oro .....	46
Tabla 27 Valores designados por variable según grado de correlación .....	47
Tabla 28: Simbología de Depósitos.....	47
Tabla 29: Parametrización de Minerales .....	48
Tabla 30: Parametrización de Minerales .....	49
Tabla 31: Parametrización de Minerales .....	50
Tabla 32: Parametrización de tipos de rocas .....	51
Tabla 33: Parametrización de alteraciones hidrotermales.....	52
Tabla 34 Parametrización de formas de mineralización .....	53
Tabla 35: Parametrización de estilos de mineralización.....	53
Tabla 36: Parametrización de firmas geoquímicas.....	54
Tabla 37: Parametrización de geografías y fajas metalogénicas .....	54
Tabla 38: Parametrización tamaño.....	55
Tabla 39 Historial de conglomeración de grupos indicando la distancia de unión (o coeficiente de disimilaridad) .....	57

Tabla 40: Resumen de grupos conformados.....	59
Tabla 41 Ejemplo de ponderación para cuatro minerales del grupo de Epitermales- ....	60
Tabla 42: Ejemplo de formato original la base de datos de la USGS. Comm=commoditie y Dep_id= número de depósito .....	61
Tabla 43: Ejemplo de tabla luego del manejo de datos.....	61
Tabla 44 Resumen del número de datos y variables trabajadas.....	62
Tabla 45: Resumen de número de depósitos encontrados y grupo al que pertenecen..	62
Tabla 46: Valores asignados según porcentaje de ocurrencia .....	63
Tabla 47: Ejemplo de aumento de valor de ponderadores según frecuencia en datos ..	64
Tabla 48: Distancia al mar de distintas minas en Chile .....	71
Tabla 49: Ponderación de lejanía/cercanía .....	72
Tabla 50 Altura(msnm) de distintas en Chile.....	72
Tabla 51: Ponderación de altura .....	73
Tabla 52: Ponderación actividad climática .....	73
Tabla 53: Ponderación de irregularidad topográfica.....	74
Tabla 54: Ponderación disponibilidad de recursos energéticos.....	74
Tabla 55 Ponderación disponibilidad de recursos hídricos. ....	75
Tabla 56: Densidad poblacional y porcentaje de participación de la minería por región	75
Tabla 57: Parametrización de disponibilidad de RRHH.....	76
Tabla 58: Parametrización de cantidad de trabajo previo con comunidades .....	76
Tabla 59 Clasificaciones de riesgo de Standard and Poor's .....	77

Tabla 60 Parametrización de estabilidad económica .....	77
Tabla 61: Resumen características de prospectos a evaluar .....	78
Tabla 62: Ponderación de parámetros para prospecto A .....	78
Tabla 63 Ponderación de parámetros para prospecto B .....	79
Tabla 64 Ponderación de parámetros para prospecto C .....	79
Tabla 65: Ubicación y nombre de depósitos pasados de Chile. ....	80
Tabla 66 Características reportadas y ponderaciones para cada uno de los grupos. ....	80
Tabla 67: Ponderación de minerales para el grupo Pórfidos.....	87
Tabla 68 Ponderación de tipos de roca para grupo Pórfidos. ....	87
Tabla 69: Ponderación alteraciones hidrotermales para grupo Pórfidos. ....	88
Tabla 70: Ponderación de geografía/faja, forma y estilo de mineralización para grupo Pórfidos. ....	88
Tabla 71: Ponderación de minerales para grupo SME (1/2). ....	88
Tabla 72: Ponderación de minerales para grupo SME (2/2). ....	89
Tabla 73 Ponderación de tipos de roca para grupo SME. ....	89
Tabla 74 Ponderación alteraciones hidrotermales para grupo SME. ....	90
Tabla 75: Ponderación forma de mineralización para grupo SME. ....	90
Tabla 76: Ponderación estilo de mineralización, geoquímica y geografía/faja para grupo SME. ....	90
Tabla 77: Ponderación minerales para grupo IOCG-IOA. ....	91
Tabla 78: Ponderación tipo de rocas para grupo IOCG-IOA. ....	91

Tabla 79 Ponderación alteraciones hidrotermales para grupo IOCG-IOA.....	92
Tabla 80: Ponderación de geoquímica para grupo IOCG-IOA. ....	92
Tabla 81: Ponderación geografía/faja, forma y estilo de mineralización para grupo IOCG-IOA. ....	93
Tabla 82 Parametrización minerales para grupo Epitermales. ....	93
Tabla 83 Ponderación tipos de rocas y alteraciones hidrotermales para grupo Epitermales. ....	94
Tabla 84: Ponderación geografía/faja, forma y estilo de mineralización para grupo Epitermales. ....	94
Tabla 85: Ponderación geoquímica para grupo Epitermales.....	94
Tabla 86:Clasificación pórfidos cupríferos vs minerales.....	95
Tabla 87 Clasificación cobre en sedimentos vs minerales. ....	96
Tabla 88 clasificación skarns de cobre vs minerales.....	97
Tabla 89 clasificación skarns de hierro vs minerales. ....	98
Tabla 90 Clasificación vetas epitermales vs minerales. ....	99
Tabla 91 Clasificación de vetas polimetálicas vs minerales. ....	100
Tabla 92 Clasificación VMS vs minerales. ....	101
Tabla 93 Clasificación pórfidos de cobre vs alteraciones.....	102
Tabla 94 Clasificación cobre en sedimentos vs alteraciones. ....	103
Tabla 95: Clasificación skarns de cobre vs alteraciones. ....	104
Tabla 96 Clasificación skarns de hierro vs alteraciones. ....	105
Tabla 97 Clasificación vetas epitermales vs alteraciones. ....	106

Tabla 98 Clasificación vetas polimetálicas vs alteraciones. ....	107
Tabla 99 Clasificación VMS vs alteraciones.....	108