



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

CARACTERIZACIÓN Y AGREGACIÓN DE MODELOS GEOLÓGICOS
PARA UNA EXPLORACIÓN MINERA TEMPRANA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

FELIPE IGNACIO BUGUEÑO CANALES

PROFESOR GUÍA:
WINSTON ROCHER ANDA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS
RAMÓN AGUIRRE MATURANA

SANTIAGO DE CHILE

2017

CARACTERIZACIÓN Y AGREGACIÓN DE MODELOS GEOLÓGICOS PARA UNA EXPLORACIÓN MINERA TEMPRANA

En la presente industria de la exploración minera es una práctica habitual que la etapa de exploración temprana, especialmente en las empresas Junior de Exploración, se encuentre en gran medida soportada por profesionales geólogos de distinta experiencia. Estos determinan bajo sus prácticas, evidencias de terreno y análisis de escritorio, un portafolio de prospectos mineros para una determinada compañía.

Por otro lado, un profesional no geólogo encargado de inversiones y finanzas toma la información entregada por el geólogo de mayor experiencia o a cargo de la unidad de exploración y define las prioridades dentro del portafolio de prospectos mineros. De esta manera se definen las futuras inversiones de exploración avanzada, que determinarán con mayor detalle los prospectos elegidos, y el valor de éstos por ende incrementará.

Este proceso de análisis se basa en interpretación de parámetros geocientíficos y llevados a conclusiones, por medio de observaciones y procesos cognitivos propios del evaluador que no son necesariamente los mismos unos de otros. Así, se ultima esta relación sólo en confianza como herramienta de soporte entre el inversionista y evaluador, a falta de un lenguaje común y análisis económicos en exploración temprana.

La presente memoria tiene como objetivo, mediante la caracterización y agregación de modelos geológicos de yacimientos, generar una metodología de evaluación para el problema que se plantea. Los modelos deben estar validados por la literatura científica, con ocurrencia probada o probable en Chile y que representan blancos potenciales de explotación para cobre, oro, plata, hierro, titanio, plomo, zinc, elementos de tierras raras, níquel y cobalto.

La parametrización de las variables se realizó según su correlación con los modelos de yacimientos. Al ser unas más relevantes que otras, se establecieron órdenes jerárquicos sobre ellas. Así, aquellas más relevantes segmentarán los modelos con mayor magnitud. La segmentación permitirá delinear los siguientes pasos a desarrollar en la exploración.

La validación de los grupos de modelos de yacimiento fue satisfactoria para unos, mientras que fue desfavorable para otros. Estos resultados podrían responder a los reportes pobremente detallados que existen sobre yacimientos en Chile.

A modo de conclusión, se ha generado una metodología que permite correlacionar, mediante un criterio de puntajes, un prospecto minero con el modelo o grupo de modelos de yacimientos que más se asemeja a tal prospecto.

Agradecimientos

A mis padres, por su apoyo incondicional a lo largo de todos estos años.

A toda mi familia, por su constante preocupación y que es mi soporte de vida.

A Winston, por su gran compromiso, dedicación y retroalimentación que ofreció para que el desarrollo de este trabajo fuera satisfactorio.

A la comisión por su colaboración, y cuya experiencia en el área permitió encaminar este trabajo idóneamente.

Tabla de contenido

CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN	1
1.1 Exposición del problema	1
1.2 Motivación	3
1.3 Fundamentación	5
1.4 Objetivos	6
1.5 Hipótesis de trabajo	7
1.6 Alcances	8
1.7 Metodología	9
CAPÍTULO 2.- ANTECEDENTES	11
2.1 La exploración minera	11
2.2 Los modelos geológicos	20
2.3 Agregación, segmentación o <i>Análisis Cluster</i>	23
CAPÍTULO 3.- CARACTERIZACIÓN DE MODELOS GEOLÓGICOS	31
3.1 Selección de modelos geológicos	32
3.2 Parámetros geo-científicos	33
3.3 Caracterización de modelos geológicos	36
CAPÍTULO 4.- PARAMETRIZACIÓN	37
4.1 Orden jerárquico	37
4.2 Nivel de medición	38
4.3 Rango de valores	39
4.4 Parametrización de variables	40

CAPÍTULO 5.- AGREGACIÓN	42
5.1 Medida de distancia	43
5.2 Matriz de distancias	43
5.3 Historial de aglomeración	46
5.4 Dendograma	47
5.5 <i>Clusters</i> de modelos geológicos de yacimientos	52
5.6 Ponderación en <i>clusters</i>	53
CAPÍTULO 6.- VALIDACIÓN DE <i>CLUSTERS</i>	54
6.1.- Reportes de yacimientos en Chile	55
6.2.- Criterio de validación	65
6.3.- Validación de clusters	66
CAPÍTULO 7.- CONCLUSIONES	73
CAPÍTULO 8.- DISCUSIÓN	75
BIBLIOGRAFÍA	78
ANEXOS	80
Anexo A – Caracterización de Modelos de Yacimientos	80
Anexo B.- Parametrización de variables en modelos	113
Anexo C.- Parametrización de variables en clusters	135
Anexo D.- Abreviaturas parámetros	144

Índice de Tablas

Tabla 1	Probabilidad histórica de éxito. (Guj & Bartrop, 2009)	3
Tabla 2	Tipos de empresa minera y presupuestos por etapa de desarrollo (US\$ MM) al año 2012.	14
Tabla 3	Modelos geológicos que forman parte de la población a analizar, correlacionados con los elementos químicos que son sus principales menas.	32
Tabla 4	Parámetros utilizados en la segmentación, indicando para cada uno el nivel jerárquico definido, carácter y rango de valores asociados según su presencia en el modelo.	40
Tabla 5	Modelos geológicos de yacimientos considerados, con su respectiva indexación numérica.	41
Tabla 6	Parametrización del mineral 'Actinolita'.	42
Tabla 7	Matriz de distancias, resultado de la segmentación de modelos de yacimientos.	44
Tabla 8	Historial de conglomeración de la agregación de modelos.	46
Tabla 9	Evaluación de la rama Placeres – Skarns, aplicando los criterios incremental y basal para determinar el límite de la segmentación.	50
Tabla 10	Evaluación de la rama Estratoligados – VMS, aplicando los criterios incremental y basal para determinar el límite de la segmentación.	51
Tabla 11	Clusters generados mediante la agregación de modelos geológicos de yacimientos.	52
Tabla 12	Parametrización para un parámetro X en un determinado clúster teórico.	53
Tabla 13	Parametrización de un parámetro X para un determinado clúster empírico.	55
Tabla 14	Parametrización de los parámetros mineralogía y roca huésped en clúster IOCG – IOA.	56
Tabla 15	Parametrización de los parámetros mineralogía y roca huésped en clúster Skarns.	58
Tabla 16	Parametrización de los parámetros mineralogía y roca huésped en clúster Placeres.	61
Tabla 17	Parametrización de los parámetros mineralogía y roca huésped en clúster Estratoligados.	62
Tabla 18	Validación del grupo conformado por los modelos de yacimientos IOCG e IOA.	67
Tabla 19	Validación del grupo conformado por los modelos de yacimientos tipo Placer.	68
Tabla 20	Validación del grupo conformado por los modelos de yacimientos tipo Skarn.	70
Tabla 21	Validación del grupo conformado por los modelos de yacimientos tipo Estratoligados.	72

Índice de Figuras

<i>Figura 1</i>	<i>Distribución porcentual del presupuesto histórico mundial en exploración de minerales no ferrosos, según etapa de exploración.</i>	<i>1</i>
<i>Figura 2</i>	<i>Distribución porcentual del presupuesto de exploración mundial.</i>	<i>2</i>
<i>Figura 3</i>	<i>Esquema que refleja la fundamentación de la segmentación, que busca minimizar la varianza dentro de un grupo y maximizar la varianza entre grupos.</i>	<i>5</i>
<i>Figura 4</i>	<i>Organigrama clásico de una empresa junior de exploración.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 5</i>	<i>Matriz utilizada en un Análisis Cluster.</i>	<i>24</i>
<i>Figura 6</i>	<i>Dendograma clásico de un método jerárquico aglomerativo.</i>	<i>27</i>
<i>Figura 7</i>	<i>Dendograma resultado de la agregación de modelos geológicos.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 8</i>	<i>Evolución del proceso de conglomeración de modelos geológicos de yacimientos.</i>	<i>48</i>

Capítulo 1.- Introducción

1.1 Exposición del problema

La actividad minera posee un actor fundamental que representa su punto de partida, pues asegura la reposición de recursos geológicos y reservas mineras, el crecimiento de la industria y el desarrollo de nuevas oportunidades, y corresponde a la exploración minera. Y adquiere más relevancia aun cuando se busca desarrollar en Chile, pues es uno de los principales destinos de inversión para la exploración.

En el contexto del presupuesto mundial de exploración de minerales no ferrosos, cifras indican (*Figura 1*) que desde 2014 la exploración tipo mina, es decir, en el mismo yacimiento, continúa superando a la exploración básica, lo cual demuestra la menor disposición de los exploradores hacia el riesgo, que es mayor en las etapas tempranas de un proyecto minero.

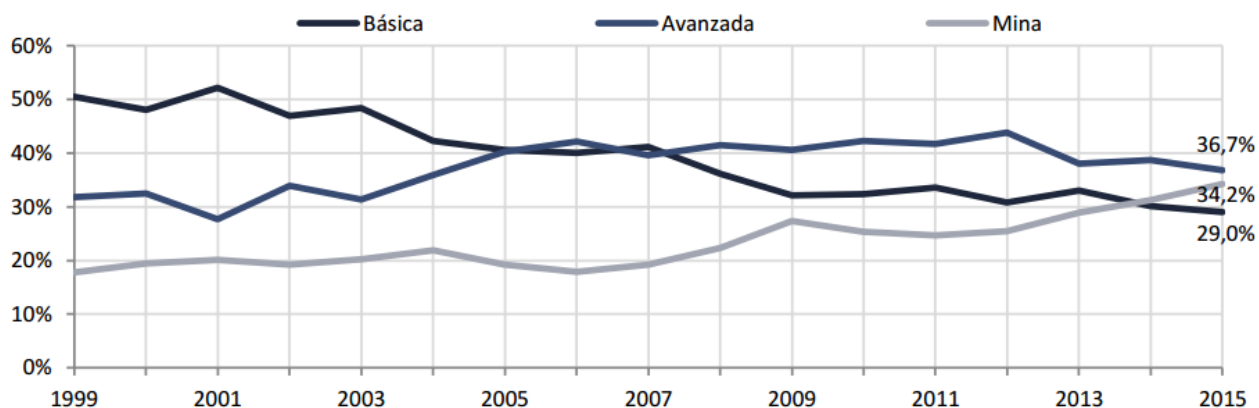


Figura 1 Distribución porcentual del presupuesto histórico mundial en exploración de minerales no ferrosos, según etapa de exploración. (COCHILCO sobre la base de datos de SNL Metals & Mining, 2015).

Si se hace una comparación de los presupuestos mundiales según tipo de compañía (Figura 2), las denominadas *major* o de gran minería son los actores más relevantes desde 2012. Le siguen en importancia las *junior*, evidenciando una baja en su participación por segundo año consecutivo.

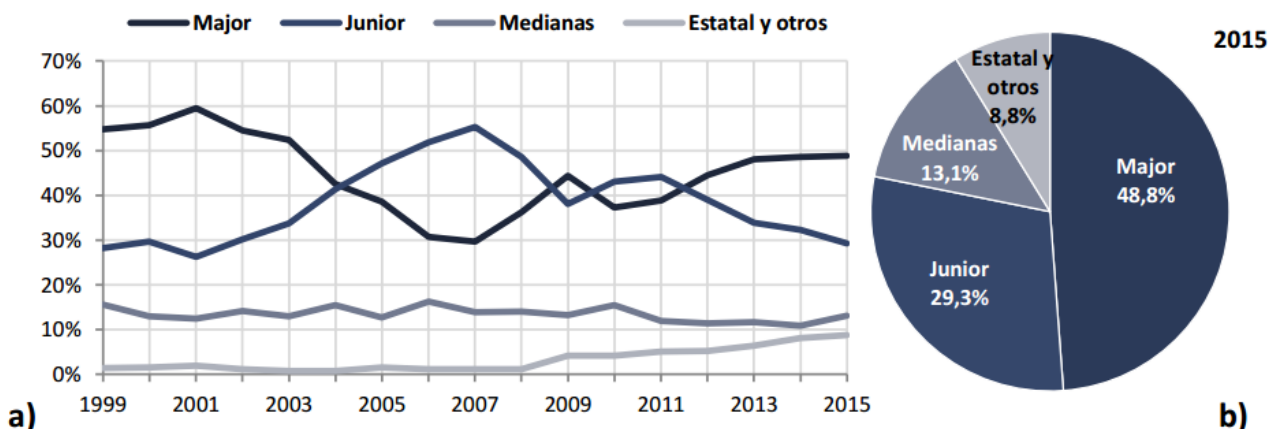


Figura 2 Distribución porcentual del presupuesto de exploración mundial, según el tipo de compañía: a) histórico; b) año 2015. (COCHILCO sobre la base de datos de SNL Metals & Mining, 2015).

Para las *junior* de exploración, la bolsa de valores representa la mejor plataforma para que puedan difundir sus proyectos a inversionistas, por la cuantía de recursos que es posible captar. De esta manera, pueden ser financiadas y realizar labores de exploración avanzada.

Implícito en las cifras mostradas previamente, la actual coyuntura económica internacional ha aumentado la aversión al riesgo, por parte de los inversionistas, en el sector de *junior* de exploración frente a una industria de carácter científico y de alta incertidumbre. En consecuencia, la participación de las *junior* en el presupuesto mundial ha ido a la baja.

La alta incertidumbre en etapas tempranas de exploración muchas veces imposibilita al geólogo identificar el modelo de yacimiento al cual pertenece un determinado prospecto minero. El acceso a información geológica relevante puede verse restringida por eventos de meteorización y erosión, tasas de exhumación variables y los recursos económicos con que dispone una empresa *Junior* de exploración.

Sin embargo, se puede ajustar las opciones ad-hoc a los datos geológicos que pueden ser captados en fases tempranas de exploración.

El desafío entonces es generar una metodología que permita apoyar la exploración minera y, en particular, estandarizar la toma de decisión acerca de realizar o no labores de exploración más avanzada.

De esta manera, el traspaso de información estaría basado en argumentos geoestadísticos, y no en un criterio de confianza, adquiriendo el valor agregado de la auditabilidad.

1.2 Motivación

Dentro de las etapas de exploración, las etapas iniciales son las que atienden el mayor riesgo, pues la incertidumbre es bastante elevada. En las cifras indicadas (*Tabla 1*), se observa que existe una probabilidad de alrededor de un 1-2% de que una exploración minera temprana termine siendo una mina.

Se parte desde la etapa de una idea, en donde participan geólogos o inversionistas, y cuyo único capital es la idea de exploración y una propiedad; sigue el funcionamiento, en donde el grupo originario decide desarrollar la empresa en el evento que los resultados sean favorables; y finalmente la exploración, en donde se realizan las actividades necesarias para estimar la potencialidad geológica tales como mapeos, reconocimiento visual, geoquímica, geofísica, muestreo, pruebas de laboratorio e información satelital, entre otras.

Tabla 1 Probabilidad histórica de éxito. (Guj & Bartrop, 2009)

TAMAÑO DE OBJETIVO	PROMEDIO N° DE DESCRUBRIMIENTOS AL AÑO	PROMEDIO N° DE PROGRAMAS DE EXPLORACIÓN AL AÑO	PROBABILIDAD DE DESCRUBRIMIENTO GREENFIELD
Independiente del tamaño	23.37	2669	0.9
Importante	7.79	2669	0.3
Clase-mundial	1.74	2669	0.07

Actualmente, el desarrollo de la industria minera en Chile presenta importantes desafíos, como la evidente disminución de las leyes de minerales valiosos y el desarrollo de minería más profunda, razón por la cual se requiere incentivar la exploración.

Son variadas las incertidumbres que existen en la industria minera, asociadas a factores ajenos a la geología, y geológicos propiamente tal.

Entre las incertidumbres ajenas a la geología, se encuentran las políticas mineras gubernamentales, coyunturas económicas internacionales y decisiones corporativas de inversión. Estas últimas están basadas en la definición de estrategia de una determinada compañía o, para el presente caso de estudio, en la confianza entre las dos partes involucradas.

Por otro lado, entre aquellas de carácter geológico, se halla lo limitado y parcial de los datos existentes sobre todo si se trata de exploración minera temprana, en donde la captación de información se realiza principalmente a nivel superficial, y a través de menores labores mineras como calicatas y zanjas. Como consecuencia de lo anterior, la información en profundidad debe ser extrapolada dadas las incertezas existentes, y el éxito se vuelve muy poco probable.

El cómo enfrentar este actual panorama supone un gran desafío, y una oportunidad para brindar un apoyo a la exploración minera temprana no sólo para las junior de exploración, sino para la minería en general.

1.3 Fundamentación

Dado lo planteado previamente, nace la necesidad de brindar una metodología que reemplace a la confianza entre el geólogo y el inversionista, que permita que la toma de decisión tenga un sustento de carácter auditable y estándar, y de paso servir de apoyo a la exploración minera en su fase temprana, estableciendo prioridades dentro de una carpeta de prospectos mineros.

Para ello, una correcta caracterización de modelos geológicos de yacimientos minerales servirá como base para la implementación de métodos de correlación parametrizada, pudiendo así generar grupos segmentados acorde a la etapa de exploración, y que a su vez apoye para una toma de información estandarizada.

La segmentación o agregación de modelos de yacimientos (*Figura 3*) permite agruparlos según sus similitudes en cuanto a características geológicas. Permite generar grupos o *clusters* de modelos relativamente homogéneos en su interior, pero heterogéneos entre ellos.

De esta manera, las características geológicas reportadas para un determinado prospecto minero pueden ser comparadas a las de un grupo o modelo en particular, y establecer cuán similares son. En base a tales similitudes, se priorizarán ciertos prospectos por sobre otros.

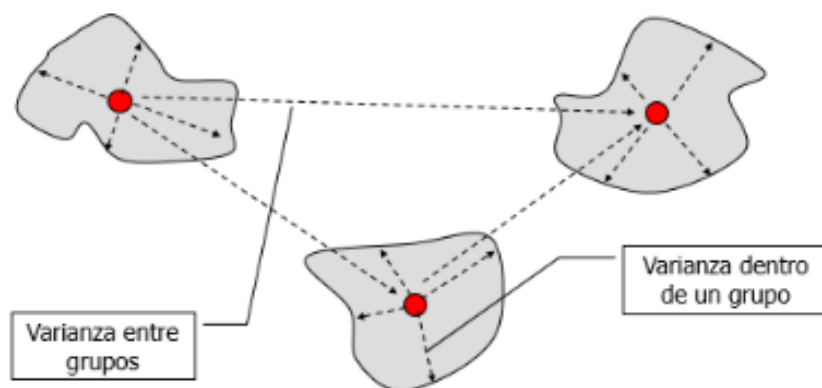


Figura 3 Esquema que refleja la fundamentación de la segmentación, que busca minimizar la varianza dentro de un grupo y maximizar la varianza entre grupos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal el generar una metodología que permita apoyar la toma de decisión en exploración minera temprana, mediante la caracterización y agregación de modelos geológicos.

Dado que durante la exploración minera en fases tempranas existe una alta incertidumbre en torno a hallar el modelo de yacimiento al que pertenece un determinado prospecto minero, se busca ajustar las opciones ad-hoc a la información disponible.

De esta manera, dadas las características geológicas de tal prospecto será posible correlacionarlos a un grupo o *clúster* de modelos, relativamente homogéneo en su interior pero cuyos modelos de yacimientos no son fácilmente distinguibles en terreno, sobre todo en etapas tempranas de exploración minera.

1.4.2 Objetivos específicos

Dentro de las tareas secundarias que se deben realizar, y para poder dar cumplimiento del objetivo principal, destacan principalmente:

1. Definición de parámetros geo-científicos: hacer una especificación de aquellos parámetros que caractericen a los modelos geológicos de yacimientos.
2. Caracterización de modelos geológicos: mediante la utilización de los parámetros geo-científicos definidos previamente.
3. Parametrización: representar numéricamente a los parámetros, según su correlación con los modelos.
4. Segmentación: implementar métodos de correlación parametrizada, de tal forma de agrupar modelos que tengan mayor similaridad que con el resto.
5. Validación: verificar que la información de reportes de yacimientos en Chile se corresponda con el modelo o grupo de modelos de yacimientos correspondiente.

1.5 Hipótesis de trabajo

Al término del presente trabajo de investigación, se espera que la metodología propuesta ayude a desarrollar, de manera ordenada, la exploración minera en su fase temprana.

A partir de la limitada información geológica que es posible captar en etapas tempranas de un prospecto minero, será posible correlacionarlo con el modelo o grupo de modelos de yacimiento que más se le asemeje.

La herramienta propuesta no tiene como finalidad garantizar éxito en la exploración minera, sino servir como una guía y contrarrestar, en parte, las altas incertezas que están presentes al momento de analizar prospectos mineros.

Por lo demás, su puesta en marcha supone una búsqueda hacia una disminución en la aversión al riesgo, por parte de los inversionistas, hacia la exploración minera temprana y por lo tanto una eventual influencia en la confiabilidad de valores bursátiles.

1.6 Alcances

La metodología utilizada y el cumplimiento de los objetivos, delineados en el presente trabajo de investigación, estarán condicionados por los alcances que a continuación se detallan:

1. Los modelos geológicos de yacimientos deben cumplir con:
 - Representar blancos potenciales de explotación para hierro (Fe), cobre (Cu), oro (Au), plata (Ag), tierras raras (REE), níquel (Ni), titanio (Ti), zinc (Zn), plomo (Pb) y cobalto (Co).
 - Tener (posible) ocurrencia en Chile.
 - Estar validados por la literatura científica.
2. Los parámetros geo-científicos considerados serán de carácter cuantitativo y cualitativo, y de naturaleza geológica que puedan capturarse en exploración minera temprana.
3. No se pretende desarrollar modelos geológicos de yacimientos.
4. Estudios geofísicos serán considerados sólo si existe una alta correlación entre sus resultados y el modelo geológico.
5. La segmentación se utilizará sólo como herramienta de agregación, sin intención de profundizar más en la técnica.

1.7 Metodología

1. Asociada al Objetivo Específico 1 [Definición de parámetros geo-científicos]

Se debe definir cuáles serán los parámetros geo-científicos con los que se va a caracterizar.

Una búsqueda bibliográfica permitirá a priori conocer cuáles son aquellos parámetros que son comúnmente usados en el área de exploraciones mineras.

Sin embargo, la literatura científica también toma en cuenta otras características geológicas que son también de utilidad para la exploración minera, en particular para la fase temprana, por lo que se tomarán también dichos parámetros para caracterizar modelos.

2. Asociada al Objetivo Específico 2 [Caracterización de modelos geológicos]

Se utilizarán hojas de cálculo. En las filas se presentará el modelo de yacimiento, mientras que en las columnas se encontrarán cada uno de los parámetros, a priori definidos, mediante los cuales se caracterizará dicho modelo. En cada pestaña se desarrollará la caracterización de modelos para un elemento en particular

La información geológica, geoquímica y geofísica será utilizada a partir de literatura científica sobre geología económica y procesos formadores de mena, tales como documentos que hacen una revisión sobre un modelo o yacimiento en particular, recopilados, etc.

Algunos parámetros, como la litología de intrusivos y de la roca huésped de la mineralización, así como la mineralización de alteración, mena y ganga, tendrán una sub-división, dependiendo si el mineral o la roca es omnipresente o no en un cierto modelo. Por tal motivo, se relacionará con principal (si es omnipresente) o subordinado (si no lo es). Esto sienta una base importante para la posterior parametrización.

3. Asociada al Objetivo Específico 3 [Parametrización]

La parametrización requiere a priori una selección de parámetros geo-científicos, en particular aquellos que contengan información para la mayoría de modelos geológicos, y que sean potenciales candidatos para la parametrización.

Una vez realizado esto, se llevará a cabo la parametrización, es decir, la organización y estandarización de la información, asignando a los parámetros o variables un valor numérico, dependiendo de si cumple o no una determinada afirmación. Por ejemplo: la asignación de un valor '2' significa que tal parámetro siempre existe en un cierto modelo geológico; un valor '1' significa que su presencia en un cierto modelo es posible (y su ausencia no lo descarta); y un valor '0' significa que definitivamente está ausente en tal modelo geológico.

Para el desarrollo de esta actividad también se usarán el software de hojas de cálculo, en donde los modelos geológicos estarán ubicados en las filas, y los parámetros o variables estarán en las columnas.

4. Asociada al Objetivo Específico 4 [Segmentación]

Se realizará una segmentación de modelos geológicos, con el fin de crear grupos que sean lo más posiblemente heterogéneos entre sí, pero cuyos componentes sean lo más posiblemente homogéneos entre sí. Lo anterior se llevará a cabo mediante una potente herramienta denominada SPSS (*Statistical Product and Service Solutions*), con un campo de aplicación que contempla tratamiento de datos y análisis estadístico.

La unidad básica corresponde a una matriz de $n \times m$, siendo n el número de filas y m el número de columnas. Las columnas estarán representadas por las variables investigadas, en este caso, una selección de aquellos parámetros geo-científicos a través de los cuales se caracterizaron los modelos geológicos, que tengan un uso potencial para segmentar. Las filas, por otro lado, representarán los objetos de estudio, en este caso, modelos geológicos.

5. Asociada al Objetivo Específico 5 [Validación]

Se validarán los grupos de modelos de yacimientos que se hayan generado, comparando sus parámetros con los de yacimientos explotados en Chile, que pertenezcan a los modelos pertenecientes a tales grupos. Esta información se encuentra disponible en una base de datos del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), un compilado de información geológica y minera de yacimientos alrededor del mundo.

Capítulo 2.- Antecedentes

2.1 La exploración minera

Los recursos minerales metalíferos han captado la atención del hombre desde hace siglos, en particular en países como Chile, en donde la ocurrencia de estas anomalías geológicas en la corteza terrestre se encuentran justificadas debido a las condiciones geológicas idóneas para la ocurrencia de los depósitos minerales a los que se encuentran limitados.

Así, estos representan el resultado de un conjunto de procesos geológicos que han ocurrido en un ambiente geológico particular y a escalas de tiempo que el hombre ha tardado en comprender sino hasta hace algunos años.

En particular, el desarrollo de minería en Chile ha sido uno de los responsables más importantes de su evolución, desde los tiempos de la conquista y colonización en el siglo XVI a través de los lavaderos de oro, pasando por la industrialización de la minería del cobre hacia la segunda mitad del siglo XIX y que lo instaló como el primer productor del mundo, hasta la alta participación en la producción mundial del cobre a día de hoy.¹

En la economía nacional, a modo de presentar la relevancia de la minería durante el siglo XXI, el aporte de ésta a los ingresos fiscales totales entre los años 2001 – 2014 fue de un 16% en promedio.

Las empresas mineras pueden ser clasificadas principalmente según sus ventas.²

Las pequeñas o *Juniors* por lo general son compañías de exploración, pero también pueden ser productoras pequeñas, presentan ventas que, en general, no superan los USD 49 millones, y dependen del financiamiento del mercado de capitales.

Las medianas o *Intermediate* presentan ventas que oscilan entre los USD 50-499 millones.

Las grandes o *Major* se caracterizan por tener una capacidad financiera para desarrollar una mina de tamaño importante por cuenta propia, y presentan ventas que usualmente superan los USD 500 millones.

¹ La Minería chilena a través de la historia. EducarChile.

² Donoso, F. *Mecanismos de Financiamiento para la Exploración Minera en el Mundo*. Comisión Chilena del Cobre.

³ Clase Negocio Minero. Curso Minería 2016. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

2.1.2 Incertezas

Se ha mencionado el contexto de la industria minera en Chile, y de la importancia de la exploración minera a la economía nacional.

Sin embargo, hallar estos depósitos minerales no es algo trivial, pues poseen la singularidad de que:³

1. Son inicialmente desconocidos, es decir, hay que encontrarlos.
2. Son fijos en tamaño, por lo tanto, están sujetos a agotamiento.
3. Son variables en calidad, es decir, las leyes minerales no son homogéneas.
4. Son fijos en ubicación, por lo que representan un alto impacto en inversión y costos.

La exploración minera, etapa inicial de la actividad minera, tiene como objetivo hallar estos depósitos minerales y así asegurar la reposición de recursos geológicos y reservas mineras.

Sin embargo, el razonamiento del geólogo difiere en gran medida del que puede llegar a tener un profesional de las ciencias exactas como la matemática, o de científicos experimentales como los físicos y químicos.

En el caso de los científicos experimentales, estos tienen la capacidad de diseñar la experimentación, de recrear las condiciones necesarias para su funcionamiento y llevarla a cabo a una escala de tiempo razonable, con el fin de comprobar sus hipótesis de trabajo.

Por otro lado, el geólogo debe establecer sus hipótesis de trabajo analizando sólo la evidencia que se encuentre presente en terreno. Aquellas evidencias son resultado de procesos que ocurrieron en el pasado a condiciones que, en su mayoría, no son posibles de recrear a través de la experimentación.

Sin embargo, a pesar de ser históricas las hipótesis geológicas predicen observaciones concretas.

Así, el desarrollo de la industria minera, en particular durante la exploración minera en su fase temprana, encuentra a su paso un alto número de incertezas geológicas y no geológicas.

³ Clase *Negocio Minero*. Curso *Minería*, 2016/1. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería en Minas.

Las incertezas geológicas, como lo limitado y parcial de los datos captables en superficie, el hecho de recurrir a la extrapolación de ellos para obtener la información geológica relevante de todo el prospecto, y las no geológicas, como las políticas mineras gubernamentales, la planificación de las empresas mineras y (en el caso de las Juniors de Exploración) el uso de la confianza como una herramienta de apoyo en la toma de decisiones financieras, pueden llevar a riesgos económicos no calculados en la actividad minera.

2.1.3 Etapas

En la exploración minera, representando un proceso secuencial de inversión para obtener información, no sólo existe un largo período de inversión sin retorno sino también un alto riesgo de pérdida total si no se encuentra un depósito mineral económico.

Está compuesta de distintas etapas, siendo aquellas iniciales las que poseen mayor riesgo atendiendo las bajas probabilidades de éxito, la menor información y mayor incertidumbre respecto a los recursos explorados.

Las etapas iniciales, también denominadas *Grass root*, corresponden a la exploración básica de campo, y considera la exploración desde etapas tempranas hasta las perforaciones perimetrales para la cuantificación de recursos iniciales.

Comprenden lo que se denomina pre-exploración, un trabajo principalmente de gabinete, en la cual se selecciona una localidad concreta usualmente de gran extensión y potencialmente favorable de que exista un determinado tipo de yacimiento mineral, apoyándose en información bibliográfica, mapas geológicos y fotografías satelitales e, incluso, reconocimiento visual; y la exploración temprana, consistente en trabajo en terreno en donde el área seleccionada es objeto de estudios geológicos, geoquímicos y geofísicos.

Dentro de las etapas avanzadas se encuentran las *Late Stage* y *Minesite*. La primera incluye la exploración para definir, identificar y actualizar un cuerpo mineralizado identificado previamente y cuantificados sus recursos iniciales, además de los trabajos de factibilidad hasta la decisión de producir; la segunda se realiza para el desarrollo de nuevas reservas en o inmediatamente alrededor de una mina ya existente o de un proyecto en pre-producción o *Brownfield*.

De estas etapas, las dos primeras son las realizadas por empresas *Juniors*, atendiendo el mayor riesgo. A continuación (*Tabla 2*) pueden verse los presupuestos por etapa de desarrollo para cada tipo de empresa minera, concentrándose (en el caso de las Juniors) en las etapas iniciales.

Tabla 2 Tipos de empresa minera y presupuestos por etapa de desarrollo (US\$ MM) al año 2012. (SNL Metals Economics Group, la cual incluye también empresas gubernamentales y otras compañías).

Tipo de empresa minera	Grass roots	Late Stage	Mine Site
Junior (Pequeñas)	3.020	4.465	511
Intermediate (Medianas)	461	706	1.165
Major (Grandes)	2.365	3.488	3.276

2.1.4 Herramientas y técnicas

Las técnicas que se utilizan en exploración minera pueden ser empíricas o instrumentales.⁴

Aquellas de naturaleza empírica corresponden, entre otras, a la recopilación de información, cuyo costo es relativamente bajo. Consiste en obtener toda la información disponible sobre el tipo de yacimiento prospectado (características geológicas, volúmenes de reservas esperables, características geométricas, etc.) así como sobre la geología regional de la zona de estudio, historial minero (tipo de explotaciones mineras realizadas en la zona, volúmenes de producción, causas del cierre de explotaciones, etc.) y mapas metalogénicos.

⁴ Higuera, P. *Yacimientos Minerales – La exploración minera, Herramientas y técnicas de exploración minera.*

La teledetección es una técnica basada en la reflectividad del terreno frente a la radiación solar. Algunas de las radiaciones desde el suelo son apreciables por el ojo humano, pues están dentro del espectro 'visible' electromagnético, mientras que otras pueden ser recogidas y analizadas mediante sensores específicos. Así, el análisis de imágenes satelitales, de coste relativamente bajo, permite conocer características del terreno que pueden ser útiles para un geólogo de exploración, como alteraciones hidrotermales, la presencia de determinados minerales, entre otros.

La geología debe ser un complemento de otras técnicas que pudiesen utilizarse. Un levantamiento completo y eficiente de información geológica en terreno que involucre elaboración de mapas geológicos, estratigrafía (conocimiento de la sucesión de formaciones geológicas), tectónica (identificación de estructuras como fallas, pliegues, diaclasas), petrología (tipo o naturaleza de la roca), hidrogeología (identificación de acuíferos y características más relevantes), entre otros, permitirá elaborar modelos geológicos con menor incertidumbre.

La prospección geoquímica consiste en el análisis químico de muestras de rocas, sedimentos o aguas, que tiene como objetivo encontrar dispersiones de elementos o compuestos suficientemente arriba de lo normal y que son llamadas anomalías, las cuales pueden o no indicar mineralización, lo segundo pudiendo ser causado por efectos de contaminación, errores analíticos o manejo inapropiado de datos geoquímicos. Su coste suele ser superior a las de carácter geológico, pues involucra a todo un equipo de personas involucradas en preparación de muestras y análisis.

La prospección geofísica utiliza las propiedades físicas de los minerales y las rocas, para identificar anomalías existentes entre éstos y los que los rodean. Según la propiedad física que se desea analizar, existen diversas técnicas aplicables como por ejemplo: métodos eléctricos (basados en la conductividad), métodos electromagnéticos (basados en la cargabilidad), métodos gravimétricos (basados en la gravedad), métodos radiométricos (basados en la radiactividad emitida por el terreno), métodos sísmicos (basados en la reflexión y refracción de ondas sísmicas).

2.1.5 Herramientas de apoyo

En el contexto de herramientas que brinden apoyo durante la exploración minera en su fase temprana, existe una desarrollada en los años 70' denominada *Prospector*, un sistema computarizado de consulta para problemas de exploración minera y evaluación de recursos.

El estado del arte de la exploración minera no admite la construcción de modelos tan rigurosos, pues yacimientos que pertenezcan a un mismo modelo geológico pueden diferir en algunas de sus características. Por lo tanto, el sello que caracteriza a este sistema es que debe acomodar estilos de razonamiento probabilísticos, y además los modelos deben reflejar los juicios subjetivos más que hechos derivados objetivamente por el geólogo experto.

El sistema tiene dos modos de uso.

En el primero, el geólogo comienza por decir al programa las características (ambiente geológico, control estructural, tipo de roca, mineralogía y alteración presente o supuesta) de un determinado prospecto de interés. El programa compara estas observaciones con modelos de varios tipos de depósitos, enfatizando en sus similitudes, diferencias e información faltante. Entonces, el programa hace participar al geólogo en un diálogo para obtener información adicional relevante y hacer una evaluación del potencial minero del prospecto.

En el segundo, el programa se dirigiría a una gran base de datos describiendo las propiedades de la mineralización, teniendo como objetivo el proyectar la base de datos, tanto para seleccionar algún *commodity* en particular como para elaborar una evaluación regional de recursos minerales.

Cabe destacar que el alcance que caracteriza este sistema se encuentra restringido a tres tipos de modelos geológicos: (1) *Volcanic Massive Sulphide – Kuroko type*, (2) *Mississippi – Valley* y (3) Pórfidos cupríferos (ceranos a margen continental).

Dado lo expuesto, es posible resaltar algunas similitudes entre este sistema y la metodología que se pretende desarrollar en el presente trabajo de investigación. Por ejemplo: ambas proporcionan un apoyo a la exploración minera, en la medida que están soportadas por datos empíricos y validados por la literatura.

Sin embargo, se desconocen los algoritmos y árboles de decisión sobre el funcionamiento de Prospector. Es más, en ningún momento trata sobre segmentación, la cual es la fundamentación de la metodología a desarrollar. Además, la base de datos de Prospector está conformada sólo por tres modelos geológicos, mientras que aquí se busca caracterizar aquellos modelos de yacimientos que puedan ocurrir en Chile, que sean validados por la literatura científica y sean blancos potenciales de explotación para una serie de elementos químicos de interés mundial.

2.1.6 Trabajos previos

Valorización de activos mineros metálicos de cobre: Propuesta de metodología de valorización de activos mineros – El factor geológico (Jorquera, F., 2016) trata sobre la problemática de la determinación del Valor de Mercado Justo (Fair Market Value) de un activo minero, un aspecto clave al momento de vender, asociar, transferir, opcionar o fusionar dicho activo, y en el cual se consideran las condiciones del mercado, logísticas, medio ambientales, entre otras, intereses de compradores y vendedores, y más importante aún, la geología.

En tal trabajo se propone un Código de Valorización que sirva a la Industria minera chilena, y para ello se muestran y comparan ejemplos internacionales de códigos de valorización de activos mineros actuales, como lo son: *VALMIN Code* (Australia), *CIMVal* (Canadá) y *SAMVAL* (Sudáfrica). Estos tienen por finalidad establecer estándares para la realización de Informes de Valorización, así como también establecer Normas y Directrices en su elaboración.

En la práctica, se busca estandarizar el proceso de valorización de un activo minero, en términos económicos. De aquí resaltan ya diferencias con respecto a lo que pretende desarrollar en este trabajo, pues éste pretende estandarizar un proceso de toma de decisión de inversión para desarrollar tareas de exploración avanzada, y no un proceso de valorización de prospectos mineros.

2.1.7 Juniors de Exploración

Las Juniors de Exploración son empresas que se desarrollan en el área de la minería y, como cualquier empresa, están caracterizados por una estructura orgánica flexible dentro de ciertos límites, pero con sus niveles jerárquicos muy bien definidos. Las partes que conforman una junior de exploración (*Figura 4*) serán descritas a continuación, en orden jerárquico decreciente.

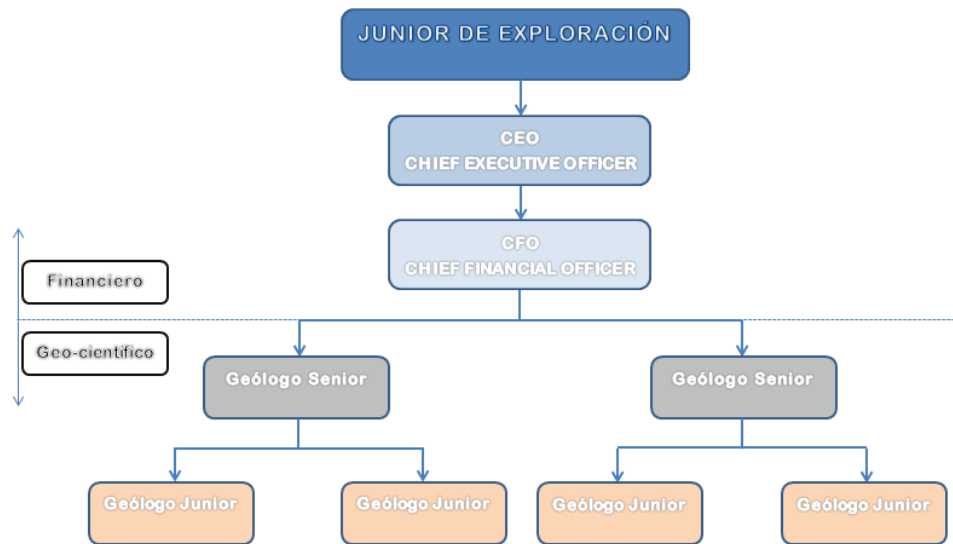


Figura 4 Organigrama clásico de una empresa junior de exploración.

El Director Ejecutivo o *Chief Executive Officer* (CEO en inglés), corresponde a la persona encargada, de máxima autoridad, de la gestión y dirección administrativa en la organización. Es el único empleado de la compañía que está en contacto directo con la junta directiva de administración (*John Carver, 1990*). Así, tiene la responsabilidad de supervisar, de manera adecuada, todos los aspectos de la operación de la compañía.

El Director Ejecutivo puede contar con una serie de directores para delegar funciones. En la práctica, las Juniors poseen también un Director de Finanzas o *Chief Financial Officer* (CFO en inglés), que corresponde a la persona encargada de la gestión financiera de la organización. Tiene la responsabilidad de planificar, ejecutar e informar todo lo relevante a finanzas. En general, reporta directamente el Director Ejecutivo de la empresa.

Ambas partes son encargadas de tomar importantes decisiones, asociadas a altos costos y riesgos, y que están basadas fundamentalmente en el concepto de finanza.

Por otro lado, las unidades básicas para el funcionamiento de una junior de exploración son las unidades de exploración. Cada una de ellas está conformada por un *Geólogo senior*, denominado así pues son los de mayor experiencia en el rubro y que en general son responsables directos del hallazgo de importantes yacimientos; y dos o más *Geólogos junior*, denominados así por su menor experiencia, y que tienen la responsabilidad de brindar ayuda y apoyo al *Geólogo senior*. En este nivel jerárquico, las decisiones que se discuten y consensuan se basan más bien en un criterio geológico.

Es el *Geólogo senior* el encargado de traspasar la información al *Director de Finanzas* (en la práctica, basado en un criterio de confianza entre ambos), mediante un portafolio de prospectos mineros, y es este último el que, bajo su punto de vista, establece prioridades dentro de tal portafolio para definir las futuras inversiones de exploración.

2.2 Los modelos geológicos

La elaboración de modelos geológicos tipo adquiere gran relevancia para la exploración de nuevos prospectos, pues sirven de guía para descubrir, estudiar y evaluarlos.

Para iniciar la búsqueda y definir cuáles serán los modelos de yacimientos minerales que se considerarán, que por lo demás deben cumplir las consideraciones expuestas previamente, conviene investigar en primera instancia qué es un modelo y los distintos tipos que pueden ser generados para un cierto yacimiento mineral.

Un yacimiento mineral es toda concentración natural de uno o más minerales en la corteza terrestre, que surge como resultado de varios procesos geológicos y determinadas condiciones que han ocurrido en algún escenario geológico. Tal concentración de los elementos meníferos durante un proceso específico o combinación entre ellos, ocurre siempre que estén disponibles en dicho ambiente y tengan propiedades geoquímicas similares.

En este contexto, un tipo o modelo descriptivo de yacimiento mineral es un término colectivo para yacimientos minerales que comparten una serie de atributos geológicos y contienen un mineral particular o combinación de ellos, de manera tal que estas dos características lo distinguen de otros tipos de yacimientos minerales (Eckstrand et al. 1996). Es decir, si están cuidadosamente definidos, representan bases de datos de información continuamente crecientes, lo que los hace sólidos y con prolongada expectativa de actualidad.

Según Cox & Singer (1986), un modelo de yacimiento mineral se define como la información sistemáticamente ordenada que describe los atributos esenciales (propiedades) de una clase de yacimiento mineral.

Asimismo, Henley & Berger (1993) lo define como un esquema preliminar que sirve de plan a partir del cual es posible el descubrimiento de estilos específicos de yacimientos.

Según Plumlee & Nash (1995), siguiendo la misma línea, corresponde a un sumario sistemático de información concerniente a las características geológicas, ley, tamaño y génesis de una clase de yacimientos minerales similares.

Hodgson (1993) lo define como un patrón conceptual y/o empírico que encierra tanto a los rasgos descriptivos del tipo de yacimiento como una explicación de estos rasgos en términos de procesos geológicos.

Es decir, hay consenso en que un modelo de yacimiento mineral debe definirse en base a ciertas características geológicas esenciales que permiten caracterizarlos, de tal manera que puedan servir como una base para explorarlos y evaluarlos.

En un modelo de yacimientos minerales, hay dos componentes: el modelo empírico, consistente en una agrupación de datos que incluyen los obtenidos por la observación y que caracterizan el yacimiento; y el modelo conceptual, que intenta interpretar los datos a través de una teoría genética unificadora.

El presente trabajo de investigación establece como un objetivo específico la caracterización de modelos empíricos, que son elaborados a partir de la comparación de datos de un gran número de ejemplos del tipo de yacimiento, con la finalidad de establecer los factores geológicos comunes que puedan ser captados por el geólogo durante la exploración minera en su fase temprana.

2.2.1 Parámetros geocientíficos

Dentro de un modelo, específicamente en la etapa de descripción del yacimiento, se deben considerar aquellas características que lo identifiquen, haciendo énfasis en aquellos aspectos que puedan utilizarse para reconocer el yacimiento mediante características geológicas particulares y anomalías geoquímicas y geofísicas.

Lefebure & Ray (1995) exponen que su contenido debe abarcar:

1. Nombre: Identificación de sinónimos; Productos principales y subproductos; Ejemplos.
2. Características geológicas: Descripción resumen; Escenario tectónico; Ambiente de deposición / Escenario geológico; Edad de la mineralización; Tipos de rocas encajantes y asociadas; Forma del yacimiento; Texturas / Estructuras; Mineralogía de la mena (principal y subordinada); Mineralogía de la ganga (principal y subordinada); Mineralogía de las alteraciones; Intemperismo; Controles de las menas; Modelo genético; Tipos de yacimientos asociados; Comentarios.
3. Guías de exploración: Rasgos geoquímicos; Rasgos geofísicos; Otras guías de exploración.
4. Factores económicos: Ley y tonelaje; Limitantes económicas; Usos finales; Importancia.
5. Referencias

Estos parámetros servirán como una base para la definición de aquellos parámetros geocientíficos que se utilizarán para caracterizar los modelos geológicos empíricos.

Si existen rasgos geológicos, que puedan aportar a la identificación de un determinado modelo y no estén presentes en el listado descrito por Lefebure & Ray, se agregarán a la lista de parámetros geocientíficos a considerar.

2.3 Agregación, segmentación o Análisis Cluster

La necesidad para el hombre de clasificar o identificar objetos y observaciones se remonta a sus orígenes, fundamentándose en que son demasiado numerosos como para procesarlos mentalmente como entidades aisladas.

Al iniciar una búsqueda de sus aplicaciones, de entre la vasta cantidad de legados de Aristóteles, por ejemplo, se halla la elaboración de un sistema de clasificación de especies del reino animal en vertebrados e invertebrados, según presencia o no de sangre roja, respectivamente y a su vez, una sub-clasificación según su naturaleza de concepción, vivíparos u ovíparos.

Al igual que la clasificación de elementos químicos en una tabla periódica, construida por Mendelejev en 1860, o la de estrellas en el campo de la astronomía, corresponden a trabajos que han generado un alto impacto ligado principalmente al área científica.

Según el área de aplicación, el proceso de clasificación puede definirse mediante una variedad de nombres. Si bien el término más genérico es *Análisis Clúster*, en la presente memoria se empleara el término *Agregación* o *Segmentación*, usado también en diversas áreas.

La problemática con la que estas técnicas se encuentran puede establecerse de la siguiente manera:

*‘Dado un conjunto de m objetos individuales (animales, plantas, etc.), cada uno de los cuales viene descrito por un conjunto de n características o variables, deducir una división útil en un número de clases. Tanto el número de clases como las propiedades de dichas clases deben ser determinadas’.*⁵

La definición de agregar, según la Real Academia Española, es unir o juntar cosas a otras.

La segmentación es un término usualmente utilizado en análisis de mercados, en donde se busca la identificación de grupos homogéneos de clientes para adecuar el producto o servicio de las características del mercado. En particular, es un proceso de agregación que estudia un segmento de mercado a personas con necesidades semejantes.

⁵ Gallardo, J. *Ampliación de Análisis de Datos Multivariantes - Cap. 1: Introducción al Análisis Cluster. Consideraciones Generales*, Universidad de Granada, 2011-2012, p. 2.

En este contexto, un método clúster es un procedimiento estadístico multivariante que comienza con un conjunto de datos conteniendo información sobre una muestra de entidades, y luego intenta reorganizarlas en grupos relativamente homogéneos que serán denominados *clusters*.

El punto de partida para el análisis clúster es, en general, una matriz X (Figura 5) que proporciona los valores de las variables para cada uno de los individuos objeto de estudio. Es decir, se consideran m individuos sobre los cuales se han medido n variables X_1, \dots, X_n . Con ello, se tienen $m \times n$ datos que serán colocados en una matriz $m \times n$ dimensional.

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & \cdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix}$$

Figura 5 Matriz utilizada en un Análisis Cluster

La i -ésima fila de la matriz X contiene los valores de cada variable para el i -ésimo individuo, mientras que la j -ésima columna muestra los valores pertenecientes a la j -ésima variable a lo largo de todos los individuos de la muestra.

El objetivo operacional de esta técnica corresponde entontes, a partir de una colección de observaciones, reordenar éstas en grupos tales que el grado de asociación natural es alto entre los miembros del mismo grupo y bajo entre miembros de grupos diferentes.

2.3.1 Distancias

Una vez establecido el objetivo de la segmentación, se hace menester resolver la interrogante de *cómo* se va a segmentar, es decir, cómo medir la similitud entre dos individuos de la muestra, y cómo se puede evaluar cuándo dos clusters pueden ser o no agrupados.

A continuación, se recurre a la definición de distancia.

Distancias.- Sea U un conjunto finito o infinito de elementos. Una función $d : U \times U \rightarrow \mathbb{R}$ se llama una *distancia métrica* si $\forall x, y \in U$ se tiene:

1. $d(x, y) \geq 0$
2. $d(x, y) = 0 \Leftrightarrow x = y$
3. $d(x, y) = d(y, x)$
4. $d(x, z) \leq d(x, y) + d(y, z)$, $\forall z \in U$

2.3.2 Clasificación de las técnicas clusters

El número de métodos existentes es bastante extenso, por lo que se tratarán aquellos más usuales en las prácticas habituales.

A grandes rasgos, se distinguen dos grandes categorías de métodos clusters: métodos jerárquicos y métodos no jerárquicos.

Métodos jerárquicos

Corresponden a aquellos que tienen como objetivo agrupar *clusters* para formar uno nuevo o bien separar alguno ya existente para dar origen a otros dos, de tal forma que se minimice alguna función distancia o bien se maximice alguna medida de similitud.

A su vez, éstos se subdividen en aglomerativos y disociativos.

Los aglomerativos comienzan el análisis con tantos grupos como individuos haya en el estudio. A partir de ahí se van formando grupos de forma ascendente hasta que, al final del proceso, todos los casos están englobados en un mismo conglomerado.

Los disociativos o divisivos realizan un proceso inverso, pues comienzan con un conglomerado que engloba a todos los individuos. A partir de él se van formando, mediante sucesivas divisiones, grupos cada vez más pequeños. Al final del proceso se tienen tantos grupos como individuos en la muestra estudiada.

A continuación se presentan los procedimientos en un método jerárquico aglomerativo, pues es el que se utilizará en el presente trabajo.

Sea n el conjunto de individuos de la muestra, de donde resulta el nivel $K = 0$, con n grupos. En el siguiente nivel se agruparán aquellos dos individuos que tengan la mayor similitud (o menor distancia), resultando así $n - 1$ grupos. A continuación, y siguiendo con la misma estrategia, se agruparán en el nivel posterior, aquellos dos individuos (o *clusters* ya formados) con menor distancia o mayor similitud. Así, en el nivel L se tendrán $n - L$ grupos formados.

Si se continúa agrupando de esta forma, se llega al nivel $L = n - 1$ en el que sólo hay un grupo, formado por todos los individuos de la muestra.

La aplicación de esta metodología posee la particularidad de que si en un determinado nivel se agrupan dos *clusters*, estos quedan ya jerárquicamente agrupados para el resto de los niveles. Además, permite la construcción de un árbol de clasificación que recibe el nombre de dendograma, en el cual es posible visualizar gráficamente todos los niveles y los *clusters* que se van generando en cada uno de ellos, así como el valor de la medida de asociación entre los grupos cuando estos se agrupan, denominado nivel de fusión.

La estructura de un método jerárquico aglomerativo (*Figura 6*) es bastante simple. Iniciando con tantos grupos como individuos haya, luego se selecciona una medida de similitud, agrupándose los dos grupos o *clusters* con mayor similitud. Éste proceso finaliza cuando se cumpla alguna de las siguientes afirmaciones:

1. Se forma un solo grupo
2. Se alcanza el número de grupos prefijado
3. Se detecta, a través de un contraste de significación, que hay razones estadísticas para no continuar agrupando *clusters*, ya que los más similares no son lo suficientemente homogéneos como para determinar una misma agrupación.

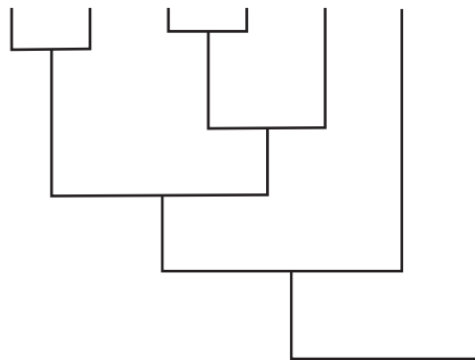


Figura 6 Dendograma clásico de un método jerárquico aglomerativo.

2.3.2.1 Métodos jerárquicos aglomerativos

Independientemente del proceso de agrupamiento, existen diversos criterios para ir formando los conglomerados, todos basándose en una matriz de distancias o similitudes.

Aquí se describen los principales métodos jerárquicos aglomerativos.

Método del amalgamamiento simple

Este método considera que la distancia o similitud entre dos *clusters* viene dada, respectivamente, por la mínima distancia (o máxima similitud) entre sus componentes.

Así, tras efectuar la etapa K -ésima, se tienen ya formados $n - K$ *clusters*, y la distancia entre los *clusters* C_i (con n_i elementos) y C_j (con n_j elementos) sería

$$d(C_i, C_j) = \underset{\substack{x_l \in C_i \\ x_m \in C_j}}{\text{Min}} \{d(x_l, x_m)\} \quad l = 1, \dots, n_i ; m = 1, \dots, n_j$$

mientras que la similitud, de emplear tal tipo de medida, entre los dos *clusters* sería

$$s(C_i, C_j) = \underset{\substack{x_l \in C_i \\ x_m \in C_j}}{\text{Max}} \{s(x_l, x_m)\} \quad l = 1, \dots, n_i ; m = 1, \dots, n_j$$

Con ello, la estrategia seguida en el nivel $K + 1$ será:

- En caso de usar distancias, los *clusters* C_i y C_j se unirán si:

$$d(C_i, C_j) = \underset{\substack{i_1, j_1 = 1, \dots, n-K \\ i_1 \neq j_1}}{\text{Min}} \{d(C_{i_1}, C_{j_1})\} = \underset{\substack{i_1, j_1 = 1, \dots, n-K \\ i_1 \neq j_1}}{\text{Min}} \left\{ \underset{\substack{x_l \in C_{i_1} \\ x_m \in C_{j_1}}}{\text{Min}} \{d(x_l, x_m)\} \right\} \quad l = 1, \dots, n_{i_1} ; m = 1, \dots, n_{j_1}$$

- En caso de usar similitudes, los *clusters* C_i y C_j se unirán si:

$$s(C_i, C_j) = \underset{\substack{i_1, j_1 = 1, \dots, n-K \\ i_1 \neq j_1}}{\text{Max}} \{s(C_{i_1}, C_{j_1})\} = \underset{\substack{i_1, j_1 = 1, \dots, n-K \\ i_1 \neq j_1}}{\text{Max}} \left\{ \underset{\substack{x_l \in C_{i_1} \\ x_m \in C_{j_1}}}{\text{Max}} \{s(x_l, x_m)\} \right\} \quad l = 1, \dots, n_{i_1} ; m = 1, \dots, n_{j_1}$$

Método del amalgamamiento completo

Su aplicación considera que la distancia o similitud entre dos clusters hay que medirla atendiendo a sus elementos más dispares, es decir, la distancia o similitud entre *clusters* viene dada, respectivamente por la máxima distancia (o mínima similitud) entre sus componentes.

Así, tras efectuar la etapa K -ésima, se tienen ya formados $n - K$ *clusters*, y la distancia entre los *clusters* C_i (con n_i elementos) y C_j (con n_j elementos) sería

$$d(C_i, C_j) = \text{Max}_{\substack{x_l \in C_i \\ x_m \in C_j}} \{d(x_l, x_m)\} \quad l = 1, \dots, n_i ; m = 1, \dots, n_j$$

mientras que la similitud, de emplear tal tipo de medida, entre los dos *clusters* sería

$$s(C_i, C_j) = \text{Min}_{\substack{x_l \in C_i \\ x_m \in C_j}} \{s(x_l, x_m)\} \quad l = 1, \dots, n_i ; m = 1, \dots, n_j$$

Con ello, la estrategia seguida en el nivel $K + 1$ será:

- En caso de usar distancias, los *clusters* C_i y C_j se unirán si:

$$d(C_i, C_j) = \text{Min}_{\substack{i_1, j_1 = 1, \dots, n-K \\ i_1 \neq j_1}} \{d(C_{i_1}, C_{j_1})\} = \text{Min}_{\substack{i_1, j_1 = 1, \dots, n-K \\ i_1 \neq j_1}} \left\{ \text{Max}_{\substack{x_l \in C_{i_1} \\ x_m \in C_{j_1}}} \{d(x_l, x_m)\} \right\} \quad l = 1, \dots, n_{i_1} ; m = 1, \dots, n_{j_1}$$

- En caso de usar similitudes, los *clusters* C_i y C_j se unirán si:

$$s(C_i, C_j) = \text{Max}_{\substack{i_1, j_1 = 1, \dots, n-K \\ i_1 \neq j_1}} \{s(C_{i_1}, C_{j_1})\} = \text{Max}_{\substack{i_1, j_1 = 1, \dots, n-K \\ i_1 \neq j_1}} \left\{ \text{Min}_{\substack{x_l \in C_{i_1} \\ x_m \in C_{j_1}}} \{s(x_l, x_m)\} \right\} \quad l = 1, \dots, n_{i_1} ; m = 1, \dots, n_{j_1}$$

Método del promedio no-ponderado entre grupos

En esta estrategia la distancia, o similitud, del *cluster* C_i con el C_j se obtiene como la media aritmética entre la distancia, o similitud, de los componentes de dichos *clusters*.

Así, si el *cluster* C_i (con n_i elementos) está compuesto, a su vez, por dos *clusters* C_{i_1} y C_{i_2} (con n_{i_1} y n_{i_2} elementos respectivamente), y el *cluster* C_j posee n_j elementos, la distancia, o similitud, entre ellos se calcula como

$$d(C_i, C_j) = \frac{d(C_{i_1}, C_j) + d(C_{i_2}, C_j)}{2}$$

Notar que, en este método, se concede igual importancia a la distancia $d(C_{i_1}, C_j)$ que a la distancia $d(C_{i_2}, C_j)$, por lo tanto, es independiente del tamaño de los *clusters*.

Método del promedio ponderado entre grupos

Se considera que la distancia, o similitud, entre dos *clusters*, viene definida por el promedio ponderado de las distancias, o similitudes, de los componentes de un *cluster* respecto a los del otro.

Sean dos *clusters*, C_i y C_j . Supóngase que el *cluster* C_i está formado, a su vez, por otros dos *clusters*, C_{i_1} y C_{i_2} (con n_{i_1} y n_{i_2} elementos respectivamente). Sea $n_i = n_{i_1} + n_{i_2}$ el número de elementos de C_i y n_j el número de elementos de C_j .

Entonces, en términos de distancias (también puede hacerse para similitudes), la distancia promedio ponderada sería, notando $x_i \in C_i, x_{i_1} \in C_{i_1}, x_{i_2} \in C_{i_2}, x_j \in C_j$

$$d(C_i, C_j) = \frac{n_{i_1} d(C_{i_1}, C_j) + n_{i_2} d(C_{i_2}, C_j)}{n_{i_1} + n_{i_2}}$$

Capítulo 3.- Caracterización de modelos geológicos

Para llevar a cabo la segmentación de modelos geológicos de yacimientos, en primer lugar se deben seleccionar cuáles de ellos son los que formarán parte de la población a analizar y segmentar.

Cabe recordar que los individuos de esta población deben cumplir las condiciones expuestas previamente:

- Representar blancos potenciales de explotación para hierro (Fe), cobre (Cu), oro (Au), plata (Ag), tierras raras (REE), níquel (Ni), titanio (Ti), zinc (Zn), plomo (Pb) y cobalto (Co).
- Tener (posible) ocurrencia en Chile.
- Estar validados por la literatura científica.

Dado el historial geológico del continente sudamericano, específicamente en las latitudes entre las que se encuentra Chile, el contexto tectónico ha sido propicio para la ocurrencia de condiciones geológicas particulares que permitieron la formación de yacimientos minerales dentro de un espectro limitado de modelos geológicos de yacimientos.

Por la misma razón, la selección de los modelos se encuentra altamente correlacionada con aquellos que han sido descubiertos en el país.

A continuación, se busca contextualizar y presentar las características más relevantes de aquellos modelos geológicos de yacimientos con – posible – ocurrencia en Chile, que sean validados por la literatura y que representen blancos de explotación para cobre, oro, plata, hierro, zinc, plomo, titanio, elementos de tierras raras, cobalto y níquel.

Su distribución dentro de Chile se suele asociar a franjas metalogénicas, que se han generado producto de la migración del arco magmático hacia el este desde el Mesozoico hasta el Cenozoico.

3.1 Selección de modelos geológicos

A continuación se entrega un resumen (*Tabla 3*) de aquellos modelos geológicos que formarán parte de la población, correlacionándolos además con aquellos elementos químicos que son sus principales menas. Esta correlación sólo servirá para los análisis de los resultados del presente trabajo.

Tabla 3 Modelos geológicos que forman parte de la población a analizar, correlacionados con los elementos químicos que son sus principales menas.

Modelo	Cu	Fe	Au	Ag	Ti	REE	Ni	Zn	Pb	Co
Pórfido Cuprífero (Cu-Mo)	•		•	•						
Pórfido Cuprífero (Cu-Au)	•		•							
Skarn (Fe)		•								
Skarn (Cu)	•									
Skarn (Zn-Pb)			•	•				•	•	
Iron Oxide Copper Gold (IOCG)	•	•	•			•				•
Iron Oxide Apatite (IOA)		•								
Estratoligado (Cu-Ag)	•			•				•	•	
Estratoligado (Cu-Fe-Au)	•	•		•			•			•
Volcanic Sulphide Massive (VMS) tipo Besshi	•		•	•						
Volcanic Sulphide Massive (VMS) tipo Chipre	•							•		
Volcanic Sulphide Massive (VMS) tipo Kuroko	•		•	•				•	•	
Volcanic Sulphide Massive (VMS) tipo Noranda	•		•	•						
Sedimentario exhalativo (SEDEX)				•				•	•	
Epitermal Alta Sulfuración (HS)			•	•						
Epitermal Baja Sulfuración (LS)			•	•						
Depósito de oro tipo Carlin			•							
Placer Titanífero					•					
Placer Aurífero			•							

3.2 Parámetros geo-científicos

Previo a la caracterización de estos modelos geológicos, se deben definir cuáles serán los parámetros geo-científicos que servirán para realizar tal caracterización.

Además, algunos parámetros están divididos en sub-categorías como principal, si es que el parámetro está muy correlacionado con el modelo, subordinado si está parcialmente correlacionado y, en el caso de la mineralogía correlacionada, una tercera sub-categoría de muy subordinado, si está raramente correlacionado.

También se hace una distinción entre lo que es mineralogía no – correlacionada y mineralogía excluyente. La primera se refiere específicamente a minerales que suelen estar ausentes en un determinado modelo de yacimiento, pero cuya presencia no lo descarta. La segunda es más determinante, refiriéndose a minerales cuya ausencia es intrínseca al modelo geológico. A pesar de que ambos parámetros serán utilizados, los datos son bastante escasos en los trabajos científicos.

Apoyado en las características geológicas que Lefebure y Ray (2005) especificaron, y que fueron mencionadas en el Capítulo 2, a continuación se detallan aquellas que fueron utilizadas para caracterizar cada modelo geológico de yacimientos.

Nombre del Modelo Geológico: El nombre de los modelos geológicos representará a cada uno de los individuos de la población que se busca segmentar.

Ubicación: Esta variable está asociada a cómo se distribuyen los distintos modelos geológicos de yacimientos, a lo largo del país comúnmente mediante franjas metalogénicas. Se incluye también una sub-división por regiones.

Superficie alteración hidrotermal: Se incluye una estimación, en orden de magnitud, de la alteración hidrotermal en superficie [km^2] que suele existir en torno a un yacimiento perteneciente a un determinado modelo.

Volumen alteración hidrotermal: Se incluye una estimación, en orden de magnitud, de la alteración hidrotermal en volumen [km^3] que suele existir en torno a un yacimiento perteneciente a un determinado modelo.

Volumen: Se incluye una estimación, en orden de magnitud, del tonelaje de un yacimiento perteneciente a un determinado modelo.

Forma de mena: Se incluyen las posibles geometrías que pueda tener una zona de mena particular, dentro de un yacimiento perteneciente a un determinado modelo.

Signatura geoquímica: Se incluyen todas aquellas anomalías geoquímicas positivas para elementos químicos, que suelen ser resultado de análisis de suelos o rocas en torno a un yacimiento perteneciente a un determinado modelo.

Rocas intrusivas: Se incluyen todas aquellas rocas ígneas intrusivas que suelen estar asociadas a la formación de un yacimiento perteneciente a un determinado modelo. Se exhiben según composición, textura, forma, serie, oxidación, afinidad geoquímica.

Roca/depósito huésped: Este parámetro involucra la roca huésped de la mineralización, así como aquellos depósitos no consolidados que también contienen mena de interés. Se exhiben según composición, forma, afinidad geoquímica, alteración hidrotermal, mineralización y, en caso de brechas y conglomerados, sus clastos, matriz y soporte.

Mineralogía correlacionada: Relacionada a los minerales que se presentan, con distintos grados de correlación, en yacimientos de un determinado modelo. Incluye minerales de mena hipógena, supérgena y de ganga / alteración hidrotermal.

Mineralogía excluyente: Se incluyen aquellos minerales cuya ausencia es intrínseca a un determinado modelo de yacimientos en particular.

Asociaciones minerales: Esta variable da cuenta de aquellas asociaciones minerales que son muy comunes de hallar en yacimientos pertenecientes a un determinado modelo.

Ley (%): Esta variable hace referencia a los valores estimados de concentración de los elementos químicos de interés, para los distintos modelos geológicos. Está expresado en porcentaje.

Estilo de mineralización: Se incluyen todas aquellas formas posibles en que la mena está dispuesta en un yacimiento perteneciente a un determinado modelo, así como los minerales con que suele presentarse en tal forma.

Alteración hidrotermal: Se incluyen aquellas alteraciones hidrotermales, caracterizadas por una asociación mineral muy bien definida, que suelen estar afectando a las distintas litologías involucradas en un yacimiento perteneciente a un determinado modelo. La mineralogía está sub-dividida en clave, accesorio, subordinado.

Involucra también la mineralogía sulfurada y/u oxidada, sub-clasificada en principal, variable, menor, que pueda estar asociada a cada alteración hidrotermal, así como las principales asociaciones y el estilo de mineralización.

Vetas: Se incluye este apartado para describir en detalle la cronología, texturas, mineralogía, estilo de mineralización y halo de alteración presentes en vetas y vetillas.

Zonación: Se incluyen aquellas variables como alteración, mineralogía, estilo de mineralización, color del mineral, ley de algún elemento, etc., que presentan cambios con la distancia, ya sea alejándose de algún cuerpo intrusivo o de la superficie, en un yacimiento perteneciente a un determinado modelo.

Relación inter – modelos: Esta variable se incluye con el propósito de agregar información acerca de la relación genética o espacial que pueda existir entre dos o más modelos geológicos de yacimientos.

Relación mena – alteración hidrotermal: Esta variable estudia localización de la mena, pues algunas tienden a presentarse en asociación con determinadas alteraciones hidrotermales.

3.3 Caracterización de modelos geológicos

Ya definidos los parámetros geocientíficos, se llevó a cabo la caracterización de los modelos geológicos de yacimientos.

La metodología para realizarla consistió en la introducción sistemática de la información relevante acerca de cada modelo geológico, a través de hojas de cálculo.

La caracterización se realizó por elemento químico de interés, es decir, en cada pestaña se describió los modelos cuyas principales menas son de tal elemento. Sin embargo, muchos de los modelos considerados poseen menas de dos o más elementos, siendo su descripción científica exactamente la misma.

En las filas se ubicaron los nombres de los modelos, mientras que en las columnas se dispusieron todos los parámetros y sub-parámetros.

Se sugiere dirigirse al *Anexo A* para obtener las características geológicas utilizadas en la caracterización, ordenadas sistemáticamente, para cada uno de los modelos de yacimientos considerados en esta propuesta de metodología.

- *Anexo A.1:* Pórfido Cuprífero Cu – Mo
- *Anexo A.2:* Pórfido Cuprífero Cu – Au
- *Anexo A.3:* Skarn de Fe
- *Anexo A.4:* Skarn de Cu
- *Anexo A.5:* Skarn de Zn – Pb
- *Anexo A.6:* Epitermal de alta sulfuración
- *Anexo A.7:* Epitermal de baja sulfuración
- *Anexo A.8:* Estratoligado Cu – Ag (hospedado en rocas volcánicas)
- *Anexo A.9:* Estratoligado Cu – Fe – Au (hospedado en rocas plutónicas)
- *Anexo A.10:* IOCG – Iron Oxide Copper Gold
- *Anexo A.11:* IOA – Iron Oxide Apatite
- *Anexo A.12:* Placer aurífero
- *Anexo A.13:* Placer titanífero
- *Anexo A.14:* VMS – Sulfuros masivos volcanogénicos tipo Besshi
- *Anexo A.15:* VMS – Sulfuros masivos volcanogénicos tipo Chipre
- *Anexo A.16:* VMS – Sulfuros masivos volcanogénicos tipo Kuroko
- *Anexo A.17:* VMS – Sulfuros masivos volcanogénicos tipo Noranda
- *Anexo A.18:* Depósitos de oro tipo Carlin
- *Anexo A.19:* SEDEX – Sedimentario exhalativo

Capítulo 4.- Parametrización

La selección de parámetros está sujeta al nivel de detalle de descripción de modelos geológicos en los trabajos científicos más relevantes que han sido publicados, es decir, existen modelos muy detalladamente descritos, mientras que otros no.

Así, el criterio de selección de parámetros geocientíficos fue establecido de tal manera que todos los modelos tuvieran información acerca de ellos, y así poder establecer similitudes y diferencias entre unos y otros.

Los parámetros geológicos seleccionados para la parametrización fueron ubicación, mineralogía (correlacionada y excluyente), roca huésped, rocas intrusivas, signatura geoquímica, volumen, alteración hidrotermal, relación mena – alteración hidrotermal (correlacionada y excluyente), estilo de mineralización (correlacionada y excluyente), forma y relación inter – modelos.

4.1 Orden jerárquico

Cabe destacar que, al pretender desarrollar una segmentación mediante el método del cuadrado de distancia euclidiana, conviene establecer una jerarquía sobre los parámetros geo-científicos a utilizar. De esta manera, habrá parámetros que van a pesar más que otros durante la segmentación.

La jerarquía que se propone mantiene una estrecha relación con las prioridades a las que se enfrenta un geólogo de exploración en terreno, además de correlacionarse en gran medida a aquellos aspectos claves de los modelos geológicos. Así, aquellos de orden 1 corresponden a los más relevantes, mientras que los de orden 3 a los de menor relevancia.

En la categoría de orden 1 se encuentran parámetros como ubicación, mineralogía (correlacionada y excluyente) y roca huésped.

Se definieron como los de mayor jerarquía debido a que corresponden datos duros, pues es información geológica que puede captarse de manera inmediata en terreno, relativamente asequible de identificar para un geólogo. Además, la información que concierne a estos tres parámetros se halla muy bien documentada en caracterizaciones científicas de modelos geológicos de yacimientos, así como en reportes geológicos.

En la categoría de orden 2 se encuentran parámetros como rocas intrusivas, signatura geoquímica, volumen, alteración hidrotermal, relación mena – alteración hidrotermal (correlacionada y excluyente).

La asignación de estos parámetros a este nivel intermedio jerárquico se basa en que corresponde a información que requiere un análisis posterior a las observaciones y toma de muestras en terreno (en el caso de la signatura geoquímica o estimación de tonelaje), sin poseer un carácter de imprescindible pero que pueden ser útiles guías de exploración; elementos cuya ocurrencia no necesariamente está correlacionados con un modelo geológico de yacimientos en particular, en el caso de rocas intrusivas; y en el caso de alteración hidrotermal y relación mena – alteración hidrotermal, si bien su presencia se encuentra bien documentada en la literatura científica, no siempre se especifica a las rocas afectadas por tales metasomatismos.

Y en la categoría de orden 3 se encuentran parámetros como la relación inter – modelos, estilos de mineralización (correlacionado y excluyente) y forma de las menas.

El argumento detrás de esta asignación descansa en que corresponde a información de carácter complementaria, que puede ser útil para segmentar modelos, pero que en el caso del estilo de mineralización, si bien el estilo está bien documentado en las caracterizaciones científicas, las asociaciones minerales en él no lo están.

4.2 Nivel de medición

Otro de los aspectos que se debe aclarar sobre cada parámetro es su nivel de medición, para que el análisis de segmentación pueda ser realizado correctamente, así como leer los valores numéricos asociados a cada parámetro.

Se puede especificar el nivel de medición como escala, nominal u ordinal.

Una variable puede tratarse como escala (continua) cuando sus valores representan categorías ordenadas con una métrica con significado, por lo que son adecuadas las comparaciones de distancia entre valores. Carece de sentido especificar variables geológicas de esta manera.

Puede tratarse como nominal cuando sus valores representan categorías que no obedecen a una clasificación intrínseca. Los parámetros volumen y relación inter – modelos se han especificado de esta manera.

Puede tratarse como ordinal cuando sus valores representan categorías con alguna clasificación intrínseca. Las variables ubicación, roca huésped, mineralogía

(correlacionada y excluyente), signatura geoquímica, rocas intrusivas, alteración hidrotermal, relación mena – alteración hidrotermal (correlacionada y excluyente), estilo de mineralización (correlacionado y excluyente) y forma fueron especificadas con este nivel de medición.

4.3 Rango de valores

Se presenta para cada parámetro el rango de valores respectivo, en donde el máximo valor representará una alta correlación, mientras que el mínimo representará una nula correlación, pero no necesariamente ausencia.

Aquellos parámetros que pertenezcan al Orden 1, tendrán un valor máximo de 30 y un mínimo de 0; los que pertenezcan al Orden 2, un máximo de 20 y un mínimo de 0; y los que pertenezcan al Orden 3, un máximo de 10 y un mínimo de 0.

Los valores intermedios representarán, para las variables con un nivel de medición ordinal, una correlación parcial con un modelo.

La presencia de una mayor o menor cantidad de valores intermedios dependerá del nivel de detalle que la literatura científica incluye en sus caracterizaciones de modelos geológicos de yacimientos.

El valor numérico que se ha establecido para cada uno de los tres rangos fue escogido por simplicidad, aunque respetando la base de que aquellos parámetros de mayor jerarquía están asociados a un mayor rango de valor y, por lo tanto, a mayores distancias, y viceversa. Así, un parámetro con una mayor distancia segmentará con mayor fuerza que uno con menor distancia.

En la *Tabla 4* se detallan aquellos parámetros que se utilizarán en la segmentación, así como su orden jerárquico y el rango de valores con el que se asocian sus presencias dentro de los modelos.

Tabla 4 Parámetros utilizados en la segmentación, indicando para cada uno el nivel jerárquico definido, carácter y rango de valores asociados según su presencia en el modelo.

Orden	Parámetro	Nivel de medición	Categorías	Valor
1	Ubicación	Ordinal	Nula correlación	0
			Parcial correlación	15
	Roca huésped		Alta correlación	30
	Mineralogía (excluyente)		No necesariamente ausente	0
			Ausente	30
	Mineralogía (correlacionada)		Nula correlación	0
			Baja correlación	10
			Común correlación	20
			Alta correlación	30
2	Volumen	Nominal	Orden de MTon o menor	0
			Orden de centenas a decenas de MTon	10
			Orden de GTon o mayor	20
	Signatura geoquímica	Ordinal	Nula correlación	0
	Rocas intrusivas		Parcial correlación	10
	Alteración hidrotermal		Alta correlación	20
	Relación mena – alteración hidrotermal (correlacionada)		Nula correlación	0
	Relación mena – alteración hidrotermal (excluyente)		Alta correlación	20
3	Estilo de mineralización (correlacionado)	Ordinal	Nula correlación	0
	Forma		Parcial correlación	5
			Alta correlación	10
	Estilo de mineralización (excluyente)		No necesariamente ausente	0
	Relación inter - modelos	Nominal	Ausente	10
			No asociado	0
			Comúnmente asociado	10

4.4 Parametrización de variables

A continuación se muestra, a modo de resumen, la parametrización de cada una de las variables especificadas previamente, para cada modelo geológico de yacimientos en consideración.

La indexación numérica de cada modelo geológico de yacimientos puede observarse en la *Tabla 5*.

Tabla 5 Modelos geológicos de yacimientos considerados, con su respectiva indexación numérica.

MODELOS GEOLÓGICOS CONSIDERADOS			
1	Placer Titanífero	11	Iron Oxide Copper Gold (IOCG)
2	Skarn Fe	12	Iron Oxide Apatite (IOA)
3	Skarn Cu	13	Placer Aurífero
4	Skarn Zn - Pb	14	Sedimentary Exhalative (SEDEX)
5	Epitermal Alta Sulfuración	15	Volcanogenic Massive Sulphide (VMS) – Besshi
6	Epitermal Baja Sulfuración	16	Volcanogenic Massive Sulphide (VMS) – Chipre
7	Estratoligado Cu – Ag	17	Volcanogenic Massive Sulphide (VMS) – Kuroko
8	Estratoligado Cu – Fe – Au	18	Volcanogenic Massive Sulphide (VMS) – Noranda
9	Pórfido Cuprífero Cu – Mo	19	Depósitos de oro tipo Carlin
10	Pórfido Cuprífero Cu – Au		

En cuanto a la parametrización de las variables, esta información se encuentra adjunta en el *Anexo B* como se describe a continuación:

- *Anexo B.1:* Mineralogía correlacionada
- *Anexo B.2:* Mineralogía excluyente
- *Anexo B.3:* Roca huésped
- *Anexo B.4:* Ubicación geográfica
- *Anexo B.5:* Intrusivo correlacionado
- *Anexo B.6:* Intrusivo excluyente
- *Anexo B.7:* Signatura geoquímica
- *Anexo B.8:* Volumen
- *Anexo B.9:* Alteración hidrotermal
- *Anexo B.10:* Concentración mena vs alteración hidrotermal correlacionada
- *Anexo B.11:* Correlación mena vs alteración hidrotermal excluyente
- *Anexo B.12:* Forma de la mena
- *Anexo B.13:* Estilo de mineralización correlacionado
- *Anexo B.14:* Estilo de mineralización excluyente
- *Anexo B.15:* Relación inter – modelos

Las columnas indican cada uno de los diecinueve modelos considerados en este estudio, mientras que en las filas están ubicadas las variables. La matriz generada está completada con los valores numéricos respectivos a cada modelo y variable.

A modo de ejemplo, en la *Tabla 6*, se muestra la parametrización del mineral 'Actinolita'.

Tabla 6 Parametrización del mineral 'Actinolita'.

MINERALES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Actinolita	0	10	30	30	0	0	20	30	30	20	30	30	0	0	0	0	0	0	0

Las abreviaturas utilizadas para algunos de los parámetros pueden hallarse en el *Anexo D*.

Capítulo 5.- Agregación

En este capítulo se pretende mostrar y describir cuáles fueron los métodos utilizados en el proceso de agregación de modelos geológicos, sus fundamentos matemáticos y los resultados que arrojó tal proceso.

Lo realizado durante la parametrización presenta la ventaja de que todos los parámetros geológicos, que permitieron caracterizar los modelos geológicos de yacimientos que esta metodología considera, adquieren un carácter unidimensional, en este caso, el equivalente a distancias.

Un análisis utilizando distancias permitirá, mediante un método jerárquico aglomerativo, la generación de grupos o *clusters* de modelos geológicos de yacimientos, relativamente homogéneos en su interior, pero heterogéneos con respecto a los demás grupos o *clusters*.

5.1 Medida de distancia

La medida de distancia que se utilizará en este trabajo será la disimilaridad, pues se debe poner énfasis sobre el grado de diferencia o lejanía existente entre dos modelos. De esta manera, si la distancia entre dos modelos es nula significa que son equivalentes.

En particular, la medida de disimilaridad que se utilizó en la agregación de modelos fue la distancia euclídea al cuadrado, la más recomendada por su sencillez y porque los parámetros están medidos en unidades similares.

La distancia euclídea al cuadrado, entre dos modelos o *clusters* es equivalente a la siguiente expresión

$$d(X, Y)^2 = \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2$$

en donde X e Y representan los dos modelos o *clusters*, y n el número total de variables.

5.2 Matriz de distancias

Habiendo especificado la medida de disimilaridad utilizada en el análisis jerárquico en un lenguaje matemático simple, ya es posible calcular y mostrar las disimilaridades entre dos modelos geológicos de yacimientos particulares, para todos ellos.

La matriz de distancias que se adjunta en la *Tabla 7* muestra los valores de las disimilaridades entre dos modelos, para todo el espectro bajo análisis.

A continuación, los dos modelos más próximos (los menos distantes) son fundidos en un mismo *cluster*, constituyendo una unidad que, como tal, posee su propia distancia respecto al resto de los demás modelos de la matriz de distancias. La aglomeración continúa, siguiendo la misma lógica, hasta que finalmente todos los modelos conforman un solo *cluster*.

Sin embargo, el recálculo de la distancia para un *cluster* generado depende del método de conglomeración utilizado.

En este trabajo, se escogió el método de vinculación inter – grupos o promedio ponderado entre grupos, pues presenta la ventaja de que aprovecha la información de todos los modelos de los dos *clusters* que se comparan, a diferencia de los métodos de vinculación (amalgamamiento) simple o completa.

Tabla 7

Matriz de distancias, resultado de la segmentación de modelos de yacimientos.

Caso	Matriz de proximidades																		
	Distancia euclídea al cuadrado																		
	1: Placer/Tiamifé ro	2: ShamFe	3: ShamCu	4: ShamZnPb	5: EpitermaMS	6: EpitermaBS	7: Estratoligado sCuAg	8: Estratoligado sCuFeAu	9: Porfidocum o	10: Porfidocubú	11: IOCG	12: IOA	13: Placeraurífero	14: SEDEX	15: VMSBesshi	16: VSMChibre	17: VMSKuroko	18: VMSIoranda	19: Cañin
1: Placer/Tiamifé ro	0	37525,000	60700,000	53600,000	81300,000	63750,000	53200,000	47825,000	93125,000	66325,000	81950,000	58775,000	27000,000	49975,000	55875,000	45325,000	47425,000	54725,000	60300,000
2: ShamFe	37525,000	0	43475,000	38575,000	82325,000	62875,000	49775,000	43750,000	80650,000	60050,000	67675,000	53700,000	42125,000	46000,000	53200,000	46050,000	48550,000	51250,000	54225,000
3: ShamCu	60700,000	43475,000	0	49450,000	74500,000	66500,000	54700,000	50075,000	74525,000	62075,000	65050,000	58275,000	63000,000	54525,000	67375,000	64325,000	59875,000	58775,000	61700,000
4: ShamZnPb	53600,000	38575,000	49450,000	0	91700,000	67850,000	62550,000	56925,000	88925,000	70025,000	66050,000	65475,000	57200,000	57175,000	65275,000	61125,000	58675,000	62125,000	59500,000
5: EpitermaMS	81300,000	82325,000	74500,000	91700,000	0	51350,000	79100,000	75325,000	76625,000	89725,000	93250,000	71575,000	85350,000	78975,000	82825,000	78625,000	64025,000	69025,000	68900,000
6: EpitermaBS	63750,000	62875,000	66500,000	67850,000	51350,000	0	58850,000	61175,000	78375,000	57675,000	77900,000	60125,000	63750,000	59125,000	64825,000	55575,000	44775,000	54075,000	53850,000
7: EstratoligadosCuAg	53200,000	49775,000	54700,000	62550,000	79100,000	58850,000	0	35625,000	75625,000	53325,000	55350,000	48225,000	56300,000	53375,000	53825,000	48725,000	48950,000	47225,000	62200,000
8: EstratoligadosCuFeAu	47825,000	43750,000	50075,000	56925,000	75325,000	61175,000	35625,000	0	60150,000	55750,000	51125,000	52500,000	55225,000	47700,000	48200,000	48550,000	49950,000	48300,000	57025,000
9: Porfidocum o	93125,000	80650,000	74525,000	88925,000	75625,000	78375,000	75625,000	60150,000	0	70550,000	78925,000	80400,000	95025,000	86900,000	84500,000	86250,000	84850,000	84850,000	87225,000
10: Porfidocubú	66325,000	60050,000	62075,000	68050,000	89725,000	57675,000	53325,000	70550,000	70550,000	0	66275,000	61400,000	68025,000	61200,000	54500,000	59450,000	57750,000	52850,000	62400,000
11: IOCG	81950,000	67675,000	65950,000	65475,000	71575,000	60125,000	48225,000	80400,000	80400,000	61400,000	0	56125,000	60275,000	69825,000	70850,000	62300,000	63000,000	62400,000	72275,000
12: IOA	58775,000	53700,000	62075,000	65475,000	69725,000	57675,000	53325,000	51125,000	78925,000	56125,000	66275,000	61400,000	60275,000	62750,000	64675,000	54325,000	57750,000	52850,000	62400,000
13: PlacerAurífero	27000,000	42125,000	63000,000	57200,000	85350,000	63750,000	55300,000	55225,000	95025,000	68025,000	83750,000	60275,000	0	38775,000	64675,000	44400,000	46100,000	62325,000	52900,000
14: SEDEX	49975,000	46000,000	54525,000	57175,000	78675,000	59125,000	53375,000	47700,000	66900,000	61000,000	69825,000	62750,000	58775,000	0	44750,000	44400,000	46100,000	46600,000	42375,000
15: VMSBesshi	55875,000	53200,000	67375,000	65275,000	82825,000	64825,000	53625,000	48200,000	84500,000	54500,000	69825,000	70850,000	64675,000	44750,000	0	40800,000	51050,000	50200,000	60175,000
16: VSMChibre	45325,000	46050,000	64325,000	61125,000	78625,000	55575,000	49725,000	48550,000	86250,000	56450,000	60175,000	62300,000	54325,000	44400,000	40800,000	0	41150,000	43150,000	50825,000
17: VMSKuroko	47425,000	48550,000	50975,000	58675,000	64025,000	44775,000	46675,000	49950,000	84850,000	57750,000	71375,000	56300,000	54925,000	45100,000	51050,000	41150,000	0	34100,000	47025,000
18: VMSIoranda	54725,000	51250,000	56775,000	62125,000	69025,000	54075,000	47225,000	48300,000	84850,000	52850,000	72675,000	62400,000	62325,000	49600,000	50200,000	43150,000	34100,000	0	58625,000
19: Cañin	60300,000	54225,000	61700,000	59500,000	68900,000	53850,000	62200,000	57025,000	87325,000	62725,000	78450,000	72275,000	53800,000	42375,000	60175,000	50625,000	47025,000	58825,000	0

Esto es una matriz de disimilitud.

5.3 Historial de aglomeración

De esta manera se obtiene un historial de conglomeración (*Tabla 8*), el resultado cuantitativo de la agregación de modelos.

En él, la columna ‘Clúster combinado’ informa sobre los *clusters* o modelos fundidos en cada etapa. Cuando dos clusters o modelos son aglomerados, el *cluster* generado lleva por valor (o nombre) el del ubicado en la columna ‘Cluster 1’.

La columna ‘Coeficientes’ ofrece el valor de la distancia a la que se encuentran los casos antes de la fusión.

La columna ‘Próxima aparición del clúster de etapa’ recoge la etapa en la que se han formado los *clusters* que se están fundiendo en cada momento. El valor 0 indica que el cluster correspondiente es un caso individual, un modelo. Un valor mayor que 0 indica el número de etapa en la que se formó el *cluster*.

La columna ‘Etapa siguiente’ indica la etapa en la que el *cluster* que se acaba de formar volverá a fundirse con otros elementos.

Tabla 8 Historial de conglomeración de la agregación de modelos.

Historial de conglomeración						
Etapa	Clúster combinado		Coeficientes	Primera aparición del clúster de etapa		Etapa siguiente
	Clúster 1	Clúster 2		Clúster 1	Clúster 2	
1	1	13	27000,000	0	0	12
2	17	18	34100,000	0	0	7
3	7	8	35625,000	0	0	9
4	2	4	38575,000	0	0	8
5	15	16	40800,000	0	0	7
6	14	19	42375,000	0	0	11
7	15	17	46387,500	5	2	9
8	2	3	46462,500	4	0	12
9	7	15	49156,250	3	7	11
10	5	6	51350,000	0	0	17
11	7	14	51733,333	9	6	13
12	1	2	52358,333	1	8	13
13	1	7	54990,000	12	11	15
14	11	12	56125,000	0	0	16
15	1	10	60080,769	13	0	16
16	1	11	65241,071	15	14	17
17	1	5	69331,250	16	10	18
18	1	9	81587,500	17	0	0

5.4 Dendograma

El dendograma que se adjunta (*Figura 7*) representa el resultado cualitativo del análisis de segmentación, en donde se observan cómo se van formando los clusters a medida que la disimilaridad entre grupos se hace mayor. Las distancias se encuentran re-escaladas, siendo un valor de 0 puntos el equivalente a una disimilaridad igual a 0, mientras que un valor de 25 puntos es el equivalente a la mayor disimilaridad entre clusters, en este caso, un coeficiente de 81587.500.

Se propone un límite con valor de 10 puntos para detener la agregación de modelos geológicos de yacimientos.

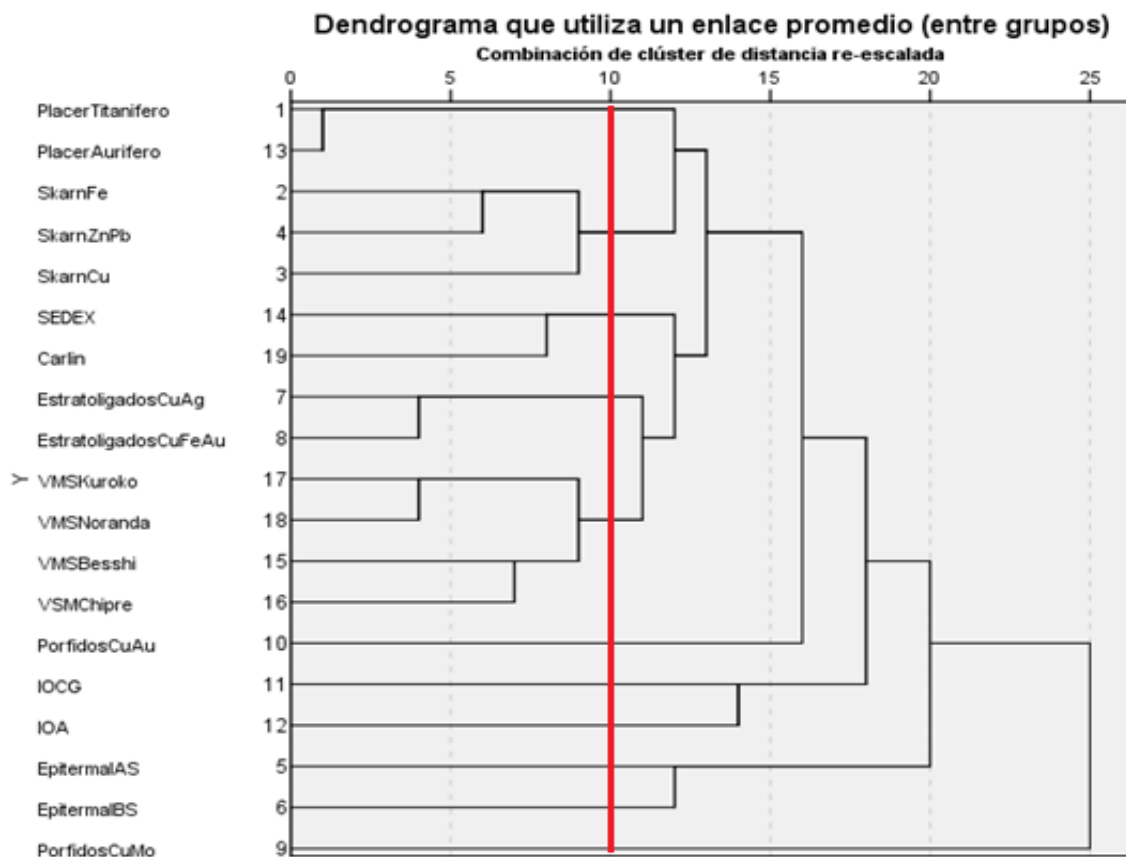


Figura 7 Dendograma resultado de la agregación de modelos geológicos.

El motivo de esta propuesta está sustentado en razones geológicas y estadísticas.

Si se estudia desde el punto de vista geológico, la agregación en un solo *cluster* del grupo de los estratoligados y el de los sulfuros masivos volcanogénicos carece de sentido, pues están caracterizados por ambientes tectónicos y condiciones geológicas bastante diferentes, y conocidas por lo demás. La distribución de ocurrencias de ambos grupos es una prueba de ello: mientras que yacimientos del grupo de los estratoligados han sido descubiertos y explotados en la zona norte y centro del país, escasos depósitos con características similares a los del grupo de los sulfuros masivos volcanogénicos han sido hallados en el extremo sur. Por tal motivo, se propone detener la segmentación justo antes de ese evento de agregación.

Si se desea estudiar desde el punto de vista estadístico, se propone en primer lugar analizar el historial de conglomeración.

En la *Figura 8* se muestra cómo evoluciona el proceso de conglomeración a medida que se van agrupando los modelos y *clusters* de modelos. El eje Y representa el coeficiente, mientras que el eje X la etapa de conglomeración.

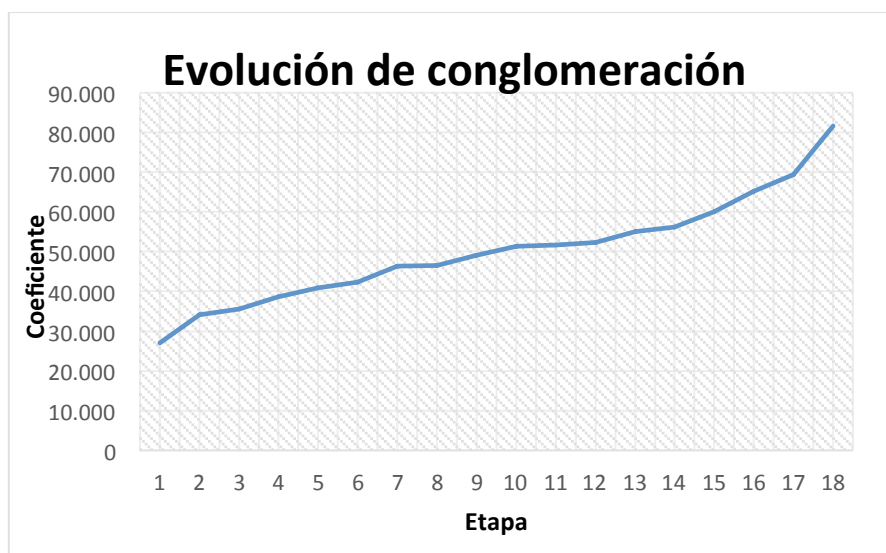


Figura 8 Evolución del proceso de conglomeración de modelos geológicos de yacimientos.

Llama notablemente la atención el patrón de pendientes que se genera a lo largo de todo el proceso de segmentación. Al principio existe una pendiente relativamente alta entre los primeros dos eventos de agregación, que luego tiende a estabilizarse durante gran parte del proceso, y que finalmente vuelve a exhibir una alta pendiente.

Un buen entendimiento de la relación existente entre las pendientes y la similitud entre dos modelos o clusters que se agregan pudiese ser complementado por dos criterios:

- Incremental: asociado a la razón entre el coeficiente de una etapa y el coeficiente de la etapa previa.
- Basal: asociado a la razón entre el coeficiente de una etapa y el coeficiente de la primera etapa de conglomeración.

Los criterios anteriores, para que sean de utilidad, deben siempre implementarse dentro de una misma rama de conglomeración o del dendograma.

Utilizando estas herramientas como una base estadística, será posible discutir y establecer un límite acerca de en qué momento detener la segmentación.

Así, mientras mayor sea la diferencia de coeficientes entre dos modelos o *clusters* en dos eventos consecutivos, menor será la similitud entre ellos, y resulta lógico discutir acerca de si deben ser o no agrupados.

Por otro lado, si el coeficiente entre dos modelos o clusters en una determinada etapa difiere mucho con respecto al de la primera etapa de conglomeración en esa misma rama, pudiesen tratarse de modelos o clusters muy diferentes entre sí, resultando su agregación en un clúster sin sentido en exploración temprana.

Se propone entonces un criterio incremental del 140%, es decir, la razón entre el coeficiente de una determinada etapa y el de la etapa previa debe ser inferior o igual a un 140%; y un criterio basal del 140%, es decir, la razón entre el coeficiente de una determinada etapa y el de la etapa inicial debe ser inferior a un 140%, para que los modelos o *clusters* puedan agruparse.

A continuación se exhiben las evaluaciones para cada rama del dendograma, aplicando los criterios previamente definidos.

En la primera evaluación (*Tabla 9*) se analiza la rama del extremo superior del dendograma para establecer, según los criterios definidos, el límite de la segmentación.

Dada la naturaleza y características de los yacimientos de tipo placer, es justificado que tanto los auríferos como los titaníferos hayan conformado el primer clúster durante la segmentación. Sin embargo, en la etapa posterior se agrupa con el clúster conformado por los yacimientos de Skarns, siendo que corresponden a modelos claramente distinguibles en exploración temprana.

Analizando la evaluación, resalta que ambos criterios no se cumplen en aquella etapa de fusión de clusters. Por lo tanto, tanto los placeres como los Skarns deben quedar separados.

Tabla 9 Evaluación de la rama Placeres – Skarns, aplicando los criterios incremental y basal para determinar el límite de la segmentación.

Evaluación 1 – Placeres - Skarns					
Etapa	Cluster combinado		Coeficiente	Criterio incremental	Criterio basal
	Cluster 1	Cluster 2			
1	1	13	27.000	-	-
12	1	2	52.358	194%	194%
13	1	7	54.990	105%	204%
15	1	10	60.080	109%	223%
16	1	11	65.241	109%	242%

En la siguiente evaluación (*Tabla 10*), se analiza la rama que inicia en los yacimientos de sulfuros masivos volcanogénicos tipo Kuroko, para establecer si el *clúster* conformado por los yacimientos estratoligados debiese unirse o no al *clúster* conformado por los yacimientos de sulfuros masivos volcanogénicos.

El argumento geológico ya se ha mencionado, por lo que desde un punto de vista empírico estos dos clusters no debiesen ser agrupados.

Analizando la evaluación, es posible observar que el criterio basal no se cumple en el caso del evento que agrega ambos *clusters*. Por lo tanto, los yacimientos estratoligados y los sulfuros masivos volcanogénicos debiesen conformar *clusters* distintos.

Tabla 10 Evaluación de la rama Estratoligados – VMS, aplicando los criterios incremental y basal para determinar el límite de la segmentación.

Evaluación 2 - Estratoligados - VMS					
Etapa	Cluster combinado		Coeficiente	Criterio incremental	Criterio basal
	Cluster 1	Cluster 2			
2	17	18	34.100	-	-
7	15	17	46.387	136%	136%
9	7	15	49.156	106%	144%
11	7	14	51.733	105%	152%
13	1	7	54.990	106%	161%
15	1	10	60.080	109%	176%
16	1	11	65.241	109%	191%

Es interesante también observar en el dendograma que la segmentación tarda bastante en agrupar los modelos IOCG e IOA, dado que empíricamente exhiben bastantes similitudes con respecto a ubicación, mineralogía y rocas huésped de mineralización, todos parámetros de primer orden.

Sin embargo, pudiese ser causa de que la parametrización del modelo de yacimientos IOCG se encuentre mejor documentada y más completa que la del modelo de yacimientos IOA, resultando en un coeficiente entre ambos modelos mayor que el real.

Basándose en sus altas similitudes, se propone entonces que ambos modelos se agrupen en un mismo *clúster*.

5.5 Clusters de modelos geológicos de yacimientos

Habiendo definidos los criterios para detener la segmentación, a continuación se muestran (Tabla 11) los *clusters* generados como resultado del proceso de agregación de modelos geológicos de yacimientos.

Tabla 11 Clusters generados mediante la agregación de modelos geológicos de yacimientos.

Grupo 1 'IOCG-IOA'	IOCG Iron Oxide Copper Gold
	IOA Iron Oxide Apatite
Grupo 2 'Skarns'	Skarn Fe
	Skarn Cu
	Skarn Zn-Pb
Grupo 3 'Epitermal Alta Sulfuración'	Epitermal Alta Sulfuración
Grupo 4 'Epitermal Baja Sulfuración'	Epitermal Baja Sulfuración
Grupo 5 'Estratoligados'	Estratoligado Cu-Ag (hospedado en rocas volcánicas)
	Estratoligado Cu-Fe-Au (hospedado en rocas plutónicas)
Grupo 6 'Pórfidos Cupríferos Cu-Mo'	Pórfidos Cupríferos Cu-Mo
Grupo 7 'Pórfidos Cupríferos Cu-Au'	Pórfidos Cupríferos Cu-Au
Grupo 8 'Placeres'	Placeres Auríferos
	Placeres Titaníferos
Grupo 9 'VMS'	VMS Sulfuros Masivos Volcanogénicos tipo Besshi
	VMS Sulfuros Masivos Volcanogénicos tipo Chipre
	VMS Sulfuros Masivos Volcanogénicos tipo Kuroko
	VMS Sulfuros Masivos Volcanogénicos tipo Noranda
Grupo 10 'SEDEX-Carlin'	SEDEX Sedimentario Exhalativo
	Yacimientos de oro tipo Carlin

5.6 Ponderación en *clusters*

Para luego poder validar los clusters de modelos geológicos de yacimientos, se requiere saber cómo se encuentran parametrizadas, dentro de cada clúster, las variables geológicas que se han utilizado para segmentar los modelos.

Obtener directamente esta información a partir de los resultados de la segmentación no es trivial, sin embargo, el método de vinculación inter – grupos o promedio ponderado entre grupos que se ha utilizado en ella permite conseguir la parametrización de las variables de manera indirecta.

De esta manera, cada variable que caracterice a un determinado *clúster* estará parametrizada por un valor equivalente al promedio de los valores de tal variable, considerando todos los modelos incluidos en el clúster en consideración.

A modo de ejemplo, en la *Tabla 12* se aplica este método para un parámetro X particular, en un clúster que contiene a tres modelos geológicos de yacimientos.

Tabla 12 Parametrización para un parámetro X en un determinado clúster teórico.

Parámetro	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Clúster
X	30	20	20	23.3

La metodología anterior fue aplicada a todos los parámetros utilizados en la segmentación, de manera que se obtiene una caracterización aproximada para cada clúster generado.

En los *Anexos C.1* y *C.2* se resumen los resultados de la ponderación de parámetros en los clusters teóricos, sobre la mineralogía y roca huésped, respectivamente.

Capítulo 6.- Validación de *clusters*

La etapa de validación consiste en establecer una correlación entre las características geológicas de un clúster determinado, es decir, la información teórica, y las de yacimientos reportados que pertenezcan a ese mismo clúster, es decir la información empírica, de manera que pueda cuantificarse su similaridad.

Cabe destacar que sólo los clusters serán sometidos a validación, pues aquellos modelos que, producto de la segmentación, no han sido agrupados, ya se encuentran validados por la literatura científica.

La información de carácter empírica será empleada a partir de una base de datos de yacimientos pertenecientes a distintos modelos geológicos con ocurrencia en todo el mundo, propiedad del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

Dado que la presente metodología posee el alcance de agregar sólo modelos geológicos de yacimientos con ocurrencia comprobada o posible en Chile, sólo serán utilizados datos correspondientes a yacimientos que han sido hallados y/o explotados en el país.

Al poder cuantificarse la similaridad entre las características geológicas de un determinado prospecto minero y las de los *clusters* de modelos de yacimientos, la metodología que aquí se desarrolla adquiere un carácter auditable, permitiendo apoyar la exploración minera en fases tempranas y, en particular, la toma de decisión del director financiero en una junior de exploración.

6.1.- Reportes de yacimientos en Chile

La base de datos de yacimientos que han sido reportados en Chile proporciona características como el nombre del yacimiento, ubicación por coordenadas, método de explotación, mineralización, alteración hidrotermal, rocas huésped y asociadas, commodity, entre otras. Sin embargo, sólo la mineralización y la roca huésped (ambos parámetros establecidos como de primer orden) se utilizarán en la validación, pues son los mejor reportados en la base de datos.

Dado que el número de reportes para un modelo geológico de yacimientos en particular no necesariamente es equivalente al de otro modelo perteneciente al mismo *clúster*, analizarlo sin una normalización previa genera un sesgo y resultados que se verían inclinadas hacia el modelo con mayor número de reportes.

Por tal motivo, se normalizará cada parámetro de un determinado modelo por el número de reportes de dicho modelo, y quedará expresado como porcentaje.

Así, la parametrización asociada a cada clúster se verá representada por un promedio entre los porcentajes unitarios, es decir, los de cada modelo que conforme el *clúster*.

A modo de aplicación, se observa en la *Tabla 13* que si un determinado parámetro se ha reportado en un 75% de los casos en yacimientos que pertenezcan al Modelo 1, en un 55% al Modelo 2 y en un 65% al Modelo 3, la parametrización sobre tal parámetro en el clúster será equivalente al promedio.

Tabla 13 Parametrización de un parámetro X para un determinado clúster empírico.

Parámetro	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Clúster
X	75%	55%	65%	65%

A continuación se adjuntan las *Tablas 14, 15, 16 y 17*, en donde se muestra la parametrización de las variables mineralogía y roca huésped, para los clusters IOCG – IOA, Skarns, Placeres y Estratoligados, respectivamente.

En rojo, aquellos parámetros del *clúster* empírico que poseen nula correlación con el clúster teórico. Es decir, corresponden a aquellos variables cuya parametrización, en el *clúster* teórico, tiene un valor de 0.

Dado que dichos parámetros poseen nula correlación con un clúster de modelos validados por la literatura, no tiene sentido utilizarlos para su validación, y no serán tomados en cuenta.

Tabla 14

Parametrización de los parámetros mineralogía y roca huésped en clúster IOCG – IOA.

IOCG				IOA						
N° Reportes	9			N° Reportes	2					
MINERALOGÍA	REPORTES (%)	ROCA HUÉSPED	REPORTES (%)	ROCA HUÉSPED	REPORTES (%)	ROCA HUÉSPED	REPORTES (%)			
Oro	55,56%	Andesita	44,44%	Apatito	100,00%	Andesita	100,00%			
Malaquita	44,44%	Diorita	33,33%	Hematita	100,00%	Corneana	100,00%			
Bornita	22,22%	Esquistos	11,11%	Magnetita	100,00%	Skarn (tactita)	100,00%			
Calcosina	22,22%	Roca volcánica	11,11%	Martita	100,00%	Diorita	50,00%			
Crisocola	22,22%			Pirita	100,00%	Brecha volcánica	50,00%			
Pirita	22,22%			Actinolita	50,00%	Roca volcánica	50,00%			
Calcopirita	11,11%			Biotita	50,00%					
Cinabrio	11,11%			Calcita	50,00%					
Hematita	11,11%			Clinozoisita	50,00%					
Limonita	11,11%			Diópsido	50,00%					
Cuarzo	11,11%			Escapolita	50,00%					
				Turmalina	50,00%					
Clúster IOCG - IOA										
MINERALES				REPORTES (%) PROMEDIO			ROCA HUÉSPED		REPORTES (%) PROMEDIO	
Pirita		61,11%		Andesita		72,22%				
Hematita		55,56%		Corneana		50,00%				
Apatito		50,00%		Skarn (tactita)		50,00%				
Magnetita		50,00%		Diorita		41,67%				
Martita		50,00%		Roca volcánica		30,56%				
Oro		27,78%		Brecha volcánica		25,00%				
Actinolita		25,00%		Esquistos		5,56%				
Biotita		25,00%								
Calcita		25,00%								
Clinozoisita		25,00%								
Diópsido		25,00%								
Escapolita		25,00%								
Turmalina		25,00%								
Malaquita		22,22%								
Bornita		11,11%								
Calcosina		11,11%								
Crisocola		11,11%								
Calcopirita		5,56%								
Cinabrio		5,56%								

Limonita	5,56%	
Cuarzo	5,56%	

Tabla 15

Parametrización de los parámetros mineralogía y roca huésped en clúster Skarns.

Skarn Cu				Skarn Zn-Pb			
N° Reportes	13			N° Reportes	1		
MINERALOGÍA	REPORTES (%)	ROCA HUÉSPED	REPORTES (%)	MINERALOGÍA	REPORTES (%)	ROCA HUÉSPED	REPORTES (%)
Calcopirita	53,85%	Andesita	46,15%	Bismutina	100,00%	Lutita	100,00%
Pirita	46,15%	Diorita	15,38%	Calcita	100,00%	Caliza	100,00%
Bornita	38,46%	Granito	7,69%	Calcopirita	100,00%	Andesita	100,00%
Calcosina	38,46%	Caliza	7,69%	Galena	100,00%		
Galena	30,77%	Mármol	7,69%	Hedenbergita	100,00%		
Esfalerita	30,77%	Tonalita	7,69%	Magnetita	100,00%		
Calcita	23,08%	Roca volcánica	7,69%	Molibdenita	100,00%		
Hematita	23,08%			Pirita	100,00%		
Malaquita	23,08%		Pirrotina	100,00%			
Clorita	15,38%		Cuarzo	100,00%			
Covelina	15,38%		Esfalerita	100,00%			
Epidota	15,38%		Tetraedrita	100,00%			
Oro	15,38%						
Actinolita	7,69%						
Apatito	7,69%						
Atacamita	7,69%						
Biotita	7,69%						
Crisocola	7,69%						
Copper	7,69%						
Cuprita	7,69%						
Dolomita	7,69%						
Granate	7,69%						
Grosularita	7,69%						
Yeso	7,69%						
Limonita	7,69%						
Magnetita	7,69%						
Molibdenita	7,69%						
Feldespato potásico	7,69%						
Pirrotina	7,69%						
Cuarzo	7,69%						
Escapolita	7,69%						
Sericita	7,69%						
Serpentina	7,69%						
Tenorita	7,69%						
Tetraedrita	7,69%						
Turmalina	7,69%						

Skarn Fe				Clúster Skarns			
N° Reportes	14			MINERALOGÍA	REPORTES (%) PROMEDIO	ROCA HUÉSPED	REPORTES (%) PROMEDIO
MINERALOGÍA	REPORTES (%)	ROCA HUÉSPED	REPORTES (%)				
Atacamita	35,71%	Andesita	28,57%	Calcopirita	63,19%	Andesita	58,24%
Calcopirita	35,71%	Diorita	21,43%	Pirita	53,48%	Caliza	40,66%
Malaquita	35,71%	Caliza	14,29%	Calcita	50,55%	Lutita	33,33%
Calcita	28,57%	Mármol	7,14%	Galena	45,97%	Diorita	12,27%
Calcosina	28,57%	Meta - sedimentaria	7,14%	Esfalerita	43,59%	Mármol	4,95%
Bornita	21,43%	Roca	7,14%	Cuarzo	43,04%	Granito	2,56%
Crisocola	21,43%			Magnetita	40,66%	Tonalita	2,56%
Cuarzo	21,43%			Molibdenita	38,28%	Roca volcánica	2,56%
Granate	14,29%			Pirrotina	35,90%	Meta - sedimentaria	2,38%
Yeso	14,29%			Tetraedrita	35,90%	Roca	2,38%
Hematita	14,29%			Bismutina	33,33%		
Magnetita	14,29%			Hedenbergita	33,33%		
Pirita	14,29%			Calcosina	22,34%		
Turmalina	14,29%			Bornita	19,96%		
Actinolita	7,14%			Malaquita	19,60%		
Antlerita	7,14%			Atacamita	14,47%		
Galena	7,14%			Hematita	12,45%		
Limonita	7,14%			Crisocola	9,71%		
Molibdenita	7,14%			Granate	7,33%		
Scheelita	7,14%			Yeso	7,33%		
				Turmalina	7,33%		
				Clorita	5,13%		
				Covelina	5,13%		
				Epidota	5,13%		
				Oro	5,13%		
				Actinolita	4,95%		
				Limonita	4,95%		
				Apatito	2,56%		
				Biotita	2,56%		
				Copper	2,56%		
				Cuprita	2,56%		
				Dolomita	2,56%		
				Grosularita	2,56%		

		Feldspato potásico	2,56%	
		Escapolita	2,56%	
		Sericita	2,56%	
		Serpentina	2,56%	
		Tenorita	2,56%	
		Antlerita	2,38%	
		Scheelita	2,38%	

Tabla 16

Parametrización de los parámetros mineralogía y roca huésped en clúster Placeres.

Placer Aurífero				Placer Titanífero			
N° Reportes	30			N° Reportes	10		
MINERALOGÍA	REPORTES (%)	ROCA HUÉSPED	REPORTES (%)	MINERALOGÍA	REPORTES (%)	ROCA HUÉSPED	REPORTES (%)
Oro	83,33%	Grava	26,67%	Magnetita	100,00%	Arenisca	20,00%
Casiterita	3,33%	Conglomerado	23,33%	Ilmenita	80,00%	Arena	10,00%
		Arenisca	16,67%	Hematita	60,00%	Grava	10,00%
		Aluvio	13,33%	Granate	60,00%	Roca volcánica	10,00%
		Arena	10,00%	Circón	50,00%		
		Till	10,00%	Oro	30,00%		
				Rutilo	30,00%		
				Olivino	10,00%		
				Cuarzo	10,00%		
Clúster Placeres							
MINERALES		REPORTES (%) PROMEDIO		ROCA HUÉSPED		REPORTES (%) PROMEDIO	
Oro		56,67%		Grava		18,33%	
Magnetita		50,00%		Arenisca		18,33%	
Ilmenita		40,00%		Conglomerado		11,67%	
Granate		30,00%		Arena		10,00%	
Hematita		30,00%		Aluvio		6,67%	
Circón		25,00%		Till		5,00%	
Rutilo		15,00%		Roca volcánica		5,00%	
Olivino		5,00%					
Cuarzo		5,00%					
Casiterita		1,67%					

Tabla 17

Parametrización de los parámetros mineralogía y roca huésped en clúster Estratoligados.

Estratoligados Cu - Ag				Estratoligados Cu - Fe - Au			
N° Reportes	377			N° Reportes	5		
MINERALOGÍA	REPORTES (%)	ROCA HUÉSPED	REPORTES (%)	MINERALOGÍA	REPORTES (%)	ROCA HUÉSPED	REPORTES (%)
Calcopirita	29,97%	Andesita	54,64%	Malaquita	80,00%	Diorita	60,00%
Malaquita	23,87%	Arenisca	17,77%	Cuarzo	80,00%	Andesita	20,00%
Bornita	23,08%	Caliza	11,41%	Atacamita	60,00%	Granito	20,00%
Calcosina	22,02%	Conglomerado	5,04%	Calcita	60,00%		
Crisocola	20,42%	Roca volcánica	3,98%	Crisocola	60,00%		
Atacamita	16,18%	Diorita	3,18%	Hematita	60,00%		
Hematita	14,06%	Limolita	2,92%	Calcosina	40,00%		
Pirolusita	13,00%	Sedimentaria clástica	2,39%	Galena	40,00%		
Calcita	10,08%	Arcosa	1,33%	Yeso	40,00%		
Braunita	9,81%	Dacita	1,33%	Limonita	40,00%		
Magnetita	9,28%	Riolita	0,80%	Magnetita	40,00%		
Pirita	9,02%	Corneana	0,53%	Baritina	20,00%		
Covelina	5,84%	Toba	0,53%	Bornita	20,00%		
Psilomelano	5,84%	Brecha volcánica	0,53%	Calcopirita	20,00%		
Oro	5,57%	Turba	0,27%	Covelina	20,00%		
Manganita	5,31%	Tonalita	0,27%	Oro	20,00%		
Cuarzo	5,04%			Pirita	20,00%		
Galena	4,77%						
Yeso	4,51%						
Limonita	3,98%						
Esfalerita	3,45%						
Copper	2,92%						
Cuprita	2,65%						
Piedmontita	1,59%						
Especularita	1,59%						
Brocantita	1,33%						
Apatito	1,06%						
Chalcantita	1,06%						
Jaspe	1,06%						
Halita	0,80%						
Hollandita	0,80%						
Tetraedrita	0,80%						
Hausmanita	0,53%						
Anglesita	0,27%						
Anhidrita	0,27%						

Antlerita	0,27%			
Argentita	0,27%			
Baritina	0,27%			
Clorita	0,27%			
Cobaltita	0,27%			
Digenita	0,27%			
Epidota	0,27%			
Caolinita	0,27%			
Polibasita	0,27%			
Saflorita	0,27%			
Sericita	0,27%			
Plata	0,27%			
Tenorita	0,27%			
Uraninita	0,27%			
Wollastonita	0,27%			
Clúster Estratoligados				
MINERALES	REPORTES (%) PROMEDIO	ROCA HUÉSPED	REPORTES (%) PROMEDIO	
Malaquita	51,94%	Andesita	37,32%	
Cuarzo	42,52%	Diorita	31,59%	
Crisocola	40,21%	Granito	10,00%	
Atacamita	38,09%	Arenisca	8,89%	
Hematita	37,03%	Caliza	5,70%	
Calcita	35,04%	Conglomerado	2,52%	
Calcosina	31,01%	Roca volcánica	1,99%	
Calcopirita	24,99%	Limolita	1,46%	
Magnetita	24,64%	Sedimentaria clástica	1,19%	
Galena	22,39%	Arcosa	0,66%	
Yeso	22,25%	Dacita	0,66%	
Limonita	21,99%	Riolita	0,40%	
Bornita	21,54%	Corneana	0,27%	
Pirita	14,51%	Toba	0,27%	
Covelina	12,92%	Brecha volcánica	0,27%	
Oro	12,79%	Turba	0,13%	
Baritina	10,13%	Tonalita	0,13%	
Pirolusita	6,50%			
Braunita	4,91%			
Psilomelano	2,92%			
Manganita	2,65%			
Esfalerita	1,72%			
Copper	1,46%			
Cuprita	1,33%			
Piedmontita	0,80%			

Espeularita	0,80%
Brocantita	0,66%
Apatito	0,53%
Chalcantita	0,53%
Jaspe	0,53%
Halita	0,40%
Hollandita	0,40%
Tetraedrita	0,40%
Hausmanita	0,27%
Anglesita	0,13%
Anhidrita	0,13%
Antlerita	0,13%
Argentita	0,13%
Clorita	0,13%
Cobaltita	0,13%
Digenita	0,13%
Epidota	0,13%
Caolinita	0,13%
Polibasita	0,13%
Saflorita	0,13%
Sericita	0,13%
Plata	0,13%
Tenorita	0,13%
Uraninita	0,13%
Wollastonita	0,13%

6.2.- Criterio de validación

A continuación, se propone un criterio a través del cual se llevará a cabo la validación de *clusters* de modelos geológicos de yacimientos.

El análisis que se realizó sobre los reportes de yacimientos en Chile permite ordenar sus parámetros, desde aquellos que presentan una mayor hasta una menor cantidad de reportes.

Para un geólogo de exploración, generar conclusiones a partir de unas pocas observaciones y datos captados en terreno puede no ser representativo para un determinado prospecto minero.

Desde ese punto de vista, llevar a cabo múltiples tomas de datos, descripciones y observaciones en distintas locaciones dentro de un prospecto minero adquiere mayor representatividad.

Es un procedimiento que permite analizar la distribución de las distintas variables geológicas en terreno, y cuantificar con qué frecuencia se han reportado en él.

Para que la validación tenga una mayor confiabilidad, se utilizará sólo aquellos parámetros que se hayan reportado en al menos un 20% de los casos. Recordar que sólo la mineralogía y roca huésped de mineralización serán tomados en cuenta, pues la base de datos empírica utilizada presenta una alta calidad en sus reportes.

Una vez filtrada la mineralogía y roca huésped, se analizará la parametrización de estos parámetros para cada uno de los modelos y grupos de modelos de yacimientos.

La comparación de los puntajes obtenidos entre cada modelo o grupo de modelos presenta la ventaja de ser estandarizada y sencilla. De esta manera, a mayor puntaje mayor similaridad con el correspondiente modelo o grupo de modelos.

6.3.- Validación de clusters

Dado que los modelos por sí mismos ya se encuentran validados por la literatura científica, se deben los grupos de modelos que se generaron a través de la segmentación.

Se analizará en primer lugar el *clúster* conformado por los modelos de yacimientos IOCG e IOA. La *Tabla 18* muestra los parámetros que cumplen el criterio de validación, y su parametrización para cada uno de los modelos y grupos de modelos de yacimientos.

Según el criterio de validación que se propone, aquellos minerales que se reportan en al menos un 20% de los casos analizados corresponden a: actinolita, pirita, hematita, magnetita, apatito, oro nativo, biotita, epidota, escapolita, calcita, diópsido, turmalina y malaquita.

En el caso de la roca huésped, aquellas que cumplen con el criterio son: lavas de composición andesítica y dacítica, y brechas volcánicas de composición andesítica, dacítica y riódacítica.

El sumatoria de puntajes para la mineralogía muestra una preferencia en primer lugar hacia los pórfidos cupríferos Cu – Mo, por delante del grupo conformado por los yacimientos IOCG e IOA por un estrecho margen.

Por otro lado, la sumatoria de puntajes para la roca huésped muestra una preferencia en primer lugar hacia los epitermales de baja sulfuración, por delante del grupo conformado por los yacimientos IOCG e IOA.

Sin embargo, la preferencia hacia este último es evidente si se consideran ambos parámetros.

Por lo tanto, es un grupo de modelos que ha adquirido validez, pues los reportes de yacimientos muestran una alta similaridad con el modelo teórico.

Tabla 18 Validación del grupo conformado por los modelos de yacimientos IOCG e IOA.

	IOCG - IOA	SKARNS	EPITERMAL ALTA SULFURACIÓN	EPITERMAL BAJA SULFURACIÓN	ESTRATOLIGADOS	PÓRFIDO CUPRÍFERO CU - MO	PÓRFIDO CUPRÍFERO CU - AU	PLACERES	VMS	SEDEX - CARLIN
Actinolita	30	23,3	0	0	25	30	20	0	0	0
Pirita	25	23,3	30	30	30	30	30	0	30	30
Hematita	25	10	30	20	30	30	20	0	0	15
Magnetita	30	20	0	0	25	30	30	0	10	0
Apatito	25	0	0	0	15	10	0	0	0	0
Oro nativo	20	3,3	30	30	10	20	20	0	17,5	15
Biotita	30	6,7	0	0	0	30	30	0	0	0
Epidota	30	26,7	0	30	25	30	30	0	12,5	0
Escapolita	25	3,3	0	0	10	0	0	0	0	0
Calcita	15	16,7	0	30	30	30	20	0	20	30
Diópsido	15	20	0	0	0	20	0	0	0	0
Turmalina	15	0	30	0	15	20	0	0	7,5	10
Malaquita	10	0	0	0	25	30	0	0	5	0
TOTAL MINERALOGÍA	295	153,3	120	140	240	310	200	0	103	100
Andesita (lava)	30	5	30	30	15	0	30	0	7,5	0
Dacita (lava)	30	5	30	30	7,5	0	0	0	15	0
Andesita (brecha)	15	5	30	0	0	0	0	0	0	0
Dacita (brecha)	15	5	30	0	0	0	0	0	0	0
Riodacita (brecha)	15	5	30	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL ROCA HUÉSPED	105	25	150	60	22,5	0	30	0	22,5	0
TOTAL	400	178,3	270	200	262,5	310	230	0	125	100

Ahora se analizará el *clúster* conformado por los modelos de yacimientos tipo Placer.

La *Tabla 19* muestra los parámetros que cumplen el criterio de validación, y su parametrización para cada uno de los modelos y grupos de modelos de yacimientos.

Aquellos minerales que se reportan en al menos un 20% de los casos analizados corresponden a: oro, magnetita, ilmenita, granate y circón, todos de carácter detrítico.

En el caso del depósito huésped, aquellos que cumplen con el criterio son arenas de ambientes de playa, bahía y duna.

El puntaje que se obtiene al considerar ambos parámetros evidencia una clara preferencia hacia el grupo conformado por los modelos de yacimiento tipo Placer.

Dada la naturaleza de estos modelos de yacimientos, distinguirlas del resto de los modelos no es una problemática.

Tabla 19 Validación del grupo conformado por los modelos de yacimientos tipo Placer.

	IOCG - IOA	SKARNS	EPITERMAL ALTA SULFURACIÓN	EPITERMAL BAJA SULFURACIÓN	ESTRATOLIGADOS	PÓRFIDO CUPRÍFERO CU - MO	PÓRFIDO CUPRÍFERO CU - AU	PLACERES	VMS	SEDEX - CARLIN
Oro	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0
Magnetita	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0
Ilmenita	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0
Granate	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0
Circón	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0
TOTAL MINERALOGÍA	0	0	0	0	0	0	0	90	0	0
Arenas (bahía)	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0
Arenas (playa)	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0
Arenas (dunas)	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0
TOTAL ROCA HUÉSPED	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0
TOTAL	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0

El tercer *clúster* a validar será el conformado por los modelos de yacimientos tipo Skarn.

La *Tabla 20* muestra los parámetros que cumplen el criterio de validación, y su parametrización para cada uno de los modelos y grupos de modelos de yacimientos.

Aquellos minerales que se reportan en al menos un 20% de los casos analizados corresponden a: calcopirita, pirita, calcita, galena, esfalerita, cuarzo, magnetita, molibdenita, pirrotina, tetraedrita, hedenbergita, bismutina y calcosina.

En el caso de la roca huésped, aquellos que cumplen con el criterio son: lavas de composición andesítica, caliza y lutita.

El sumatoria de puntajes para la mineralogía no muestra una preferencia clara hacia el grupo de yacimientos tipo Skarn. Es más, se ubica por detrás de otros seis modelos y grupos de modelos.

Por otro lado, la sumatoria de puntajes para la roca huésped muestra una preferencia en primer lugar hacia el grupo de modelos de yacimientos tipo IOCG e IOA, por delante del compuesto por los Skarns y otros.

Finalmente, si bien el puntaje total considerando ambos parámetros posee una alta correlación con el grupo de modelos de yacimientos tipo Skarn, muestra una preferencia hacia otros modelos y grupos.

Tabla 20 Validación del grupo conformado por los modelos de yacimientos tipo Skarn.

	IOCG - IOA	SKARNS	EPITERMAL ALTA SULFURACIÓN	EPITERMAL BAJA SULFURACIÓN	ESTRATOLIGADOS	PÓRFIDO CUPRÍFERO CU - MO	PÓRFIDO CUPRÍFERO CU - AU	PLACERES	VMS	SEDEX - CARLIN
Calcopirita	25	20	20	20	25	30	30	0	30	20
Pirita	25	23,3	30	30	30	30	30	0	30	30
Calcita	15	16,7	0	30	30	30	20	0	20	30
Galena	10	13,3	20	20	5	10	20	0	20	25
Esfalerita	15	23,3	20	20	5	10	20	0	27,5	25
Cuarzo	30	6,7	30	30	30	30	30	0	30	30
Magnetita	30	20	0	0	25	30	30	0	10	0
Molibdenita	15	13,3	0	10	5	20	20	0	2,5	10
Pirrotina	15	16,7	0	20	5	10	20	0	20	15
Tetraedrita	0	3,3	20	20	5	20	0	0	10	5
Hedenbergita	10	23,3	0	0	0	0	0	0	0	0
Bismutina	0	6,7	10	0	0	0	0	0	0	5
Calcosina	15	6,7	30	0	20	30	30	0	5	5
TOTAL MINERALOGÍA	205	193,3	180	200	185	250	250	0	205	200
Andesita (lava)	30	5	30	30	15	0	30	0	7,5	0
Caliza	15	20	0	0	0	0	15	0	0	15
Lutita	15	20	0	0	0	0	0	0	0	30
TOTAL ROCA HUÉSPED	60	45	30	30	15	0	45	0	7,5	45
TOTAL	265	238,3	210	230	200	250	295	0	213	245

Por último se validará el *clúster* conformado por los modelos de yacimientos tipo Estratoligados.

La *Tabla 21* muestra los parámetros que cumplen el criterio de validación, y su parametrización para cada uno de los modelos y grupos de modelos de yacimientos.

Aquellos minerales que se reportan en al menos un 20% de los casos analizados corresponden a: malaquita, cuarzo, crisocola, atacamita, hematita, calcita, calcosina, calcopirita, magnetita, galena, yeso y bornita.

En el caso de la roca huésped, aquellos que cumplen con el criterio son: lavas de composición andesítica, y dioritas.

El sumatoria de puntajes para la mineralogía no muestra una preferencia clara hacia el grupo de yacimientos tipo Pórfido Cuprífero Cu – Mo, por delante del grupo de los Estratoligados.

Por otro lado, la sumatoria de puntajes para la roca huésped muestra una preferencia compartida entre el grupo de los estratoligados, de IOCG – IOA y otros modelos como epitermales.

Finalmente, si bien el puntaje total considerando ambos parámetros posee una alta correlación con el grupo de modelos de yacimientos tipo Estratoligados, muestra una preferencia hacia el modelo de Pórfido Cuprífero Cu – Mo, por delante del grupo de los Estratoligados.

Tabla 21 Validación del grupo conformado por los modelos de yacimientos tipo Estratoligados.

	IOCG - IOA	SKARNS	EPITERMAL ALTA SULFURACIÓN	EPITERMAL BAJA SULFURACIÓN	ESTRATOLIGADOS	PÓRFIDO CUPRÍFERO CU - MO	PÓRFIDO CUPRÍFERO CU - AU	PLACERES	VMS	SEDEX - CARLIN
Malaquita	10	0	0	0	25	30	0	0	5	0
Cuarzo	30	6,7	30	30	30	30	30	0	30	30
Crisocola	15	0	0	0	25	30	0	0	5	0
Atacamita	15	0	0	0	25	30	0	0	0	0
Hematita	25	10	30	20	30	30	20	0	0	15
Calcita	15	16,7	0	30	30	30	20	0	20	30
Calcosina	15	6,7	30	0	20	30	30	0	5	5
Calcopirita	25	20	20	20	25	30	30	0	30	20
Magnetita	30	20	0	0	25	30	30	0	10	0
Galena	10	13,3	20	20	5	10	20	0	20	25
Yeso	15	0	0	0	10	10	0	0	7,5	0
Bornita	10	20	30	0	25	20	30	0	15	0
TOTAL MINERALOGÍA	215	113,4	160	120	275	310	210	0	148	125
Andesita (lava)	30	5	30	30	15	0	30	0	7,5	0
Diorita	0	5	0	0	15	30	0	0	0	0
TOTAL ROCA HUÉSPED	30	10	30	30	30	30	30	0	7,5	0
TOTAL	245	123,4	190	150	305	340	240	0	155	125

Capítulo 7.- Conclusiones

A partir del trabajo realizado, se puede concluir que los objetivos propuestos han sido cumplidos a cabalidad.

En primer lugar, se generó una detallada base de datos, sistemáticamente ordenada, considerando los parámetros más relevantes con que se debe caracterizar un modelo geológico de yacimientos. Estos últimos debían cumplir con: (1) tener ocurrencia probable o probada en Chile; (2) estar validados por la literatura científica; (3) y representar blancos potenciales de explotación para elementos de interés en la industria nacional: cobre, hierro, oro, plata, zinc, plomo, elementos de tierras raras, titanio, níquel y cobalto.

Previo a la parametrización, se estableció un orden jerárquico para tales parámetros geológicos, pues lógicamente unos deben tener más influencia que otros en la caracterización, y es un aspecto que se debe agregar en la siguiente etapa.

Este orden jerárquico obedece a cómo la literatura ha documentado tales parámetros geológicos, además de la facilidad o dificultad de captarlos en terreno, sobre todo en el contexto de exploración temprana.

Así, variables como la ubicación, mineralogía y roca huésped se establecieron como parámetros de primer orden; alteración hidrotermal, volumen, signatura geoquímica, rocas intrusivas asociadas y la localización de la mena con respecto a la alteración hidrotermal, como parámetros de segundo orden; y forma de la mena, estilos de mineralización y cómo se asocian unos modelos con otros, como parámetros de tercer orden.

La agregación permitió agrupar los modelos de yacimientos según sus similitudes y diferencias. Además, la esencia de la agregación fue agrupar modelos de yacimientos cuya distinción durante etapas tempranas de exploración minera no es algo trivial.

Los grupos de modelos de yacimientos fueron: (1) IOCG – IOA, (2) Skarns (Skarn Cu, Skarn Fe, Skarn Zn – Pb), (3) VMS (tipos Besshi, Chipre, Kuroko, Noranda), (4) Placeres (Placer Titanífero, Placer Aurífero) y (5) SEDEX – Carlin. El resto de los modelos de yacimientos no fue agrupado, formando como entidades independientes.

La validación de los grupos de modelos se realizó en base a información de yacimientos incluidos en tales grupos, con ocurrencia en Chile. Los parámetros analizados corresponden a mineralogía y roca huésped, pues han sido reportados detalladamente, además de haber sido definidos con la más alta jerarquía en la parametrización.

Se establecieron criterios de validación, mediante un sistema de puntajes que toma en consideración la parametrización de todas aquellas variables que se reportan en la base de datos.

La aplicación de estos criterios permite validar los grupos de modelos de yacimientos estratoligados, placeres e IOCG – IOA; sin embargo, con la información disponible de yacimientos tipo skarn no se observa una clara preferencia hacia el grupo conformado por tales modelos de yacimientos.

Para finalizar, se generó entonces una metodología que permite apoyar la exploración minera en etapas tempranas, en donde el acceso a la información se halla bastante restringido.

Al ser una metodología sistematizada, adquiere la característica de ser auditable, reemplazando el criterio de confianza actualmente vigente por uno apoyado en argumentos geo – estadísticos, en particular, en similitud entre información geológica teórica y empírica.

Capítulo 8.- Discusión

La metodología propuesta ha sido definida, en parte, en base a criterios estadísticos, pero los geológicos han sido principalmente el soporte. Por lo tanto, desde un punto de vista matemático, por supuesto que es posible de optimizar, y así generar grupos de modelos más homogéneos aún en su interior.

Aunque la caracterización de los modelos de yacimientos ha sido bastante detallada, no es la óptima. Pueden agregarse otros parámetros geológicos, como la zonación vertical u horizontal de la mineralogía o alteración hidrotermal, pues también puede ser captada en exploración temprana.

En cuanto a la parametrización, lo relevante en este trabajo fue el establecimiento de un orden jerárquico sobre los parámetros geológicos. Esta jerarquía está estrechamente relacionada a cómo la literatura científica reporta los parámetros, y a qué tan asequible es su reporte en fases tempranas de exploración minera. Un estudio matemático más avanzado pudiese hallar los valores óptimos con los cuales parametrizar tales variables.

El jerarquía de parámetros que se ha establecido involucra tres órdenes: de primer, segundo y tercer orden, con una distancia máxima de 30, 20 y 10, respectivamente. Debiese restringirse el número de parámetros asociados a cada orden, pues un número mucho mayor de parámetros de un orden inferior puede finalmente segmentar de igual forma que uno de primer orden. De este modo, se merma la calidad de la segmentación misma.

Si bien el estilo de mineralización se estableció como un parámetro de tercer orden, sustentado en que el nivel de detalle con que se caracterizó no era óptimo, puede considerarse como de segundo orden para la aplicación de la metodología. Asimismo, se espera que este cambio no genere grandes modificaciones en la agregación de modelos de yacimientos.

Además, dado que los yacimientos pueden estar caracterizados por distintas tasas de exhumación, pudiese darse el caso de que no sea posible documentar algunos parámetros, como la roca huésped de la mineralización.

Un segundo punto de discusión pudiese estar en torno al criterio en base al que se pretende segmentar modelos de yacimientos, puesto que los intereses de las *juniors* de exploración varían unas a otras. Mientras que en algunas su prioridad es buscar blancos de exploración en función del *commodity*, en otras es el tonelaje o simplemente generar ganancias a su empresa.

Si bien el objetivo de la segmentación de modelos de yacimientos ha sido agruparlos en base a su similitud en variables geológicas que los caracterizan y que pueden observarse en terreno, la metodología propuesta pudiese adquirir un carácter más dinámico y permitir modificar la jerarquía en base a la cual se agruparon tales modelos.

En contra de lo observado en el dendograma y del criterio propuesto para detener la segmentación, se decidió aglomerar los modelos de yacimientos IOCG e IOA, pues en la práctica presentan una alta similaridad. En efecto, ambos modelos terminan agrupándose, pero después del límite establecido. Por lo tanto, distinguirlos en fases tempranas de exploración no es algo trivial. Este retardo en aglomerar ambos modelos puede deberse a que la bibliografía hallada para los yacimientos de hierro apatito los describía sólo a grandes rasgos.

Otro punto a discutir es sobre la validación de los *clusters* de modelos de yacimientos, especialmente si se realiza en base a información de yacimientos que han sido descubiertos y explotados en Chile.

Si bien en Chile no existe una normativa que exija a las compañías mineras nacionales reportar sondajes, recursos geológicos y reservas mineras, las juniors de exploración vigentes actualmente en Chile sí deben reportar tal información. Ésta, en efecto, es de libre acceso a público, por lo que sería una enriquecedora fuente de información para utilizar en la validación de los *clusters* de modelos.

En el caso de los yacimientos tipo estratoligados con ocurrencia en Chile, el puntaje que considera los dos parámetros geológicos analizados no muestra una clara preferencia hacia el grupo conformado por tales modelos. En efecto, la aplicación del criterio de validación a las características de esos yacimientos resulta en una mayor similitud con los pórfidos cupríferos Cu – Mo.

No obstante, debe destacarse que no han sido consideradas variables de gran importancia como la ubicación geográfica y estilos de mineralización. En particular, si efectivamente se tratan de yacimientos estratoligados, estos estarán distribuidos principalmente en las franjas metalogénicas del Jurásico y Cretácico, y no en las del Paleoceno – Eoceno, Eoceno – Oligoceno y Mioceno – Plioceno, en donde se han descubierto la mayoría de los pórfidos cupríferos Cu – Mo.

Por lo tanto, si se tomaran en cuenta más variables geológicas, el puntaje mostraría una clara preferencia hacia el grupo de los estratoligados y, de paso, validaría tal grupo.

En el caso de los yacimientos tipo Skarn, llama profundamente la atención que una mineralogía calco – silicatada tan característica en estos modelos de yacimientos se presente con tan bajos porcentajes de reportes. Lo anterior implica que minerales como el granate no se incluyan en la validación, y que el grupo de modelos de yacimientos tipo Skarn pierda puntaje y, por lo tanto, preferencia.

Si bien los criterios utilizados en la validación de los *clusters* no son los óptimos, analizar aquellos parámetros que presentan mayor correlación con tal cluster parece ser útil pues se encuentra respaldada en que posiblemente sean aquellos mismos parámetros los que reporte un geólogo en un determinado prospecto minero.

En el caso del clúster compuesto por los yacimientos de sulfuros masivos volcanogénicos (VMS) y aquél compuesto por los tipo sedimentario exhalativo (SEDEX) y tipo Carlin, la validación no pudo realizarse debido a la escasez de reportes en Chile, que si bien presentan ciertas similitudes a los modelos mencionados, corresponden a interpretaciones de algunos autores que siguen en discusión a la fecha.

Así como se han discutido los modelos de yacimientos que han sido agrupados en clusters, conviene también discutir en torno a aquellos modelos que, estando genéticamente asociados, no fueron agrupados, como el caso de los yacimientos epitermales de alta y baja sulfuración, pórfidos cupríferos Cu – Mo y Cu – Au,

Dado que los criterios establecidos para detener la segmentación aseguran que estos modelos de yacimientos no deben ser agrupados, posiblemente su distinción en exploración minera temprana sí es posible.

Finalmente, ya que el acceso a la información geológica en superficie está altamente restringido, sobre todo en etapas tempranas de exploración, para la aplicación de esta metodología se sugiere considerar todos aquellos parámetros geológicos que sean reportados, independiente de su frecuencia de reportes. Así, un alto soporte geológico en la metodología ofrecerá una mayor representatividad del prospecto en cuestión.

Bibliografía

- [1] Ariosa, J. and Diaz, R. 2001. *Modelos de Yacimientos Minerales: Tipologías y Aplicaciones*. Revista Minería y Geología. Vol. XVII I, No. 2.
- [2] Cox, D. and Singer, D. 1986. *Mineral Deposit Models*. U. S. Geological Survey. U. S. Geological Survey Bulletin 1693.
- [3] Del Rio, I. 2012. *Valorización de Proyectos Mineros en Etapa de Exploración*. Minería Activa.
- [4] Donoso, F. 2013. *Mecanismos de Financiamiento para la Exploración Minera en el Mundo*. Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO). Dirección de Estudios y Políticas Públicas.
- [5] Gallardo, J. 2011-12. *Ampliación de Análisis de Datos Multivariantes*. Departamento de Estadística e Investigación Operativa. 3º Diplomatura de Estadística – Curso 2011-12. Universidad de Granada. España.
- [6] Gandhi, S. and Sarkar, B. 2016. *Essentials of Mineral Exploration and Evaluation*. Elsevier. 23-52.
- [7] Greiner, G. 1991. *Características y Distribución de los Placeres Auríferos de Chile*. Empresa Nacional de Minería (ENAMI). Santiago, Chile.
- [8] *Guía de Análisis de Datos SPSS 10 – Capítulo 22: Análisis de Conglomerados (II): El procedimiento Conglomerados Jerárquicos*. IBM.
- [9] *Guía del usuario de IBM SPSS Statistics 23 Core System*. IBM.
- [10] Hart, P., Duda, R. and Einaudi, M. 1978. *PROSPECTOR – A Computer-based Consultation System for Mineral Exploration*. Mathematical Geology. Vol. 10, No.5.
- [11] Hernández, E. *¿Qué es la segmentación de mercado?* Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos57/segmentacion-mercado/segmentacion-mercado.shtml> [Acceso 29 Diciembre 2016]
- [12] Higuera, P. Yacimientos Minerales – *La Exploración Minera*. Disponible en: <http://www.uclm.es/users/higuera/yymm/YM14.html> [Acceso 06 Diciembre 2016]
- [13] Jorquera, F. 2016. *Valorización de activos mineros metálicos de cobre: Propuesta de metodología de valorización de activos mineros – El factor geológico*. Universidad de Chile. Santiago. Chile.
- [14] *La minería chilena a través de la historia*. 2010. EducarChile. Disponible en: <http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?id=204713>
- [15] Maksaev, V. *Depósitos del tipo Skarn*. Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile.
- [16] Maksaev, V. *Depósitos Epitermales*. Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile.
- [17] Maksaev, V. 2004. *Pórfidos Cupríferos*. Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile.

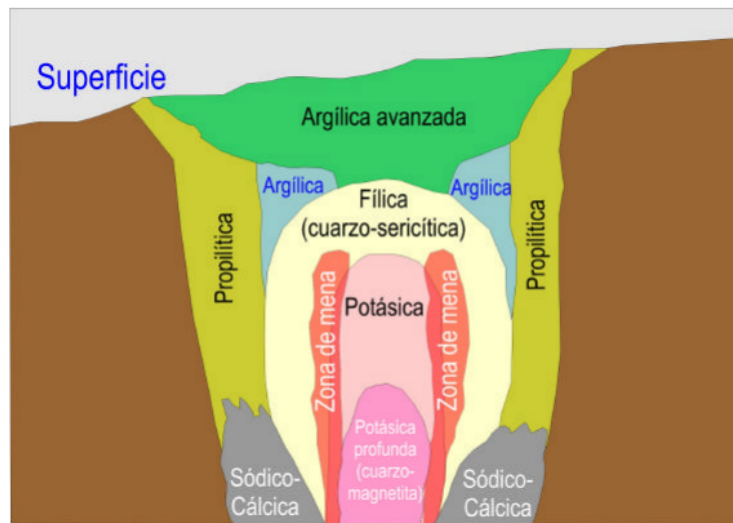
- [18] Maksaev, V. *Procesos sedimentarios: Depósitos Alóctonos*. Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile.
- [19] Maksaev, V. *Yacimientos de Óxidos de Fe-Cu-Au chilenos*. Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile.
- [20] Maksaev, V. *Yacimientos Estratoligados de Cu (Ag) chilenos*. Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile.
- [21] Meinert, L. 2005. *World Skarn Deposits*. Society of Economic Geologists Inc. Economic Geology 100th Anniversary Volume. 299-336.
- [22] Pirajno, F. 2009. *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Geological Survey of Western Australia.
- [23] Perello, J. and Cabello, J. *Pórfidos Cupríferos ricos en oro: una revisión*. BHP-Utah International Inc.
- [24] Pohl, W. 2011. *Economic Geology: Principles and Practice. Metals, Minerals, Coal and Hydrocarbons – Introduction to Formation and Sustainable Exploitation of Mineral deposits*. 254-257.
- [25] Portal Minería Chilena. 2015. Disponible en: <http://www.mch.cl/2015/07/01/ingresos-de-la-mineria-fueron-un-16-de-los-totales-en-2001-2014/> [Acceso 06 Diciembre 2016]
- [26] Ray, G. and Webster, I. *Ore Deposits, Tectonics and Metallogeny in the Canadian Cordillera*. Paper 1991-4. Province of British Columbia. 213-252.
- [27] Rojas, D., Cifuentes, C. and Donoso, F. 2015. *Panorama actual de la exploración y su financiamiento*. Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO). Dirección de Estudios y Políticas Públicas.
- [28] Sillitoe, R. 2010. *Porphyry Copper Systems*. Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology. Vol 105. 3-41.
- [29] Taylor, C., Zierenberg, R., Goldfarb, R., Kilburn, J., Seal, R and Kleinkopf, M. 2004. *Preliminary Compilation of Descriptive Geoenvironmental Mineral Deposit Models*. U. S. Geological Survey. 137-144.
- [30] Townley, B. 2006. *Metalogénesis: Hidrotermalismo y Modelos de Yacimientos*. Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile.
- [31] Vivallo, W. and Henríquez, F. 1998. *Génesis común de los yacimientos estratoligados y vetiformes del Jurásico Medio a Superior en la Cordillera de la Costa, Región de Antofagasta, Chile*. Revista geológica de Chile. Vol 25.
- [32] Voisin, L. 2016. Clase *Negocio Minero*. Curso Minería. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería en Minas.
- [33] Williams, P. 2005. *Iron Oxide Copper-Gold Deposits: Geology, Space-Time Distribution, and Possible Modes of Origin*. Society of Economic Geologists Inc. Economic Geology 100th Anniversary Volume. 371-405.
- [34] *Recursos y reservas mineras*. Memoria ANNUAL 2012. Codelco. <https://www.codelco.com/recursos-y-reservas-mineras/memoria2012/2013-04-16/103545.html> [Acceso 06 Diciembre 2016]

Anexos

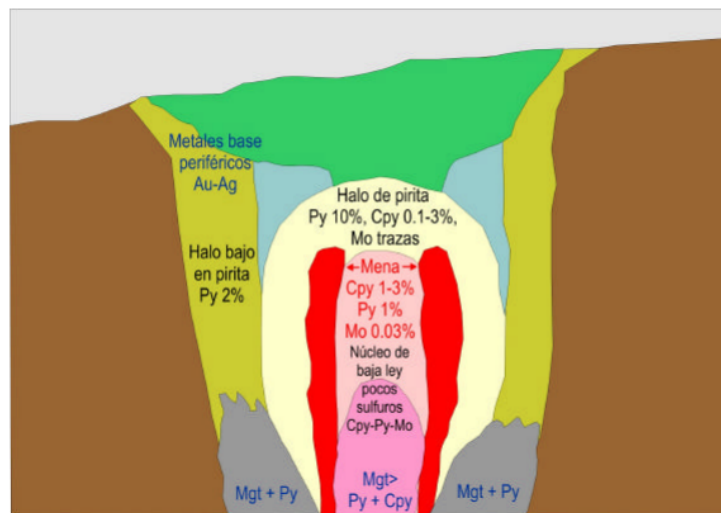
Anexo A – Caracterización de Modelos de Yacimientos

MODELO	PÓRFIDO CUPRÍFERO CU – MO
UBICACIÓN (CHILE)	FRANJAS METALOGÉNICAS: CARBONÍFERO SUPERIOR – TRIÁSICO, CRETÁCICO INFERIOR, PALEOCENO – EOCENO INFERIOR, EOCENO SUPERIOR – OLIGOCENO INFERIOR, MIOCENO - PLIOECENO
ROCA HUÉSPED	ANDESITA, ANDESITA PORFÍRICA, DIORITA, GRANODIORITA, TONALITA, GRANITO, CUARZOMONZONITA, CUARZODIORITA, MONZOGRANITO, SIENITA
MINERALOGÍA MENA	PIRITA, CALCOPIRITA, BORNITA, ENARGITA, TETRAEDRITA, TENANTITA, MOLIBDENITA, ESFALERITA, CALCOSINA, COVELINA, MALAQUITA, CRISOCOLA, ATACAMITA, BROCHANTITA, COPPER WAD, COPPER PITCH, GALENA, ORO, PLATA, COBRE NATIVO, DIGENITA, ENARGITA
MINERALOGÍA ALTERACIÓN	ACTINOLITA, ALBITA, ALUNITA, ANDALUCITA, ANHIDRITA, ANTLERITA, APATITO, BARITINA, BIOTITA, CALCEDONIA, CALCITA, CAOLINITA, CLORITA, CORINDÓN, CUARZO, CUARZO (OQUEROSO), DIÁSPORO, DICKITA, DIÓPSIDO, DUMORTIERITA, EPIDOTA, ESTIBINA, FELDESPATO POTÁSICO, FERRO-MOLIBDITA, FLUORITA, GOETHITA, GRANATE, HEMATITA, HEMATITA (ESPECULARITA), ILLITA, JAROSITA, LIMONITA, LINDGRENITA, MAGNETITA, MOSCOVITA, OLIGOCLASA, PIROFILITA, PIRROTINA, RUTILO, SERICITA, SMECTITA, TELURUROS, TENORITA, TITANITA, TOPACIO, TURMALINA, YESO, ZUNYITA
ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	PROPILÍTICA, POTÁSICA, CALCO – SÓDICA, CLORITA – SERICITA – ARCILLA (SCC), FÍLICA, ARGÍLICA AVANZADA, SUPÉRGENA, ALBITIZACIÓN, CLORITIZACIÓN
ROCAS INTRUSIVAS	[CALCOALCALINAS] ANDESITA PORFÍRICA, CUARZODIORITA, CUARZOMONZONITA, DIORITA, GRANITO, GRANODIORITA, MONZOGRANITO, TONALITA, SIENITA
SIGNATURA GEOQUÍMICA	Ag, As, Au, Ba, Co, Cu, Mn, Mo, Pb, Rb, S, Sb, Se, Te, Zn, B, Bi, Sn, Sr, U, W
ESTILOS DE MINERALIZACIÓN	CHIMENEA DE BRECHA, BRECHA FREÁTICA, BRECHA FREATO – MAGMÁTICA, BRECHA DE DIATREMA, DISEMINADO, VETAS Y VETILLAS, STOCKWORK, INCLUSIONES
FORMA	CONCÉNTRICA, ELÍPTICA, ELONGADA, SEMI – CIRCULAR, IRREGULAR
VOLUMEN	ORDEN DE LAS GTON O MAYOR
ASOCIADOS A	SKARN CU, EPITERMAL ALTA/BAJA SULFURACIÓN, PÓRFIDO CUPRÍFERO CU – AU
REFERENCIAS	[1] Sillitoe, R. 2010. <i>Porphyry Copper Systems</i> . Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology. Vol 105. 3-41. [2] Pirajno, F. 2009. <i>Hydrothermal Processes and Mineral Systems</i> . Geological Survey of Western Australia. 355-422 [3] Gandhi, S. and Sarkar, B. 2016. <i>Essentials of Mineral Exploration and Evaluation</i> . Elsevier. 23-52. [4] Townley, B. 2006. <i>Metalogénesis: Hidrotermalismo y Modelos de Yacimientos</i> . Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 51-59. [5] MaksaeV, V. 2004. <i>Pórfidos Cupríferos</i> . Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile.

[6] Cox, D. and Singer, D. 1986. *Mineral Deposit Models*. U. S. Geological Survey. U. S. Geological Survey Bulletin 1693.



Distribución de zonas de alteración hidrotermal en un pórfido cuprífero combinando los modelos de Lowell y Gilbert (1970), Gustafson y Hunt (1975) y Giggenbach (1997). Núcleo de alteración potásica rodeado de alteración filica (cuarzo-sericitica), alteración argílica intermedia local en torno a zona filica, halo externo de alteración propilitica, alteración sódico-cálcica profunda (Carten, 1986; Dilles & Einaudi, 1992) y cubierta de alteración argílica avanzada. (Maksaev, V. 2004).

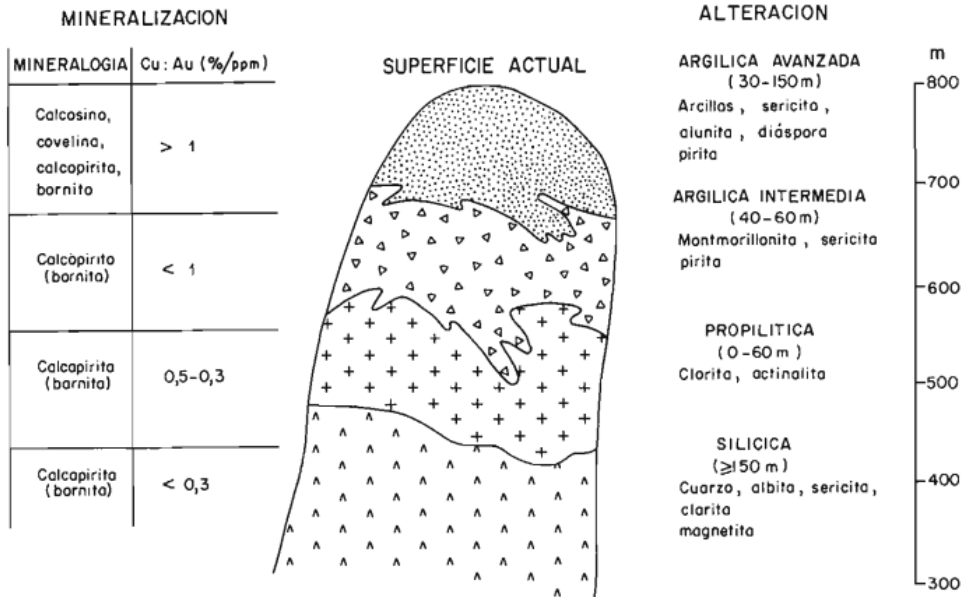


Distribución de minerales de mena en un pórfido cuprífero típico. (Maksaev, V. 2004)

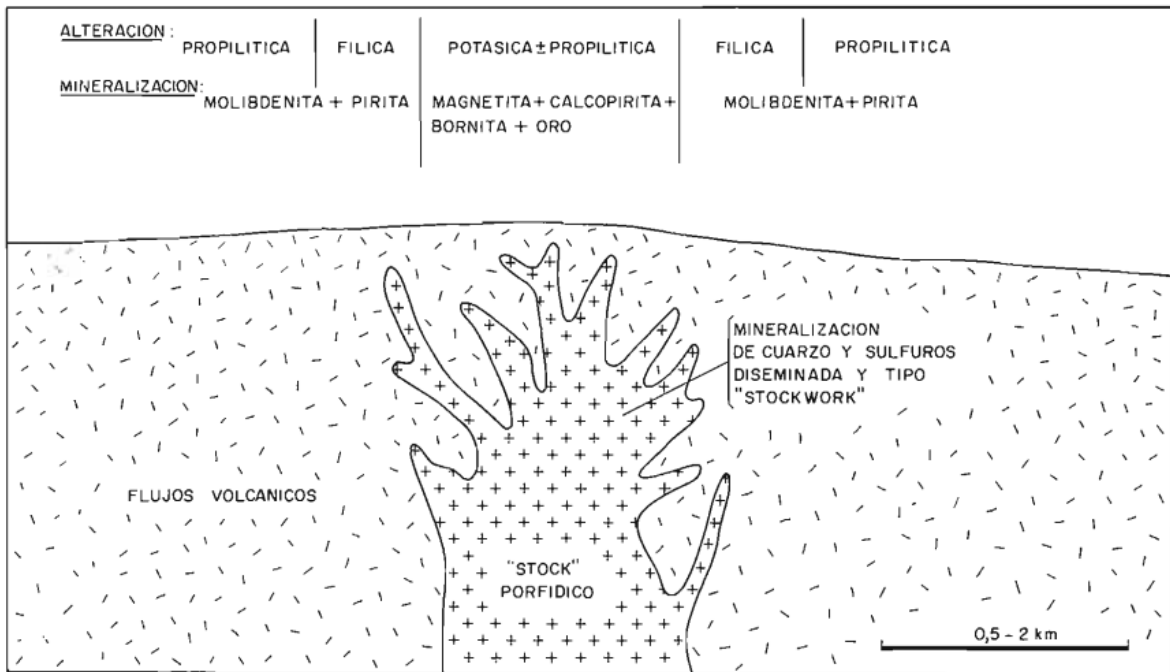


Zonación por efectos supérgenos en un pórfido cuprífero: Gossan o 'sombbrero de hierro' en la parte superior (óxidos e hidróxidos de hierro), seguido en profundidad por una zona lixiviada (escaso contenido metálico), luego de una zona oxidada (minerales oxidados de cobre: crisocola, atacamita, malaquita), luego de una zona de enriquecimiento supérgeno (sulfuros secundarios: calcosina, covelina) y la zona primaria o hipógena en profundidad (sulfuros primarios: calcopirita, bornita, piritita). (Maksaev, V. 2004).

MODELO	PÓRFIDO CUPRÍFERO CU – AU
UBICACIÓN (CHILE)	FRANJAS METALOGÉNICAS: CARBONÍFERO SUPERIOR – TRIÁSICO, CRETÁCICO INFERIOR, CRETÁCICO SUPERIOR, EOCENO SUPERIOR – OLIGOCENO INFERIOR, MIOCENO – PLIOCENO
ROCA HUÉSPED	[CALCOALCALINAS] ANDESITA, BASALTO [ALCALINAS] SIENITA [TOLEÍTICAS] BASALTO TOBA, METABASITA (ANFIBOLITA), GRAUWACKA, TURBIDITA, CONGLOMERADO, ARENISCA, CALIZA
MINERALOGÍA MENA	PIRITA, CALCOPIRITA, CALCOSINA, COVELINA, BORNITA, ORO, MOLIBDENITA, ESFALERITA, GALENA, ELECTRUM, HESSITA, SILVANITA, ENARGITA
MINERALOGÍA ALTERACIÓN	CUARZO, CLORITA, ALBITA, EPIDOTA, SERICITA, BIOTITA, FELDESPATO POTÁSICO, MAGNETITA, MOSCOVITA, CALCITA, ALUNITA, HEMATITA, ACTINOLITA, ILLITA, DIÁSPORO, ANHIDRITA, PIRROTINA, MONTMORILLONITA, HESSITA, SCHEELITA
ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	PROPILÍTICA, POTÁSICA, CLORITA – SERICITA – ARCILLA (SCC), FÍLICA, ARGÍLICA AVANZADA/INTERMEDIA, SILICIFICACIÓN
ROCAS INTRUSIVAS	[CALCOALCALINAS] DIORITA, ANDESITA PORFÍRICA, LATITA PORFÍRICA, MONZONITA, RIODACITA PORFÍRICA, RIOLITA PORFÍRICA [ALCALINAS] MONZONITA, SIENITA [SHOSHONÍTICAS] ANDESITA PORFÍRICA, DACITA PORFÍRICA ADAMELITA
SIGNATURA GEOQUÍMICA	Ag, Au, Cu, Mo, Mn, Pb, Zn
ESTILOS DE MINERALIZACIÓN	DISEMINADO, INCLUSIONES, VETAS Y VETILLAS, STOCKWORK, ELECTRUM, RELLENO
FORMA	CONCÉNTRICA, ELONGADA
VOLUMEN	ORDEN DE CENTENAS A DECENAS DE Mton
ASOCIADOS A	SKARN CU, EPITERMAL ALTA/BAJA SULFURACIÓN, PÓRFIDO CUPRÍFERO CU – MO
REFERENCIAS	[1] Perello, J. and Cabello, J. <i>Pórfidos Cupríferos ricos en oro: una revisión</i> . BHP-Utah International Inc. [2] Cox, D. and Singer, D. 1986. <i>Mineral Deposit Models</i> . U. S. Geological Survey. U. S. Geological Survey Bulletin 1693.



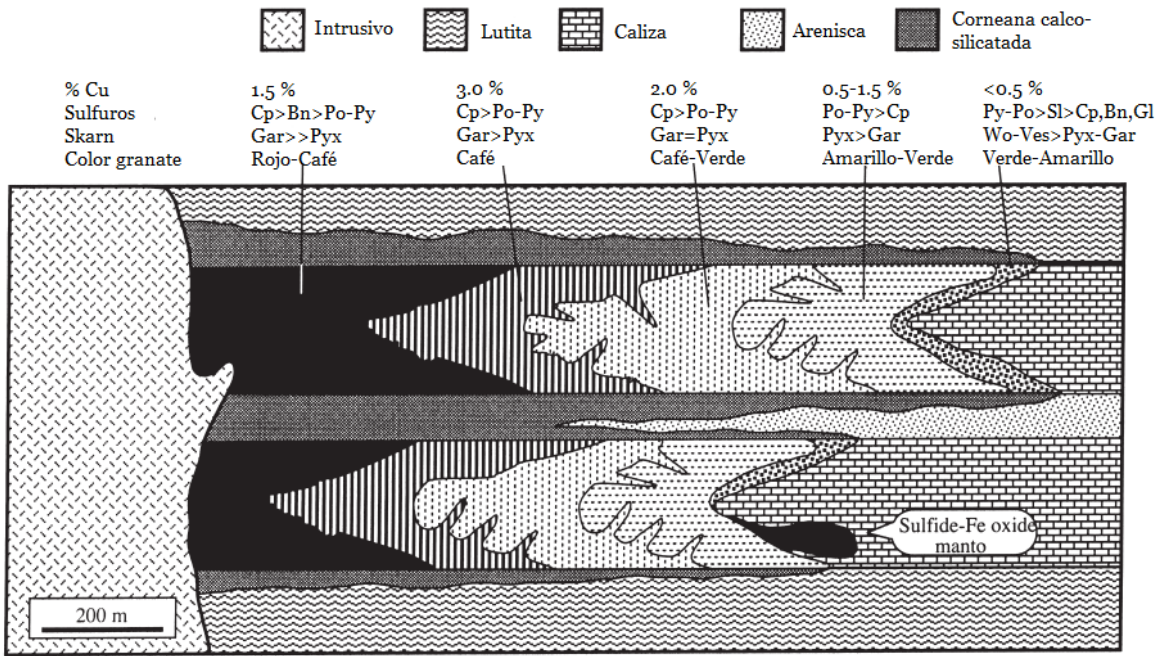
Modelo de alteración y mineralización en el pórfido de Cu – Au Cabang, Sulawesi, Indonesia. Simplificado de Carlile y Kirkegaard (1985).



Relación entre alteración hidrotermal, mineralización metálica y mineralización de oro en un típico pórfido de Cu – Au idealizado. Simplificado de Cox & Singer (1988).

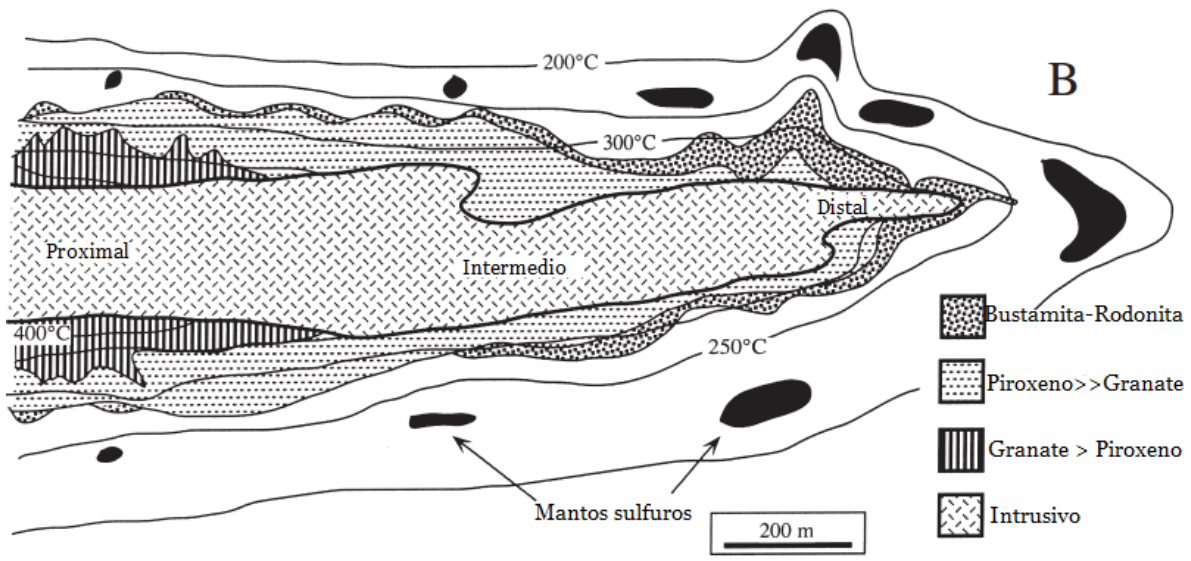
MODELO	SKARN FE
UBICACIÓN (CHILE)	FRANJAS METALOGÉNICAS: CRETÁCICO INFERIOR
ROCA HUÉSPED	DOLOMÍA
MINERALOGÍA MENA	MAGNETITA, PIRITA, CALCOPIRITA, BORNITA, MOLIBDENITA, ESFALERITA
MINERALOGÍA ALTERACIÓN	DIÓPSIDO, BRUCITA, ESPINELA, FLOGOPITA, FORSTERITA, PARGASITA, PERICLASA, SERPENTINA, TALCO, TREMOLITA, XANTOFILITA, CLORITA, ALBITA, EPIDOTA, PIRROTINA, ANDRADITA, HEDENBERGITA, CALCITA, ACTINOLITA, CASITERITA, ESCAPOLITA, FLUOR-BORITA, KOTOITA, LUDWIGITA, SZAIBELITA
ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	CALCO – SILICATADA (Mg), ENDOSKARN, PROPILÍTICA
ROCAS INTRUSIVAS	[CALCOALCALINAS] CUARZOMONZONITA, GRANITO, GRANODIORITA, MONZOGRANITO, TONALITA
SIGNATURA GEOQUÍMICA	Cu, Fe, Ag, Pb, Zn S
ESTILOS DE MINERALIZACIÓN	ESTRATIFORME, REEMPLAZO MASIVO
FORMA	ESTRATIFORME
VOLUMEN	ORDEN DE CENTENAS A DECENAS DE MTon
ASOCIADOS A	SKARN CU
REFERENCIAS	<p>[1] Meinert, L. 2005. <i>World Skarn Deposits</i>. Society of Economic Geologists Inc. Economic Geology 100th Anniversary Volume. 299-336.</p> <p>[2] Ray, G. and Webster, I. <i>Ore Deposits, Tectonics and Metallogeny in the Canadian Cordillera</i>. Paper 1991-4. Province of British Columbia. 213-252.</p> <p>[3] Pirajno, F. 2009. <i>Hydrothermal Processes and Mineral Systems</i>. Geological Survey of Western Australia. 535-580.</p> <p>[4] Townley, B. 2006. <i>Metalogénesis: Hidrotermalismo y Modelos de Yacimientos</i>. Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 59-62.</p> <p>[5] Maksaev, V. <i>Depósitos del tipo Skarn</i>. Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile.</p> <p>[6] Cox, D. and Singer, D. 1986. <i>Mineral Deposit Models</i>. U. S. Geological Survey. U. S. Geological Survey Bulletin 1693.</p> <p>[7] Gandhi, S. and Sarkar, B. 2016. <i>Essentials of Mineral Exploration and Evaluation</i>. Elsevier. 23-52.</p>

MODELO	SKARN CU
UBICACIÓN (CHILE)	FRANJAS METALOGÉNICAS: CRETÁCICO INFERIOR
ROCA HUÉSPED	TOBA, CALIZA, GRANODIORITA, TONALITA, GRANITO, CUARZOMONZONITA, MONZOGRANITO, LUTITA, LIMOLITA, DOLOMÍA, ARENISCA, CUARCITA, ORTO-CUARCITA FELDESPÁTICA, DIORITA, RIOLITA, RIODACITA, CUARZOLATITA, MONZONITA [CALCOALCALINAS] ANDESITA, DACITA
MINERALOGÍA MENA	PIRITA, CALCOPIRITA, BORNITA, ESFALERITA, CALCOSINA, MOLIBDENITA, ENARGITA, GALENA, TETRAEDRITA, TENANTITA, COBALTITA, COSALITA
MINERALOGÍA ALTERACIÓN	DIÓPSIDO, TREMOLITA, EPIDOTA, ANDRADITA, ACTINOLITA, VESUVIANITA, WOLLASTONITA, MAGNETITA, TALCO, CLORITA, HEDENBERGITA, CALCITA, CUARZO, SERICITA, BIOTITA, FELDESPATO POTÁSICO, HEMATITA, MONTMORILLONITA, SMECTITA, GRANATE, ÓPALO, GROSULARITA, MONTICELLITA, SIDERITA, PIRROTINA, SCHEELITA, ARSENOPIRITA, LOLLINGITA, BISMUTINA
ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	CALCO – SILICATADA (Ca), ENDOSKARN, POTÁSICA, FÍLICA
ROCAS INTRUSIVAS	[CALCOALCALINAS] CUARZOMONZONITA, GRANODIORITA, MONZOGRANITO, TONALITA, GRANITO, DIORITA, MONZONITA, CUARZOLATITA
SIGNATURA GEOQUÍMICA	Cu, Ag, Au, Pb, Zn, S, Mo, As, Co, Sb, Bi, W
ESTILOS DE MINERALIZACIÓN	ESTRATIFORME, DISEMINADO, VETAS Y VETILLAS, STOCKWORK, REEMPLAZO MASIVO
FORMA	IRREGULAR, TABULAR, VETIFORME
VOLUMEN	ORDEN DE LAS MTon O MENOR
ASOCIADOS A	SKARN FE, SKARN ZN – PB
REFERENCIAS	[1] Meinert, L. 2005. <i>World Skarn Deposits</i> . Society of Economic Geologists Inc. Economic Geology 100 th Anniversary Volume. 299-336. [2] Ray, G. and Webster, I. <i>Ore Deposits, Tectonics and Metallogeny in the Canadian Cordillera</i> . Paper 1991-4. Province of British Columbia. 213-252. [3] Pirajno, F. 2009. <i>Hydrothermal Processes and Mineral Systems</i> . Geological Survey of Western Australia. 535-580. [4] Townley, B. 2006. <i>Metalogénesis: Hidrotermalismo y Modelos de Yacimientos</i> . Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 59-62. [5] MaksaeV, V. <i>Depósitos del tipo Skarn</i> . Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile. [6] Cox, D. and Singer, D. 1986. <i>Mineral Deposit Models</i> . U. S. Geological Survey. U. S. Geological Survey Bulletin 1693. [7] Gandhi, S. and Sarkar, B. 2016. <i>Essentials of Mineral Exploration and Evaluation</i> . Elsevier. 23-52.



Zonación típica en un Skarn de Cu. (Atkinson and Einaudi, 1978).

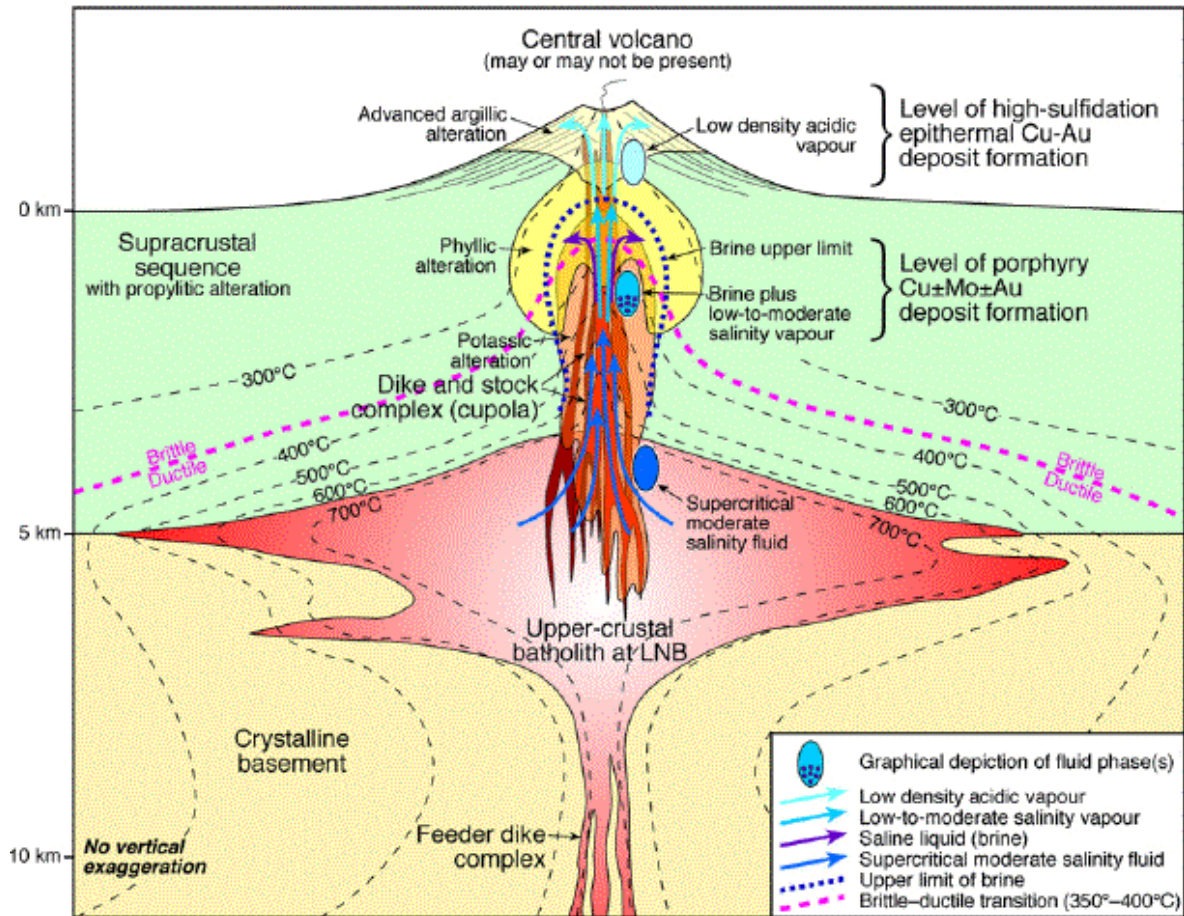
MODELO	SKARN ZN – PB
UBICACIÓN (CHILE)	CRETÁCICO INFERIOR (XI REGIÓN)
ROCA HUÉSPED	CALIZA, LUTITA, LIMOLITA
MINERALOGÍA MENA	ESFALERITA, GALENA, PIRITA, PLATA, CALCOPIRITA, BORNITA, MOLIBDENITA, ORO, ESTANNITA
MINERALOGÍA ALTERACIÓN	TREMOLITA, EPIDOTA, ANDRADITA, ACTINOLITA, CLORITA, HEDENBERGITA, SERPENTINA, RODOCROSITA, ALMANDINO, AXINITA, BUSTAMITA, ESPESARTINA, ILVAITA, JOHANSENITA, RODONITA, CALCITA, SIDERITA, PIRROTINA, FLUORITA, MANGANOSITA, PIROLUSITA, MAGNETITA, HEMATITA, GRANATE, GROSULARITA, SCHEELITA, ARSENOPIRITA, BISMUTINA, CASITERITA, DANNEMORITA
ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	CALCO – SILICATADA (Ca)
ROCAS INTRUSIVAS	[CALCOALCALINAS] CUARZOMONZONITA, GRANODIORITA, MONZOGRANITO, GRANITO, DIORITA, MONZONITA, SIENITA, MONZODIORITA, SIENOGANITO
SIGNATURA GEOQUÍMICA	Cu, Ag, Au, Pb, Zn, As, Co, W, Fe, Mn, Sn, F, S, Be
ESTILOS DE MINERALIZACIÓN	ESTRATIFORME, VETAS Y VETILLAS, REEMPLAZO MASIVO
FORMA	ESTRATIFORME, VETIFORME
VOLUMEN	ORDEN DE LAS MTon O MENOR
ASOCIADOS A	SKARN CU
REFERENCIAS	<p>[1] Meinert, L. 2005. <i>World Skarn Deposits</i>. Society of Economic Geologists Inc. Economic Geology 100th Anniversary Volume. 299-336.</p> <p>[2] Ray, G. and Webster, I. <i>Ore Deposits, Tectonics and Metallogeny in the Canadian Cordillera</i>. Paper 1991-4. Province of British Columbia. 213-252.</p> <p>[3] Pirajno, F. 2009. <i>Hydrothermal Processes and Mineral Systems</i>. Geological Survey of Western Australia. 535-580.</p> <p>[4] Townley, B. 2006. <i>Metalogénesis: Hidrotermalismo y Modelos de Yacimientos</i>. Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 59-62.</p> <p>[5] Maksaev, V. <i>Depósitos del tipo Skarn</i>. Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile.</p> <p>[6] Cox, D. and Singer, D. 1986. <i>Mineral Deposit Models</i>. U. S. Geological Survey. U. S. Geological Survey Bulletin 1693.</p> <p>[7] Gandhi, S. and Sarkar, B. 2016. <i>Essentials of Mineral Exploration and Evaluation</i>. Elsevier. 23-52.</p>



Característica	Proximal	Intermedio	Distal
Granate:Piroxeno	> 1:1	1:20	No garnet
Máx Jo en piroxeno	< 25%	25-50%	> 50%
Óxidos Fe	mt > hm	hm ~ mt	hm > mt
Sulfuros	sl > gl ~ cp	sl > gl > cp	sl ~ gl > cp
Temperatura	> 400°C	320° - 400°C	< 320°C
Salinidad (NaCl eq. wt.%)	> 15 %	7.5-15%	< 7.5%
Zn/Cu	< 10	10-20	> 20
Zn/Pb	> 5	2-5	< 2
Pb/Cu	< 5	5-10	> 10

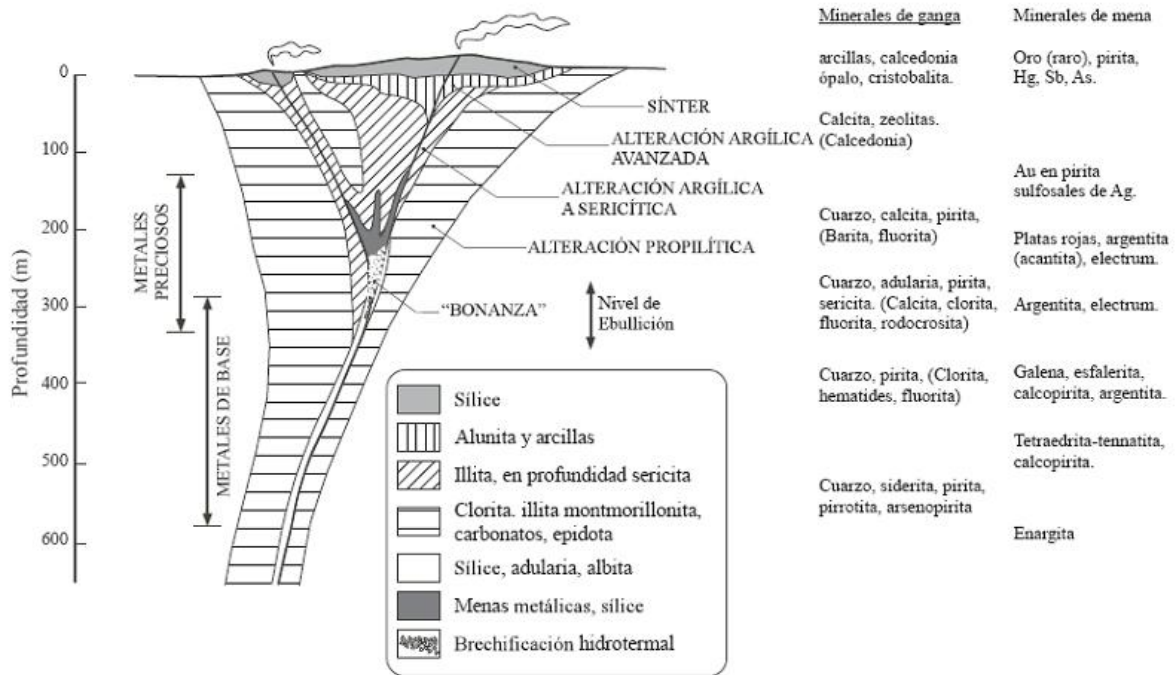
Zonación típica en un Skarn de Zn – Pb. (Meinert, 1987).

MODELO	EPITERMAL ALTA SULFURACIÓN
UBICACIÓN (CHILE)	FRANJAS METALOGÉNICAS: CRETÁCICO SUPERIOR, PALEOCENO – EOCENO INFERIOR, EOCENO SUPERIOR – OLIGOCENO INFERIOR, MIOCENO - Plioceno
ROCA HUÉSPED	[CALCOALCALINAS] ANDESITA, DACITA TOBA, RIODACITA, RIOLITA
MINERALOGÍA MENA	PIRITA, BORNITA, ORO, CALCOSINA, ENARGITA, COVELINA, LUZONITA, ESFALERITA, GALENA, CALCOPIRITA, ELECTRUM, TETRAEDRITA, TENANTITA, SULFOSALES Ag, FAMATINITA, GOLDFIELDITA
MINERALOGÍA ALTERACIÓN	HEMATITA, CUARZO, SERICITA, MONTMORILLONITA, ALUNITA, ILLITA, DIÁSPORO, CAOLINITA, CUARZO (OQUEROSO), DICKITA, PIROFILITA, ANDALUCITA, CORINDÓN, TURMALINA, BARITINA, SÍLICE, CLORITA, ARSENOPIRITA, ÓPALO, TELURUROS, GOETHITA, JAROSITA, LIMONITA, DUMORTIERITA, TOPACIO, ZUNYITA, AZUFRE NATIVO, CRISTOBALITA, HUEBNERITA, MARCASITA, SULFATOS (AL-P), BISMUTINA, SMECTITA, CALCEDONIA, ESTIBINA, CINABRIO, OROPIMENTE
ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	ARGÍLICA AVANZADA/INTERMEDIA, FÍLICA, PROPILÍTICA
ROCAS INTRUSIVAS	[CALCOALCALINAS] GRANODIORITA, DIORITA, TONALITA, CUARZOLATITA
SIGNATURA GEOQUÍMICA	Cu, Au, As, Ag, Pb, Zn, W, Sn, S, Mo, Sb, Bi, Te, B, Hg, Si
ESTILOS DE MINERALIZACIÓN	DISEMINADO, VETAS Y VETILLAS, STOCKWORK, REEMPLAZO MASIVO, CHIMENEA DE BRECHA, BRECHA FREÁTICA, BRECHA FREATO – MAGMÁTICA, BRECHA DE DIATREMA, ELECTRUM
FORMA	IRREGULAR, BOLSÓN, LENTICULAR, VETIFORME
VOLUMEN	ORDEN DE LAS MTon O MENOR
ASOCIADOS A	EPITERMAL BAJA SULFURACIÓN, PLACER AURÍFERO, PÓRFIDO CUPRÍFERO CU – MO / CU - AU
REFERENCIAS	[1] Pirajno, F. 2009. <i>Hydrothermal Processes and Mineral Systems</i> . Geological Survey of Western Australia. 422-533. [2] Townley, B. 2006. <i>Metalogénesis: Hidrotermalismo y Modelos de Yacimientos</i> . Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 63-69. [3] Maksaev, V. <i>Depósitos Epitermales</i> . Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile. [4] Cox, D. and Singer, D. 1986. <i>Mineral Deposit Models</i> . U. S. Geological Survey. U. S. Geological Survey Bulletin 1693. [5] Gandhi, S. and Sarker, B. 2016. <i>Essentials of Mineral Exploration and Evaluation</i> . Elsevier. 23-52.



Perfil esquemático a través de un típico sistema volcánico de arco acoplado batolito – cúpula, con un pórfido Cu-Au asociado, y depósitos epitermales Cu-Au de alta sulfuración relacionados. También se muestra una estructura termal, vías de circulación de fluidos y características durante la principal etapa de actividad hidrotermal, y superimposición de zonas de alteración hidrotermal. Puede asumirse que una alteración propilítica por aguas subterráneas circulantes calentadas afecta a todas las rocas supracorticales en el campo de vista, con mayor intensidad (epidota, actinolita) cerca del intrusivo. Modificado de Richards (2005). (Richards, 2011).

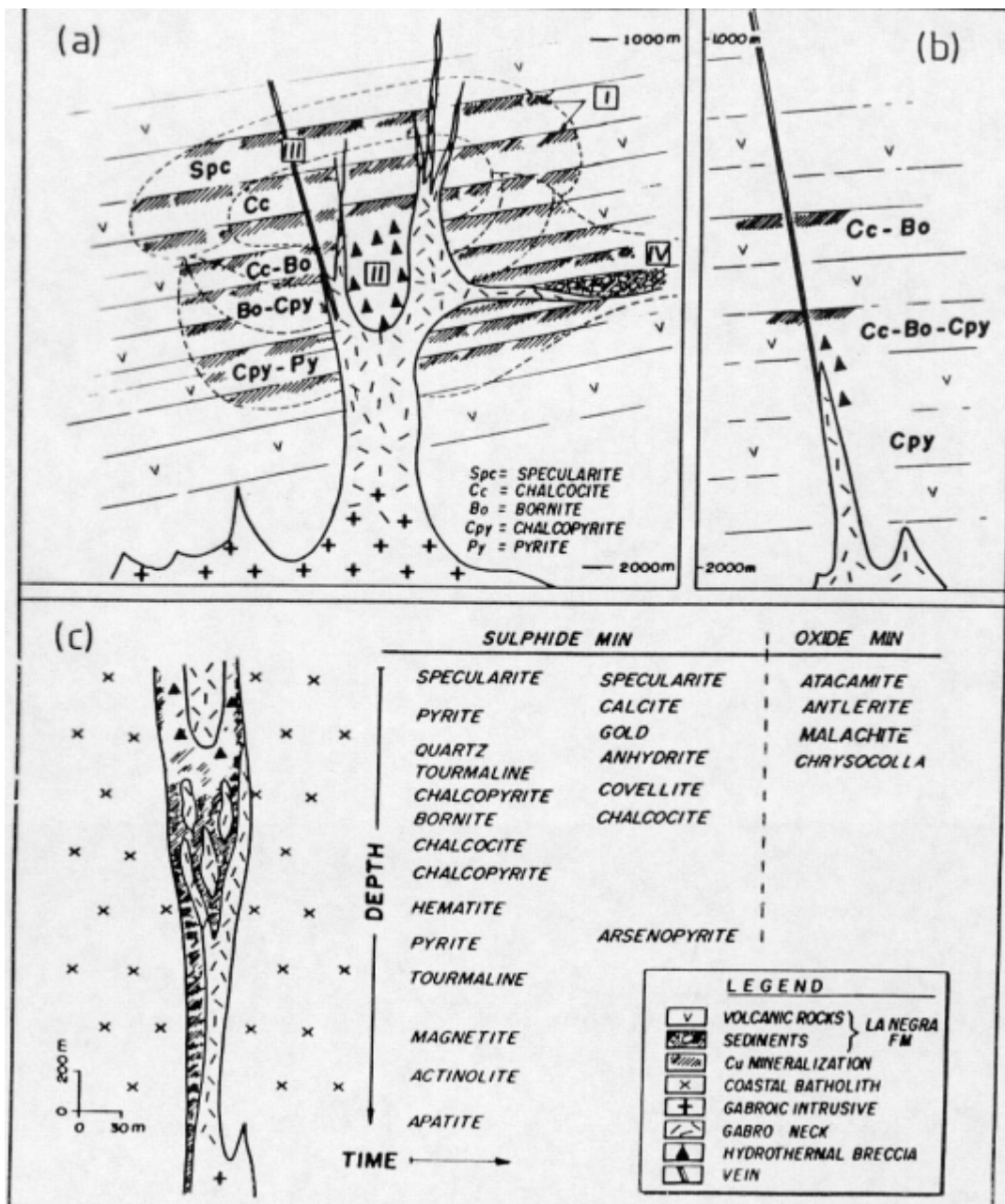
MODELO	EPITERMAL BAJA SULFURACIÓN
UBICACIÓN (CHILE)	FRANJAS METALOGÉNICAS: CRETÁCICO SUPERIOR, PALEOCENO – EOCENO INFERIOR, EOCENO SUPERIOR – OLIGOCENO INFERIOR
ROCA HUÉSPED	[CALCOALCALINAS] ANDESITA, DACITA RIODACITA, IGNIMBRITA, RIOLITA
MINERALOGÍA MENA	PIRITA, ORO, ELECTRUM, PLATA, ARGENTITA, ESFALERITA, GALENA, CALCOPIRITA, TETRAEDRITA, SULFOSALES Ag, NAUMANITA, PIRARGIRITA, ENARGITA, LUZONITA, TENANTITA, MOLIBDENITA, PROUSTITA
MINERALOGÍA ALTERACIÓN	CUARZO, SÍLICE, CLORITA, CALCEDONIA, EPIDOTA, CALCITA, ALBITA, AMATISTA, HEMATITA, SERICITA, MONTMORILLONITA, ALUNITA, ILLITA, CAOLINITA, BARITINA, ARSENOPIRITA, TELURUROS, SMECTITA, RODOCROSITA, PIRROTINA, FLUORITA, LOLLINGITA, ACANTITA, ADULARIA, ÁGATA, GOETHITA, JAROSITA, LIMONITA, ESTIBINA,, CINABRIO, REJALGAR, ROSCOELITA
ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	ARGÍLICA AVANZADA/INTERMEDIA, FÍLICA, PROPILÍTICA, SILICIFICACIÓN
ROCAS INTRUSIVAS	[CALCOALCALINAS] CUARZOLATITA
SIGNATURA GEOQUÍMICA	Cu, Au, As, Ag, Pb, Zn, Sb, Mn, F, Ba, W, S, Te, Hg, Si, Se
ESTILOS DE MINERALIZACIÓN	DISEMINADO, VETAS Y VETILLAS, STOCKWORK, BRECHA FREÁTICA, BRECHA DE DIATREMA, BRECHA FREATO – MAGMÁTICA, REEMPLAZO MASIVO, ELECTRUM
FORMA	BOLSÓN, VETIFORME
VOLUMEN	ORDEN DE LAS MTon O MENOR
ASOCIADOS A	EPITERMAL ALTA SULFURACIÓN, PLACER AURÍFERO, PÓRFIDO CUPRÍFERO CU – MO / CU - AU
REFERENCIAS	[1] Pirajno, F. 2009. <i>Hydrothermal Processes and Mineral Systems</i> . Geological Survey of Western Australia. 422-533. [2] Townley, B. 2006. <i>Metalogénesis: Hidrotermalismo y Modelos de Yacimientos</i> . Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 63-69. [3] Maksaev, V. <i>Depósitos Epitermales</i> . Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile. [4] Cox, D. and Singer, D. 1986. <i>Mineral Deposit Models</i> . U. S. Geological Survey. U. S. Geological Survey Bulletin 1693. [5] Gandhi, S. and Sarkar, B. 2016. <i>Essentials of Mineral Exploration and Evaluation</i> . Elsevier. 23-52.



Esquema estructural general de los depósitos epitermales alcalinos (baja e intermedia sulfuración), modificado de Buchanan (1981), indicando la mineralogía de ganga, la generalización de los patrones de alteración típicos, y la variación en la mineralogía de mena típica en profundidad, y en la morfología de la mineralización. Ello incluye la distribución del síner formado *in situ*, y la superposición de la alteración argílica avanzada derivada de vapores liberados por ebullición en profundidad. La extensión lateral y volumen de las aureolas de alteración depende, en gran manera, de la presencia de litologías permeables: debido a ello, la morfología y extensión de los halos puede variar desde el orden decimétrico hasta el hectométrico, inclusive dentro de un mismo depósito.

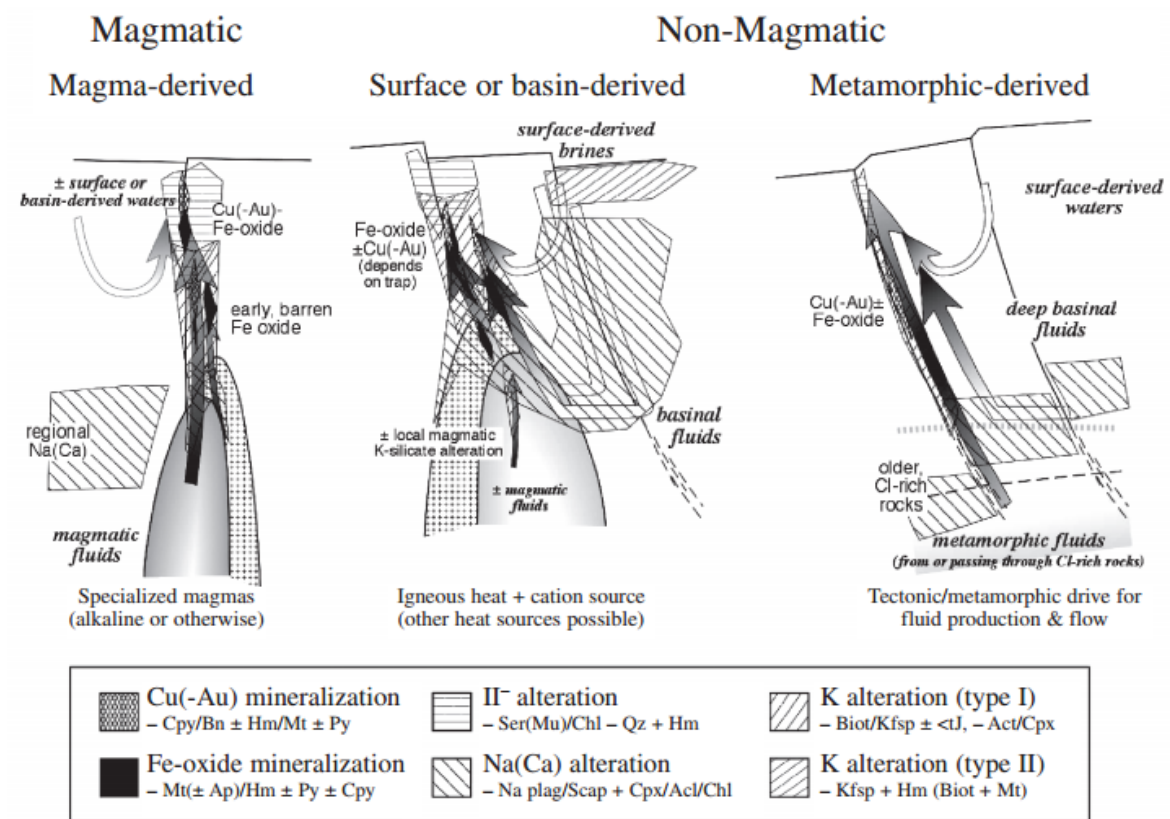
MODELO	ESTRATOLIGADOS CU – AG
UBICACIÓN (CHILE)	FRANJAS METALOGÉNICAS: JURÁSICO, CRETÁCICO INFERIOR
ROCA HUÉSPED	[CALCOALCALINAS] ANDESITA, BASALTO, ANDESITA – BASÁLTICA, DACITA RIOLITA
MINERALOGÍA MENA	PIRITA, PLATA, CALCOPIRITA, BORNITA, CALCOSINA, ATACAMITA, COPPER WAD, CRISOCOLA, MALAQUITA, ESFALERITA, GALENA, TETRAEDRITA, COVELINA, ANTLERITA, BROCANTITA, COBRE NATIVO, DIGENITA, CUPRITA
MINERALOGÍA ALTERACIÓN	CUARZO, CLORITA, EPIDOTA, CALCITA, ALBITA, HEMATITA, HEMATITA (ESPECULARITA), PREHNITA, PUMPELLITA, ZOISITA, SERICITA, ACTINOLITA, MAGNETITA, FELDESPATO POTÁSICO, ESCAPOLITA, TITANITA, YESO, ANALCIMA, ANATASA, CEOLITAS, JASPE, BARITINA, ARSENOPIRITA, PIRROTINA, BISMUTO NATIVO, SAFLORITA
ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	ALBITIZACIÓN, CARBONATACIÓN, ARGÍLICA DÉBIL, METAMORFISMO MUY BAJO/BAJO GRADO, PROPILÍTICA, FÍLICA, SILICIFICACIÓN
ROCAS INTRUSIVAS	[CALCOALCALINAS] DIORITA, ANDESITA PORFÍRICA, OCOITA, GABRO
SIGNATURA GEOQUÍMICA	
ESTILOS DE MINERALIZACIÓN	DISEMINADO, VETAS Y VETILLAS, ESTRATIFORME, RELLENO, CHIMENEA DE BRECHA, CEMENTO, LENTES
FORMA	IRREGULAR, ESTRATIFORME, LENTICULAR, TABULAR, VETIFORME
VOLUMEN	ORDEN DE CENTENAS A DECENAS DE Mton
ASOCIADOS A	-
REFERENCIAS	[1] Vivallo, W. and Henríquez, F. 1998. <i>Génesis común de los yacimientos estratoligados y vetiformes del Jurásico Medio a Superior en la Cordillera de la Costa, Región de Antofagasta, Chile</i> . Revista geológica de Chile. Vol 25. [2] Townley, B. 2006. <i>Metalogénesis: Hidrotermalismo y Modelos de Yacimientos</i> . Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 73-79. [3] MaksaeV, V. <i>Yacimientos Estratoligados de Cu (Ag) chilenos</i> . Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile.

MODELO	ESTRATOLIGADOS CU – FE – AU
UBICACIÓN (CHILE)	FRANJAS METALOGÉNICAS: JURÁSICO
ROCA HUÉSPED	GRANODIORITA, TONALITA, DIORITA, GABRO, GRANITO
MINERALOGÍA MENA	PIRITA, HEMATITA, HEMATITA (ESPECULARITA), CALCOPIRITA, BORNITA, MAGNETITA, ATACAMITA, CRISOCOLA, MALAQUITA, SULFATOS Cu, PLATA, CALCOSINA, COVELINA, ANTLERITA, COBRE NATIVO, ORO, MOLIBDENITA, COBALTITA, CLOANTITA, NIQUELINA, URANINITA
MINERALOGÍA ALTERACIÓN	CUARZO, CLORITA, CALCITA, ALBITA, ACTINOLITA, TURMALINA, APATITO, EPIDOTA, SERICITA, FELDESPATO POTÁSICO, ARSENOPIRITA, SÍLICE, ANHIDRITA
ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	ALBITIZACIÓN, FÍLICA, CLORITIZACIÓN, SILICIFICACIÓN, ACTINOLITIZACIÓN
ROCAS INTRUSIVAS	[CALCOALCALINAS] DIORITA, GABRO, GRANODIORITA, TONALITA, GRANITO, DIABASA
SIGNATURA GEOQUÍMICA	
ESTILOS DE MINERALIZACIÓN	DISEMINADO, VETAS Y VETILLAS, CHIMENEA DE BRECHA, INCLUSIONES
FORMA	VETIFORME, TABULAR
VOLUMEN	ORDEN DE CENTENAS A DECENAS DE MTon
ASOCIADOS A	-
REFERENCIAS	[1] Vivallo, W. and Henríquez, F. 1998. <i>Génesis común de los yacimientos estratoligados y vetiformes del Jurásico Medio a Superior en la Cordillera de la Costa, Región de Antofagasta, Chile</i> . Revista geológica de Chile. Vol 25. [2] Townley, B. 2006. <i>Metalogénesis: Hidrotermalismo y Modelos de Yacimientos</i> . Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 73-79.

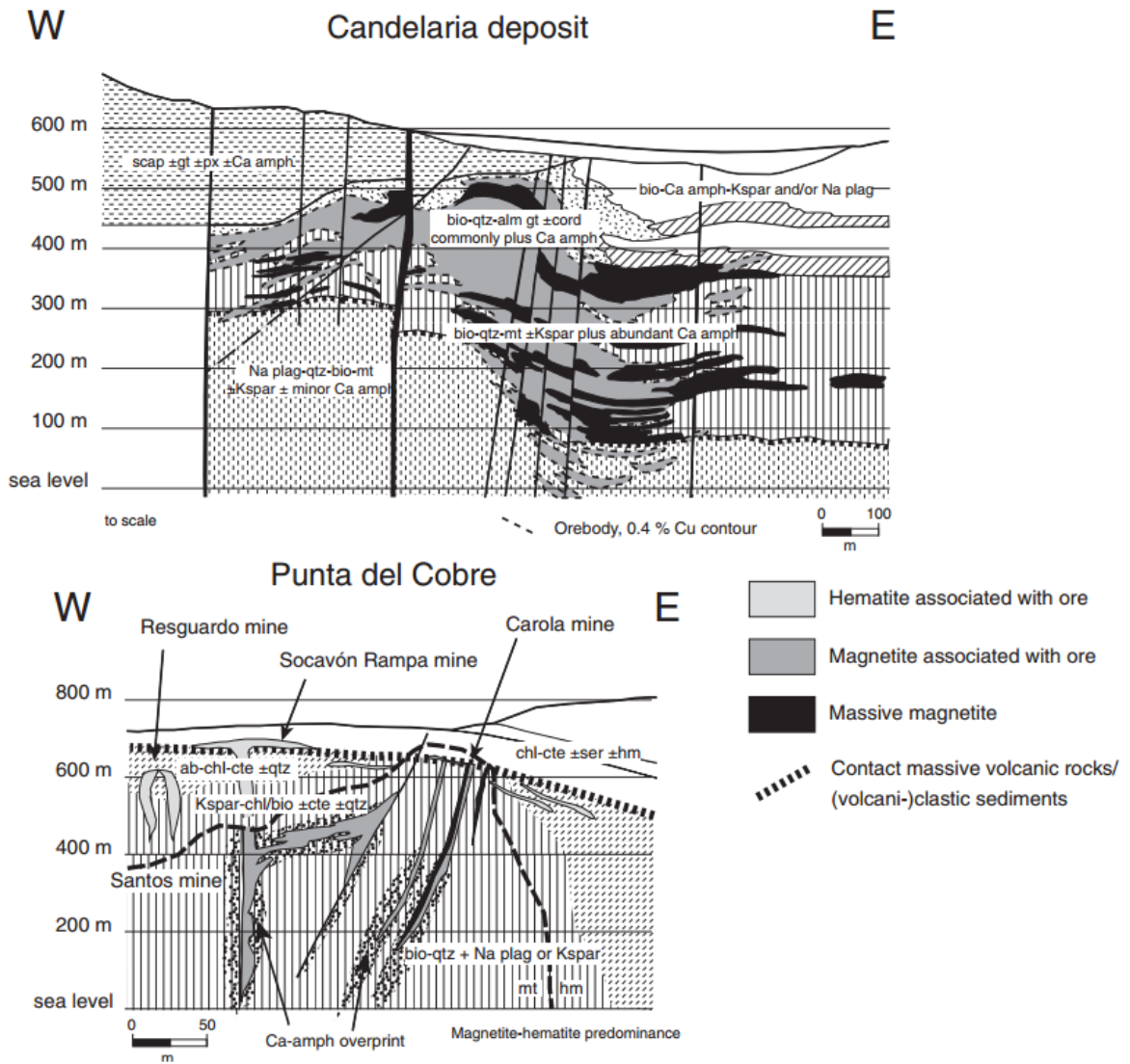


Perfiles esquemáticos de yacimientos del tipo estratoligados de cobre. (1) Estratoligados Cu-Ag hospedados en rocas volcánicas, sub-tipos (a) Buena Esperanza y (b) Carolina de Michillas, (2) Estratoligados Cu-Fe-Au hospedados en rocas plutónicas, sub-tipo (c) Montecristo. (Espinoza, 1996).

MODELO	IRON OXIDE COPPER GOLD (IOCG)
UBICACIÓN (CHILE)	FRANJAS METALOGÉNICAS: JURÁSICO, CRETÁCICO INFERIOR
ROCA HUÉSPED	[CALCOALCALINAS] ANDESITA, DACITA METABASITA (ESQUISTOS VERDES), GRAUWACKA, CALIZA, LUTITA
MINERALOGÍA MENA	ORO, PIRITA, CALCOPIRITA, ANTLERITA, ATACAMITA, BROCANTITA, CRISOCOLA, HEMATITA, HEMATITA ESPECULARITA, MAGNETITA, ESFALERITA, GALENA, MOLIBDENITA, BORNITA, CALCOSINA, COVELINA, COBALTITA, COBRE NATIVO, CUBANITA, CUPRITA, MALAQUITA, MONACITA, COSALITA, URANINITA, FLUOR - CARBONATOS
MINERALOGÍA ALTERACIÓN	CUARZO, CLORITA, ALBITA, CALCITA, EPIDOTA, SERICITA, ACTINOLITA, ANHIDRITA, BIOTITA, FELDESPATO POTÁSICO, MOSCOVITA, SIDERITA, BARITINA, ARSENOPIRITA, FLUORITA, PIRROTINA, LIMONITA, TURMALINA, MARCASITA, APATITO, CLORAPATITO, ESCAPOLITA, GRANATE, HEDENBERGITA, HORNBLENDA, NEOTOCITA, SULFOSALES (BI), TALCO, TITANITA, DOLOMITA, ESTILPNOMELANA, GREENALITA, MINESOTAITA, SCHEELITA, URANINITA
ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	PROFILÍTICA, POTÁSICA, CALCO – SÓDICA, FÍLICA, CLORITIZACIÓN, CARBONATACIÓN
ROCAS INTRUSIVAS	[CALCOALCALINAS] CUARZOMONZONITA, DIORITA, GRANITO, GRANODIORITA, MONZODIORITA, MONZONITA, SIENOGRANITO, TONALITA [ALCALINAS] CUARZOMONZONITA, DIORITA, GRANODIORITA, MONZODIORITA, MONZONITA, SIENOGRANITO, TONALITA
SIGNATURA GEOQUÍMICA	As, Au, Ba, Cu, F, Fe, Mo, Ni, Ag, Co, P, REE, Ti, U, Zn
ESTILOS DE MINERALIZACIÓN	VETAS Y VETILLAS, STOCKWORK, DISEMINADO, CHIMENEA DE BRECHA, ELECTRUM, INCLUSIONES, LENTES, REEMPLAZO MASIVO
FORMA	ESTRATIFORME, LENTICULAR, TABULAR, VETIFORME
VOLUMEN	ORDEN DE LAS GTon O MAYOR
ASOCIADOS A	ESTRATOLIGADOS CU – AG, IRON OXIDE APATITE (IOA)
REFERENCIAS	[1] Williams, P. 2005. <i>Iron Oxide Copper-Gold Deposits: Geology, Space-Time Distribution, and Possible Modes of Origin</i> . Society of Economic Geologists Inc. Economic Geology 100 th Anniversary Volume. 371-405. [2] Pirajno, F. 2009. <i>Hydrothermal Processes and Mineral Systems</i> . Geological Survey of Western Australia. 306-354. [3] Cox, D. and Singer, D. 1986. <i>Mineral Deposit Models</i> . U. S. Geological Survey. U. S. Geological Survey Bulletin 1693. [4] MaksaeV, V. <i>Yacimientos de Óxidos de Fe-Cu-Au chilenos</i> . Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile. [5] Gandhi, S. and Sarkar, B. 2016. <i>Essentials of Mineral Exploration and Evaluation</i> . Elsevier. 23-52.



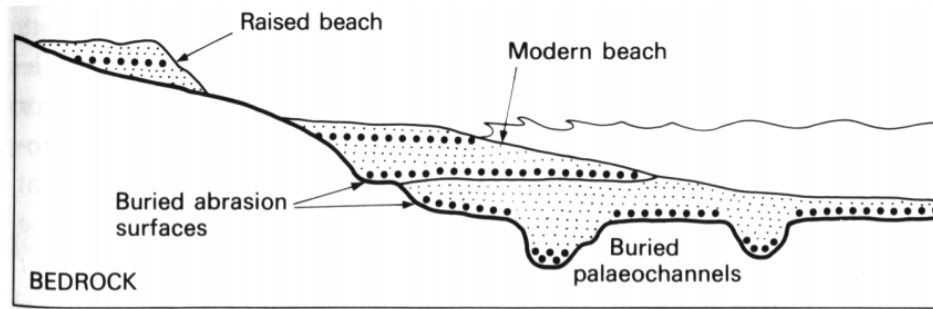
Ilustraciones esquemáticas de modelos alternativos para depósitos tipo IOCG, con vías de flujos y características hidrotermales. (Williams, 2005).



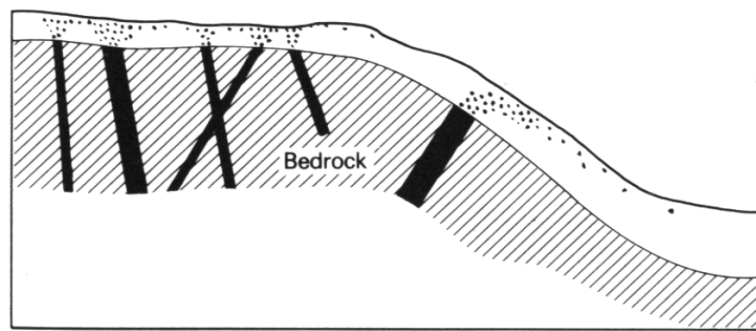
Secciones esquemáticas a través del depósito Candelaria y depósitos seleccionados en Punta del Cobre. (Marschik and Fontboté, 2001 a).

MODELO	IRON OXIDE APATITE (IOA)
UBICACIÓN (CHILE)	FRANJAS METALOGÉNICAS: JURÁSICO, CRETÁCICO INFERIOR
ROCA HUÉSPED	[CALCOALCALINAS] ANDESITA, DACITA RIODACITA, ALUVIAL
MINERALOGÍA MENA	MAGNETITA, PIRITA, HEMATITA, HEMATITA ESPECULARITA, CALCOPIRITA, RUTILO, ORO, ESFALERITA, MOLIBDENITA, CALCOSINA, COVELINA,
MINERALOGÍA ALTERACIÓN	CUARZO, ALBITA, EPIDOTA, ACTINOLITA, BIOTITA, FELDESPATO POTÁSICO, APATITO, ESCAPOLITA, HORNBLENDA, TITANITA, SÍLICE, ALUNITA, AZUFRE NATIVO, ANDESINA, DIÓPSIDO, YESO, CLORITA, SERICITA, BARITINA, FLUORITA, LIMONITA, CLORAPATITO, GRANATE, CAOLINITA, NATROALUNITA, SANIDINA, TRIDIMITA, ANHIDRITA, PIRROTINA, TURMALINA, ALMANDINO, CORDIERITA, CUMMINGTONITA, GRUNERITA
ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	POTÁSICA, CALCO – SÓDICA, CLORITA – SERICITA – ARCILLA (SCC), ARGÍLICA AVANZADA, ALBITIZACIÓN, ACTINOLITIZACIÓN, SILICIFICACIÓN, TURMALINIZACIÓN
ROCAS INTRUSIVAS	[CALCOALCALINAS] DIORITA, MONZONITA, SIENITA
SIGNATURA GEOQUÍMICA	Fe, P, Ti, S, V, Ba, Cu, F, Co, Bi
ESTILOS DE MINERALIZACIÓN	VETAS Y VETILLAS, ESTRATIFORME, REEMPLAZO MASIVO, RELLENO, CEMENTO
FORMA	CONCÉNTRICA, IRREGULAR, BOLSÓN, ESTRATIFORME, LENTICULAR, VETIFORME
VOLUMEN	ORDEN DE CENTENAS A DECENAS DE M Ton
ASOCIADOS A	IRON OXIDE COPPER GOLD (IOCG)
REFERENCIAS	[1] Williams, P. 2005. <i>Iron Oxide Copper-Gold Deposits: Geology, Space-Time Distribution, and Possible Modes of Origin</i> . Society of Economic Geologists Inc. Economic Geology 100 th Anniversary Volume. 371-405. [2] Cox, D. and Singer, D. 1986. <i>Mineral Deposit Models</i> . U. S. Geological Survey. U. S. Geological Survey Bulletin 1693. [3] MaksaeV, V. <i>Yacimientos de Hierro chilenos</i> . Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile.

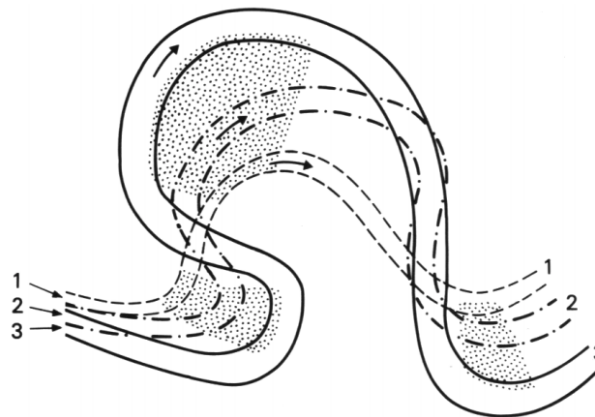
MODELO	PLACER AURÍFERO
UBICACIÓN (CHILE)	LITORAL COSTERO FRANJAS METALOGÉNICAS: JURÁSICO, CRETÁCICO INFERIOR, CRETÁCICO SUPERIOR, PALEOCENO – EOCENO INFERIOR
ROCA HUÉSPED	ALUVIAL, ALUVIAL – FLUVIAL, COLUVIAL, FLUVIAL, MORRÉNICO, GLACIO – FLUVIAL, GLACIO – LACUSTRE, ARENAS (PLAYA)
MINERALOGÍA MENA	[DETRÍTICO] ORO
MINERALOGÍA GANGA	[DETRÍTICO] CUARZO, FELDESPATO, ILMENITA, MAGNETITA
ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	-
ROCAS INTRUSIVAS	-
SIGNATURA GEOQUÍMICA	Fe, S, Cu, As, Ag, Hg, Sb
ESTILOS DE MINERALIZACIÓN	ESTRATIFICADA, ESTRATIFORME
FORMA	ESTRATIFORME
VOLUMEN	ORDEN DE LAS MTON O MENOR
ASOCIADOS A	PLACER TITANÍFERO, SKARN CU, PÓRFIDO CUPRÍFERO CU – MO / CU – AU
REFERENCIAS	[1] Greiner, G. 1991. <i>Características y Distribución de los Placeres Auríferos de Chile</i> . Empresa Nacional de Minería (ENAMI). Santiago, Chile. [2] Cox, D. and Singer, D. 1986. <i>Mineral Deposit Models</i> . U. S. Geological Survey. U. S. Geological Survey Bulletin 1693. [3] Gandhi, S. and Sarkar, B. 2016. <i>Essentials of Mineral Exploration and Evaluation</i> . Elsevier. 23-52. [4] Maksaev, V. <i>Procesos sedimentarios: Depósitos Alóctonos</i> . Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile.



Perfil esquemático que ilustra algunos lugares de formación de placeres de playa (línea punteada gruesa). (Maksaev, V.).



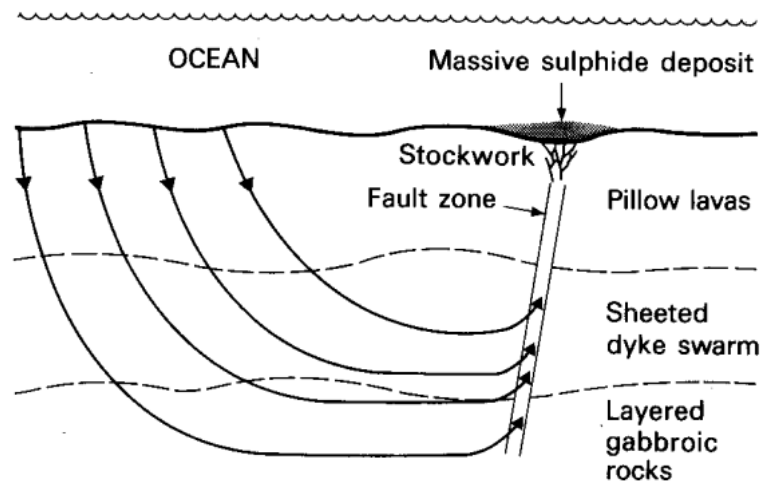
Formación de placeres residuales (izquierda) y aluviales (derecha) por la meteorización de vetas con casiterita. (Maksaev, V.).



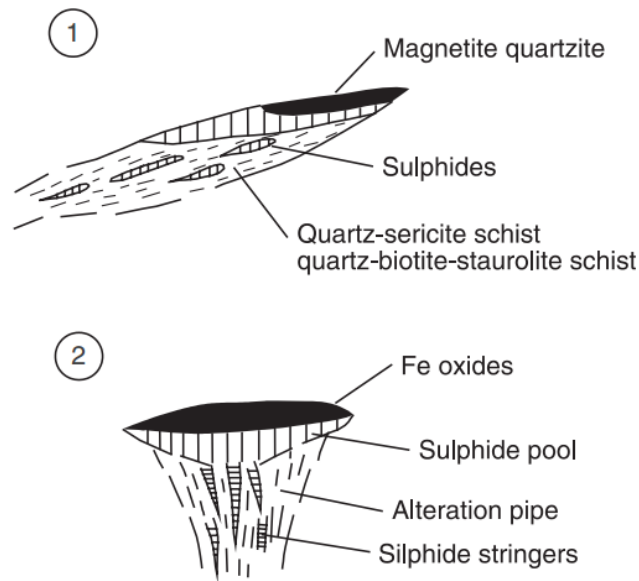
Formación de placeres (zonas punteadas) en un cauce de flujo rápido con meandros migrantes, en donde la acumulación de los placeres se extiende lateralmente y aguas abajo. La posición inicial es 1, y la actual es 3. (Maksaev, V.).

MODELO	PLACER TITANÍFERO
UBICACIÓN (CHILE)	LITORAL COSTERO
ROCA HUÉSPED	ARENAS (PLAYA, DUNA, BAHÍA)
MINERALOGÍA MENA	[DETRÍTICO] ILMENITA, LEUCOXENO, RUTILO
MINERALOGÍA GANGA	[DETRÍTICO] CUARZO, FELDESPATO, MAGNETITA, APATITO, CIANITA, CIRCÓN, GRANATE, MONACITA, PIROXENO, TITANITA, TURMALINA, ANFÍBOL
ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	-
ROCAS INTRUSIVAS	-
SIGNATURA GEOQUÍMICA	Fe, Ti, REE, U, Th, Zr, Cr, Sn
ESTILOS DE MINERALIZACIÓN	ESTRATIFICADA
FORMA	ESTRATIFORME, ELONGADA
VOLUMEN	ORDEN DE CENTENAS A DECENAS DE Mton
ASOCIADOS A	PLACER AURÍFERO
REFERENCIAS	[1] Pohl, W. 2011. <i>Economic Geology: Principles and Practice. Metals, Minerals, Coal and Hydrocarbons – Introduction to Formation and Sustainable Exploitation of Mineral deposits.</i> 254-257. [2] Cox, D. and Singer, D. 1986. <i>Mineral Deposit Models.</i> U. S. Geological Survey. U. S. Geological Survey Bulletin 1693. [3] Gandhi, S. and Sarkar, B. 2016. <i>Essentials of Mineral Exploration and Evaluation.</i> Elsevier. 23-52.

MODELO	SÚLFUROS MASIVOS VOLCANOGÉNICOS (VMS) TIPO BESSHI
UBICACIÓN (CHILE)	PALEOZOICO (X, XII REGIÓN)
ROCA HUÉSPED	METABASITA (ESQUISTOS VERDES, ANFIBOLITA), METAPELITA (DISTENA, GRANATE, CLORITA, ESTAUROLITA, BIOTITA), TURBIDITA, GRAUWACKA, ARENISCA, CUARCITA [TOLEÍTICAS] BASALTO
MINERALOGÍA MENA	PIRITA, CALCOPIRITA, ESFALERITA, ORO, CALCOSINA, COVELINA, CRISOCOLA, GALENA, BORNITA, MALAQUITA, ELECTRUM, PLATA, DIGENITA, WURTZITA, MOLIBDENITA, COBALTITA, CUBANITA, TETRAEDRITA, ACANTITA, ENARGITA, LUZONITA, ANGLÉSITA, ARGENTO-JAROSITA, BEAVERITA, BEUDANTITA, ESTANNITA, HINSDALITA, LITARGIRIO, PLUMBO-JAROSITA, VALLERITA
MINERALOGÍA ALTERACIÓN	CUARZO, ALBITA, CLORITA, PIRROTINA, TURMALINA, CALCITA, MOSCOVITA, MAGNETITA, HORNBLENDA, SÍLICE, BARITINA, LIMONITA, ANHIDRITA, MARCASITA, TALCO, GOETHITA, JAROSITA, ANKERITA, JASPE, GRANATE, BISMUTO NATIVO, ESCORODITA, META-ALUMINITA, VALLERITA, WOODHOUSEITA
ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	FÍLICA, CLORITIZACIÓN, CARBONATACIÓN, SUPÉRGENA, CALCO-SILICATADA (Ca)
ROCAS INTRUSIVAS	[ALCALINAS] GABRO
SIGNATURA GEOQUÍMICA	Cr, Cu, Ag, Co, Ni, Zn, Au
ESTILOS DE MINERALIZACIÓN	VETAS Y VETILLAS, DISEMINADO, REEMPLAZO MASIVO, BANDAS, ELECTRUM
FORMA	ELONGADA, LENTICULAR, TABULAR
VOLUMEN	ORDEN DE LAS MTON O MENOR
ASOCIADOS A	-
REFERENCIAS	[1] Pirajno, F. 2009. <i>Hydrothermal Processes and Mineral Systems</i> . Geological Survey of Western Australia. 581-726. [2] Taylor, C., Zierenberg, R., Goldfarb, R., Kilburn, J., Seal, R and Kleinkopf, M. 2004. <i>Preliminary Compilation of Descriptive Geoenvironmental Mineral Deposit Models</i> . U. S. Geological Survey. 137-144. [3] Cox, D. and Singer, D. 1986. <i>Mineral Deposit Models</i> . U. S. Geological Survey. U. S. Geological Survey Bulletin 1693.

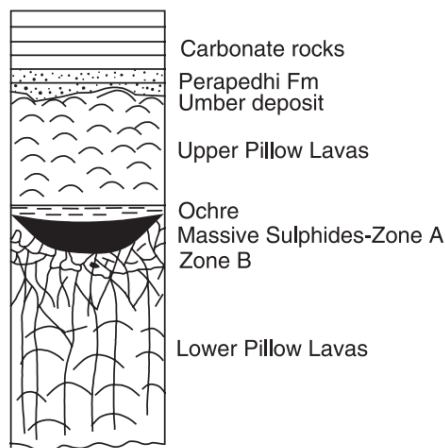


Esquema que muestra el sistema de circulación de aguas marinas que dan origen a depósitos de sulfuros masivos en los fondos oceánicos. (Maksaev, V.)



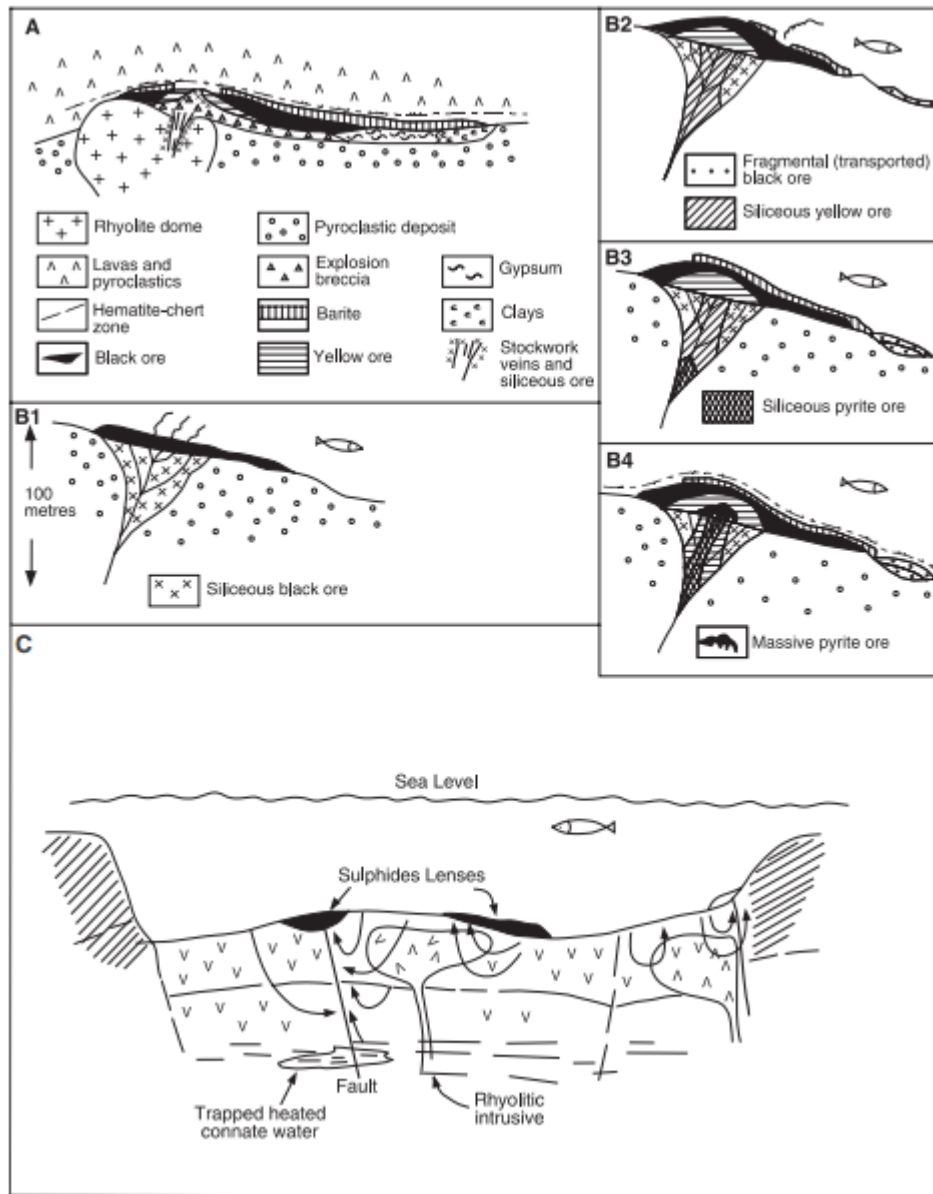
Reconstrucción de un lente mineralizado ideal en el prospecto Gorob, en el extreme SW del Matchless Amphibolite Belt (MAB), Namibia. (1) Relaciones observadas en terreno de un lente mineralizado deformado muestra una sucesión de cuarcita con magnetita, mineralización de sulfuros (gossan) y una zona de esquistos de cuarzo-sericita y esquistos de cuarzo-biotita-estauroлита encerrando vetillas y lentes sulfurados. (2) Lentes mineralizados reconstruidos, basados en la interpretación de que los esquistos de cuarzo-sericita y cuarzo-biotita-estauroлита representan el equivalente metamórfico de una envoltura de alteración silícea y potásica que contienen vetillas de sulfuros (posibles canales alimentadores de los lentes mineralizados). (Pirajno, 1992).

MODELO	SÚLFUROS MASIVOS VOLCANOGÉNICOS (VMS) TIPO CHIPRE
UBICACIÓN (CHILE)	PALEOZOICO (X, XII REGIÓN)
ROCA HUÉSPED	[TOLEÍTICAS] BASALTO
MINERALOGÍA MENA	PIRITA, CALCOPIRITA, ESFALERITA, ORO, PLATA, COBALTITA, ACANTITA, ENARGITA, LUZONITA, ANGRESITA, ARGENTO-JAROSITA, BEAVERITA, BEUDANTITA, HINSDALITA, LITARGIRIO, PLUMBO-JAROSITA, BROCCANTITA,
MINERALOGÍA ALTERACIÓN	CUARZO, ALBITA, CLORITA, SÍLICE, JASPE, EPIDOTA, CALCEDONIA, CELADONITA, CEOLITAS, CHERT, LAUMONTITA, MORDENITA, PIRROTINA, MARCASITA, CAOLINITA, ILLITA, BARITINA, LIMONITA, GOETHITA, BISMUTO NATIVO, ESCORODITA, META-ALUMINITA, MAGHEMITA, WOODHOUSEITA
ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	FÍLICA, SILICIFICACIÓN, PROPILÍTICA, METAMORFISMO MUY BAJO/BAJO GRADO, CLORITIZACIÓN
ROCAS INTRUSIVAS	DUNITA, HARZBURGITA, PERIDOTITA, PIROXENITA [TOLEÍTICAS] DIABASA
SIGNATURA GEOQUÍMICA	Cu, Zn, Au
ESTILOS DE MINERALIZACIÓN	VETAS Y VETILLAS, STOCKWORK, DISEMINADO, INCLUSIONES, REEMPLAZO MASIVO, MENAS CONGLOMERÁDICAS
FORMA	LENTICULAR
VOLUMEN	ORDEN DE LAS MTON O MENOR
ASOCIADOS A	-
REFERENCIAS	[1] Pirajno, F. 2009. <i>Hydrothermal Processes and Mineral Systems</i> . Geological Survey of Western Australia. 581-726. [2] Taylor, C., Zierenberg, R., Goldfarb, R., Kilburn, J., Seal, R and Kleinkopf, M. 2004. <i>Preliminary Compilation of Descriptive Geoenvironmental Mineral Deposit Models</i> . U. S. Geological Survey. 137-144. [3] Cox, D. and Singer, D. 1986. <i>Mineral Deposit Models</i> . U. S. Geological Survey. U. S. Geological Survey Bulletin 1693.



Sección esquemática a través de un típico depósito de sulfuros masivos volcánogenico tipo Chipre, con rocas sobreyacentes. (Hadjistavrinou and Constantinou, 1982).

MODELO	SÚLFUROS MASIVOS VOLCANOGÉNICOS (VMS) TIPO KUROKO
UBICACIÓN (CHILE)	PALEOZOICO (X, XII REGIÓN)
ROCA HUÉSPED	[CALCOALCALINAS] DACITA [TOLEÍTICAS] BASALTO RIOLITA, RIODACITA, TOBA
MINERALOGÍA MENA	PIRITA, CALCOPIRITA, ESFALERITA, GALENA, ORO, BORNITA, TETRAEDRITA, TENANTITA, ARGENTITA, GERMANTITA
MINERALOGÍA ALTERACIÓN	CUARZO, CLORITA, CHERT, BARITINA, ANHIDRITA, YESO, SERICITA, MONTMORILLONITA, SMECTITA, EPIDOTA, CEOLITAS, MORDENITA, CALCITA, ESTIBINA, REJALGAR, ALABASTRO, HEULANDITA, SELENITA, SIDERITA, DOLOMITA
ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	FÍLICA, CLORITIZACIÓN, SERICITA – CLORITA – ARCILLA (SCC)
ROCAS INTRUSIVAS	[TOLEÍTICAS] DIABASA
SIGNATURA GEOQUÍMICA	Cu, Zn, Pb, Au, Ag, Ni, Fe, Sn, As, Hg, Sb, Ba, Bi, Mo, Se
ESTILOS DE MINERALIZACIÓN	VETAS Y VETILLAS, STOCKWORK, DISEMINADO, ESTRATIFORME, RELLENO, LENTES
FORMA	ESTRATIFORME, VETIFORME
VOLUMEN	ORDEN DE LAS MTon O MENOR
ASOCIADOS A	EPITERMAL BAJA SULFURACIÓN
REFERENCIAS	[1] Pirajno, F. 2009. <i>Hydrothermal Processes and Mineral Systems</i> . Geological Survey of Western Australia. 581-726 [2] Gandhi, S. and Sarkar, B. 2016. <i>Essentials of Mineral Exploration and Evaluation</i> . Elsevier. 23-52. [3] Taylor, C., Zierenberg, R., Goldfarb, R., Kilburn, J., Seal, R and Kleinkopf, M. 2004. <i>Preliminary Compilation of Descriptive Geoenvironmental Mineral Deposit Models</i> . U. S. Geological Survey. 137-144.

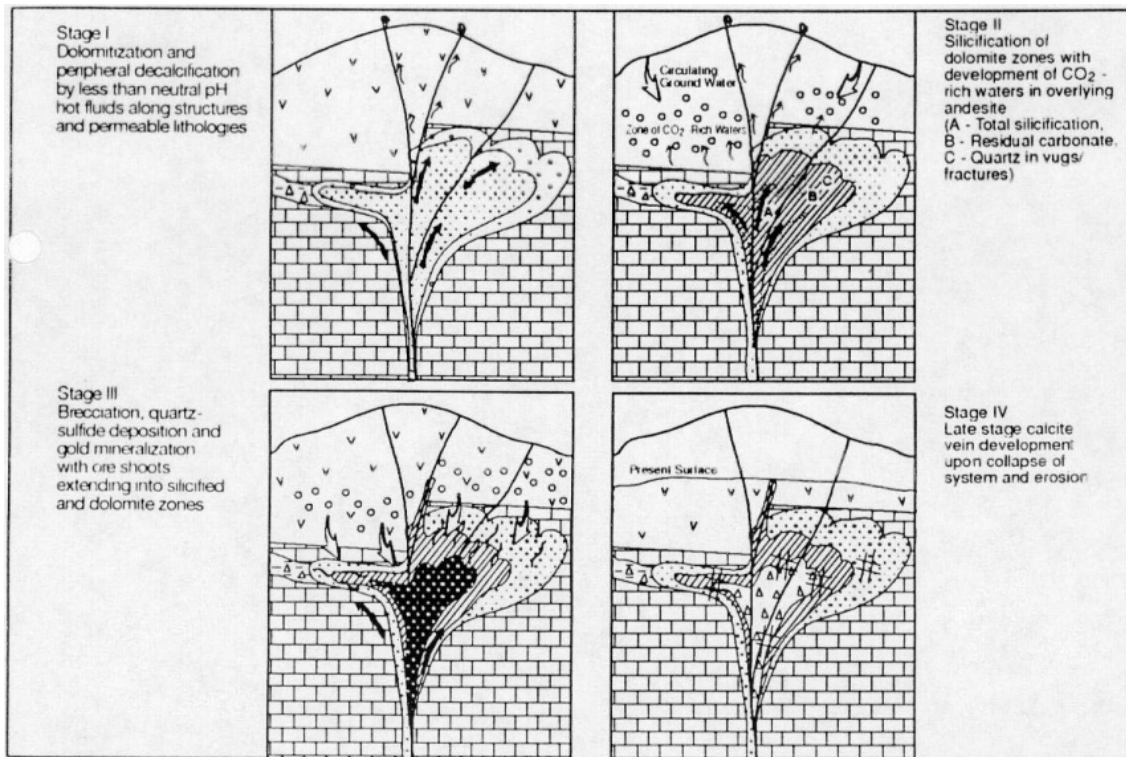


Se muestran dos modelos genéticos para sulfuros masivos volcanogénicos tipo Kuroko, ideados por Sato (1974) (A, B) y Ohmoto y Rye (1974) (C).

En el primero, las menas masivas sulfuradas descansan en el techo de domos riolíticos, mientras que en el segundo los sulfuros masivos fueron acumulados en depresiones, más específicamente en el suelo de calderas submarinas.

MODELO	SÚLFUROS MASIVOS VOLCANOGÉNICOS (VMS) TIPO NORANDA
UBICACIÓN (CHILE)	PALEOZOICO (X, XII REGIÓN)
ROCA HUÉSPED	[TOLEÍTICAS] BASALTO, ANDESITA, DACITA RIOLITA, ANDESITA – BASÁLTICA, KOMATITA, ADAKITA, TOBA
MINERALOGÍA MENA	PIRITA, CALCOPIRITA, ESFALERITA, GALENA, ORO, PLATA, BORNITA, TETRAEDRITA, TENANTITA, ACANTITA, GAHNITA, ARGENTITA, GERMANTITA, COBALTITA, ENARGITA, LUZONITA, ANGLESITA, ARGENTO-JAROSITA, BEAVERITA, BEUDANTITA, HINSDALITA, LITARGIRIO, PLUMBO-JAROSITA, BROCCANTITA
MINERALOGÍA ALTERACIÓN	CUARZO, CLORITA, CHERT, SERICITA, CALCITA, SÍLICE, PIRROTINA, MONTMORILLONITA, CEOLITAS, ALBITA, MAGNETITA, ANHIDRITA, BARITINA, YESO, SMECTITA, EPIDOTA, MORDENITA, ESTIBINA, REJALGAR, ALABASTRO, HEULANDITA, SELENITA, SIDERITA, DOLOMITA, JASPE, CALCEDONIA, CELADONITA, LAUMONTITA, MARCASITA, CAOLINITA, ILLITA, LIMONITA, GOETHITA, BISMUTO NATIVO, ESCORODITA, META-ALUMINITA, WOODHOUSEITA, MAGHEMITA
ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	FÍLICA, CLORITIZACIÓN, SERICITA – CLORITA – ARCILLA (SCC), SILICIFICACIÓN
ROCAS INTRUSIVAS	[CALCOALCALINAS] DIORITA, GRANODIORITA, TONALITA TRONDJEMITA
SIGNATURA GEOQUÍMICA	Cu, Zn, Pb, Au, Ag, Ni, Fe, Sn, As, Hg, Sb, Ba, Bi, Mo, Se
ESTILOS DE MINERALIZACIÓN	VETAS Y VETILLAS, RELLENO, DISEMINADO, LENTES
FORMA	CONCÉNTRICA, LENTICULAR
VOLUMEN	ORDEN DE LAS MTon O MENOR
ASOCIADOS A	EPITERMAL BAJA SULFURACIÓN
REFERENCIAS	[1] Pirajno, F. 2009. <i>Hydrothermal Processes and Mineral Systems</i> . Geological Survey of Western Australia. 581-726 [2] Gandhi, S. and Sarkar, B. 2016. <i>Essentials of Mineral Exploration and Evaluation</i> . Elsevier. 23-52. [3] Taylor, C., Zierenberg, R., Goldfarb, R., Kilburn, J., Seal, R and Kleinkopf, M. 2004. <i>Preliminary Compilation of Descriptive Geoenvironmental Mineral Deposit Models</i> . U. S. Geological Survey. 137-144.

MODELO	DEPÓSITOS DE ORO TIPO CARLIN
UBICACIÓN (CHILE)	FRANJAS METALOGÉNICAS: CRETÁCICO SUPERIOR, MIOCENO – PLIOCENO
ROCA HUÉSPED	CALIZA, LUTITA, DOLOMÍA, LIMOLITA
MINERALOGÍA MENA	PIRITA, ORO, CALCOPIRITA, ESFALERITA, GALENA, MOLIBDENITA
MINERALOGÍA ALTERACIÓN	CUARZO, CHERT, SERICITA, CALCITA, BARITINA, ESTIBINA, REJALGAR, SIDERITA, DOLOMITA, JASPE, MARCASITA, CAOLINITA, ILLITA, ANKERITA, ARSENOPIRITA, DICKITA, CARLINITA, SMECTITA, CINABRIO, OROPIMENTE, TELURUROS
ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	FÍLICA, SILICIFICACIÓN, SUPÉRGENA, DOLOMITIZACIÓN, ARGÍLICA INTERMEDIA
ROCAS INTRUSIVAS	-
SIGNATURA GEOQUÍMICA	Au, As, Hg, Sb, Tl, W, Ag, Mo, F, Te
ESTILOS DE MINERALIZACIÓN	VETAS Y VETILLAS, DISEMINADO, INCLUSIONES
FORMA	IRREGULAR, ESTRATIFORME, TABULAR
VOLUMEN	ORDEN DE CENTENAS A DECENAS DE MTon
ASOCIADOS A	PÓRFIDO CUPRÍFERO CU – MO
REFERENCIAS	[1] Pirajno, F. 2009. <i>Hydrothermal Processes and Mineral Systems</i> . Geological Survey of Western Australia. 965-974. [2] Townley, B. 2006. <i>Metalogénesis: Hidrotermalismo y Modelos de Yacimientos</i> . Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 70-73.



Modelo evolutivo para yacimientos de oro tipo Carlin. (Corbett & Leach, 1994).

MODELO	SEDIMENTARIO EXHALATIVO (SEDEX)
UBICACIÓN (CHILE)	PALEOZOICO (X, XII REGIÓN)
ROCA HUÉSPED	LUTITA, LIMOLITA, ARENISCA, DOLOMÍA
MINERALOGÍA MENA	PIRITA, ESFALERITA, GALENA, CALCOPIRITA, MOLIBDENITA, TETRAEDRITA, COBALTITA, ENARGITA, CALCOSINA, COVELINA, CELSIANA, FREIBERGITA, MILLERITA
MINERALOGÍA ALTERACIÓN	CUARZO, CHERT, SERICITA, CALCITA, BARITINA, SIDERITA, DOLOMITA, ILLITA, ANKERITA, CLORITA, SÍLICE, PIRROTINA, ALBITA, MOSCOVITA, HEMATITA, FLOGOPITA, FLUOR-APATITO, MICROCLINA, TURMALINA, TALCO, FELDESPATO POTÁSICO, MARCASITA, ARSENOPIRITA, VALLERITA, BISMUTINA, CASITERITA, MELNICKOVITA
ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	CLORITIZACIÓN, SILICIFICACIÓN, CARBONATACIÓN, ALBITIZACIÓN, TURMALINIZACIÓN, DOLOMITIZACIÓN, CARBONATACIÓN Fe - Mg
ROCAS INTRUSIVAS	-
SIGNATURA GEOQUÍMICA	Cu, Zn, Pb, Ba, Ag
ESTILOS DE MINERALIZACIÓN	VETAS Y VETILLAS, DISEMINADO, BANDAS, LAMINACIONES, REEMPLAZO MASIVO
FORMA	CILÍNDRICO, ESTRATIFORME, LENTICULAR, TABULAR
VOLUMEN	ORDEN DE CENTENAS A DECENAS DE MTon
ASOCIADOS A	-
REFERENCIAS	[1] Cox, D. and Singer, D. 1986. <i>Mineral Deposit Models</i> . U. S. Geological Survey. U. S. Geological Survey Bulletin 1693. [2] Pirajno, F. 2009. <i>Hydrothermal Processes and Mineral Systems</i> . Geological Survey of Western Australia. 781-815.

Anexo B.- Parametrización de variables en modelos

Anexo B.1.- Mineralogía correlacionada

MINERALOGÍA CORELACIONADA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Acantita	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	10	0
Actinolita	0	10	30	30	0	0	20	30	30	20	30	30	0	0	0	0	0	0	0
Adularia	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ágata	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alabastro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
Albita	0	20	0	0	0	30	30	30	30	30	30	30	0	30	30	30	0	20	0
Almandino	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
Alunita	0	0	0	0	30	20	0	0	30	20	0	30	0	0	0	0	0	0	0
Amatista	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Analcima	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anatasa	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andalucita	0	0	0	0	30	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andesina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0
Andradita	0	20	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anfibol (detrítico)	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anglesita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0
Anhidrita	0	0	0	0	0	0	0	20	20	20	30	10	0	0	20	0	30	10	0
Ankerita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	20	0	0	0	30
Antlerita	0	0	0	0	0	0	10	20	20	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0
Apatito	0	0	0	0	0	0	0	30	10	0	20	30	0	0	0	0	0	0	0
Apatito (detrítico)	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Argentita	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
Argentojarosita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0
Arsenopirita	0	0	10	10	20	20	10	20	0	0	20	0	0	10	0	0	0	0	30
Atacamita	0	0	0	0	0	0	20	30	30	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0
Axinita	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Azufre nativo	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0
Azurita	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Baritina	0	0	0	0	30	20	10	0	10	0	20	20	0	30	20	10	30	0	30
Beaverita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0
Beudantita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0
Biotita	0	0	20	0	0	0	0	0	30	30	30	30	0	0	0	0	0	0	0
Bismutina	0	0	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
Bismuto nativo	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0
Bornita	0	20	30	10	30	0	20	30	20	30	20	0	0	0	20	0	20	20	0
Brochantita	0	0	0	0	0	0	10	0	20	0	30	0	0	0	0	10	0	0	0
Brucita	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bustamita	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Calcedonia	0	0	0	0	10	30	0	0	20	0	0	0	0	0	0	30	0	0	
Calcita	0	10	20	20	0	30	30	30	30	20	30	0	0	30	30	0	20	30	30
Calcopirita	0	20	30	10	20	20	20	30	30	30	30	20	0	20	30	30	30	30	20
Calcosina	0	0	20	0	30	0	20	20	30	30	20	10	0	10	20	0	0	0	0
Caolinita	0	0	0	0	30	20	0	0	30	0	0	20	0	0	0	20	0	0	30
Carlinita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
Casiterita	0	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
Celadonita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0
Celsiana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
Ceolitas	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	30	20	20	0
Chert	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	30	30	30	30
Cianita (detrítico)	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cinabrio	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
Circón (detrítico)	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cloantita	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Clorapatito	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	0	0	0	0	0	0	0
Clorita	0	20	20	30	20	30	30	30	30	30	30	20	0	30	30	30	30	30	0
Cobaltita	0	0	10	0	0	0	0	10	0	0	20	0	0	10	10	10	0	0	0
Cobre nativo	0	0	0	0	0	0	10	20	20	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
Copper Pitch	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Copper Wad	0	0	0	0	0	0	20	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cordierita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
Corindón	0	0	0	0	30	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cosalita	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Covelina	0	0	0	0	30	0	10	20	30	30	20	10	0	10	20	0	0	0	0
Crisocola	0	0	0	0	0	0	20	30	30	0	30	0	0	0	20	0	0	0	0
Cristobalita	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuarzo (detrítico)	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0
Cuarzo	0	0	20	0	30	30	30	30	30	30	30	30	0	30	30	30	30	30	30
Cuarzo (vuggy)	0	0	0	0	30	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cubanita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	10	0	0	0	0
Cumingtonita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
Cuprita	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
Dannemorita	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diásporo	0	0	0	0	30	0	0	0	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dickita	0	0	0	0	30	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
Digenita	0	0	0	0	0	0	10	0	20	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0
Diópsido	0	30	30	0	0	0	0	0	20	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0
Dolomita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	30	0	0	10	0	30
Dumortierita	0	0	0	0	20	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Epidota	0	20	30	30	0	30	30	20	30	30	30	30	0	0	0	30	20	0	0
Electrum	0	0	0	0	20	30	0	0	0	20	0	0	0	0	20	0	0	0	0
Enargita	0	0	10	0	30	10	0	0	20	20	0	0	0	10	10	10	0	0	0

Escapolita	0	10	0	0	0	0	20	0	0	0	20	30	0	0	0	0	0	0
Escorodita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0
Esfalerita	0	20	20	30	20	20	10	0	10	20	20	10	0	30	30	20	30	30
Espesartina	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Espinela	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estannita	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0
Estibina	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	20	0
Estilpnomelana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
Famatinita	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Feldespató (detrítico)	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0
Feldespató K	0	0	20	0	0	0	20	20	30	30	30	30	0	20	0	0	0	0
Ferro-molibdita	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flogopita	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0
Fluor-apatito	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0
Fluor-borita	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fluoro-carbonatos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0
Fluorita	0	0	0	20	0	20	0	0	20	0	20	20	0	0	0	0	0	0
Forsterita	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Freibergita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
Gahnita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Galena	0	0	10	30	20	20	10	0	10	20	20	0	0	30	20	0	30	30
Germantita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0
Goethita	0	0	0	0	20	10	0	0	20	0	0	0	0	0	20	10	0	0
Goldfieldita	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Granate	0	0	20	10	0	0	0	0	20	0	20	20	0	0	10	0	0	0
Granate (detrítico)	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Greenalita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
Grosularita	0	0	20	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grunerita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0
Hedenbergita	0	20	20	30	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0
Hematita	0	0	20	10	30	20	30	30	30	20	30	20	0	30	0	0	0	0
Hematita (especularita)	0	0	0	0	0	0	30	30	30	0	30	20	0	0	0	0	0	0
Hessita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Heulandita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0
Hinsdalita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0
Hornblenda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	30	0	0	20	0	0	0
Huebnerita	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Illita	0	0	0	0	30	20	0	0	20	20	0	0	0	30	0	20	0	0
Ilmenita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ilmenita (detrítico)	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0
Ilvaita	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jarosita	0	0	0	0	20	10	0	0	20	0	0	0	0	0	20	0	0	0

Jaspe	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	20	30	0	0	30
Johansenita	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kotoita	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Laumontita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0
Leucoxeno (detrítico)	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limonita	0	0	0	0	20	10	0	0	20	0	20	20	0	0	20	10	0	0	0
Lindgrenita	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Litargirio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0
Lollingita	0	0	10	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ludwigita	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luzonita	0	0	0	0	30	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0
Maghemita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0
Magnetita (detrítica)	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0
Magnetita	0	30	20	10	0	0	20	30	30	30	30	30	0	0	20	0	0	20	0
Malaquita	0	0	0	0	0	0	20	30	30	0	20	0	0	0	20	0	0	0	0
Manganosita	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Marcasita	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	20	0	0	10	20	20	0	0	30
Melnickovita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
Meta-aluminita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0
Microclina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0
Millerita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
Minesotaita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Molibdenita	0	20	10	10	0	10	0	10	20	20	20	10	0	10	10	0	0	0	10
Monacita (detrítica)	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Monacita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
Monticellita	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Montmorillonita	0	0	20	0	30	20	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	30	20	0
Mordenita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	20	0	0
Moscovita	0	0	0	0	0	0	0	0	20	30	30	0	0	30	30	0	0	0	0
Natroalunita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0
Neotocita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
Niquelina	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oligoclasa	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ópalo	0	0	20	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oro (detrítico)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0
Oro (nativo)	0	0	0	10	30	30	0	20	20	20	30	10	0	0	20	10	20	20	30
Oropimente	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
Pargasita	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Periclasa	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pirargirita	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pirita	0	20	30	20	30	30	30	30	30	30	30	20	0	30	30	30	30	30	30

Pirofilita	0	0	0	0	30	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pirolusita	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Piroxeno (detrítico)	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pirrotina	0	20	10	20	0	20	10	0	10	20	20	10	0	30	30	20	0	30
Plata (nativa)	0	0	0	20	0	30	20	20	20	0	0	0	0	0	20	10	0	20
Plumbojarosita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0
Prehnita	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Proustita	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pumpellita	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rejalgar	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	30
Rodocrosita	0	0	0	30	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rodonita	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Roscoelita	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rutilo	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	20	0	0	0	0	0	0
Rutilo (detrítico)	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Saflorita	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sanidina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0
Scheelita	0	0	10	10	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0
Selenita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0
Naumanita	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sericita	0	0	20	0	30	20	20	20	30	30	30	20	0	30	0	0	30	30
Serpentina	0	30	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Siderita	0	0	20	20	0	0	0	0	0	0	30	0	0	30	0	0	10	30
Sílice	0	0	0	0	30	30	0	20	0	0	0	30	0	30	20	30	0	30
Silvanita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Smectita	0	0	20	0	10	20	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	30	20
Sulfatos (Al-P)	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sulfatos (Cu)	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sulfosales (Ag)	0	0	0	0	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sulfosales (Bi)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0
Szaibelita	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Talco	0	30	20	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	20	20	0	0	0
Telururos	0	0	0	0	20	20	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Telururos (Au)	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tenantita	0	0	10	0	20	10	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	20	10
Tenorita	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tetraedrita	0	0	10	0	20	20	10	0	20	0	0	0	0	10	10	0	20	10
Titanita	0	0	0	0	0	0	20	0	10	0	20	30	0	0	0	0	0	0
Titanita (detrítico)	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Topacio	0	0	0	0	20	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tremolita	0	30	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tridimita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0
Turmalina	0	0	0	0	30	0	0	30	20	0	20	10	0	20	30	0	0	0

Turmalina (detritico)	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Uraninita	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
Vallerita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0
Vesuvianita	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wollastonita	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Woodhouseita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0
Wurtzita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0
Xantofilita	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Yeso	0	0	0	0	0	0	20	0	10	0	0	30	0	0	0	0	30	0
Zoicita	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zunyita	0	0	0	0	20	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo B.2.- Mineralogía excluyente

MINERALOGIA_EXCLUYENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Adularia	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Azufre nativo	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Baritina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0
Bismutina	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Calcita	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Seleniuro (Ag) Naumanita	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Yeso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0

Anexo B.3.- Roca huésped

ROCA_HUÉSPED	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Adakita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0
Andesita	0	0	15	0	30	30	30	0	30	30	30	30	0	0	0	0	0	30	0
Andesita (dique)	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andesita (brecha)	0	0	15	0	30	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0
Andesita (porfírica)	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andesita (lava)	0	0	15	0	30	30	30	0	0	30	30	30	0	0	0	0	0	30	0
Andesita (lava) [Calcoalcalina]	0	0	15	0	30	30	30	0	0	30	30	30	0	0	0	0	0	0	0
Andesita-basáltica (lava)	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0
Andesita-basáltica (lava) [calcoalcalina]	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andesita (lava) [toleítica]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0
Andesita-basáltica (lava)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0
Aluvial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	30	0	0	0	0	0	0
Aluvial-fluvial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0
Coluvial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0
Fluvial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0
Morrénico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0
Glacio-fluvial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0
Glacio-lacustre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0
Arenas (playa)	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0
Arenas (dunas)	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arenas (bahías)	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arenisca	0	0	15	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	30	30	0	0	0	0
Arenisca (calcárea)	0	0	15	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Basalto	0	0	0	0	0	0	30	0	0	30	0	0	0	0	30	30	15	30	0
Basalto (lava)	0	0	0	0	0	0	30	0	0	30	0	0	0	0	30	30	15	30	0
Basalto (lava) [calcoalcalina]	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Basalto (pillow lava)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	30	0	0	0
Basalto (pillow lava) [Calco-alcalino]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Basalto (pillow lava) [toleítica]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0
Basalto (lava) [toleítica]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	30	30	15	30	0
Caliza	0	0	30	30	0	0	0	0	0	15	30	0	0	0	0	0	0	0	30
Caliza (limosa)	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Caliza (silícica)	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Conglomerado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Cuarcita	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0
Cuarcita (calcárea)	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dacita	0	0	15	0	30	30	15	0	0	0	30	30	0	0	0	0	30	30
Dacita (brecha)	0	0	15	0	30	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0
Dacita (dique)	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dacita (lava)	0	0	15	0	30	30	15	0	0	0	30	30	0	0	0	0	30	30
Dacita (lava) [calcoalcalina]	0	0	15	0	30	30	15	0	0	0	30	30	0	0	0	0	30	0
Dacita (lava) [toleítica]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0
Dolomita	0	30	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	30
Anfibolita [metabasita]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	30	0	0	0
Esquistos verdes [metabasita]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	30	0	0	0
[Metapelita] Distena	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0
[Metapelita] Granate	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0
[Metapelita] Clorita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0
[Metapelita] Estauroлита	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0
[Metapelita] Biotita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0
Grauvaca	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	30	0	0	0	30	0	0	0
Ignimbrita	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Komatita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
Lutita	0	0	30	30	0	0	0	0	0	0	30	0	0	30	0	0	0	30
Lutita (calcárea)	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0
Limolita	0	0	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	30
Limolita (calcárea)	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0
Orto-cuarcita	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Orto-cuarcita (feldespática)	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Riodacita	0	0	15	0	30	30	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	30	0
Riodacita (brecha)	0	0	15	0	30	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0
Riodacita (dique)	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Riodacita (lava)	0	0	15	0	30	30	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	30	0
Riolita	0	0	15	0	15	15	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	30
Riolita (brecha)	0	0	15	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
Riolita (dique)	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
Riolita (lava)	0	0	15	0	15	15	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	15
Toba	0	0	30	0	30	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	30	30
Traquita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Turbidita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	30	0	0	0
Gabro	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diorita	0	0	15	0	0	0	0	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Granodiorita	0	0	30	0	0	0	0	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tonalita	0	0	30	0	0	0	0	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Granito	0	0	30	0	0	0	0	15	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuarzo-monzonita	0	0	30	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuarzo-diorita	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuarzo-latita	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Monzo-granito	0	0	30	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Monzonita	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sienita	0	0	0	0	0	0	0	0	15	30	0	0	0	0	0	0	0	0
Sienita [calcoalcalina]	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sienita [alcalina]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo B.4.- Ubicación geográfica

UBICACIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
LITORAL COSTERO	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0
CARBONÍFERO SUP - TRIÁSICO	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JURÁSICO	0	0	0	0	0	0	30	30	0	0	30	15	30	0	0	0	0	0	0
JURÁSICO [II Región]	0	0	0	0	0	0	30	30	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0
JURÁSICO [III-IV Región]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	15	0	0	0	0	0	0	0
JURÁSICO [V Región]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0
CRETÁCICO INF	0	30	30	30	0	0	30	0	15	15	30	30	30	0	0	0	0	0	0
CRETÁCICO INF [I-II Región]	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15	0	0	30	0	0	0	0	0	0
CRETÁCICO INF [III Región]	0	30	0	30	0	0	0	0	15	15	30	30	30	0	0	0	0	0	0
CRETÁCICO INF [IV Región]	0	0	30	0	0	0	30	0	15	15	30	30	30	0	0	0	0	0	0
CRETÁCICO INF [V-RM]	0	0	30	0	0	0	30	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0
CRETÁCICO INF [XI Región]	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRETÁTICO SUP	0	0	0	0	0	30	0	0	0	30	0	0	30	0	0	0	0	0	30
CRETÁTICO SUP [I Región]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0
CRETÁTICO SUP [II Región]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	30
CRETÁTICO SUP [III Región]	0	0	0	0	15	30	0	0	0	30	0	0	15	0	0	0	0	0	30
CRETÁTICO SUP [IV Región]	0	0	0	0	15	30	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	30
CRETÁTICO SUP [V-VI Región]	0	0	0	0	15	30	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0
PALEOCENO - EOCENO INF	0	0	0	0	30	30	0	0	30	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0
PALEOCENO - EOCENO INF [I-III Región]	0	0	0	0	30	30	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PALEOCENO - EOCENO INF [IV Región]	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PALEOCENO - EOCENO INF [V-VIII Región]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0

EOCENO SUP - OLIGOCENO INF	0	0	0	0	30	30	0	0	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0
EOCENO SUP - OLIGOCENO INF [I-II Región]	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EOCENO SUP - OLIGOCENO INF [III Región]	0	0	0	0	30	30	0	0	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0
EOCENO SUP - OLIGOCENO INF [IV Región]	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MIOCENO - PLIOCENO	0	0	0	0	30	0	0	0	30	30	0	0	0	0	0	0	0	30
MIOCENO - PLIOCENO [XV Región]	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MIOCENO - PLIOCENO [III Región]	0	0	0	0	30	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	30
MIOCENO - PLIOCENO [IV Región]	0	0	0	0	30	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	30
MIOCENO - PLIOCENO [V Región]	0	0	0	0	30	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MIOCENO - PLIOCENO [RM-VI Región]	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PALEOZOICO [X Región]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15	15	15	15
JURÁSICO [XII Región]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15	15	15	15

Anexo B.5.- Intrusivo correlacionado

INTRUSIVO CORRELACIONADO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Adamelita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andesita (porfírica)	0	0	0	0	0	0	20	0	20	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andesita (porfírica) [calcoalcalina]	0	0	0	0	0	0	20	0	20	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andesita (porfírica) [shoshonítico]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andesita (ocoita) [calcoalcalina]	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuarzo-diorita [calcoalcalina]	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuarzo-latita [calcoalcalina]	0	0	10	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuarzo-monzonita	0	20	20	20	0	0	0	0	20	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuarzo-monzonita [calco-alcalina]	0	20	20	20	0	0	0	0	20	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuarzo-monzonita [alcalina]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
Dacita (porfírica) [Shoshonítico]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diorita	0	0	10	20	20	0	20	20	20	20	20	20	0	0	0	0	0	20	0
Diorita [calcoalcalina]	0	0	10	20	20	0	20	20	20	20	20	20	0	0	0	0	0	20	0
Diorita [alcalina]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
Dunita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0
Gabro	0	0	0	0	0	0	20	20	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0
Gabro [calcoalcalina]	0	0	0	0	0	0	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gabro [alcalino]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0
Granito [calcoalcalina]	0	20	10	20	0	0	0	10	20	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
Granodiorita	0	20	20	20	20	0	0	20	20	0	20	0	0	0	0	0	0	20	0
Granodiorita [calcoalcalina]	0	20	20	20	20	0	0	20	20	0	20	0	0	0	0	0	0	20	0
Granodiorita [alcalina]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
Harzburgita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0
Latita (porfírica) [calcoalcalina]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Monzo-diorita	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
Monzo-diorita [calcoalcalina]	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
Monzo-diorita [alcalina]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
Monzonita	0	0	10	20	0	0	0	0	0	10	20	20	0	0	0	0	0	0	0

Monzonita [calcoalcalina]	0	0	10	20	0	0	0	0	0	0	10	20	20	0	0	0	0	0	0
Monzonita [alcalina]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	20	0	0	0	0	0	0	0
Monzo-granito [calcoalcalina]	0	20	20	20	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peridotita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0
Piroxenita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0
Riodacita (porfírica) [calcoalcalina]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Riolita (porfírica) [calcoalcalina]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sienita	0	0	0	20	0	0	0	0	10	10	0	20	0	0	0	0	0	0	0
Sienita [calcoalcalina]	0	0	0	20	0	0	0	0	10	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0
Sienita [alcalina]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sieno-granito	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
Sieno-granito [calcoalcalina]	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
Sieno-granito [alcalino]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
Tonalita	0	10	20	0	20	0	0	20	20	0	20	0	0	0	0	0	0	20	0
Tonalita [calcoalcalina]	0	10	20	0	20	0	0	20	20	0	20	0	0	0	0	0	0	20	0
Tonalita [alcalina]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
Trondjemita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0
Diabasa	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	20	20	0	0
Diabasa [calcoalcalina]	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diabasa [toleítica]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	0	0

Anexo B.6.- Intrusivo excluyente

INTRUSIVO_ EXCLUYENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Intrusivos porfíricos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo B.7.- Signatura geoquímica

GEOQUIMICA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Ag	0	10	20	20	10	20	20	0	20	20	10	0	20	10	20	0	10	10	10
As	0	0	10	20	20	20	0	0	20	0	20	0	20	0	0	0	10	10	20
Au	0	0	20	20	20	20	0	10	20	20	20	0	0	0	10	10	10	10	20
B	0	0	0	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0	20	0	0	20	0	20	10	0	20	0	0	10	10	0
Be	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bi	0	0	10	0	10	0	0	0	10	0	0	10	0	0	0	0	10	10	0
Co	0	0	10	20	0	0	0	0	20	0	10	10	0	0	20	0	0	0	0
Cr	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0
Cu	0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	10	20	20	20	20	20	20	0
F	0	0	0	20	0	20	0	20	0	0	20	10	0	0	0	0	0	0	10
Fe	20	20	0	20	0	0	0	0	0	0	20	20	20	0	0	0	10	10	0
Hg	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	10	10	20
Mn	0	0	0	20	0	20	0	0	20	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mo	0	0	10	0	10	0	0	0	20	20	20	0	0	0	0	0	10	10	10
Ni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	20	0	10	10	0
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	20	0	0	0	0	0	0	0
Pb	0	10	10	20	10	20	0	0	20	10	0	0	0	20	0	0	20	10	0
Rb	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
REE	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	10	10	10	10	10	0	0	20	0	0	20	20	0	0	0	0	0	0
Sb	0	0	10	0	10	20	0	0	20	0	0	0	20	0	0	0	10	10	20
Se	0	0	0	0	0	10	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0
Si	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sn	10	0	0	20	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0
Sr	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Te	0	0	0	0	10	10	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Th	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ti	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	20	0	0	0	0	0	0	0
Tl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
U	20	0	0	0	0	0	0	0	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0
W	0	0	10	20	10	10	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
Zn	0	10	10	20	10	20	0	0	20	10	10	0	0	20	20	10	20	20	0
Zr	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo B.8.- Volumen

Volumen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	10	10	0	0	0	0	10	10	20	10	20	10	0	10	0	0	0	0	10

Anexo B.9.- Alteración hidrotermal

ALTERACIÓN_HIDROTERMAL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Albitización	0	0	0	0	0	0	20	20	10	0	0	20	0	20	0	0	0	0	0
Actinolitización	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0
Calco-silicatada (skarn mg)	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Propilítica	0	10	0	0	10	20	10	0	20	20	20	0	0	0	0	20	0	0	0
Calco-silicatada (skarn ca)	0	0	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
Potásica	0	0	10	0	0	0	0	0	20	20	20	20	0	0	0	0	0	0	0
Carbonatación	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	20	0	0	20	20	0	0	0	0
Calco-sódica	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	20	20	0	0	0	0	0	0	0
Cloritización	0	0	0	0	0	0	0	20	10	0	20	0	0	20	20	10	20	20	0
Clorita-sericita (SCC)	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	0	20	0	0	0	0	20	20	0
Dolomitización	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	20
Endoskarn	0	10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe-mg [carbonatación]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0
Fílica	0	0	10	0	10	20	10	20	20	20	20	0	0	0	20	20	20	20	20
Argílica débil	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Argílica intermedia	0	0	0	0	20	20	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	20
Argílica avanzada	0	0	0	0	20	20	0	0	20	20	0	20	0	0	0	0	0	0	0
Metamorfismo (muy bajo/bajo grado)	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0
Silicificación	0	0	0	0	0	20	10	10	0	20	0	20	0	20	0	20	0	20	20
Supérgena	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	20	0	0	0	20
Turmalinización	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	20	0	0	0	0	0

Anexo B.10.- Concentración mena vs alteración hidrotermal (AH) correlacionada

AH - MENA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
ARG_AV [Ag]	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARG_AV [Au]	0	0	0	0	20	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARG_AV [Cu]	0	0	0	0	20	0	0	0	10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ARG_INT [Cu]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CALCO-SÓDICA [Au]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
CALCO-SÓDICA [Cu]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
CALCO-SÓDICA [Fe]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
CARB_FE-MG [Pb]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0
CARB_FE-MG [Zn]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0
DOLOM [Cu]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0
DOLOM [Pb]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
DOLOM [Zn]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
SILIC [Cu]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0
SILIC [Pb]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0
SILIC [Zn]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	20	0	0	0
SKARN [Cu]	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKARN [Fe]	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKARN [Pb]	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKARN [Zn]	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUPERG [Ag]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	0	0	0
SUPERG [Au]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	0	0	0
SUPERG [Cu]	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	20	20	0	0	0
FÍLICA [Ag]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0
FÍLICA [Au]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	10	0
FÍLICA [Cu]	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0
FÍLICA [Fe]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
FÍLICA [Zn]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0
POTÁSICA [Au]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0
POTÁSICA [Cu]	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
POTÁSICA [Fe]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
PROPILÍTICA [Ag]	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0
PROPILÍTICA [Au]	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	10	0
PROPILÍTICA [Cu]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	20	0	20	0

PROPILÍTICA [Zn]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	10	0
SCC [Au]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	10	0	0
SCC [Cu]	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
SCC [Pb]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
SCC [Zn]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0

Anexo B.11.- Concentración mena vs alteración hidrotermal (AH) excluyente

AH-MENA EXCLUYENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Fílica [Cu]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo B.12.- Forma de la mena

FORMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Bolsón	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
Cilíndrico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
Concéntrica	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	10	0	0	0	0	0	10	0
Estratiforme (manto)	10	10	0	10	0	0	10	0	0	0	10	10	10	10	0	0	10	0	10
Elíptica	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elongado	10	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	10	0	0	0	0
Lenticular	0	0	0	0	10	0	10	0	0	0	10	10	0	10	10	10	0	10	0
Semi-circular	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tabular	0	0	10	0	0	0	10	5	0	0	10	0	0	10	10	0	0	0	10
Irregular	0	0	10	0	10	0	10	0	5	0	0	10	0	0	0	0	0	0	10
Vetiforme	0	0	5	5	10	10	5	10	0	0	10	10	0	0	0	0	5	0	0

Anexo B.13.- Estilo de mineralización correlacionado

ESTILO MINERALIZACION CORRELACIONADO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Bandas [Cu]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0
Bandas [Cu] Py	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0
Chim de brecha	0	0	0	0	10	0	10	5	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Chim de brecha [Cu]	0	0	0	0	0	0	10	5	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Chim de brecha [Cu] Mgt-Qz	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chim de brecha [Cu] Hmt-Qz	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Chim de brecha [Cu] Turm	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
Chim de brecha [Cu] Qz-Turm-Hmt	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BRE_Tipo pórfido [Cu]	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BRE_Freática[Cu]	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BRE_Freática[Cu] Alu- Silice	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BRE_Freática [Ag]	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BRE_Freática [Au]	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BRE_Freatomagmática [Cu]	0	0	0	0	10	5	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BRE_Freatomagmática [Ag]	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BRE_Freatomagmática [Au]	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BRE_Diatrema volcánica	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cemento BRE_VOLC [Cu]	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cemento BRE_VOLC [Fe]	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
Cemento TOBA [Cu]	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Conglomerádica [Cu] Py	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0
Diseminado Py	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	10	10
Diseminado [Ag]	0	0	0	0	10	10	5	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5	10
Diseminado [Au]	0	0	0	0	10	10	0	0	10	10	10	0	0	0	5	0	5	5	10
Diseminado [Au] Py	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	10
Diseminado [Au] Mo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diseminado [Cu]	0	0	10	0	10	10	10	10	10	10	10	0	0	10	10	0	10	10	0
Diseminado [Cu] Py	0	0	10	0	0	0	10	0	10	0	10	0	0	10	10	0	10	10	0
Diseminado [Fe]	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diseminado [Pb]	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	10	0	0

Diseminado [Zn]	0	0	5	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	10	5	0
Diseminado_Intrusivo [Au]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diseminado_Intrusivo [Cu]	0	0	5	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Electrum	0	0	0	0	5	10	0	0	0	10	10	0	0	0	5	0	0	0	0
Enriquecimiento [LREE] Fluor-carbonatos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Estratificación (no consolidada)	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0
Estratiforme o 'mantos' [Au]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	5	0	0
Estratiforme o 'mantos' [Ag]	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0
Estratiforme o 'mantos' [Ag] Py	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estratiforme o 'mantos' [Cu]	0	5	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0
Estratiforme o 'mantos' [Cu] Py	0	5	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estratiforme o 'mantos' [Fe]	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
Estratiforme o 'mantos' [Fe] Py	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estratiforme o 'mantos' [Pb]	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0
Estratiforme o 'mantos' [Pb] Py	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estratiforme o 'mantos' [Zn]	0	5	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0
Estratiforme o 'mantos' [Zn] Py	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inclusiones [Au]	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Inclusiones [Au] Sulf Cu	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inclusiones [Au] Py	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Inclusiones [Au] Rejalgar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Inclusiones [Au] Mgt	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inclusiones [Cu] Py	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0
Inclusiones [Zn] Py	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0
Laminaciones [Pb]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0
Laminaciones [Zn]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0
Lentes [Cu]	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0
Lentes [Fe]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lentes [Pb]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0
Lentes [Zn]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0
Relleno lavas [Au]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Relleno lavas [Cu]	0	0	0	0	0	0	10	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Relleno lavas [Cu] Py	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Relleno BRE_VOLC [Cu]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
Relleno BRE_VOLC [Zn]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
Relleno BRE_VOLC [Pb]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
Relleno BRE_VOLC [Fe]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Relleno BRE_VOLC Py	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0
Reemplazo masivo [Ag]	0	0	0	0	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reemplazo masivo [Au]	0	0	0	0	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reemplazo masivo [Cu]	0	0	10	0	10	5	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0
Reemplazo masivo [Cu] Py	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
Reemplazo masivo [Fe]	0	10	5	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0
Reemplazo masivo [Pb]	0	0	0	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	10	5	0	0	0	0
Reemplazo masivo [Pb] Py	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reemplazo masivo [Zn]	0	0	0	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	10	5	10	0	0	0
Reemplazo masivo [Zn] Py	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
Stockwork	0	0	10	0	10	10	0	0	10	10	10	0	0	0	0	10	10	0	0
Stockwork [Ag]	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0
Stockwork [Au]	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	10	0	0	0	0	5	0	0	0
Stockwork [Co]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0
Stockwork [Cu]	0	0	10	0	10	10	0	0	0	10	10	0	0	0	0	10	10	0	0
Stockwork [Fe]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Stockwork [Zn]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0
VET [Ag]	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
VET [Ag] Py	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
VET [Ag] Qz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
VET [Au]	0	0	0	0	10	10	0	0	10	10	10	0	0	0	0	0	0	5	0
VET [Au] Enar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET [Au] Qz	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
VET [Au] Qz-Py	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
VET [Cu]	0	0	10	0	10	10	5	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	0
VET [Cu] Act	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET [Cu] Qz	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	0	0	0	0	10	0	0	10	0
VET [Cu] Qz-Cc	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0

VET [Cu] Qz-Anh	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET [Cu] Qz-Ser-FeldK-Bt	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET [Cu] Py	0	0	5	0	0	0	5	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	0
VET [Cu] Qz-Py	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	0	0	0	0	10	0	0	10	0
VET [Cu] Qz-Py-Cc	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
VET [Cu] Qz-Py-Chl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET [Cu] Qz-Mo	0	0	0	0	0	0	0	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET [Cu] Chl-Ser	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET [Cu] Qz-Mo-Py	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET [Cu] Qz-Tur	0	0	0	0	0	0	0	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET [Cu] Py-Qz-Tur	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET [Fe]	0	0	5	0	0	0	0	10	5	10	10	10	0	0	0	0	0	0	5
VET [Fe] Py	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	5
VET [Fe] Qz	0	0	0	0	0	0	0	10	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	5
VET [Fe] Act	0	0	0	0	0	0	0	10	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET [Fe] Tur	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET [Fe] Act-Qz	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET [Fe] Qz-Tur	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET [Ni]	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET [Co]	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
VET [Pb]	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10	0	0	0	0
VET [Pb] Carb	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET [Pb] Cc	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
VET [Pb] Py	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
VET [Pb] Qz	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET [Pb] Carb-Qz	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET [Zn]	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10	10	0	5	0
VET [Zn] Cc	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
VET [Zn] Carb	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET [Zn] Qz	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
VET [Zn] Py	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	10	0	5	0
VET [Zn] Carb-Qz	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET Alu	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET Anh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
VET Bt	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET Chl	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET Qz	0	0	0	10	10	10	0	0	10	10	10	0	0	0	10	0	0	10	10
VET Carb	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0
VET Cc	0	0	0	10	0	10	10	0	0	0	10	0	0	0	10	0	0	0	10
VET Feld K	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET Chl-Ser	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET Qz-Mo	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET Qz-Act	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

VET Carb-Qz	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET Cc-Qz	0	0	0	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
VET Qz-Jsp	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
VET Qz-FeldK	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET Qz-Bt-Feld K	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET Qz-Act-Bt-Feld K	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET Py-Epi	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VET Py	0	0	10	0	10	0	0	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	10

Anexo B.14.- Estilo de mineralización excluyente

ESTILO_ MINERALIZACION_EXCLUYENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
VET [Cu] Qz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo B.15.- Relación inter – modelos

RELACIÓN_MODELOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0
2	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	10	10	10	0	0	0	0	10	10	0	0	10	0	0	0	0	0	0
4	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	10	10	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	10	10	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	10	10	0
7	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	10	10	0	0	10	10	0	0	10	0	0	0	0	0	10
10	0	0	0	0	10	10	0	0	10	10	0	0	10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0
13	10	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10

Anexo C.- Parametrización de variables en clusters

Anexo C.1.- Mineralogía

MINERALES	G1 IOCG- IOA	G2 SKARNS	G5 ESTRATOLIGADOS	G8 PLACERES	G9 VMS	G10 SEDEX- CARLIN
Acantita	0	0,0	0	0	7,5	0
Actinolita	30	23,3	25	0	0	0
Adularia	0	0,0	0	0	0	0
Ágata	0	0,0	0	0	0	0
Alabastro	0	0,0	0	0	5	0
Albita	30	6,7	30	0	20	15
Almandino	5	10,0	0	0	0	0
Alunita	15	0,0	0	0	0	0
Amatista	0	0,0	0	0	0	0
Analcima	0	0,0	10	0	0	0
Anatasa	0	0,0	10	0	0	0
Andalucita	0	0,0	0	0	0	0
Andesina	15	0,0	0	0	0	0
Andradita	0	26,7	0	0	0	0
Anfíbol (detrítico)	0	0,0	0	5	0	0
Anglesita	0	0,0	0	0	5	0
Anhidrita	20	0,0	10	0	15	0
Ankerita	0	0,0	0	0	5	30
Antlerita	15	0,0	15	0	0	0
Apatito	25	0,0	15	0	0	0
Apatito (detrítico)	0	0,0	0	10	0	0
Argentita	0	0,0	0	0	5	0
Argentojarosita	0	0,0	0	0	5	0
Arsenopirita	10	6,7	15	0	0	20
Atacamita	15	0,0	25	0	0	0
Axinita	0	10,0	0	0	0	0
Azufre nativo	15	0,0	0	0	0	0
Azurita	0	0,0	0	0	0	0
Baritina	20	0,0	5	0	15	30
Beaverita	0	0,0	0	0	5	0
Beudantita	0	0,0	0	0	5	0
Biotita	30	6,7	0	0	0	0
Bismutina	0	6,7	0	0	0	5
Bismuto nativo	0	0,0	5	0	5	0

Bornita	10	20,0	25	0	15	0
Brochantita	15	0,0	5	0	2,5	0
Brucita	0	10,0	0	0	0	0
Bustamita	0	10,0	0	0	0	0
Calcedonia	0	0,0	0	0	7,5	0
Calcita	15	16,7	30	0	20	30
Calcopirita	25	20,0	25	0	30	20
Calcosina	15	6,7	20	0	5	5
Caolinita	10	0,0	0	0	5	15
Carlinita	0	0,0	0	0	0	15
Casiterita	0	6,7	0	0	0	5
Celadonita	0	0,0	0	0	7,5	0
Celsiana	0	0,0	0	0	0	5
Ceolitas	0	0,0	10	0	17,5	0
Chert	0	0,0	0	0	22,5	30
Cianita (detrítico)	0	0,0	0	10	0	0
Cinabrio	0	0,0	0	0	0	10
Circón (detrítico)	0	0,0	0	10	0	0
Cloantita	0	0,0	5	0	0	0
Clorapatito	20	0,0	0	0	0	0
Clorita	25	23,3	30	0	30	15
Cobaltita	10	3,3	5	0	5	5
Cobre nativo	10	0,0	15	0	0	0
Copper Pitch	0	0,0	0	0	0	0
Copper Wad	0	0,0	10	0	0	0
Cordierita	5	0,0	0	0	0	0
Corindón	0	0,0	0	0	0	0
Cosalita	5	3,3	0	0	0	0
Covelina	15	0,0	15	0	5	5
Crisocola	15	0,0	25	0	5	0
Cristobalita	0	0,0	0	0	0	0
Cuarzo	30	6,7	30	0	30	30
Cuarzo (detrítico)	0	0,0	0	30	0	0
Cuarzo (vuggy)	0	0,0	0	0	0	0
Cubanita	10	0,0	0	0	2,5	0
Cumingtonita	5	0,0	0	0	0	0
Cuprita	10	0,0	5	0	0	0
Dannemorita	0	3,3	0	0	0	0
Diásporo	0	0,0	0	0	0	0
Dickita	0	0,0	0	0	0	15

Digenita	0	0,0	5	0	5	0
Diópsido	15	20,0	0	0	0	0
Dolomita	5	0,0	0	0	2,5	30
Dumortierita	0	0,0	0	0	0	0
Electrum	0	0,0	0	0	5	0
Enargita	0	3,3	0	0	5	5
Epidota	30	26,7	25	0	12,5	0
Escapolita	25	3,3	10	0	0	0
Escorodita	0	0,0	0	0	5	0
Esfalerita	15	23,3	5	0	27,5	25
Espesartina	0	10,0	0	0	0	0
Espinela	0	10,0	0	0	0	0
Estannita	0	3,3	0	0	2,5	0
Estibina	0	0,0	0	0	5	15
Estilpnomelana	5	0,0	0	0	0	0
Famatinita	0	0,0	0	0	0	0
Feldespató (detrítico)	0	0,0	0	30	0	0
Feldespató K	30	6,7	20	0	0	10
Ferro-molibdita	0	0,0	0	0	0	0
Flogopita	0	10,0	0	0	0	15
Flúor-apatito	0	0,0	0	0	0	15
Fluor-borita	0	3,3	0	0	0	0
Fluorita	20	6,7	0	0	0	0
Fluoro-carbonatos	10	0,0	0	0	0	0
Forsterita	0	10,0	0	0	0	0
Freibergita	0	0,0	0	0	0	5
Gahnita	0	0,0	0	0	2,5	0
Galena	10	13,3	5	0	20	25
Germantita	0	0,0	0	0	5	0
Goethita	0	0,0	0	0	7,5	0
Goldfieldita	0	0,0	0	0	0	0
Granate	20	10,0	0	0	2,5	0
Granate (detrítico)	0	0,0	0	10	0	0
Greenalita	5	0,0	0	0	0	0
Grosularita	0	10,0	0	0	0	0
Grunerita	5	0,0	0	0	0	0
Hedenbergita	10	23,3	0	0	0	0
Hematita	25	10,0	30	0	0	15
Hematita (especularita)	25	0,0	30	0	0	0
Hessita	0	0,0	0	0	0	0

Heulandita	0	0,0	0	0	5	0
Hinsdalita	0	0,0	0	0	5	0
Hornblenda	25	0,0	0	0	5	0
Huebnerita	0	0,0	0	0	0	0
Illita	0	0,0	0	0	5	30
Ilmenita	0	0,0	0	0	0	0
Ilmenita (detrítico)	0	0,0	0	30	0	0
Ilvaita	0	10,0	0	0	0	0
Jarosita	0	0,0	0	0	5	0
Jaspe	0	0,0	10	0	12,5	15
Johansenita	0	10,0	0	0	0	0
Kotoita	0	3,3	0	0	0	0
Laumontita	0	0,0	0	0	7,5	0
Leucoxeno (detrítico)	0	0,0	0	15	0	0
Limonita	20	0,0	0	0	7,5	0
Lindgrenita	0	0,0	0	0	0	0
Litargirio	0	0,0	0	0	5	0
Lollingita	0	3,3	0	0	0	0
Ludwigita	0	3,3	0	0	0	0
Luzonita	0	0,0	0	0	5	0
Maghemita	0	0,0	0	0	2,5	0
Magnetita	30	20,0	25	0	10	0
Magnetita (detrítica)	0	0,0	0	25	0	0
Malaquita	10	0,0	25	0	5	0
Manganosita	0	6,7	0	0	0	0
Marcasita	10	0,0	0	0	10	20
Melnickovita	0	0,0	0	0	0	5
Meta-aluminita	0	0,0	0	0	5	0
Microclina	0	0,0	0	0	0	15
Millerita	0	0,0	0	0	0	5
Minesotaita	5	0,0	0	0	0	0
Molibdenita	15	13,3	5	0	2,5	10
Monacita	10	0,0	0	0	0	0
Monacita (detrítica)	0	0,0	0	10	0	0
Monticellita	0	6,7	0	0	0	0
Montmorillonita	0	6,7	0	0	12,5	0
Mordenita	0	0,0	0	0	12,5	0
Moscovita	15	0,0	0	0	7,5	15
Natroalunita	10	0,0	0	0	0	0

Naumanita	0	0,0	0	0	0	0
Neotocita	10	0,0	0	0	0	0
Niquelina	0	0,0	5	0	0	0
Oligoclasa	0	0,0	0	0	0	0
Ópalo	0	6,7	0	0	0	0
Oro (detrítico)	0	0,0	0	15	0	0
Oro (nativo)	20	3,3	10	0	17,5	15
Oropimente	0	0,0	0	0	0	10
Pargasita	0	10,0	0	0	0	0
Periclasa	0	10,0	0	0	0	0
Pirargirita	0	0,0	0	0	0	0
Pirita	25	23,3	30	0	30	30
Pirofilita	0	0,0	0	0	0	0
Pirolusita	0	6,7	0	0	0	0
Piroxeno (detrítico)	0	0,0	0	10	0	0
Pirrotina	15	16,7	5	0	20	15
Plata (nativa)	0	6,7	20	0	12,5	0
Plumbojarosita	0	0,0	0	0	5	0
Prehnita	0	0,0	15	0	0	0
Proustita	0	0,0	0	0	0	0
Pumpellita	0	0,0	15	0	0	0
Rejalgar	0	0,0	0	0	5	15
Rodocrosita	0	10,0	0	0	0	0
Rodonita	0	10,0	0	0	0	0
Roscoelita	0	0,0	0	0	0	0
Rutilo	10	0,0	0	0	0	0
Rutilo (detrítico)	0	0,0	0	10	0	0
Saflorita	0	0,0	5	0	0	0
Sanidina	10	0,0	0	0	0	0
Scheelita	5	6,7	0	0	0	0
Selenita	0	0,0	0	0	5	0
Sericita	25	6,7	20	0	15	30
Serpentina	0	20,0	0	0	0	0
Siderita	15	13,3	0	0	2,5	30
Sílice	15	0,0	10	0	20	15
Silvanita	0	0,0	0	0	0	0
Smectita	0	6,7	0	0	7,5	10
Sulfatos (Al-P)	0	0,0	0	0	0	0
Sulfatos (Cu)	0	0,0	15	0	0	0
Sulfosales (Ag)	0	0,0	0	0	0	0
Sulfosales (Bi)	10	0,0	0	0	0	0

Szaibelita	0	3,3	0	0	0	0
Talco	10	16,7	0	0	5	10
Telururos	0	0,0	0	0	0	5
Telururos (Au)	0	0,0	0	0	0	0
Tenantita	0	3,3	0	0	7,5	0
Tenorita	0	0,0	0	0	0	0
Tetraedrita	0	3,3	5	0	10	5
Titanita	25	0,0	10	0	0	0
Titanita (detritico)	0	0,0	0	10	0	0
Topacio	0	0,0	0	0	0	0
Tremolita	0	30,0	0	0	0	0
Tridimita	10	0,0	0	0	0	0
Turmalina	15	0,0	15	0	7,5	10
Turmalina (detritico)	0	0,0	0	10	0	0
Uraninita	5	0,0	5	0	0	0
Vallerita	0	0,0	0	0	2,5	5
Vesuvianita	0	10,0	0	0	0	0
Wollastonita	0	10,0	0	0	0	0
Woodhouseita	0	0,0	0	0	5	0
Wurtzita	0	0,0	0	0	5	0
Xantofilita	0	10,0	0	0	0	0
Yeso	15	0,0	10	0	7,5	0
Zoisita	0	0,0	15	0	0	0
Zunyita	0	0,0	0	0	0	0

ANEXO C.2.- Roca huésped

ROCA_HUÉSPED	G1 IOCG- IOA	G2 Skarns	G5 Estratoligados	G9 Placeres	G10 VMS	G11 SEDEX- Carlin
[Metapelita] Biotita	0	0	0	0	7,5	0
[Metapelita] Clorita	0	0	0	0	7,5	0
[Metapelita] Distena	0	0	0	0	7,5	0
[Metapelita] Estauroлита	0	0	0	0	7,5	0
[Metapelita] Granate	0	0	0	0	7,5	0
Adakita	0	0	0	0	7,5	0
Aluvial	15	0	0	15	0	0
Aluvial-fluvial	0	0	0	15	0	0
Andesita	30	5	15	0	7,5	0
Andesita (brecha)	15	5	0	0	0	0
Andesita (dique)	0	0	0	0	0	0
Andesita (lava)	30	5	15	0	7,5	0
Andesita (lava) [Calcoalcalina]	30	5	15	0	0	0
Andesita (lava) [toleítica]	0	0	0	0	7,5	0
Andesita (porfírica)	0	0	0	0	0	0
Andesita-basáltica (lava)	0	0	15	0	7,5	0
Andesita-basáltica (lava)	0	0	0	0	7,5	0
Andesita-basáltica (lava) [calcoalcalina]	0	0	15	0	0	0
Anfibolita [metabasita]	0	0	0	0	7,5	0
Arenas (bahías)	0	0	0	15	0	0
Arenas (dunas)	0	0	0	15	0	0
Arenas (playa)	0	0	0	30	0	0
Arenisca	0	5	0	0	7,5	15
Arenisca (calcárea)	0	5	0	0	0	0
Basalto	0	0	15	0	26,3	0
Basalto (lava)	0	0	15	0	26,3	0
Basalto (lava) [calcoalcalina]	0	0	15	0	0	0
Basalto (lava) [toleítica]	0	0	0	0	26,3	0
Basalto (pillow lava)	0	0	0	0	7,5	0
Basalto (pillow lava) [Calco-alcalino]	0	0	0	0	0	0
Basalto (pillow lava) [toleítica]	0	0	0	0	7,5	0
Caliza	15	20	0	0	0	15

Caliza (limosa)	0	10	0	0	0	0
Caliza (silícica)	0	10	0	0	0	0
Coluvial	0	0	0	15	0	0
Conglomerado	0	0	0	0	0	0
Cuarcita	0	5	0	0	7,5	0
Cuarcita (calcárea)	0	5	0	0	0	0
Cuarzo-diorita	0	0	0	0	0	0
Cuarzo-latita	0	5	0	0	0	0
Cuarzo-monzonita	0	10	0	0	0	0
Dacita	30	5	7,5	0	15	0
Dacita (brecha)	15	5	0	0	0	0
Dacita (dique)	0	0	0	0	0	0
Dacita (lava)	30	5	7,5	0	15	0
Dacita (lava) [calcoalcalina]	30	5	7,5	0	7,5	0
Dacita (lava) [toleítica]	0	0	0	0	7,5	0
Diorita	0	5	15	0	0	0
Dolomita	0	15	0	0	0	22,5
Esquistos verdes [metabasita]	15	0	0	0	7,5	0
Fluvial	0	0	0	15	0	0
Gabro	0	0	15	0	0	0
Glacio-fluvial	0	0	0	15	0	0
Glacio-lacustre	0	0	0	15	0	0
Granito	0	10	7,5	0	0	0
Granodiorita	0	10	15	0	0	0
Grauvaca	15	0	0	0	7,5	0
Ignimbrita	0	0	0	0	0	0
Komatita	0	0	0	0	7,5	0
Limolita	0	20	0	0	0	30
Limolita (calcárea)	0	10	0	0	0	15
Lutita	15	20	0	0	0	30
Lutita (calcárea)	0	10	0	0	0	15
Monzo-granito	0	10	0	0	0	0
Monzonita	0	5	0	0	0	0
Morrénico	0	0	0	15	0	0
Orto-cuarcita	0	5	0	0	0	0
Orto-cuarcita (feldespática)	0	5	0	0	0	0
Riodacita	15	5	0	0	7,5	0
Riodacita (brecha)	15	5	0	0	0	0
Riodacita (dique)	0	0	0	0	0	0
Riodacita (lava)	15	5	0	0	7,5	0

Riolita	0	5	7,5	0	15	0
Riolita (brecha)	0	5	0	0	7,5	0
Riolita (dique)	0	0	0	0	7,5	0
Riolita (lava)	0	5	7,5	0	11,3	0
Sienita	0	0	0	0	0	0
Sienita [alcalina]	0	0	0	0	0	0
Sienita [calcoalcalina]	0	0	0	0	0	0
Toba	0	10	0	0	15	0
Tonalita	0	10	15	0	0	0
Traquita	0	0	0	0	0	0
Turbidita	0	0	0	0	7,5	0

Anexo D.- Abreviaturas parámetros

Anexo D.1.- Mineralogía

Mineralogía					
Abreviatura	Mineral	Abreviatura	Mineral	Abreviatura	Mineral
Ac	Acantita	Dg	Digenita	MnzDtr	Monacita (detrítica)
Act	Actinolita	Di	Diópsido	Mtc	Monticellita
Adl	Adularia	Dol	Dolomita	Mnt	Montmorillonita
Aga	Ágata	Dum	Dumortierita	Mor	Mordenita
Ala	Alabastro	Ep	Epidota	Ms	Moscovita
Ab	Albita	Electr	Electrum	NtrAln	Natroalunita
Alm	Almandino	Eng	Enargita	Nmt	Naumanita
Alu	Alunita	Scp	Escapolita	Ntc	Neotocita
Ame	Amatista	Sc	Escorodita	Nq	Niquelina
Acm	Analcima	Sp	Esfalerita	Olg	Oligoclasa
Ats	Anatasa	Sps	Espesartina	Opl	Ópalo
Anl	Andalusita	Spl	Espinela	Au	Oro nativo
Ande	Andesina	Stn	Estannita	Orp	Oropimente
Adr	Andradita	Stb	Estibina	Par	Pargasita
Anf	Anfíbol (detrítico)	Stp	Estilpnomelana	Per	Periclasa
Ang	Anglesita	Fmt	Famatinita	Prg	Pirargirita
Anh	Anhidrita	FspDtr	Feldespató (detrítico)	Py	Pirita
Ank	Ankerita	Kfs	Feldespató potásico	Prf	Pirofilita
Ant	Antlerita	Fe2Mb	Ferro-molibdita	Prl	Pirolusita
Ap	Apatito	Flg	Flogopita	PxDtr	Piroxeno (detrítico)
Agt	Argentita	FLAp	Fluor-apatito	Po	Pirrotina
AgtJrs	Argentojarosita	FLBo	Fluor-borita	Ag	Plata nativa
Apy	Arsenopirita	FLCb	Fluoro-carbonatos	PbJar	Plumbojarosita
Atc	Atacamita	Fl	Fluorita	Prh	Prehnita
Ax	Axinita	Fo	Forsterita	Prt	Proustita
S	Azufre nativo	Frb	Freibergita	Pmp	Pumpellita
Az	Azurita	Ghn	Gahnita	Rlg	Rejalgar
Brt	Baritina	Gn	Galena	Rds	Rodocrosita
Bea	Beaverita	Gmn	Germantita	Rdn	Rodonita
Beu	Beudantita	Gth	Goethita	Rsc	Roscoelita
Bt	Biotita	Gfd	Goldfieldita	Rt	Rutilo
Bmt	Bismutina	Grt	Granate	RtDtr	Rutilo (detrítico)
BiNativo	Bismuto nativo	GrtDtr	Granate (detrítico)	Sf	Saflorita
Bn	Bornita	Gre	Greenalita	Sa	Sanidina
Bc	Brocantita	Grs	Grosularita	Sch	Scheelita
Brc	Brucita	Gru	Grunerita	Sel	Selenita
Bst	Bustamita	Hd	Hedenbergita	Ser	Sericita
Ccd	Calcedonia	HemSp	Hematita (especularita)	Srp	Serpentina
Cal	Calcita	Hem	Hematita	Sd	Siderita
Ccp	Calcopirita	Hss	Hessita	Silice	Sílice
Cct	Calcosina	Hul	Heulandita	Slv	Silvanita
Kln	Caolinita	Hns	Hinsdalita	Sme	Smectita
Crl	Carlinita	Hbl	Hornblenda	SftAlP	Sulfatos (Al-P)
Cst	Casiterita	Hub	Huebnerita	SftCu	Sulfatos (cobre)
Cel	Celadonita	Ilt	Illita	SfsAg	Sulfosales (plata)
Cls	Celsiana	Ilm	Ilmenita	SfsBi	Sulfosales (bismuto)
Zeo	Ceolitas	IlmDtr	Ilmenita (detrítico)	Szb	Szaibelita
Cht	Chert	Ilv	Ilvaita	Tlc	Talco
KyDtr	Cianita/distena (detrítico)	Jrs	Jarosita	Tell	Telururos

Cin	Cinabrio	Jsp	Jaspe	TellAu	Teleruros (oro)
ZrnDtr	Circón (detrítico)	Jhn	Johansenita	Tnt	Tenantita
Clo	Cloantita	Kot	Kotoita	Tnr	Tenorita
ClAp	Clorapatito	Lmt	Laumontita	Ttr	Tetraedrita
Chl	Clorita	Lcx	Leucoxeno (detrítico)	Ttn	Titanita/esfeno
Cob	Cobaltita	Lm	Limonita	TtnDtr	Titanita/esfeno (detrítico)
CuNativo	Cobre nativo	Lnd	Lindgrenita	Tpz	Topacio
CuPitch	Copper Pitch	Ltg	Litargirio	Tr	Tremolita
CuWad	Copper Wad	Lo	Lollingita	Trd	Tridimita
Crd	Cordierita	Lud	Ludwigita	Tur	Turmalina
Crn	Corindón	Lz	Luzonita	TurDtr	Turmalina (detrítico)
Cos	Cosalita	Mgh	Maghemita	Urn	Uraninita
Cv	Covelina	Mag	Magnetita	Val	Vallerita
Ccl	Crisocola	MagDtr	Magnetita (detrítica)	Ves	Vesuvianita/idocrasa
Crs	Cristobalita	Mlc	Malaquita	Wo	Wollastonita
Qz	Cuarzo	Mng	Manganosita	Wdh	Woodhouseita
QzDtr	Cuarzo (detrítico)	Mrc	Marcasita	Wur	Wurtzita
QzOq	Cuarzo (oqueroso)	Mk	Melnickovita	Xtf	Xantofilita
Cbn	Cubanita	MetaAl	Meta-aluminita	Gp	Yeso
Cum	Cumingtonita	Mc	Microclina	Zo	Zoicita
Cpr	Cuprita	Mlr	Millerita	Zun	Zunyita
Dnm	Dannemorita	Mns	Minesotaita	AuDtr	Oro (detrítico)
Dsp	Diásporo	Mol	Molibdenita	ApDtr	Apatito (detrítico)
Dck	Dickita	Mnz	Monacita	Carb	Carbonato

Fuente: *Abbreviations for names of rock-forming minerals*, Whitney D. L. & Evans B. W.

Anexo D.2.- Alteración hidrotermal

Alteración hidrotermal			
Abreviatura	Alteración	Abreviatura	Alteración
ARG_AV	Argílica avanzada	DOLOM	Dolomitización
ARG_INT	Argílica intermedia	SILIC	Silicificación
CARB_FE-MG	Carbonatación (Fe-Mg)	SUPERG	Supérgena
SCC	Sericita – clorita – arcilla		

Anexo D.3.-
Estilo de mineralización

Estilo de mineralización			
Abreviatura	Estilo	Abreviatura	Estilo
Bandas [Cu]	Bandas Cu	Reemplazo masivo [Pb]	Reemplazo masivo Pb
Bandas [Cu] Py	Bandas Cu c/ Py	Reemplazo masivo [Pb] Py	Reemplazo masivo Pb c/ Py
Chim de brecha	Chimenea de brecha	Reemplazo masivo [Zn]	Reemplazo masivo Zn
Chim de brecha [Cu]	Chimenea de brecha Cu	Reemplazo masivo [Zn] Py	Reemplazo masivo Zn c/ Py
Chim de brecha [Cu] Mag-Qz	Chimenea de brecha Cu c/ Mag, Qz	Stockwork	Stockwork
Chim de brecha [Cu] Hem-Qz	Chimenea de brecha Cu c/ Hem, Qz	Stockwork [Ag]	Stockwork Ag
Chim de brecha [Cu] Tur	Chimenea de brecha Cu c/ Tur	Stockwork [Au]	Stockwork Au
Chim de brecha [Cu] Qz-Tur-Hem	Chimenea de brecha Cu c/ Tur, Qz, Hem	Stockwork [Co]	Stockwork Co
BRE_Tipo pórfido [Cu]	Brecha tipo pórfido Cu	Stockwork [Cu]	Stockwork Cu
BRE_Freática [Cu]	Brecha freática Cu	Stockwork [Fe]	Stockwork Fe
BRE_Freática[Cu] Alu-Sílice	Brecha freática Cu c/ Alu, Sílice	Stockwork [Zn]	Stockwork Zn
BRE_Freática [Ag]	Brecha freática Ag	VET [Ag]	Vetas de Ag
BRE_Freática [Au]	Brecha freática Au	VET [Ag] Py	Vetas de Ag c/ Py
BRE_Freatomagmática [Cu]	Brecha freatomagmática Cu	VET [Ag] Qz	Vetas de Ag c/ Qz
BRE_Freatomagmática [Ag]	Brecha freatomagmática Ag	VET [Au]	Vetas de Au
BRE_Freatomagmática [Au]	Brecha freatomagmática Au	VET [Au] Eng	Vetas de Au c/ Eng
BRE_Diatrema volcánica	Brecha de diatrema	VET [Au] Qz	Vetas de Au c/ Qz
Cemento BRE_VOLC [Cu]	Brecha volcánica Cu (cemento)	VET [Au] Qz-Py	Vetas de Au c/ Qz, Py
Cemento BRE_VOLC [Fe]	Brecha volcánica Fe (cemento)	VET [Cu]	Vetas de Cu
Cemento TOBA [Cu]	Toba Cu (cemento)	VET [Cu] Act	Vetas de Cu c/ Act
Conglomerádica [Cu] Py	Conglomerádico Cu c/ Py	VET [Cu] Qz	Vetas de Cu c/ Qz
Diseminado Py	Diseminado Py	VET [Cu] Qz-Cal	Vetas de Cu c/ Qz, Cal
Diseminado [Ag]	Diseminado Ag	VET [Cu] Qz-Anh	Vetas de Cu c/ Qz, Anh
Diseminado [Au]	Diseminado Au	VET [Cu] Qz-Ser-Kfs-Bt	Vetas de Cu c/ Qz, Ser, Kfs, Bt
Diseminado [Au] Py	Diseminado Au c/ Py	VET [Cu] Py	Vetas de Cu c/ Py
Diseminado [Au] Mol	Diseminado Au c/ Mol	VET [Cu] Qz-Py	Vetas de Cu c/ Py, Qz
Diseminado [Cu]	Diseminado Cu	VET [Cu] Qz-Py-Cal	Vetas de Cu c/ Py, Qz, Cal
Diseminado [Cu] Py	Diseminado Cu c/ Py	VET [Cu] Qz-Py-Chl	Vetas de Cu c/ Py, Qz, Chl
Diseminado [Fe]	Diseminado Fe	VET [Cu] Qz-Mol	Vetas de Cu c/ Qz, Mol
Diseminado [Pb]	Diseminado Pb	VET [Cu] Chl-Ser	Vetas de Cu c/ Py, Qz, Tur
Diseminado [Zn]	Diseminado Zn	VET [Cu] Qz-Mo-Py	Vetas de Cu c/ Qz, Mol, Py
Diseminado_Intrusivo [Au]	Diseminado Au (intrusivo)	VET [Cu] Qz-Tur	Vetas de Cu c/ Qz, Tur
Diseminado_Intrusivo [Cu]	Diseminado Cu (intrusivo)	VET [Cu] Py-Qz-Tur	Vetas de Cu c/ Py, Qz, Tur
Electrum	Electrum	VET [Fe]	Vetas de Fe
Enriquecimiento [LREE] Fluor-carbonatos	Enriquecimiento REE (flúor-carbonatos)	VET [Fe] Py	Vetas de Fe c/ Py
Estratificación (no consolidada)	Estratificada No-consolidada	VET [Fe] Qz	Vetas de Fe c/ Qz

Estratiforme o 'mantos' [Au]	Estratiforme Au	VET [Fe] Act	Vetas de Fe c/ Act
Estratiforme o 'mantos' [Ag]	Estratiforme Ag	VET [Fe] Tur	Vetas de Fe c/ Tur
Estratiforme o 'mantos' [Ag] Py	Estratiforme Ag c/ Py	VET [Fe] Act-Qz	Vetas de Fe c/ Act, Qz
Estratiforme o 'mantos' [Cu]	Estratiforme Cu	VET [Fe] Qz-Tur	Vetas de Fe c/ Qz, Tur
Estratiforme o 'mantos' [Cu] Py	Estratiforme Cu c/ Py	VET [Ni]	Vetas de Ni
Estratiforme o 'mantos' [Fe]	Estratiforme Fe	VET [Co]	Vetas de Co
Estratiforme o 'mantos' [Fe] Py	Estratiforme Fe c/ Py	VET [Pb]	Vetas de Pb
Estratiforme o 'mantos' [Pb]	Estratiforme Pb	VET [Pb] Carb	Vetas de Pb c/ Carb
Estratiforme o 'mantos' [Pb] Py	Estratiforme Pb c/ Py	VET [Pb] Cal	Vetas de Pb c/ Cal
Estratiforme o 'mantos' [Zn]	Estratiforme Zn	VET [Pb] Py	Vetas de Pb c/ Py
Estratiforme o 'mantos' [Zn] Py	Estratiforme Zn c/ Py	VET [Pb] Qz	Vetas de Pb c/ Qz
Inclusiones [Au]	Inclusión de Au	VET [Pb] Carb-Qz	Vetas de Pb c/ Carb, Qz
Inclusiones [Au] Sulf Cu	Inclusión de Au en sulfuros de Cu	VET [Zn]	Vetas de Zn
Inclusiones [Au] Py	Inclusión de Au en Py	VET [Zn] Cal	Vetas de Zn c/ Cal
Inclusiones [Au] Rlg	Inclusión de Au en Rlg	VET [Zn] Carb	Vetas de Zn c/ Carb
Inclusiones [Au] Mag	Inclusión de Au en Mag	VET [Zn] Qz	Vetas de Zn c/ Qz
Inclusiones [Cu] Py	Inclusión de Cu en Py	VET [Zn] Py	Vetas de Zn c/ Py
Inclusiones [Zn] Py	Inclusión de Zn en Py	VET [Zn] Carb-Qz	Vetas de Zn c/ Carb, Qz
Laminaciones [Pb]	Laminación Pb	VET Alu	Vetas c/ Alu
Laminaciones [Zn]	Laminación Zn	VET Anh	Vetas c/ Anh
Lentes [Cu]	Lenticular Cu	VET Bt	Vetas c/ Bt
Lentes [Fe]	Lenticular Fe	VET Chl	Vetas c/ Chl
Lentes [Pb]	Lenticular Pb	VET Qz	Vetas c/ Qz
Lentes [Zn]	Lenticular Zn	VET Carb	Vetas c/ Carb
Relleno lavas [Au]	Relleno de lava Au	VET Cal	Vetas c/ Cal
Relleno lavas [Cu]	Relleno de lava Cu	VET Kfs	Vetas c/ Kfs
Relleno lavas [Cu] Py	Relleno de lava Cu c/ Py	VET Chl-Ser	Vetas c/ Chl, Ser
Relleno BRE_VOLC [Cu]	Relleno de brecha volcánica Cu	VET Qz-Mol	Vetas c/ Qz, Mol
Relleno BRE_VOLC [Pb]	Relleno de brecha volcánica Pb	VET Qz-Act	Vetas c/ Qz, Act
Relleno BRE_VOLC [Zn]	Relleno de brecha volcánica Zn	VET Carb-Qz	Vetas c/ Qz, Carb
Relleno BRE_VOLC [Fe]	Relleno de brecha volcánica Fe	VET Cal-Qz	Vetas c/ Cal, Qz
Relleno BRE_VOLC Py	Relleno de brecha volcánica Py	VET Qz-Jsp	Vetas c/ Qz, Jsp
Reemplazo masivo [Ag]	Reemplazo masivo Ag	VET Qz-Kfs	Vetas c/ Qz, Kfs
Reemplazo masivo [Au]	Reemplazo masivo Au	VET Qz-Bt-Kfs	Vetas c/ Qz, Kfs, Bt
Reemplazo masivo [Cu]	Reemplazo masivo Cu	VET Qz-Act-Bt-Kfs	Vetas c/ Qz, Kfs, Bt, Act
Reemplazo masivo [Cu] Py	Reemplazo masivo Cu c/ Py	VET Py-Epi	Vetas c/ Py, Epi
Reemplazo masivo [Fe]	Reemplazo masivo Fe	VET Py	Vetas c/ Py