



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

**MODELO GEOLÓGICO DE LA OCURRENCIA Y DISTRIBUCION
ESPACIAL DEL MOLIBDENO EN EL YACIMIENTO ROSARIO,
REGIÓN DE TARAPACÁ, CHILE.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

LEONEL IGNACIO VIVANCO COKE

PROFESOR GUÍA:

FERNANDO BARRA PANTOJA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

MARTIN REICH MORALES

DIEGO MORATA CÉSPEDES

SANTIAGO DE CHILE

2020

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR EL TÍTULO DE: Geólogo

POR: Leonel Ignacio Vivanco Coke

FECHA: 20/01/2020

PROFESOR GUÍA: Fernando Barra Pantoja

El yacimiento Rosario es uno de los depósitos más importantes de tipo pórfido Cu-Mo para la Compañía Minera doña Inés de Collahuasi. Sin embargo, el rendimiento en planta ha mostrado una caída sostenida en los porcentajes de recuperación del molibdeno procedentes de este yacimiento. Así pues, se buscó realizar un modelo geológico de molibdeno que representara de manera confiable la heterogeneidad, presente en la ocurrencia y distribución, de la mineralización primaria del molibdeno.

Para alcanzar este objetivo, se realizó una caracterización de los estilos de mineralización de la molibdenita, principal portador de molibdeno en Rosario y del cual se definió un total de 9 estilos de mineralización diferentes, con la finalidad de generar una nueva base de datos de molibdeno a través de un mapeo geológico de sondajes, que consistió en obtener datos de diferentes factores geológicos de relevancia en la ocurrencia de molibdenita. Se mapearon cerca de 4200 metros de sondaje seleccionados de acuerdo con criterios de leyes y variedades de alteración y litología. Asimismo, se procedió a realizar unidades geológicas de molibdeno que distinguieran las principales características de los estilos de mineralización y factores geológicos de cada unidad. Se definió un total de 11 unidades geológicas de molibdeno, que posteriormente fueron generadas en un modelo tridimensional. Con el modelo tridimensional ya completado se realizó un análisis estadístico de datos para corroborar la individualidad de cada unidad, que resultó en la reagrupación de unidades geológicas en 8 unidades de estimación para un proceso de estimación de recursos de molibdeno. En base a estos resultados, se concluye que las características mineralógicas de la molibdenita son principalmente controladas por el evento de alteración al cual esta pertenece, además de validar la heterogeneidad en la ocurrencia y distribución espacial del molibdeno en el yacimiento Rosario.

El presente modelo cumple con los procesos de construcción formal de un modelo geológico, por ende, es apropiado para ser utilizado en el proceso de estimación de recursos de molibdeno, y también integrado al modelo geometalúrgico de recuperación de molibdeno.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2	HIPÓTESIS DE TRABAJO	4
1.3	OBJETIVOS	4
1.3.1	Objetivo general	4
1.3.2	Objetivos específicos	5
1.4	ÁREA DE ESTUDIO	5
1.5	METODOLOGÍA DE TRABAJO	8
1.5.1	Trabajo en terreno	8
1.5.1.1	<i>Mapeo de sondajes históricos</i>	8
1.5.1.2	<i>Mapeo de bancos</i>	14
1.5.2	Gabinete	14
1.5.2.1	<i>Estudio de leyes</i>	14
1.5.2.2	<i>Modelamiento Geológico</i>	15
1.5.2.3	<i>Análisis estadístico de datos</i>	15
2	MARCO GEOLÓGICO REGIONAL Y TECTÓNICO	17
2.1	MARCO TECTÓNICO PALEOZOICO – NEÓGENO DEL SEGMENTO 19°-26° S	17
2.2	GEOLOGÍA DEL DISTRITO COLLAHUASI	20
2.2.1	Rocas Estratificadas	20
2.2.1.1	<i>Formación Collahuasi</i>	22
2.2.1.2	<i>Formación Quehuita</i>	23
2.2.1.3	<i>Formación Cerro Empexa</i>	25
2.2.1.4	<i>Ignimbrita Huasco</i>	25
2.2.1.5	<i>Ignimbrita Ujina</i>	26
2.2.1.6	<i>Depósitos Aterrazados</i>	26
2.2.1.7	<i>Estratovolcanes</i>	26
2.2.1.8	<i>Ignimbrita Pastillos</i>	27
2.2.1.9	<i>Depósitos no consolidados</i>	27
2.2.2	Rocas Intrusivas	27
2.2.3	Estructuras	29
3	GEOLOGÍA Y ESTRUCTURAS DEL YACIMIENTO ROSARIO	30
3.1	LITOLOGÍA	31
3.2	ALTERACIÓN HIDROTERMAL	35
3.3	MINERALIZACIÓN METÁLICA	39
3.4	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL YACIMIENTO ROSARIO	43
3.4.1	Controles estructurales sobre la mineralización	46
4	ANTECEDENTES DEL MOLIBDENO	47
4.1	MOLIBDENITA	48
4.2	DEPÓSITOS DE MOLIBDENITA	50

4.3	CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL MOLIBDENO EN PÓRFIDOS CUPRÍFEROS.....	51
5	RESULTADOS.....	53
5.1	DISTRIBUCIÓN DE SONDAJES EN ROSARIO Y SELECCIÓN DE SONDAJES PARA MAPEO GEOLÓGICO	53
5.1.1	Distribución de sondajes en Rosario	53
5.1.2	Selección de sondajes para mapeo geológico de sondajes	53
5.2	DISTRIBUCIÓN DE LEYES CUT, MO, AS, AU Y AG	56
5.3	CARACTERIZACIÓN DE LA MINERALIZACIÓN DE MOLIBDENO	63
5.4	MAPEO GEOLÓGICO DE SONDAJES.....	69
5.5	MODELO CONCEPTUAL.....	72
5.6	MAPEO GEOLÓGICO DE BANCOS.....	73
5.7	DEFINICIÓN DE UNIDADES GEOLÓGICAS DEL MOLIBDENO	76
5.7.1	Características geológicas de las UGMo	79
5.8	MODELO GEOLÓGICO TRIDIMENSIONAL DE MOLIBDENO	83
5.8.1	Indicadores de modelamiento.....	83
5.8.2	Sólidos del Modelo Geológico de Molibdeno	83
5.9	ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS DE MOLIBDENO	86
5.9.1	Análisis de Distancia al Contacto.....	86
5.9.2	Análisis de Distribución de Frecuencia Acumulada.....	87
5.9.3	Análisis de Dispersión de Datos.....	88
5.9.4	Porcentaje de tipos de Vetillas en las Unidades Geológicas de Molibdeno.....	90
6	DISCUSIONES.....	92
6.1	DISTRIBUCIÓN DE LEYES EN EL YACIMIENTO	92
6.2	CARACTERIZACIÓN DE LA OCURRENCIA DEL MOLIBDENO EN ROSARIO.....	92
6.2.1	Temporalidad de la ocurrencia de molibdeno en vetillas hidrotermales	92
6.2.2	Caracterización de los estilos de mineralización molibdenita.....	93
6.3	MAPEO DE SONDAJES.....	95
6.3.1	Molibdenita y su relación con la litología	96
6.3.2	Molibdenita y su relación con la alteración.....	96
6.3.3	Molibdenita y su Relación con las Estructuras.....	97
6.3.4	Ocurrencia de Molibdenita y su Relación con Leyes de Mo.....	98
6.4	MAPEO DE BANCOS.....	98
6.5	UNIDADES GEOLÓGICAS DE MOLIBDENO.....	99
6.5.1	Características Físicoquímicas de los Fluidos Hidrotermales	99
6.5.2	Procesos y Mecanismos de Formación de las UGMo	101
6.6	MODELO GEOLÓGICO DE MOLIBDENO TRIDIMENSIONAL	109
6.7	ANÁLISIS ESTADÍSTICO MODELO GEOLÓGICO DE MOLIBDENO	113
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115
8	BIBLIOGRAFÍA.....	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de ubicación del distrito Collahuasi y de la franja de pórfidos de Cu-Mo de edad Eoceno-Oligoceno Temprano	2
Figura 1.2 Gráfico con los principales índices de rendimiento metalúrgico de planta Colectiva y Selectiva CMDIC, durante los últimos 10 años.	4
Figura 1.3 Mapa de ubicación del distrito Collahuasi junto a las principales rutas y carreteras de acceso.....	6
Figura 1.4 Mapa esquemático que muestra la distribución de depósitos tipo pórfido y vetas epitermales en el distrito de Collahuasi	7
Figura 2.1 Direcciones y tasas de convergencia entre la Placa de Nazca y Sudamérica	19
Figura 2.2 Ubicación de los depósitos Rosario, Ujina y Quebrada Blanca.....	21
Figura 2.3 Mapa geológico de la Formación Collahuasi. Tomado de Munchmeyer (1984).....	24
Figura 2.4 Columna estratigráfica de la región de Collahuasi (izquierda) y distrito Rosario (derecha)	28
Figura 2.5 Esquema estructural regional del distrito Collahuasi.....	29
Figura 3.1 Sección transversal 20 (central mina) mirando hacia el NW. Se muestran las principales unidades litológicas que se encuentran en el yacimiento Rosario.	32
Figura 3.2 Fotografías de muestras de sondajes en los tipos litológicos principales del yacimiento Rosario.	34
Figura 3.3 Sección transversal 20 (central mina) mirando hacia el NW. Se muestran los tipos de alteraciones que se encuentran en el yacimiento Rosario.....	36
Figura 3.4 Fotografías de muestras de sondajes que ilustran los tipos de alteración principales en el yacimiento Rosario.	38
Figura 3.5 Sección transversal 20 (central mina) mirando hacia el NW. Se muestran los 6 tipos de zona mineral que se identifican en el yacimiento Rosario.....	41
Figura 3.6 Ejemplos de los tipos de vetillas en el yacimiento Rosario	42
Figura 3.7 Pitshell estructural de Rosario 2019.....	44
Figura 3.8 Avance de mina con vista en dirección hacia el SW	45
Figura 3.9 Proyecciones de áreas iguales del hemisferio inferior de vetas mineralizadas.....	46
Figura 4.1 Estructura cristalina de la molibdenita en los politipos 2H y 3R.....	49
Figura 5.1 Distribución de los sondajes existentes en Rosario, Rosario Oeste y Rosario Sur.	54
Figura 5.2 Distribución espacial de los sondajes seleccionados para este estudio.....	55
Figura 5.3 Distribución de leyes de As en los depósitos Rosario y Rosario Oeste	58
Figura 5.4 Distribución de leyes de Mo en los depósitos Rosario y Rosario Oeste.....	59
Figura 5.5 Distribución de leyes de Cu en los depósitos Rosario y Rosario Oeste.....	60
Figura 5.6 Distribución de leyes de Au en los depósitos Rosario y Rosario Oeste.	61
Figura 5.7 Distribución de leyes de Ag en los depósitos Rosario y Rosario Oeste	62
Figura 5.8 Estilos de mineralización de molibdenita identificadas en Rosario.....	68
Figura 5.9 Sección 13NW proyectando sondajes con mapeo de ocurrencia Mo en los modelos geológicos de A) litología y B) alteración del yacimiento	71
Figura 5.10 Modelo conceptual a mano alzada, en tres secciones tipo del yacimiento (13, 20 y 21NW)	73
Figura 5.11 Imágenes de puntos de control tomados en el mapeo de bancos	74

Figura 5.12 Imágenes de muestras representativas tomadas en los puntos de control del mapeo de bancos	75
Figura 5.13 Representación visual de las unidades geológicas de molibdeno, definidas según datos de mapeo geológico de bancos y sondajes	79
Figura 5.14 Box plots agrupando los datos de las variables químicas de cada metal de interés, evaluados en las unidades geológicas de molibdeno.....	82
Figura 5.15 Vista en perfil y planta de los intervalos generados por los Indicadores de modelamiento.	84
Figura 5.16 Sólidos generados en el programa Leapfrog Geo 4.5	85
Figura 5.17 Gráficos de análisis de distancia al contacto entre unidades geológicas de molibdeno.....	86
Figura 5.18 Grafico de distribución de frecuencia acumulada del molibdeno en cada UGMo..	87
Figura 5.19 Gráficos de dispersión de datos. Para análisis de correlación de elementos.....	89
Figura 6.1 Perfil esquemático del depósito Rosario mostrando la evolución del sistema magmático-hidrotermal de Rosario	108
Figura 6.2 Clasificación morfológica de la ubicación de la mineralización en pórfidos de molibdeno	109
Figura 6.3 Perfil esquemático de la mina Climax	111
Figura 6.4 Modelo de mineralización de la mina Bingham, pórfido Cu-Mo-Au.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Ítems relacionados a tipos de litologías.....	9
Tabla 1.2 Ítems relacionados a tipos de estructuras.	10
Tabla 1.3 Ítems relacionados a relleno de vetas.	10
Tabla 1.4 Ítems relacionados a tipos de alteraciones.....	12
Tabla 1.5 Ítems relacionados a tipos de zona mineral.	13
Tabla 3.1 Tabla resumen del tipo de vetillas hidrotermales encontradas en el yacimiento Rosario.....	40
Tabla 5.1 Tabla resumen de los sondajes seleccionados y mapeados.	55
Tabla 5.2 Tabla descriptiva de los dominios definidos en el modelo conceptual.	72
Tabla 5.3 Evaluación geológica de la BD de sondajes en las UGMo conceptuales.....	81
Tabla 5.4 Tabla resumen con los porcentajes del tipo de vetillas reconocidos en cada unidad geológica de molibdeno.....	91
Tabla 6.1 Tabla resumen de las características fisicoquímicas de los fluidos hidrotermales formadores de unidades geológicas de molibdeno.	100

1 INTRODUCCIÓN

Los yacimientos minerales del tipo pórfido de Cu-Mo de los Andes Centrales constituyen una de las más grandes concentraciones de cobre en la superficie de la Tierra. En Chile, se ha identificado un recurso total (incluida la producción) de 430 Mt de Cu fino en 55 depósitos del tipo pórfido de Cu-Mo (Camus, 2002). Clark (1993) definió pórfidos de Cu-Mo "gigantes" como aquellos depósitos que contienen más de 10 Mt de Cu fino. De los 17 pórfidos gigantes reconocidos a nivel mundial, Chile cuenta con nueve de ellos entre los que se destacan El Teniente, Chuquicamata, Río Blanco-Los Bronces, Escondida y Rosario en el distrito Collahuasi (Figura 1.1).

El distrito de Collahuasi es una provincia de pórfidos que en su conjunto rivaliza con las reservas de Cu reportadas para El Teniente, Río Blanco-Los Bronces o Chuquicamata, todos los cuales contienen más de 50 Mt de Cu fino (Camus, 2002). El distrito Collahuasi cuenta con tres importantes depósitos de tipo pórfido de Cu-Mo: Quebrada Blanca, Ujina y Rosario. Estos dos últimos son actualmente propiedad de la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM, mientras que el primero es de propiedad de Teck Resources Ltd.

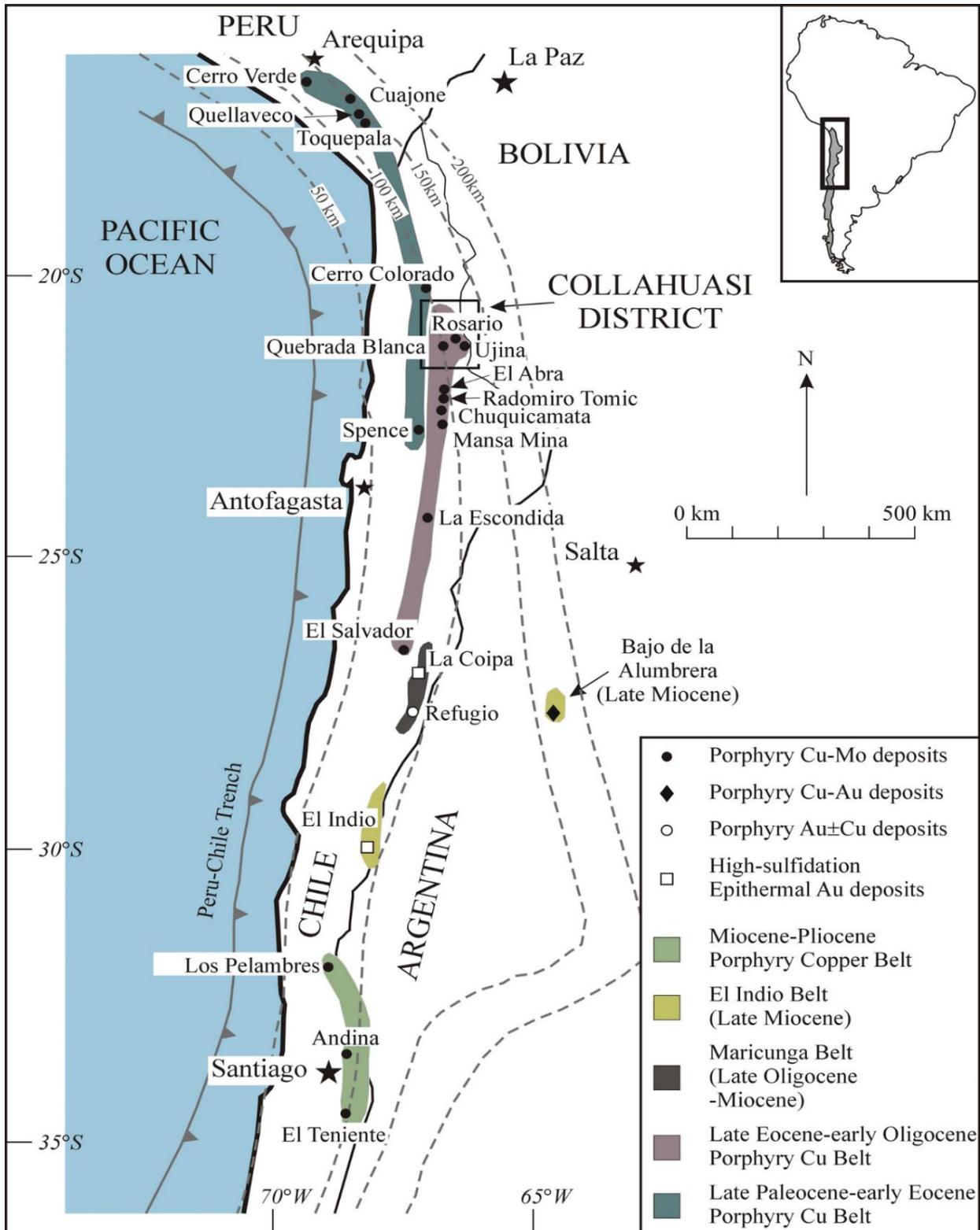


Figura 1.1 Mapa de ubicación del distrito Collahuasi y de la franja de pórfidos de Cu-Mo de edad Eoceno-Oligoceno Temprano. También se muestran las franjas metalogénicas principales del norte de Chile. Modificado de Muntean y Einaudi (2000).

1.1 Formulación del problema

La Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi (CMDIC) procesa actualmente minerales de Cu y Mo provenientes del yacimiento Rosario, del cual se estiman recursos en 10.126 Mt de Cu y 700 Mt de Mo (Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, 2017). El molibdeno es un importante subproducto de la explotación de Cu de varios pórfidos cupríferos del norte de Chile. El molibdeno (Mo) es un elemento metálico utilizado esencialmente como materia prima para aleaciones de acero, aportando diversas propiedades como resistencia a la temperatura, la corrosión, mayor durabilidad y fortaleza. Además, es ampliamente usado como lubricante.

A pesar del alto contenido de recursos de Mo en los yacimientos del distrito, la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi se encuentra en una baja sostenida en los porcentajes de recuperación globales de molibdeno de su más importante proveedor, el yacimiento Rosario. El molibdeno se extrae como un subproducto de la explotación de cobre en Collahuasi, y a pesar de ello, no existe una acabada información geológica que permita realizar una planificación minera de su extracción de manera más eficiente. En el año 2018 se elaboró un modelo de recuperación Colectiva y Selectiva de Mo usando datos de recuperación de ensayos de flotación y características litológicas de las principales unidades geometalúrgicas en Collahuasi. Cabe destacar, que la ley de Mo en el mineral de cabeza se encuentra dentro de los rangos adecuados para una buena recuperación (aprox. 240 ppm Mo). Sin embargo, la recuperación Colectiva de Mo es de alrededor de un 45%, mientras que la recuperación Selectiva es del orden de un 55% (Figura 1.2). Estas cifras indican una recuperación global extremadamente baja, en torno al 25%, muy por debajo de los rangos promedio del benchmarking de las plantas de Cu-Mo en Chile.

Sobre esta base, existe un amplio margen de mejoramiento en la recuperación de Mo, siempre y cuando se logre identificar y controlar la(s) causa(s) que ocasionan esta baja en la recuperación. De lo anterior se desprende la urgente necesidad de desarrollar un modelo geológico enfocado en la ocurrencia y distribución del mineral molibdenita. Este modelo geológico, en conjunto a los parámetros geometalúrgicos ya existentes en la mina, aportará a la elaboración de un plan de extracción más eficiente y por ende a una mejor recuperación del Mo.

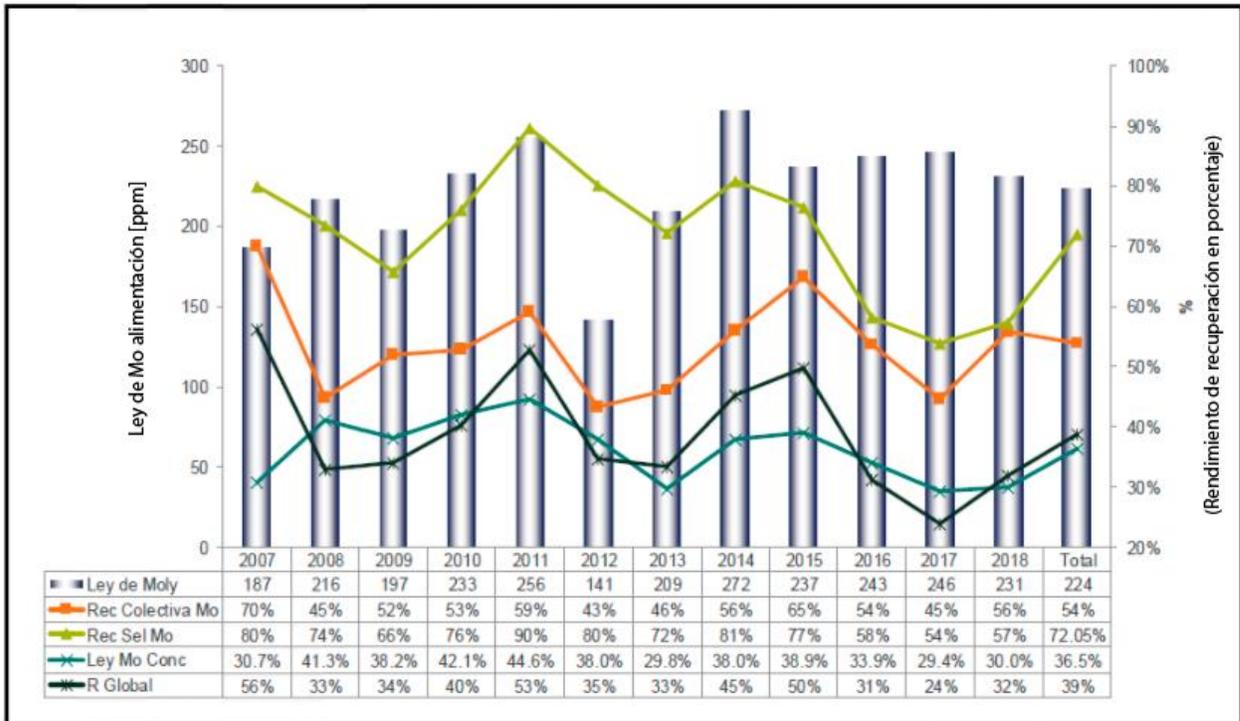


Figura 1.2 Gráfico con los principales índices de rendimiento metalúrgico de planta Colectiva y Selectiva CMDIC, durante los últimos 10 años.

1.2 Hipótesis de trabajo

El molibdeno del yacimiento Rosario ocurre y se dispone heterogéneamente en la zona de mineralización primaria del pórfido. Por medio de un modelo geológico que represente la ocurrencia y distribución del molibdeno, se podrá mejorar la estimación de recursos, al igual que el actual modelo de recuperación de molibdeno al incorporar y considerar los factores geológicos que influyen en los procesos metalúrgicos de extracción metálica como también en el comportamiento del molibdeno.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

El objetivo principal es aportar nuevos antecedentes que permitan aumentar la recuperación del molibdeno en planta, incorporando información geológica por medio de un modelo geológico tridimensional enfocado en la ocurrencia y distribución espacial de la molibdenita en el yacimiento Rosario del distrito Collahuasi.

1.3.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos por desarrollar para cumplir con el objetivo principal son:

- Caracterizar estilos de mineralización de la molibdenita en el yacimiento.
- Generar una base de datos actualizada de molibdeno.
- Definir unidades geológicas enfocadas en la ocurrencia del molibdeno.
- Construir un modelo 3D de ocurrencia del molibdeno.
- Integrar el nuevo modelo de ocurrencia de molibdeno al modelo de recuperación de molibdeno.

1.4 Área de estudio

El distrito Collahuasi (20°58'S y 68°43'W) está ubicado a unos 250 km al sureste de Iquique (Figura 1.3). El distrito abarca un área de 1,200 km² cerca de la Cordillera Principal y alberga un grupo de tres depósitos del tipo pórfido de Cu-Mo (Quebrada Blanca, Rosario y Ujina), depósitos de vetas epitermales de Cu-Ag de alta sulfuración (Rosario Oeste) y un depósito de Cu exótico (Huinquintipa) hospedado en gravas (Figura 1.4).

De acuerdo con Moore y Masterman (2002), la minería en el distrito de Collahuasi comenzó con los incas aproximadamente 1400 A.D., y continúa hasta nuestros días. Históricamente, la actividad minera se centró en el área de Cerro La Grande, Poderosa y Monctezuma con una mineralización del tipo epitermal de alta sulfuración con Cu-Ag-Au. La mineralización de Ag se origina en vetas de alto ángulo (Figura 1.4). Hasta 300,000 toneladas con leyes de 25% de Cu, 180 g/t de Ag y 2 g/t de Au, se extrajeron de estas vetas hasta 1930 (Moore y Masterman ,2002). La exploración moderna se realizó por primera vez en Quebrada Blanca, donde se reconoció que la geología y las zonas de alteración eran consistentes con el modelo de Lowell y Guilbert (1970).



Figura 1.3 Mapa de ubicación del distrito Collahuasi junto a las principales rutas y carreteras de acceso.

Con reservas de sulfuro predominantemente hipógenas de 1,094 Mt a 1.03% Cu (Moore y Masterman, 2002), Rosario constituye un excelente ejemplo de un ambiente epitermal de vetas Cu-Ag de alta sulfuración que se han desarrollado sobre un sistema de pórfido. Se ha estimado

que estas vetas representan aproximadamente el 10% de la mena hipógena de Cu en Rosario (Dick et al., 1994). Las reservas minerales del depósito Ujina, incluyendo hipógeno y supérgeno, se estiman en 741 Mt con una ley de 0.81% Cu (Moore y Masterman, 2002). La Profunda, una intrusión alterada hidrotermalmente ubicada a menos de 2 km de Ujina, es considerada como un sistema magnético-hidrotermal independiente de Ujina (Figura 1.4).

El depósito de Quebrada Blanca, situado a 8 km al suroeste de Rosario, contiene reservas de 1,000 Mt. de sulfuro de Cu-Mo con leyes promedio de 0.5-0.6% Cu y de 0.02% Mo (Teck Corp.-ENAMI; 2017).

Los depósitos de Rosario y Ujina son propiedad conjunta de Anglo American PLC 44%, Glencore 44% y Japan Collahuasi Resources B.V. 12%. En Quebrada Blanca la propiedad pertenece a Teck, quien tiene un 76.5% de participación, Inversiones Mineras S.A 13.5% y 10% Enami.

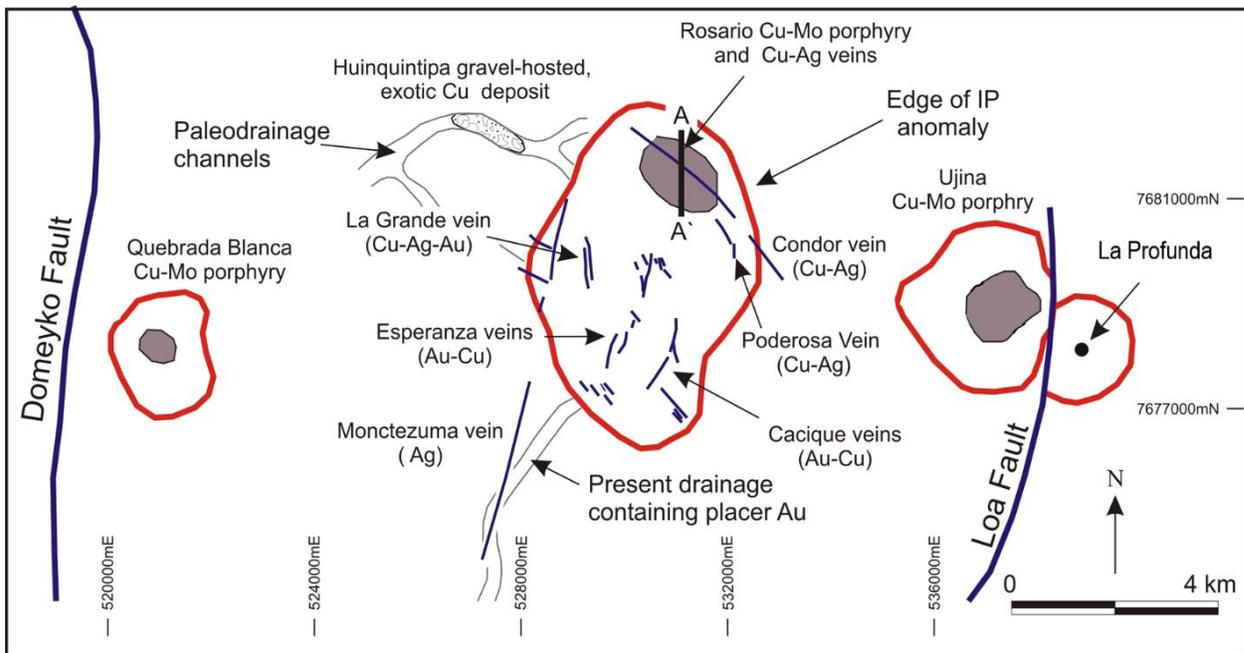


Figura 1.4 Mapa esquemático que muestra la distribución de depósitos tipo pórfido y vetas epitermales en el distrito de Collahuasi. Las anomalías de IP que rodean a cada centro de pórfido se interpretan para delimitar la extensión de la alteración hidrotermal (en rojo). Las áreas sombreadas de color púrpura son los contornos de las zonas mineralizadas. El depósito de Cu exótico Huinquentipa alojado en gravas se produce en un sistema de paleodrenajes que se originó en Rosario. Los actuales sistemas de drenaje al sur del Cerro La Grande contienen oro de placer. A-A' representa sección transversal a través del depósito Rosario (ver Figura 3.1). Modificado de Dick et al. (1994).

1.5 Metodología de trabajo

El Anexo I muestra el flujograma con las actividades y procesos involucrados para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos propuestos, adicionalmente se mencionan algunas complejidades asociadas al trabajo. Los detalles y procedimiento de cada método son explicados a continuación.

1.5.1 Trabajo en terreno

Esta etapa consistió en dos campañas en terreno cuya finalidad fue obtener información geológica referente a la ocurrencia de molibdeno en el yacimiento. Se realizó un mapeo de sondajes y mapeo geológico de bancos que se compiló a la base de datos de sondajes ya existentes para realizar un modelamiento de 3 secciones tipo.

1.5.1.1 Mapeo de sondajes históricos

El mapeo geológico de sondajes se realizó según el estándar establecido por la empresa consultora Geoblast. Este consiste en realizar un registro a escala 1:100 de los diferentes parámetros geológicos que se observan en el testigo, en una cartilla de mapeo digital optimizada para la ocurrencia de molibdenita.

El soporte de registro de los parámetros se determinó en base a quiebres naturales que representan contactos litológicos, cambios volumétricos en las proporciones de minerales de alteración, mineralización y tramos estructurales.

Se considera que la unidad mínima mapeable es de 1 m, quedando a criterio del geólogo si unidades menores a este soporte, produce un impacto relevante y justifica su registro. La unidad máxima mapeable no supera los 10-15 m en un mapeo de detalle, no obstante, queda a criterio del geólogo si la homogeneidad geológica observada en el sondaje permite establecer tramos mayores.

Los mapeos deben registrar los siguientes aspectos: datos del sondaje, litología, estructuras, alteración, zona mineral, estilos de mineralización de molibdenita y leyes promedio de molibdeno en los tramos registrados. Estos aspectos deben explicar en su conjunto, el resultado de la mineralización contenida en el soporte estudiado, es decir, los factores geológicos

principales que controlan la mineralización. Se utilizó un formato de cartilla con los criterios que se describen a continuación.

- **Litología**

Las unidades de mapeo litológico deben ser mapeadas con la codificación existente para la Base de Datos de Acquire. A continuación, se presenta un listado de códigos litológicos más comunes, usados en el pasado en Collahuasi.

Tabla 1.1 Ítems relacionados a tipos de litologías.

Litología	Agrupación
GRAVA: grava, suelos, rellenos, etc.	GRAVA
AND: andesitas y brechas andesíticas	AND
OCO: ocoita	
USED: unidad sedimentaria indiferenciada	USED
DAC: dacita o Pórfido Doña Inés	
TOB: toba	
RIO: riolita	RXAC
TOBR: toba roja	
TOBSIL: toba sílfcea	
IGN: ignimbrita	IGN
CIN: cinerita	CIN
BRH: brecha hidrotermal	
BXPR: brecha polvo de roca	BRE
BRI: brecha ígnea	
PRO: pórfido Rosario	
PCO: pórfido Collahuasi	
GRD: granodiorita	POR
PGD: pórfido granodiorítico	
PFL: pórfido feldespático	
PQZ: pórfido cuarcífero	
PTA: pórfido tardío	PTA
PIN: pórfido indiferenciado	PIN
DIO: dioritas y microdioritas	DIO
PUJ: pórfido Ujina	PUJ
PCA: pórfido Inca	PCA
VET: veta	VET
RND: roca no diferenciada	
SRM: sin recuperación	
MEE: muestra estudios especiales	SI
SI: sin información	

- **Estructuras**

Las estructuras corresponden a vetas, zonas de vetas, fallas y zonas de fallas. Esta caracterización de estructuras es análoga a la utilizada en el mapeo de bancos.

Tabla 1.2 Ítems relacionados a tipos de estructuras.

Código	Tipo	Descripción
F	Falla	Discontinuidad entre dos caras opuestas, que han sido relativamente desplazadas paralelas a la superficie de movimiento. El relleno ha sido triturado en grados variables de acuerdo a la extensión del movimiento. Su espesor puede ir desde algunos centímetros hasta metros. Núcleo de falla. Se caracteriza por presencia de salbanda o algún indicador cinemático. Se debe indicar el relleno (arcillas, roca fragmentada, roca molida). Se incluyen en esta categoría, brechas de falla, las que consisten en una matriz de roca molida y clastos angulosos de roca. El tramo mínimo de mapeo es de 50 cm., si hay una falla de menor potencia y que sea relevante, como cambio en la litología, alteración o mineralización, se debe registrar.
ZF	Zona de Falla	Zona constituida por un conjunto de fallas menores, fracturamientos intensos o zonas de roca molida y triturada, que en conjunto permitan definir una zona de daño adyacente al núcleo. Debe indicarse espesores, tipo de rellenos, ángulos y otras notas que se consideren apropiadas tales como espejos de fallas, indicadores cinemáticos, ángulo rake, para las fracturas individuales. El tramo mínimo de mapeo es de 50 cm. Para el caso de sondajes aire reverso, la zona de falla será identificada por el contenido de salbanda en el cutting.
V	Veta	Depósito tabular generalmente formado por depositación de minerales de mena y ganga en espacios abiertos en una falla o fractura, o también por reemplazo. Corresponde a una mineralización controlada estructuralmente. Se denominará y mapearán como Veta a las estructuras cuya potencia sea superior a 20 cm. De acuerdo al tipo de relleno se subdividen en 5 grupos (ver tabla).
ZV	Zona de Vetos	Enrejado o stockwork de vetas de ancho menor que se entrecruzan y generan un área mayor. Generalmente asociadas a una veta mayor descrita anteriormente.
SRM	Sin Recuperación de Muestra	Corresponde al tramo en que no hubo recuperación de muestra por parte de la empresa de perforación. Esta información es necesaria para distinguirla de tramos que no han sido mapeados.

- **Vetas**

Tabla 1.3 Ítems relacionados a relleno de vetas.

Veta	Relleno
Veta Tipo 1	Cpy-Py (Mo)
Veta Tipo 2	Py-Bn (Cv-Cpy-Cc) (Mo)
Veta Tipo 3	Py-En
Veta Tipo 4	Py (Cpy)
Veta Tipo 5	Py-Cc

Abreviaciones: Los sulfuros corresponden a bornita (Bn), calcopirita (Cpy), pirita (Py), molibdenita (Mo), covelina (Cv), calcosina (Cc) y enargita (En).

- **Contactos**

Se pone especial énfasis en la caracterización de los tipos de contactos geológicos entre las unidades, la forma, ángulo y se describen las características del contacto, como así también el detalle de las estructuras (fallas y vetas).

- **Alteración**

La alteración hidrotermal observada en las rocas corresponde a una superposición de eventos hidrotermales, por lo tanto, el mapeo considera la proporción modal de cada una de ellas. La alteración define tramos mapeables, según quiebres que pueden corresponder a un cambio en el tipo de alteración o cambio del volumen relativo entre las existentes. Las alteraciones presentes en el yacimiento, reconocidas según asociaciones minerales, son las siguientes:

Potásica de feldespato potásico, Potásica de biotita, Sericita Gris Verde, Propilítica, Cuarzo–Sericita, Argílica y Argílica Avanzada. Rocas metamórficas de contacto tipo Skarn y Hornfels, son tomadas como alteración. Además, se ha reconocido alteración sódico-cálcica en menor proporción. Se registra en cada columna de la cartilla de mapeo el porcentaje de cada alteración en la roca, la intensidad dominante, i.e., fuerte (F), moderada (M) o débil (D), y su ocurrencia. Para este proyecto se han definido cuatro tipos de ocurrencia; vetillas (V), halos de vetillas (H), estructuras (F) y pervasiva (P). Las alteraciones presentes y su codificación, se presenta en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4 Ítems relacionados a tipos de alteraciones.

Código	Alteración	Descripción
AA	Argílico Avanzado	Gran parte de los minerales de las rocas son transformados a dickita, caolinita, pirofilita, diásporo, alunita y cuarzo. Este tipo de alteración representa un ataque hidrolítico extremo de las rocas en que incluso se rompen los fuertes enlaces del aluminio en los silicatos originando sulfato de Al (alunita) y óxidos de Al (diásporo). En casos extremos la roca puede ser transformada a una masa de sílice oquerosa residual (“vuggy silica” en inglés). Ocurre dentro de un amplio rango de temperatura, pero a condiciones de pH entre 1 y 3.5. Bajo pH 2 domina el cuarzo, mientras que alunita ocurre a pH sobre 2. Aunque no contengan cuarzo residual asociaciones de halos de vetas conteniendo pirofilita-dikita con o sin alunita puede denominarse argílica avanzada.
A	Argílica	Importantes cantidades de caolinita, montmorillonita, esmectita o arcillas amorfas, principalmente reemplazando a plagioclasas y en fracturas; puede haber sericita acompañando a las arcillas; el feldespato potásico de las rocas puede estar fresco o parcialmente argilizado. Hay una significativa lixiviación de Ca, Na y Mg de las rocas.
QS	Cuarzo Sericita	Se caracteriza principalmente por cuarzo y sericita reemplazando a plagioclasas y feldespato potásico, además de su ocurrencia en halos de vetillas. Los máficos generalmente se encuentran completamente destruidos. Presenta además cantidades menores de arcillas (caolinita). Puede destruir totalmente la textura original de la roca.
SGV	Sericita Gris Verde	La característica principal de esta alteración es su alta pervasividad, pues oblitera completamente la textura de la roca. Se desarrolla en halos subparalelos, más bien extensos, en vetillas del tipo C. Corresponde a un reemplazo de los minerales por un agregado fino de sericita gris verdosa y menor cuarzo. Son abundantes sulfuros de cobres diseminados, calcopirita ± bornita.
B	Potásica Biotítica	Caracterizada por la presencia de biotita secundaria y en vetillas. Ocurre como reemplazo en máficos, fenocristales y masa fundamental. Se indica biotita secundaria en todas sus ocurrencias tales como, biotita comoseudomorfo de minerales máficos, halos de biotita en vetillas, penetrativa en la roca, afectando la masa fundamental de pórfidos, cúmulos, etc.
K	Potásica Feldespática	Caracterizada por la presencia de feldespato potásico, en reemplazo de plagioclasas y/o como vetillas. Es común la asociación de cuarzo con feldespato potásico. Se mapea el volumen de feldespato potásico secundario que corresponde a la sumatoria de todas las ocurrencias de evidente reemplazo secundario (rosadas), tales como relleno, halo de vetillas y cúmulos ocelares.
SK	Skarn	Si bien en este proyecto se toma como alteración, un Skarn una roca metamórfica formada por el contacto entre rocas carbonatadas y un cuerpo ígneo caliente. En este caso, las rocas carbonatadas son secuencias calcáreas de la Formación Collahuasi y el cuerpo magmático es el pórfido Doña Inés. Esta roca se presenta como un agregado de granates, epidota, menor clorita, magnetita.
Hnf	Hornfels	Si bien en este proyecto se toma como alteración, un Hornfels es una roca metamórfica cornificada, formada por el contacto entre rocas no carbonatadas y un cuerpo ígneo caliente. En este caso, las rocas no carbonatadas son sedimentos volcanogénicos y andesitas de la Formación Collahuasi y el cuerpo magmático es el Pórfido Doña Inés. Esta roca se presenta como un agregado de biotitas y/o magnetita, carente de foliación, donde granos y minerales preexistentes, junto a la estructura de la roca madre, han desaparecido.

- **Mineralización**

Corresponde a la asociación mineralógica metálica observada en un tramo, definida por la proporción de sulfuros de hierro y/o cobre, oxidados de cobre y oxidados de hierro, en ocasiones con un determinado rango de ley de Cu. La Tabla 1.5, muestra los tipos de zona mineral y codificación descritos para el depósito.

Tabla 1.5 Ítems relacionados a tipos de zona mineral.

Código	Zona mineral	Descripción
EST	Estéril	Tramo donde los minerales de cobre están ausentes o sólo en cantidades menores a trazas (<0.2% en volumen del total roca). Si hay presencia de limonitas, son escasas (<0.5% en volumen total roca) y no representan una zona con lixiviación de sulfuros hipógenos. Generalmente presenta leyes <0,1% CuT.
LIX	Lixiviado	Tramo caracterizado por la presencia continua de limonitas en proporción mayor o igual a 0.5% en volumen del total roca, pudiendo contener trazas de otras especies minerales oxidadas y/o sulfuradas con cobre (<0.2% en volumen del total roca). Son característicos los boxworks de pirita, y vetillas lixiviadas. Generalmente, las leyes de cobre total en esta zona están entre 0,1% y 0,2% CuT.
OXI	Óxido	Tramo caracterizado por la presencia de minerales oxidados de cobre (>0.2% en volumen del total roca). La ocurrencia de oxidados de Cu en la roca puede ser fracturas, tinción en minerales preexistentes, relleno de vetillas lixiviadas, etc. La presencia de especies sulfuradas con Cu es solo en cantidades menores o igual a trazas (<0.2% en volumen del total roca). Limonitas pueden estar presentes, sin importar su proporción. Generalmente con leyes >0,2% de CuT.
MIX	Mixto	Tramo caracterizado por la presencia de minerales oxidados de Cu y sulfuros de cobre Cu y Fe, ambos en cantidades mayores que trazas (>0.2% en volumen) y generalmente en proporciones equivalente entre sí. Leyes >0.2% CuT.
SECF	Secundario Fuerte	Zona con presencia de mineralización de sulfuros de origen secundario correspondiente a calcosina y/o covelina en cantidad superior o igual a 80% del total de sulfuros de cobre. Generalmente la presencia de pirita se ve con pátinas negras (“pirita sucia”). La proporción de sulfuros de cobre debe ser superior a trazas (>0.2% en volumen). Leyes >0.3% CuT.
SECD	Secundario Débil	Corresponde al tramo que contiene mineralización de sulfuros secundarios coexistiendo con sulfuros primarios de Cu. Los sulfuros secundarios deben estar en proporción entre 20 y 80% respecto al total de sulfuros de Cu. La proporción de sulfuros de cobre hipógenos (calcopirita, bornita) debe ser superior a trazas (>0.2% en volumen). Generalmente la pirita se ve “limpia” sin pátinas. Leyes >0.3% CuT.
PRI	Primario	Se define a la zona con presencia de mineralización de sulfuros hipógenos (calcopirita, bornita, digenita, enargita) en cantidad superior o igual a 80% del total de sulfuros de cobre. La proporción de sulfuros de cobre debe ser superior a trazas (>0.2% en volumen). Leyes >0.2% CuT.
PRIPY	Primario Píritico	Zona con presencia de pirita en cantidad superior a 90% del total de sulfuros del tramo. Presenta alteración cuarzo-sericítica que la distingue de la Zona Píritica, la cual presenta alteración propilítica. Leyes <0.3% CuT.
ZPY	Zona Píritica	Zona con presencia de pirita en cantidad superior a 90% del total de sulfuros del tramo. Se diferencia del Primario Píritico por la ocurrencia característica de alteración propilítica. Leyes <0.2% CuT.

- **Estilo de mineralización molibdenita**

A partir de lo observado durante el mapeo de sondajes, se reconocieron distintos tipos de estilos de mineralización de molibdenita, generando una caracterización macroscópica de su ocurrencia. Posteriormente se codificó cada estilo y se registró en tramos definidos por quiebres geológicos significativos, es decir, litología, contactos, cambio en la abundancia de estructuras, alteración o zona mineral.

1.5.1.2 Mapeo de bancos

En esta etapa se tomaron los mismos parámetros relevantes que se utilizaron en la etapa de mapeo de sondajes, pero para este caso el registro de datos fue sobre la superficie del rajo Rosario. Obtener la información de superficie, permitió generar una mejor representación del modelo a la realidad, debido a que los datos de sondaje tienen una referencia en superficie para construir el modelo.

1.5.2 Gabinete

En la etapa de gabinete se integró toda la información geológica obtenida en terreno, se realizó un estudio de distribución de leyes junto a la mineralogía e información geometalúrgica del yacimiento que fue incorporada en la elaboración de un modelo sobre la ocurrencia de la molibdenita.

1.5.2.1 Estudio de leyes

Con la finalidad de determinar variaciones espaciales de las concentraciones de Cu, Mo, As, Fe, Au y Ag se realizó un estudio de distribución de leyes utilizando para Cu, Mo y As la misma base de datos ROSBD250918 con que se modelaron las secciones. La base de datos de sondajes corresponde a leyes que se obtienen a partir de muestras cada 2 m realizadas en una malla de sondajes inicial 100 x 100 m, pero localmente más densa. Los métodos analíticos empleados en la obtención de leyes que conforman la base de datos corresponden a digestión ácida para Cu, Mo, As, Fe y Ag, y ensayo a fuego para Au. La concentración de estos elementos se determinó mediante absorción atómica (AA).

1.5.2.2 Modelamiento Geológico

Consiste en el modelamiento de la geología y mineralización de la molibdenita en el yacimiento. Inicialmente se recopila y trabaja con la base de datos de sondajes del proyecto ROSBD250918 en que se incluye los registros de datos obtenidos en la campaña de mapeo de sondajes y la base de datos geotécnica, química y geometalúrgica de Rosario. Este proceso se realiza en base a unidades modelables, definidas mediante la obtención de los porcentajes de cada tipo de litología, alteración, estructura, o mineralización, que están vinculados a un código particular, en función del total de metros abarcados dentro de todos los sondajes de la base de datos. La posterior elaboración del modelo conceptual se trabaja en tres secciones tipo del yacimiento de forma manual sobre planos individuales para cada variable a escala 1:2500. La información es analizada mediante la superposición de las variables litología, estructuras, alteración, zona mineral, leyes, estilo de mineralización molibdenita, desplegadas en sus respectivos planos. Posteriormente las secciones del modelo conceptual son traspasadas al software Leapfrog Geo 4.5, que además es utilizado en todo el proceso de modelamiento como herramienta auxiliar, para comenzar con el procedimiento técnico de la formación de sólidos tridimensionales. Este proceso se inicia con la elaboración de indicadores de modelamiento que aportarán los datos que utilizará Leapfrog Geo para generar superficies de modelamiento a partir de la función de interpolación lineal y/o esférica de datos que este provee. Posteriormente se ajustaron los datos a polilíneas construidas en base a los conceptos geológicos, o también modelo conceptual, definidos en las unidades geológicas de molibdeno, con la finalidad de proporcionar un sentido geológico a la función de interpolación del programa. El producto final del modelamiento en Leapfrog Geo es la generación de sólidos tridimensionales que representan el modelo geológico de ocurrencia y distribución espacial de molibdeno en Rosario.

1.5.2.3 Análisis estadístico de datos

Luego de la elaboración del modelo geológico de molibdeno, se realizó un análisis estadístico con el objetivo de validar las diferencias y cambios entre las unidades geológicas de molibdeno como así también identificar aquellas unidades y elementos dentro de unidades que son adecuados para la estimación de recursos. Los análisis empleados corresponden a análisis de distancia al contacto entre unidades, análisis de derivas (comparación entre bases de datos; modelamiento de molibdeno y modelo de bloques), análisis de distribución de frecuencia

acumulada y análisis de dispersión de datos; todos a partir de la base de datos generada para el modelamiento de molibdeno. El programa utilizado para elaboración de gráficos es otorgado por la compañía Geoinnova, perteneciendo a una creación propia de la compañía y no disponible en el mercado.

2 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL Y TECTÓNICO

2.1 Marco tectónico Paleozoico – Neógeno del segmento 19°-26° S

En el Proterozoico tiene lugar la acreción del terreno Arequipa, y posterior a este evento el margen continental de Chile permaneció pasivo desde el Cámbrico al Ordovícico Inferior (Ramos y otros, 1986). Posteriormente durante el Devónico, se forma un prisma de acreción producto de la subducción y acreción del terreno Chilenia (Charrier y otros, 2007) seguido de una reactivación del proceso de subducción en el margen continental Sudamericano, desarrollándose un arco magmático y cuenca de trasarco de edad Pérmico Superior – Triásico Inferior. Durante el Triásico hay procesos de extensión generalizada que se manifiestan por la formación de sistemas de rift que perduraron hasta el Jurásico, los que estuvieron controlados por una fábrica estructural (fallas normales) derivada de líneas de debilidad del basamento (Uliana y Biddle 1987; Charrier y otros 2007). Estas cuencas se desarrollaron en forma preferencial en los bloques colgantes de los sistemas de sutura paleozoicos (Ramos y Kay, 1991).

Posterior a la fase de rifting del Triásico – Jurásico temprano, se presenta una extensa sedimentación en las cuencas de rift con un reinicio de la subducción, lo que determina desde el Jurásico, la existencia de un arco magmático y el inicio del ciclo Andino. Las primeras evidencias de un arco magmático activo en el margen occidental de Sudamérica son observadas aproximadamente a los 183 Ma (Mpodozis y Ramos, 2008), periodo caracterizado por una mayor tasa de alzamiento que de subsidencia, sincrónico con el comienzo de estadios compresivos. La compresión es máxima durante la inversión de las cuencas, que produce la reactivación de antiguas fallas normales en una modalidad inversa (Skarmeta, 1991). De acuerdo con Gunther y otros (1997), junto a Padilla y otros (2001), las estructuras que limitaron el borde oriental de las cuencas Jurásicas de trasarco definen el Sistema de Falla Domeyko. Este sistema constituye actualmente una serie de fallas de orientación general N5°E, verticales a subverticales que delimitan bloques alzados a lo largo de la Cordillera Principal, desde los 21° hasta los 26° 30' S. Este conjunto de bloques representa un rasgo morfoestructural de primer orden a escala regional.

A comienzos del Terciario se da inicio a movimientos de rumbo a lo largo del Sistema de Falla Domeyko (Reutter y otros, 1991, Lindsay y otros, 1995), lo que es concordante con un régimen de acortamiento y transpresión dextral derivado de la convergencia oblicua de la placa de Nazca (Figura 2.1) (Pilger, 1984; Pardo-Casas y Molnar, 1987). Sin embargo, la geometría de las intrusiones del Eoceno tardío no parece haber sido influenciadas por stress compresivos. Según lo registrado en los yacimientos La Escondida (Richards y otros, 2001) y Chuquicamata (Lindsay y otros, 1995; Reutter y otros, 1996), el campo de stress en la Cordillera de Domeyko parece haber rotado alrededor del periodo de emplazamiento de los pórfidos en el periodo Eoceno Superior – Oligoceno Inferior, resultando en un cambio de sentido de movimiento pre-mineralización dextral a post-mineralización sinistral, lo que potencialmente generó corredores transtensionales de alta permeabilidad localizados en intersecciones estructurales ideales para emplazar intrusiones someras (Richards y otros, 2001).

En el periodo Oligoceno – Mioceno Inferior se registran procesos supérgenos de oxidación y enriquecimiento secundario sobre la mineralización hipógena en el norte de Chile. En paralelo, la tectónica está caracterizada por la ocurrencia de un episodio dextral de corta duración con movimiento dominante de tipo transcurrente. Posterior a esto, se han estimado entre 35 y 37 km de desplazamiento transpresivo sinistral post-mineral, a lo largo de la Falla Oeste entre Chuquicamata y El Abra (Dilles y otros, 1997; Tomlinson y Blanco, 1997). Sin embargo, a fines del Oligoceno Superior, Muñoz y otros (2000) reconocen el inicio de un periodo de expansión del arco magmático, en conjunto con un episodio regional de expansión cortical de aproximadamente 10 Ma. Esto sería producto de un cambio en la geometría de subducción y de un período transitorio de circulación astenosférica vigorosa, generados por el incremento en las tasas de convergencia; combinación que produce una extensión moderada en el margen continental del sector sur de Sudamérica, al inducir un episodio de 'rollback' de la Placa de Nazca subductada. Durante el Mioceno Superior al Plioceno, altas tasas de convergencia producen engrosamiento cortical y gran alzamiento tectónico relacionado a pulsos compresivos de la fase tectónica Quechua (Muñoz y otros, 2000).

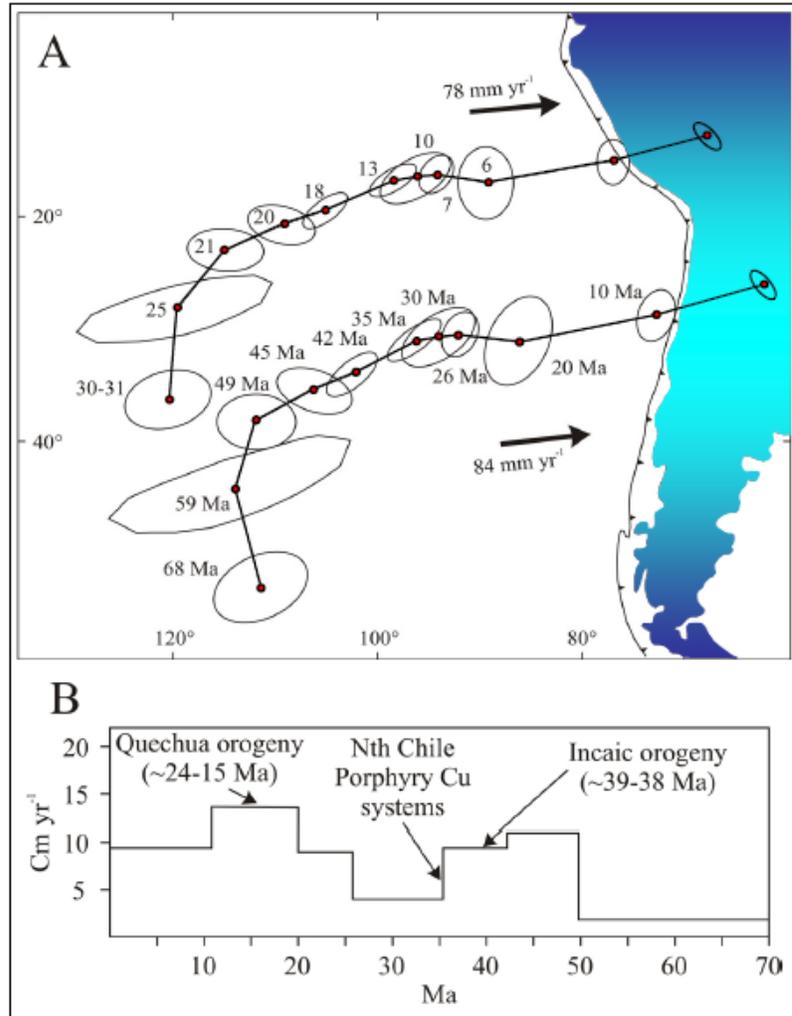


Figura 2.1 Direcciones y tasas de convergencia entre la Placa de Nazca y Sudamérica desde el Cretácico (Pardo-Casas y Molnar, 1987). A) Posiciones de dos puntos en la Placa de Nazca, que se formaron en el momento de la anomalía magnética del fondo marino 30-31, trazadas con respecto a Sudamérica en el momento de varias anomalías magnéticas. La dirección de convergencia hacia el noreste no ha cambiado significativamente desde 49.5 Ma (anomalía 21), lo que implica que el esfuerzo de compresión principal del campo lejano que afecta a la deformación en los Andes también debería haberse mantenido constante desde este momento. B) Velocidad promedio de convergencia en función del tiempo para el período de tiempo. La tasa de convergencia no ha sido constante, como lo demuestran las rápidas tasas de convergencia entre 49 y 42 Ma (anomalías 21 a 18), y desde 26 Ma (anomalía 7). Los períodos de rápida convergencia coinciden con la orogenia Incaica del Eoceno tardío y la orogenia Quechua del Plioceno en los Andes del norte de Chile y Perú. El periodo de formación de los depósitos gigantes de pórfido cobre en el norte de Chile son posteriores a la orogenia Incaica y se superponen con un período de inactividad tectónica.

2.2 Geología del Distrito Collahuasi

El distrito Collahuasi se divide en tres dominios geológicos, que se encuentran separados por dos sistemas estructurales de escala regional, estos son el Sistema de Falla Oeste y Sistema de Falla El Loa. Los dominios corresponden a: Dominio Mesozoico Occidental separado del Dominio Paleozoico Central por el Sistema Falla Oeste; Dominio Paleozoico Central separado del Dominio Cenozoico Oriental por el Sistema Falla El Loa. El Dominio Mesozoico Occidental, lo conforman las formaciones Quehuita y Cerro Empexa; el Dominio Paleozoico Central, las unidades de la Formación Collahuasi; y el Dominio Cenozoico Oriental, se compone de rocas volcánicas, piroclásticas y estratovolcanes.

2.2.1 Rocas Estratificadas

La secuencia estratigráfica del distrito Collahuasi se compone principalmente de rocas volcánico-sedimentarias de naturaleza andesítica a riolítica. Estas han sido divididas en unidades litoestratigráficas formales e informales que abarcan desde el Paleozoico Superior hasta el periodo actual (Figuras 2.2, 2.3 y 2.4).

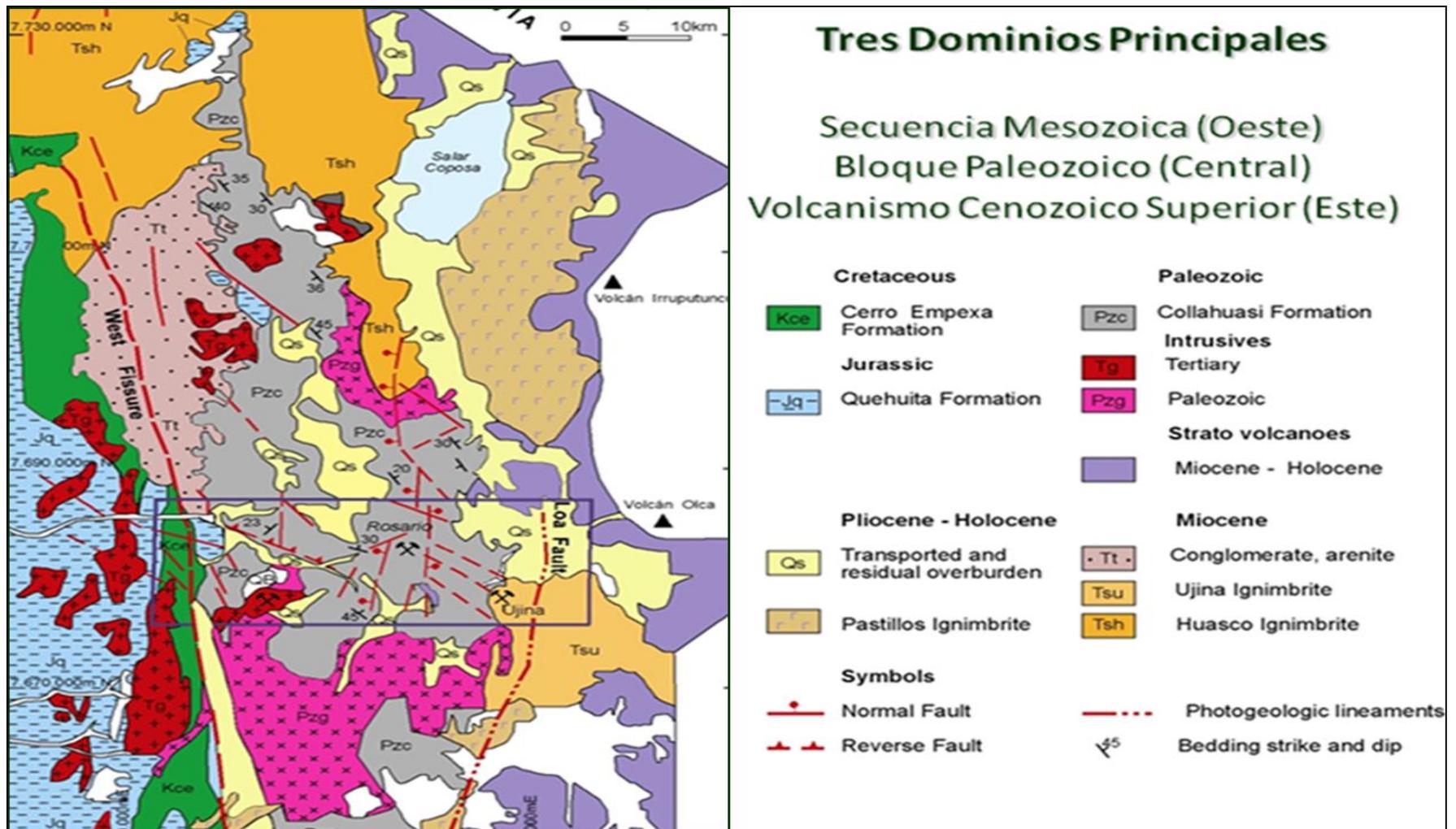


Figura 2.2 Ubicación de los depósitos Rosario, Ujina y Quebrada Blanca. Los yacimientos se emplazan en la Formación Collahuasi y están limitados al este y al oeste por la Falla El Loa y Falla Oeste, respectivamente. Tomado de carta geológica del SERNAGEOMIN. Hoja Collacagua, Región de Tarapacá, mapa escala 1:250.000.

2.2.1.1 Formación Collahuasi

Unidad volcano-sedimentaria (Vergara y Thomas, 1984) de aproximadamente 4 km de espesor, constituida por andesitas, dacitas, riolitas, tobas y cuerpos intrusivos menores. La formación de edad Paleozoica Tardía a Triásico temprano subyace a la Formación Quehuita mediante una discordancia angular.

Las rocas volcánicas están compuestas de dos o más ciclos de flujos andesíticos a riolíticos con intercalaciones sedimentarias, depositadas en un ambiente continental (Bisso y otros, 1998). Los límites geográficos que controlan su extensión y distribución corresponden por el lado norte a la Ignimbrita Huasco, bajo la cual subyace la Formación Collahuasi (Masterman, 2003). Hacia el lado oeste limita con el Sistema de Falla Domeyko (Bisso y otros, 1998) mientras que hacia el lado sur se extiende hasta Chuquicamata (Masterman, 2003). El límite oriental no está expuesto, pero probablemente esté controlado por el sistema estructural de la Falla El Loa. Munchmeyer y otros (1984) dividen la Formación Collahuasi en tres unidades informales (Figura 2.3 y 2.4).

- *Unidad La Grande:* Secuencia con al menos 3,000 m de espesor que afloran en la mitad sur del Distrito Collahuasi. Se compone de rocas efusivas riolíticas, dacíticas y andesíticas con intercalaciones de areniscas y brechas sedimentarias. Esta unidad se encuentra intruida por un batolito granodiorítico de edad Permo-Triásico, y es sobreyacida de forma discordante por las unidades Capella y Cóndor, del Triásico y/o Jurásico(?). Al noroeste de Quebrada Blanca se encuentra cubierta discordantemente, por calizas y areniscas de la Formación Chacarillas de edad Jurásica y por unidades volcano-clásticas del Eoceno (Munchmeyer y otros, 1984).
- *Unidad Capella:* Coladas riolíticas alternadas con lentes y horizontes de areniscas y calizas. La secuencia tiene una potencia mínima de 1,700 m que sobreyacen en discordancia angular a las rocas de la Unidad La Grande. Aflora en el cuadrante NW del Distrito Collahuasi, en las cercanías de la localidad de Capella y se le asigna una edad Triásico y/o Jurásico(?) (Munchmeyer y otros, 1984).
- *Unidad Cóndor:* Secuencia de rocas efusivas riolíticas que incluyen en su parte basal un horizonte de areniscas y calizas. La potencia mínima es de 1,050 m. Aflora en la serranía que separa Rosario de la localidad de Ujina. La Unidad Cóndor tiene una posición estratigráfica similar a la de Unidad Capella. Los eventos sedimentarios descritos son semejantes para

ambas unidades, pero se ha preferido diferenciarlas debido a su discontinuidad distrital y a las características distintivas que presentan sus riolitas (Munchmeyer y otros, 1984).

2.2.1.2 Formación Quehuita

Secuencia marino-continental (Vergara y Thomas, 1984) que sobreyace en discordancia angular y de erosión a la Formación Collahuasi y subyace, de igual forma, a la Formación Cerro Empexa (Vergara y Thomas, 1984; Munchmeyer y otros, 1984). Se compone de dos miembros: el Miembro Inferior, compuesto por fangolitas, calizas y limolitas marinas; y el Miembro Superior compuesto por calizas, areniscas calcáreas, areniscas y conglomerados. Las calizas del Miembro Inferior contienen asociaciones fósiles que indican una edad Jurásica. El origen de esta unidad se asocia a una cuenca extensional de trasarco formada durante el desarrollo del arco Jurásico en el norte de Chile. Estratos de crecimiento en ambos miembros indican que la depositación ocurrió en un ambiente extensional que fue inicialmente en aguas profundas y que gradualmente pasan a un ambiente marino somero, producto de una regresión marina (Masterman, 2003).

- *Miembro Inferior*: corresponde a rocas sedimentarias bien estratificadas en capas de 0.10 a 2 m de potencia, con abundantes fósiles marinos, con predominancia de rocas calcáreas (calizas, calcarenitas, areniscas calcáreas y calcilutitas) y lutitas (Tomlinson y otros, 2001). Se presenta una unidad clástica basal compuesta de conglomerados y areniscas, de color amarillo o rojizo, cuyo espesor varía entre 4 a 50 m. Su espesor total, oscila entre los 800 y 1,200 m.
- *Miembro Superior*: está constituido por una secuencia bien estratificada de areniscas y limolitas laminadas de color rojo oscuro, con intercalaciones de limolitas verdes y areniscas cuarcíferas pardas. Estas rocas presentan estratificación cruzada, laminación (paralela y *flaser*), ondulitas, grietas de barro y restos vegetales fósiles, y niveles arenosos en la parte superior con huellas de pisadas de dinosaurios. Tiene un espesor de aproximadamente 1,300 m (Tomlinson y otros, 2001).

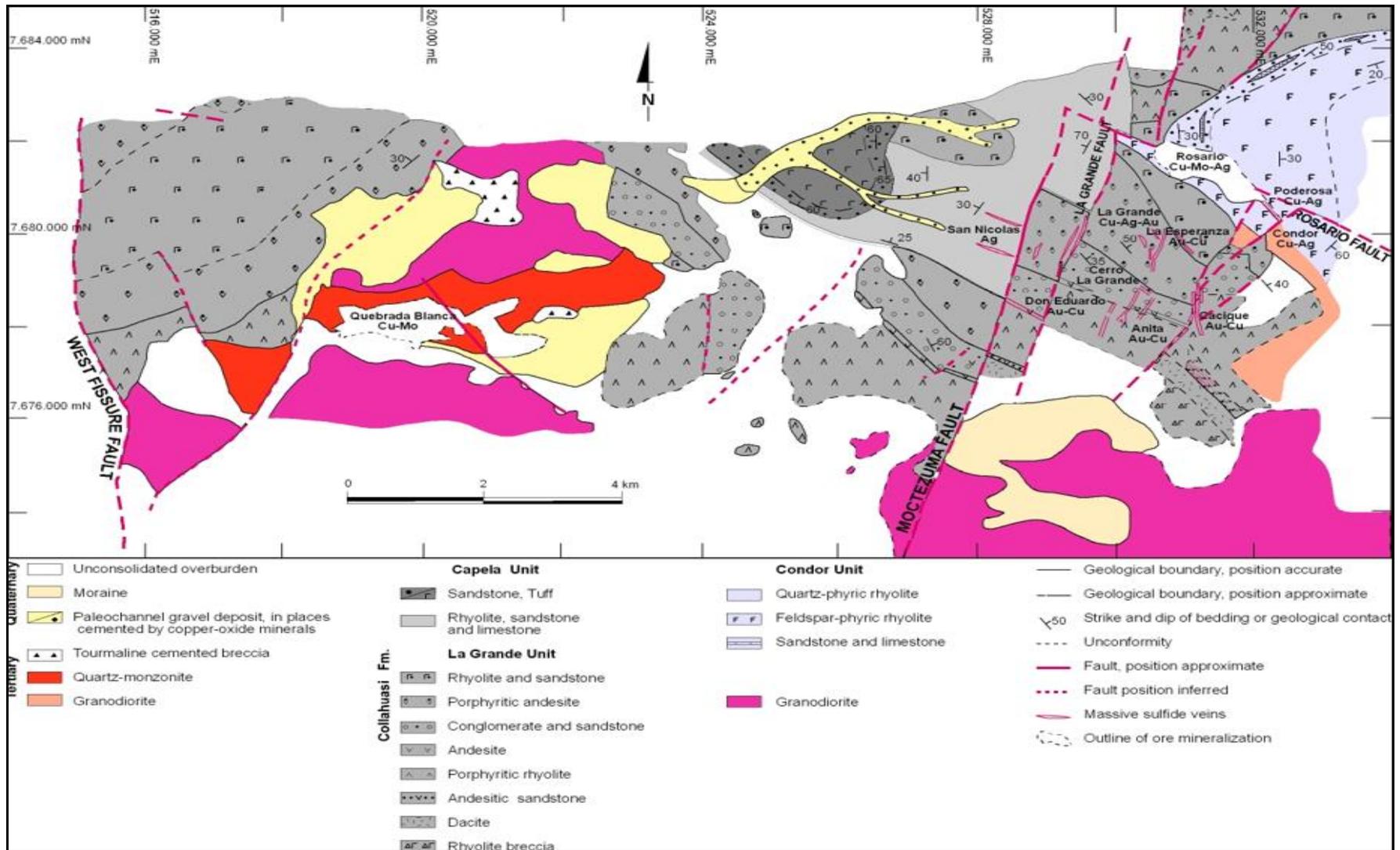


Figura 2.3 Mapa geológico de la Formación Collahuasi. Tomado de Munchmeyer (1984).

2.2.1.3 Formación Cerro Empexa

Esta formación yace en discordancia angular y de erosión sobre rocas sedimentarias clásticas del Miembro Superior de la Formación Quehuita e infrayace, con la misma relación, a la Ignimbrita Huasco y a gravas del Mioceno Medio-Superior (Tomlinson y otros, 2001). Corresponde a una unidad volcano-sedimentaria constituida por andesitas, dacitas y brechas volcánicas, con intercalaciones de areniscas rojas y conglomerados (Vergara y Thomas, 1984). La Formación Cerro Empexa se habría depositado en un ambiente continental volcano-sedimentario similar al arco actual de la Cordillera del Este (Masterman, 2003). Está constituida por 2 miembros: un Miembro Inferior, volcano-sedimentario de aproximadamente 200 m de potencia, y un Miembro Superior de carácter volcánico de aproximadamente 550 m de potencia (Vergara y Thomas, 1984). Posteriores mediciones dieron un espesor mínimo de 1,860 m para toda la Formación Cerro Empexa (Tomlinson y otros, 2001). Su edad ha sido asignada a post-Cretácico a pre-Mioceno, debido a que se encuentra en discordancia angular y de erosión sobre el Miembro Superior de la Formación Quehuita y subyace también en discordancia a Ignimbritas del Mioceno, además de la edad de un intrusivo granítico que las intruye datado en 95 Ma (Vergara y Thomas, 1984).

- *Miembro Inferior*: aflora principalmente al norte del Cerro Empexa y al sur de la Quebrada Rosario. Su máximo espesor corresponde a una secuencia de 1,300 m, conformada por conglomerados, areniscas, fangolitas y brechas.
- *Miembro Superior*: está constituido por una secuencia de aproximadamente 1,400 m de rocas volcánicas formada por andesitas brechosas, brechas tobáceas, tobas líticas y andesitas porfídicas.

2.2.1.4 Ignimbrita Huasco

Corresponde a secuencias piroclásticas dacíticas a riolíticas, asociadas a calderas de colapso del Mioceno. Está constituida por tobas, total o parcialmente soldadas, una parte media de tobas riolíticas compactas muy soldadas, y un nivel superior de color gris claro, medianamente soldado. Las dataciones de K-Ar indican una edad Mioceno Medio que fluctúa entre 14.4 ± 0.4 Ma y 17.1 ± 0.8 Ma (Vergara y Thomas, 1984). Las características litológicas

señalan que la Ignimbrita Huasco se depositó en un ambiente continental que, en algunos sectores, alberga cuencas lacustres someras.

2.2.1.5 Ignimbrita Ujina

Corresponde a un depósito ignimbrítico constituido por tobas soldadas que incluyen esporádicamente lentes de material piroclástico, distinguiéndose ocasionalmente, estructuras de flujo (Vergara, 1978). Dataciones K-Ar determinan una edad Mioceno Superior de 9.3 ± 0.4 Ma (Vergara y Thomas, 1984).

2.2.1.6 Depósitos Aterrazados

Están constituidos por depósitos de gravas y arenas polimícticas, y en menor cantidad tobas dacíticas, de disposición horizontal. En sectores cercanos a zonas de alteración hidrotermal, un gran porcentaje de sus constituyentes son rocas alteradas y mineralizadas con sulfuros, en tanto que la matriz aparece cementada, fundamentalmente por silicatos de cobre, conformando depósitos de minerales exóticos. Se encuentran cubriendo a las unidades del Mioceno e infrayacen a depósitos clásticos no consolidados del Reciente (Vergara y Thomas, 1984).

2.2.1.7 Estratovolcanes

Las estructuras volcánicas del Mioceno Superior-Reciente están representadas por estratovolcanes, domos y flujos lávicos de composición andesítica y dacítica (Vergara, 1978). Se presentan con distinto grado de conservación, donde los más antiguos exponen conos fuertemente erodados y núcleos expuestos. Sin embargo, la gran mayoría se caracteriza por tener conos relativamente bien preservados y sus cráteres moderadamente erosionados (Vergara y Thomas, 1984).

Las rocas constituyentes de estas unidades volcánicas corresponden a andesitas y dacitas, en volúmenes aproximadamente equivalentes. Algunos centros asignados al Mioceno Superior-Plioceno, están cubiertos por depósitos ignimbríticos más recientes (Vergara y Thomas, 1984).

Ejemplos de volcanes que se encuentran cercanos al Yacimiento Rosario son Michincha, Cardon, y los centros activos Irruputuncu y Olca.

2.2.1.8 Ignimbrita Pastillos

Corresponde a una secuencia de ignimbritas dividida en un Miembro Inferior constituido por un nivel de tobas parcialmente soldadas y depósitos laháricos; y un Miembro Superior compuesto en gran parte, por tobas no soldadas. Sin embargo, en la cuenca del Salar de Coposa, el Miembro Superior presenta niveles de arcillolitas, limos y diatomitas (Vergara y Thomas, 1984). La edad asignada por Vergara (1978) es Pleistoceno Medio; edad consistente con estudios de diatomitas (Stoertz y Ericksen, 1974).

2.2.1.9 Depósitos no consolidados

Estos depósitos incluyen las unidades más recientes del área, entre las que se encuentran una serie de depósitos salinos, aluviales, de arenas eólicas, y finalmente depósitos aluviales de ceniza y lapilli (Vergara y Thomas, 1984).

2.2.2 Rocas Intrusivas

La composición de los cuerpos intrusivos presentes en el área varía entre dioritas, monzonitas, granodioritas y granitos (Munchmeyer y otros, 1984; Figura 2.2). En el distrito se diferencian tres periodos de emplazamiento; el primero ocurrido durante el Pérmico-Triásico corresponden a granitos y granodioritas restringidos a la Formación Collahuasi. El segundo representado por dioritas cuarcíferas y granodioritas del Cretácico Superior-Terciario Inferior intruyendo a las formaciones Cerro Empexa, Quehuita y Collahuasi (Munchmeyer y otros, 1984; Vergara y Thomas, 1984). Finalmente, se emplazan intrusiones cuarzomonzoníticas en la Formación Collahuasi durante el período Eoceno Superior - Oligoceno Inferior, este último evento se relaciona a la génesis de los pórfidos cupríferos de Rosario y Ujina (Munchmeyer y otros, 1984; Charrier y otros, 2007).

Datos más recientes de U-Pb en circón, aportados en MaksaeV y otros (2009) revelan edades de cristalización de 35 a 36 Ma para los pórfidos de los depósitos Rosario – Rosario Oeste y Ujina. La actividad magmática del depósito de Quebrada Blanca se inició un poco antes a los 37 Ma, pero las edades U-Pb en circón para los pórfidos tardíos de Quebrada Blanca son contemporáneos a los depósitos Rosario y Ujina. Por lo tanto, se identifican al menos dos eventos de intrusión de pórfido para estos yacimientos. En Rosario y Rosario Oeste se identifica una superposición hidrotermal de alta sulfuración, que según datos de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ se produjo a

33 Ma (Masterman y otros, 2004), pero no hay rocas intrusivas de esta edad expuestas dentro de estos yacimientos.

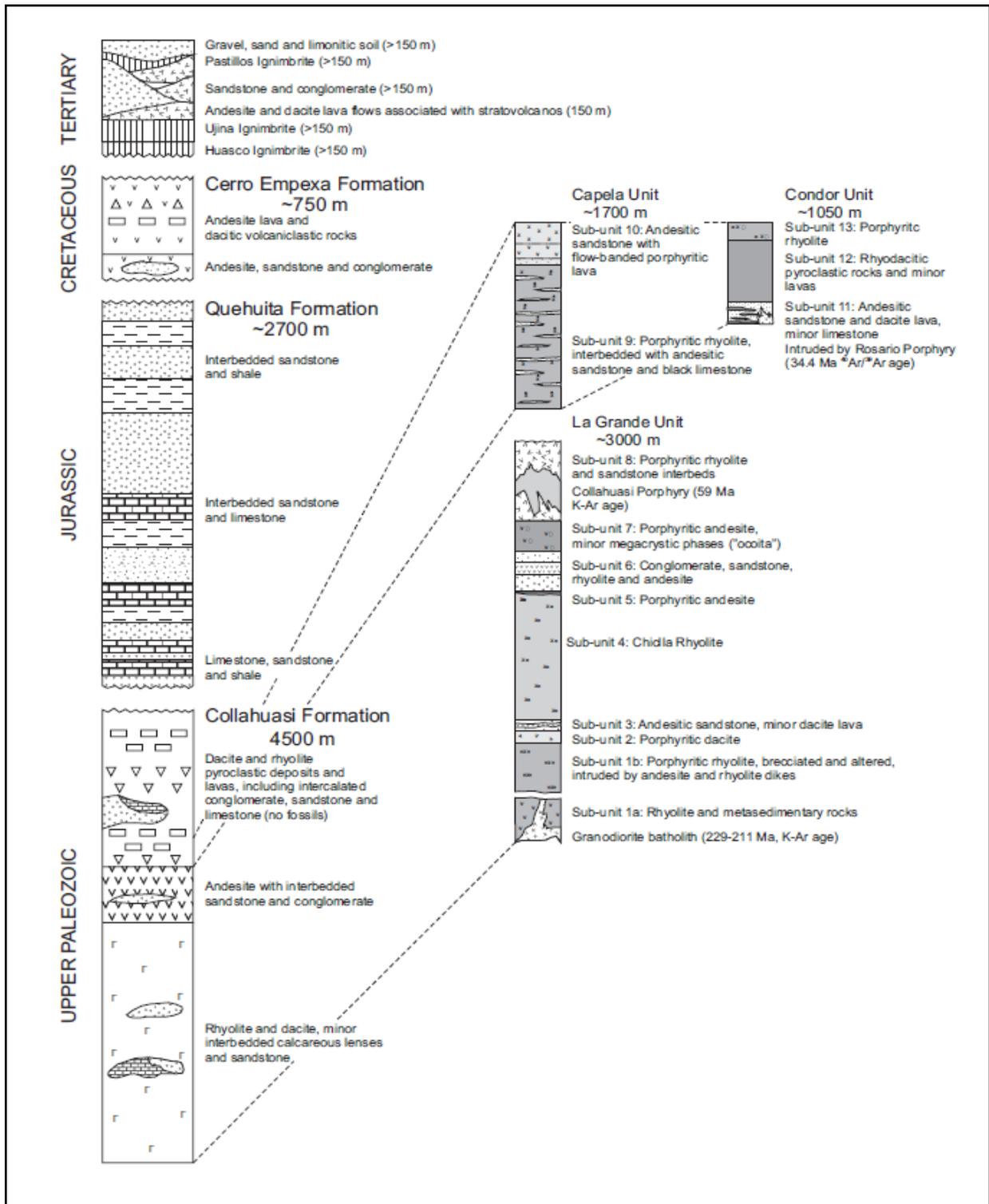


Figura 2.4 Columna estratigráfica de la región de Collahuasi (izquierda) y distrito Rosario (derecha). Munchmeyer y otros (1984) informalmente subdividieron la Formación Collahuasi en 13 subunidades en función de sus características de facies volcánicas y sedimentarias. La edad de

la Formación Collahuasi se ha visto delimitada por un plutón Triásico tardío granodiorítico (229-211 Ma) que intruyó la base de la secuencia volcánica y sedimentaria. El cobre de ley de mineral en Rosario está localizado en el Pórfido de Rosario, un stock de monzonita, que se emplazó en la base de la Unidad Cóndor. Tomado de Muchmeyer y otros (1984) y Vergara y Thomas (1984).

2.2.3 Estructuras

Los sistemas estructurales más importantes en el distrito corresponden al sistema de Falla Oeste y al de Falla El Loa. Estos sistemas ejercen un control principal sobre el emplazamiento de pórfidos de Cu-Mo de la franja magmática del Oligoceno. Un tercer sistema estructural en el distrito lo constituye un marcado set de estructuras NW, llamado informalmente Sistema Collahuasi, que es interpretado como fallamiento antiguo y profundo que se reconoce desde Ujina por el sur hasta Characolla por el norte (Sanhueza y otros, 2006). El margen comprendido entre el sistema de Falla Oeste y El Loa definen una franja de deformación de 30 km de ancho y constituye uno de los controles principales de los depósitos de Ujina y Rosario. En este esquema, los depósitos de Capella y Quebrada Blanca aparecen asociados a estructuras subsidiarias de la Falla Oeste; el yacimiento Ujina se relaciona espacialmente a estructuras secundarias del sistema Falla El Loa y el depósito Rosario se localiza en una zona de traspaso estructural entre ambos sistemas (Figura 2.5) (Sanhueza y otros, 2006).



Figura 2.5 Esquema estructural regional del distrito Collahuasi. Tomado de Sanhueza y otros (2006).

3 GEOLOGÍA Y ESTRUCTURAS DEL YACIMIENTO ROSARIO

En este capítulo se describe la geología del yacimiento Rosario y se presenta un breve análisis del entorno estructural del sistema mineralizado. Sólo unos pocos estudios, por ejemplo, Sierrita, USA (Heidrick y Titley, 1982) y Chuquicamata (Lindsay y otros, 1995), han abordado la influencia de los controles estructurales a escala regional y local sobre las intrusiones y las redes de fracturas en los sistemas de pórfidos.

La localización y agrupación de numerosos pórfidos de Cu-Mo formando clusters tales como el de Collahuasi, Chuquicamata, La Escondida y El Salvador, a lo largo de las principales ramas del sistema de fallas de Domeyko, han dotado al norte de Chile de la mayor concentración conocida de cobre en la Cordillera de los Andes (Figura 1.1; Muntean y Einaudi, 2000). El sistema de fallas de Domeyko define un estrecho corredor estructural de 30-50 km de ancho y al menos 1,400 km de largo, entre los 19° y 28°S (Lindsay y otros, 1995; Richards y otros, 2001). Los yacimientos porfíricos de Collahuasi, situados cerca del extremo norte de esta franja de pórfidos, están espacialmente asociados a la Falla de Domeyko (Figura 1.4), pero su emplazamiento no estuvo directamente controlado por esta estructura.

Un problema importante se relaciona con la compleja jerarquía de las estructuras. Algunas estructuras influyen en el emplazamiento del magma, otras son producidas por la intrusión del magma y otras pueden ser producidas por procesos de mineralización. Las estructuras del basamento que potencialmente influyeron en el emplazamiento del magma pueden ser mal comprendidas porque han sido intruidas por el stock mineralizador, o no están bien expuestas al nivel de erosión actual (Richards, 2000; Tosdal y Richards, 2001). La sin-, y en algunos casos, la historia estructural post-intrusión puede ser enmascarada por una intensa alteración hidrotermal (Lindsay y otros, 1995). Estudios previos de la evolución estructural de las vetas y de los conjuntos de fracturas mineralizadas en depósitos de pórfidos de cobre han encontrado que las orientaciones de las fracturas dependen de si las condiciones de tensión fueron controladas por esfuerzos magmáticas o tectónicas (Heidrick y Titley, 1982; Tosdal y Richards, 2001). El estrés magmático resultante del proceso físico de intrusión genera fracturas concéntricas y radiales por encima y alrededor del stock intrusivo (Dunn, 1982; Heidrick y Titley, 1982). Después de la solidificación, las geometrías de fractura se ven influenciadas por la actividad tectónica. Las

fracturas formadas bajo condiciones de estrés tectónico solo son más lineales y ordenadas en forma (Lindsay y otros, 1995; Tosdal y Richards, 2001).

En el yacimiento Rosario, las vetas mineralizadas post-intrusión tienen una orientación consistentemente hacia el noroeste, paralelamente a un sistema de manto hacia el suroeste de fallas frágiles post-intrusión del sistema de fallas de Rosario (Figura 2.3). La elongación del stock de Rosario, paralela al sistema de fallas de Rosario, sugiere que esta zona de falla se formó contemporáneamente con el magmatismo o puede haber sido una estructura más antigua reactivada durante el magmatismo (Tosdal y Richards, 2001). Asimismo, El Pórfido Rosario corresponde a un intrusivo subvolcánico de composición cuarzomonzónica que posee mineralización de tipo hipógena principalmente calcopirita, pirita y bornita, y trazas de sulfosales de Cu-As (enargita y tetraedrita-tenantita). En el caso del molibdeno, la única especie portadora reconocida es la molibdenita (Ortiz, 2004), la cual se emplaza principalmente en vetillas de cuarzo tipo B (Masterman, 2003). Por su parte, los sistemas de vetas de alta sulfuración poseen bornita, calcosina y enargita, con contenidos menores de calcopirita y tetraedrita-tenantita (Dick y otros, 1994; Masterman, 2003).

3.1 Litología

El pórfido Rosario está emplazado en una secuencia de rocas volcánicas y volcanoclásticas de composición intermedia a ácida, rocas sedimentarias e intrusivos subvolcánicos (Figuras 3.1 y 3.2). Estas rocas de caja forman parte de la Formación Collahuasi al igual que el Pórfido Collahuasi, ambos de edad Pérmico-Triásico.

Las principales unidades, dentro del modelamiento geológico, corresponden a Andesitas (AND), Unidad Sedimentaria (USED) y Rocas Volcánicas Ácidas que incluyen a rocas volcánicas de composición dacítica (DAC, Pórfido Inés *sensu stricto*) y rocas piroclásticas tobáceas (TOB). De los intrusivos subvolcánicos, se reconoce el Pórfido Collahuasi (PCO) y el Pórfido Rosario (PRO). Muy localmente se han observado Brechas Hidrotermales (BRH) compuestas por varios cementos, como turmalina, cuarzo, calcopirita, pirita y specularita, además se identifican brechas con fragmentos y matriz de rocas de origen intrusivo (BRI) en los contactos del Pórfido Rosario con la roca de caja.

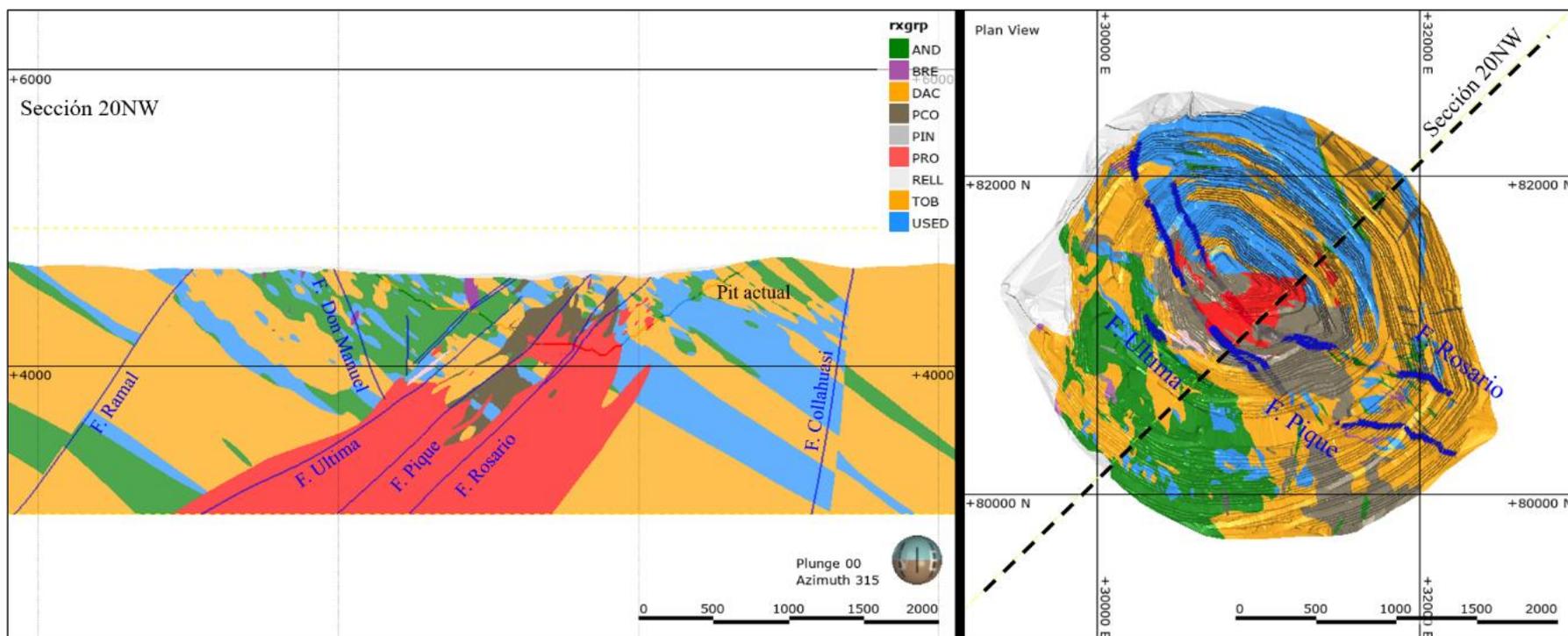


Figura 3.1 Sección transversal 20 (central mina) mirando hacia el NW. Se muestran las principales unidades litológicas que se encuentran en el yacimiento Rosario. La leyenda corresponde a las unidades litológicas: (AND) andesitas; (BRE) Agrupación de Brechas; (DAC) Dacitas y (TOB) Tobas se agrupan en una unidad; (PCO) Pórfido Collahuasi; (PRO) Pórfido Rosario (PTA) Pórfido Tardío; (USED) Unidad sedimentaria. Las líneas azules indican las fallas principales del yacimiento.

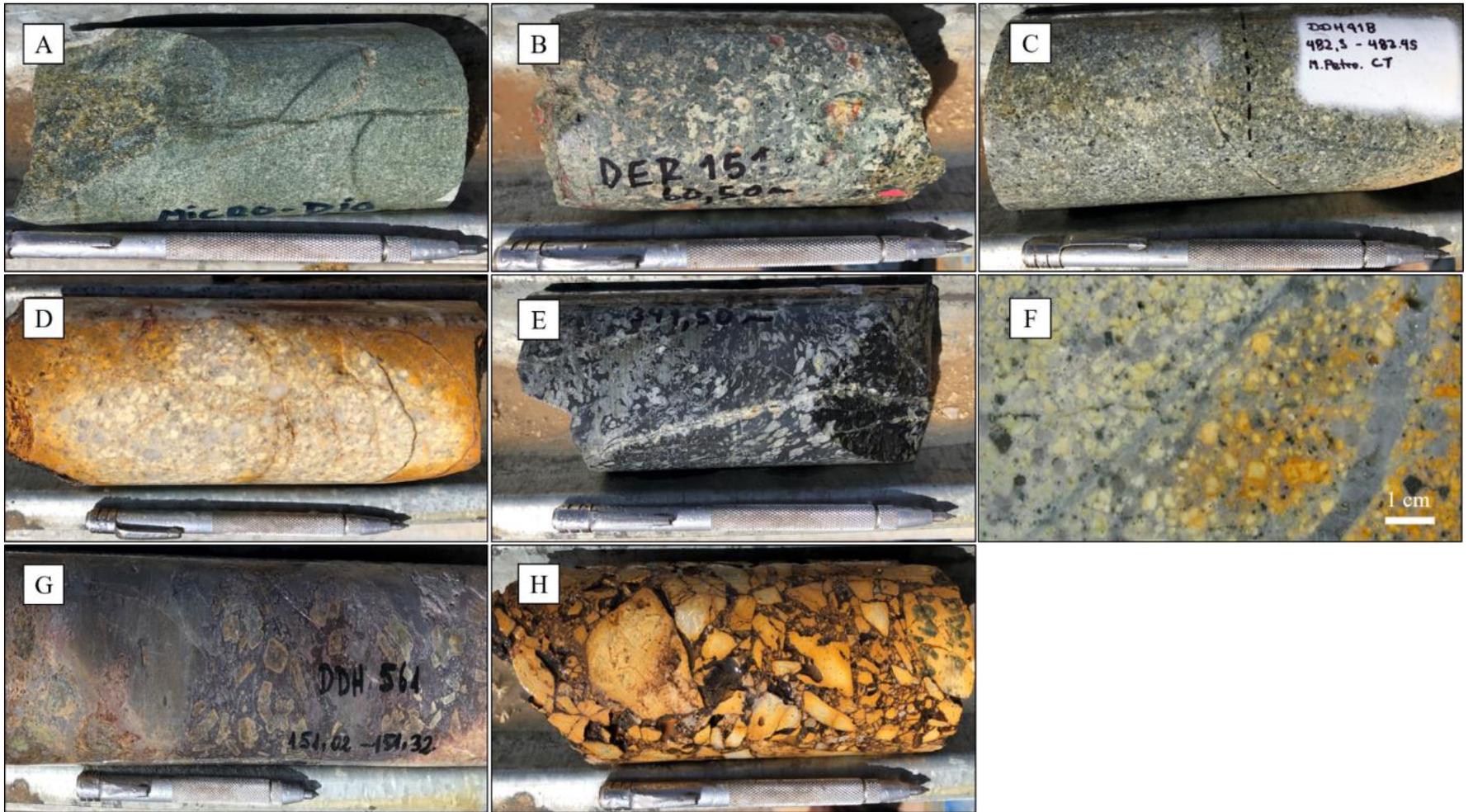


Figura 3.2 Fotografías de muestras de sondajes en los tipos litológicos principales del yacimiento Rosario.

A) Microdiorita con textura porfírica conformada por plagioclasas, biotita y hornblenda. Los fenocristales de hornblenda y biotita de grano fino están inmersos en la masa fundamental de plagioclasas finas. Una incipiente alteración propilítica (clorita secundaria) afecta a los minerales máficos.

B) Andesita feldespática amigdaloidal. Constituida por fenocristales de plagioclasa y amígdalas rellenas con cuarzo-cuprita-epidota y/o clorita en una masa fundamental verde oscura de feldespato afanítico y fases máficas de grano fino.

C) Dacita (Pórfido Inés). Roca de textura porfírica conformada por fenocristales blancos de plagioclasa y menor feldespato potásico inmersos en una masa fundamental gris de grano fino.

D) Pórfido Collahuasi. Roca de composición granodiorítica y textura porfírica. La muestra presenta plagioclasas tabulares blancas y fenocristales de feldespato potásico que ocurren en forma de “ojos de cuarzo” de grano grueso, mientras que los máficos crecen intersticialmente en una masa fundamental de grano fino compuesta de feldespato y cuarzo. La muestra presenta pátinas de óxidos.

E) Andesita feldespática amigdaloidal. Los fenocristales de plagioclasa y las amígdalas rellenas de cuarzo-epidota y/o clorita ocurren en una masa fundamental oscura de feldespato afanítico y fases máficas de grano fino.

F) Pórfido Rosario. Pórfido de composición cuarzo-monzonítica. Los fenocristales de feldespatos corresponden a albita y oligoclasa, mientras que los máficos son “books” de biotita. La masa fundamental está conformada por cuarzo y feldespatos de grano fino.

G) Andesita (ocoita). Los fenocristales de feldespato (plagioclasas) se encuentran inmersos en una masa fundamental oscura de grano fino y presentan una leve alteración a epidota.

H) Brecha de ruptura “crackle breccia”. Mosaico de clastos angulosos sin evidencias de removilización o rotación en matriz silíceo. Se aprecian evidencias de lixiviación.

3.2 Alteración Hidrotermal

La alteración hidrotermal entorno al Pórfido Rosario (Figuras 3.3 y 3.4), exhibe una asociación de clorita y epidota (PROP) que afecta a rocas volcánicas y volcanoclásticas tales como andesitas, dacitas y rocas sedimentarias. En la porción central del Pórfido Rosario y la zona de contacto con las rocas de caja se presenta una alteración de biotita secundaria, feldespato potásico secundario y cantidades subordinadas de magnetita como mineral accesorio (Masterman, 2003). Estas alteraciones se relacionan a las primeras etapas de la mineralización de cobre y molibdeno. El núcleo con alteración potásica se encuentra rodeado por una zona de alteración cuarzo-sericítica (QS), parcialmente erosionada, la cual se relaciona al evento principal de mineralización y que oblitera la alteración potásica en gran parte de la columna reconocida. Se caracteriza por la presencia de cuarzo y sericita reemplazando a plagioclasas y feldespato potásico y como halo en vetillas. Esta alteración afecta principalmente al Pórfido Rosario y al Pórfido Collahuasi, además de las unidades volcánicas de composición más ácida.

La alteración sericita gris verde (CS), sobreimpuesta a la alteración potásica inicial, se determina principalmente por su alta pervasividad, pues oblitera completamente la textura de la roca. Se desarrolla en halos subparalelos, más bien extensos, en vetillas del tipo C (Tabla 3.1). Corresponde a un reemplazo de los minerales por un agregado fino de sericita gris verdosa y cuarzo. En esta alteración son abundantes los sulfuros de cobre diseminados, calcopirita \pm bornita.

La alteración argílica y argílica avanzada abarcan un gran volumen en la parte central de la columna de roca. La alteración argílica se caracteriza por importantes cantidades de caolinita, montmorillonita y esméctica. La alteración argílica avanzada se caracteriza en sectores donde gran parte de los minerales son alterados a dickita, caolinita, pirofilita, diásporo, alunita y cuarzo.

Por último, la alteración de tipo skarn ocurre localmente, donde el Pórfido Rosario se encuentra en contacto con rocas de caja calcáreas de la unidad sedimentaria, generando zonas discretas de epidota, granate y sulfuros, en conjunto con sectores de alteración tipo hornfels producto del metamorfismo de contacto.

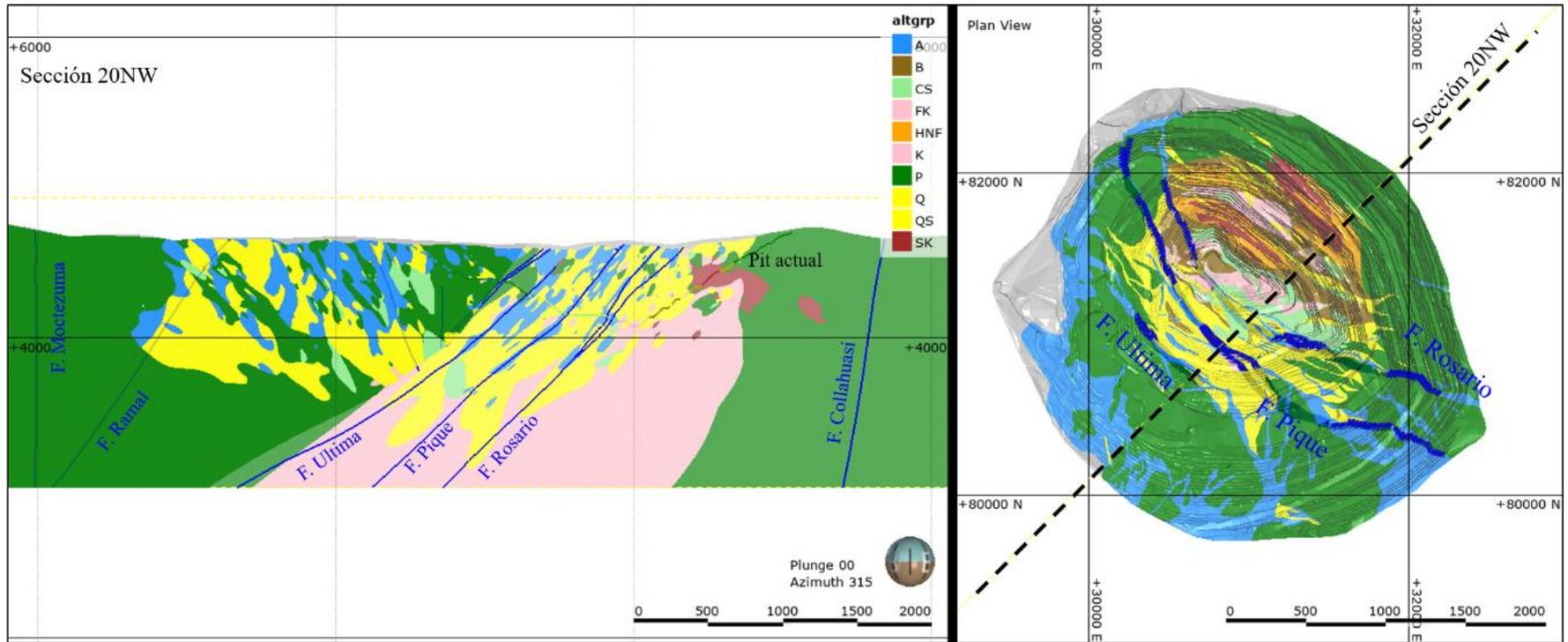


Figura 3.3 Sección transversal 20 (central mina) mirando hacia el NW. Se muestran los tipos de alteraciones que se encuentran en el yacimiento Rosario. Leyenda corresponde a alteraciones: (A) Argílica; (B) Biotítica; (CS) Sericita Gris Verde; (K) Potásica y (FK) Fondo Potásico se agrupan en una sola unidad; (HNF) Hornfels; (P) Propilítica; (QS) Cuarzo-Sericita y (SQS) Cuarzo-Sericita selectiva se agrupan en una unidad. Delimitado en líneas azules se muestran las fallas principales del yacimiento.

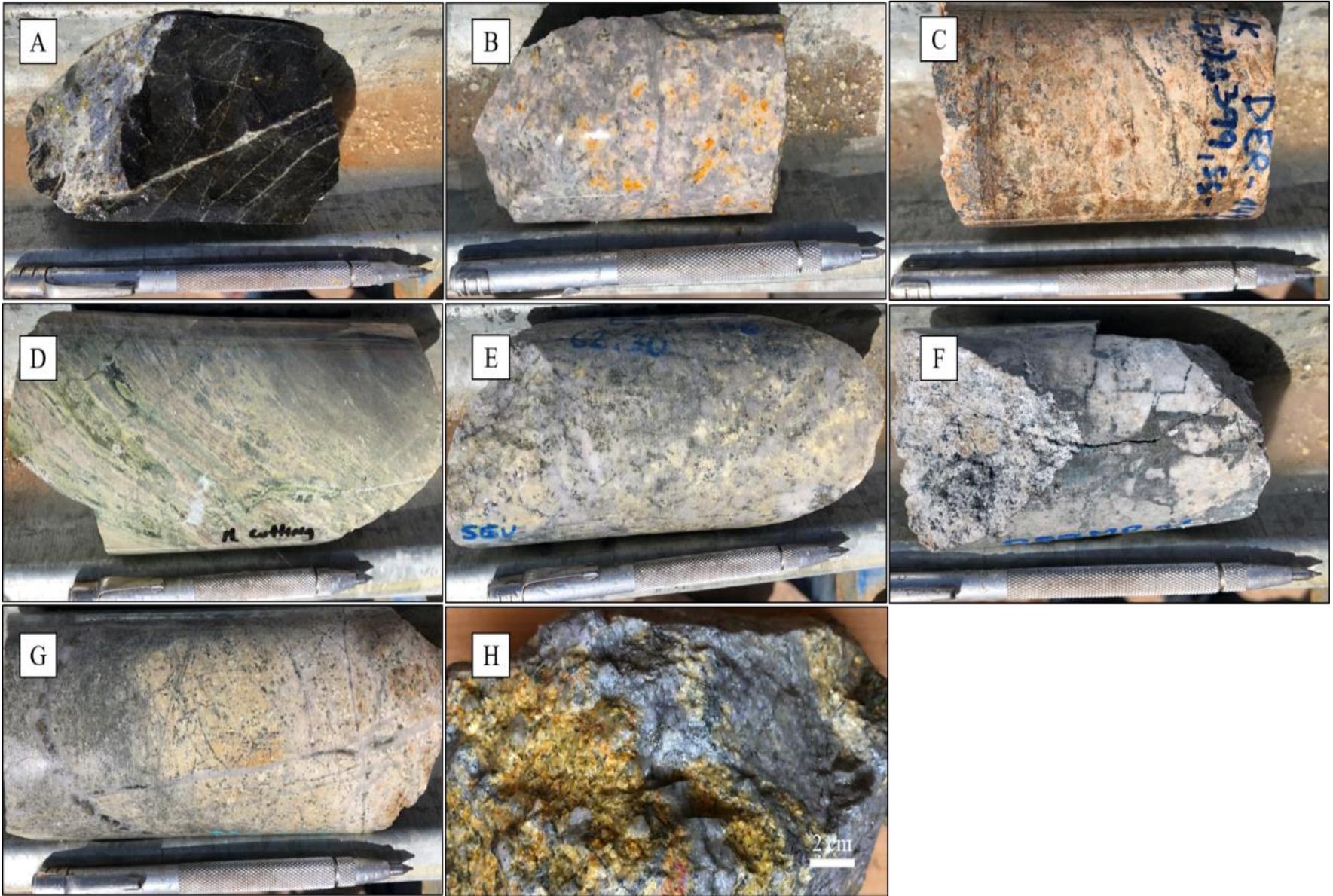


Figura 3.4 Fotografías de muestras de sondajes que ilustran los tipos de alteración principales en el yacimiento Rosario.

A) Unidad sedimentaria volcanogénica con alteración potásica-biotítica. Muestra con alteración penetrativa de biotita secundaria masiva que ocurre como reemplazo de máficos y en masa fundamental de grano grueso. Presencia de vetillas milimétricas tipo A con relleno de cuarzo lechoso sacaroidal y mineralización con sulfuros de calcopirita y molibdenita.

B) Pórfido Rosario con alteración potásica-feldespato potásico. Presencia de cuarzo y feldespato potásico secundario (rosadas) en reemplazo de plagioclasas ocurriendo como cúmulos y en vetillas. Vetillas milimétricas tipo A fundamentalmente con relleno de cuarzo sacaroidal y feldespato potásico intersticial.

C) Unidad sedimentaria calcárea con alteración tipo Skarn (calco-silicatada). La mineralogía de la muestra se presenta como un agregado granular de granates (color caramelo), epidota, menor clorita y magnetita.

D) Unidad sedimentaria con alteración propilítica. La muestra presenta clorita, epidota y plagioclasa albitizada en una textura bandeada de grano grueso. Presenta trazas de pirita.

E) Pórfido Collahuasi con alteración sericita gris verde. Muestra con destrucción casi total de la textura original. Agregado fino de sericita gris verdosa y menor cuarzo con abundante diseminación de sulfuros de cobre (calcopirita ± bornita) diseminados en la roca y en la sutura de vetillas tipo C.

F) Pórfido Collahuasi con alteración argílica avanzada con destrucción total de feldespatos y donde gran parte de los minerales son transformados a dickita, caolinita, pirofilita, diásporo y cuarzo. Localmente se aprecia una brechización hidrotermal en la muestra, con clastos angulosos a subangulosos. La matriz presenta un relleno masivo de pirita, calcosina y enargita.

G) Toba de la unidad volcánica ácida con alteración sericita gris verde sobreimpuesta a potásica de fondo. La alteración sericita gris verdosa ocurre en halo de vetilla tipo C con mineralización de bornita y calcopirita en sutura discontinua de vetilla y diseminado en halo de vetilla. La alteración potásica de fondo ocurre en halos de vetillas tipo A las cuales son cortadas por la vetilla tipo C. La mineralización corresponde a bornita y calcopirita en sutura discontinua de la vetilla y diseminado en la roca.

H) Pórfido Rosario con alteración de cuarzo-sericita sobreimpuesta a potásica de fondo. La alteración de cuarzo y sericita reemplaza a plagioclasas y feldespato potásico en halos de vetillas. Los máficos generalmente se encuentran completamente obliterados por esta alteración, la cual también se observa de manera pervasiva. También se observa alteración argílica selectiva que reemplaza a los cristales de feldespato potásico secundario por arcillas como la montmorillonita y/o caolinita (color amarillento).

3.3 Mineralización Metálica

La mineralización hipógena del yacimiento Rosario (Figuras 3.5 y 3.6) es la más importante en cuanto a recursos de cobre y molibdeno. Está formada principalmente por calcopirita, bornita y molibdenita.

La mineralización primaria aparece diseminada y en vetillas, distribuida en un patrón concéntrico que varía desde un núcleo de alta ley de cobre de calcopirita-pirita-bornita, y pirita-calcopirita en las zonas superiores, con una progresiva disminución de la razón calcopirita:pirita y desaparición de la bornita. Las leyes de cobre mantienen este patrón y disminuyen progresivamente desde el núcleo profundo rico en bornita hasta las zonas superiores y bordes más ricos en pirita. El desarrollo del perfil supérgeno está relacionado al enriquecimiento de vetas y zonas de debilidad estructural, y comprende calcosina con menores proporciones de covelina. La extensión total del área mineralizada de interés económico es de 2 x 1.5 km.

En este depósito se han reconocido distintos tipos de vetillas las cuales se han clasificado siguiendo criterios comunes utilizados en otros yacimientos tipo pórfido cuprífero. Las características de cada tipo de vetilla se indican en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Tabla resumen del tipo de vetillas hidrotermales encontradas en el yacimiento Rosario.

Evento de alteración	Vetilla	Forma	Potencia	Relleno	Halo	Mineralización Asociada	Observaciones
TARDI MAGMÁTICA. Alteración potásica, metasomatismo potásico, Temperatura entre 800 y 600°C, ambiente semidúctil	EB	sinuosa, irregular	fina (<10mm)	biotita, cuarzo	c/s halo biotítico	bornita (digenita), calcopirita	-
	EBT	Textura granular, sinuosa	anchas (>10mm) granos de 2 a 5 mm	cuarzo, feldespato potásico (anhidrita)	fino halo biotítico <feldespato potásico, cuarzo, sericita	calcopirita, bornita.	si es en relleno, mineralización entre granos de cuarzo.
	EDM	cúmulos discontinuos	-	biotita, sericita	-	bornita (digenita), calcopirita	raras en el depósito
	A	sinuosas, discontinuas, textura granular.	milimétricas	cuarzo sacaroidal < feldespato potásico (anhidrita)	feldespato potásico o albita	escasa bornita, calcopirita	-
	mt	-	-	magnetita /especularita/ magnetita-especularita	albita, clorita, epidota	(pirita) y/o (calcopirita)	probable evento temprano del propilítico
TARDIMAGMÁTICA TRANSICIONAL. Evento principal de molibdeno, temperatura a próxima da 400°C, ambiente frágil.	B	planar (recta), continua, bandeada, sutura central	milimétricas a centimétricas	cuarzo crustiforme, típicamente magnetita	generalmente en halo o albita feldespato potásico mm	calcopirita y <pirita y/o bornita. Molibdenita	cuarzo crece desde las paredes hacia el centro=>sutura /espacio, a veces reutilizado por vetillas hidrotermales
HI DROTHERMAL TEMPRANA. Alteración Sericita Gris Verde (fílica temprana), temperatura entre 400 y 300°C, ambiente frágil.	C	sutura discontinua, halo irregular	milimétricas a centimétricas	cuarzo, anhidrita subordinada, sericita verde, biotita, clorita y sulfuros. Puede ser sólo sulfuros.	extenso y penetrativo (>10mm), gris verde (distintos tonos), irregulares y subparalelos a l relleno.	calcopirita-pirita o calcopirita-bornita (digenita), raro molibdenita-magnetita-bornita-calcopirita	similar a EB, pero corta vetillas EB, A y B. biotita y clorita estables
HIDROTHERMAL PRINCIPAL alteración sericitica, temperatura<300 °C, roca frágil	D	planar y muy continuas	milimétricas a centimétricas (hasta decimétricas)	sulfuros y cuarzo subordinado	cuarzo-sericita bien desarrollado (caolin)	pirita/pirita-calcopirita/pirita-bornita. Domina pirita, aunque existe un evento QS calcopiritico	destrucción de roca huésped. Corta o se superpone a eventos anteriores. Zonación del halo desde el centro hacia a fuera (sericita, caolin, clorita, esmectita)
HIDROTHERMAL TARDIO ambiente de alta sulfidación, valores anómalos de As y menor Pb y Zn	E	-	-	cuarzo y carbonatos de fierro	-	pirita dominante sobre calcopirita, galena, esfalerita, enargita, tennantita, tetradrita.	similar a D

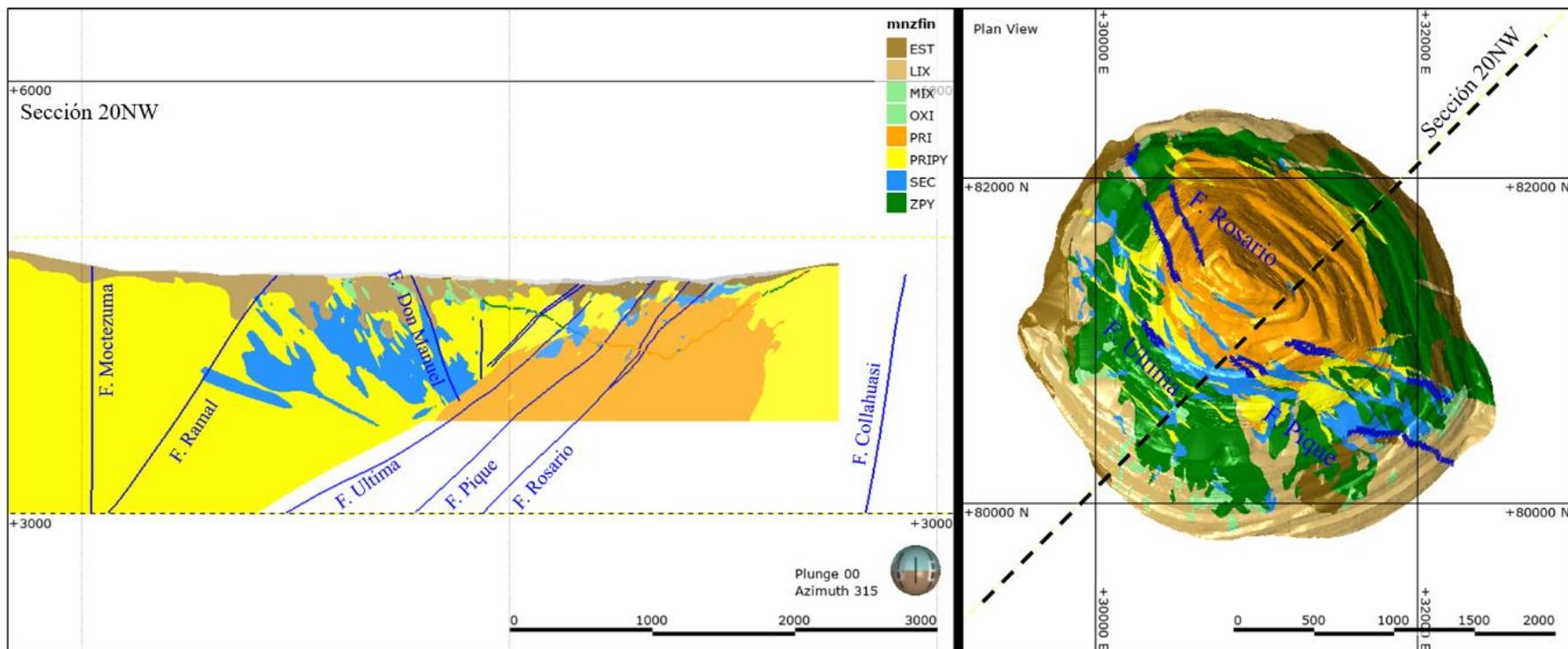


Figura 3.5 Sección transversal 20 (central mina) mirando hacia el NW. Se muestran los 6 tipos de zona mineral que se identifican en el yacimiento Rosario. Las zonas minerales reconocidas son: (LIX) zona lixiviada; (MIX) zona mixta, óxidos de Cu y sulfuros de Cu; (OXI) zona Oxidada, oxidados de Cu; (PRI) zona primaria, sulfuros de Cu-Fe; (PRIPY) zona primaria pirítica, leyes de Cu < 0.2% y alto contenido de pirita; (SEC) zona de enriquecimiento secundario, calcosina-covelina. Delimitado en líneas azules se muestran las fallas principales del yacimiento.

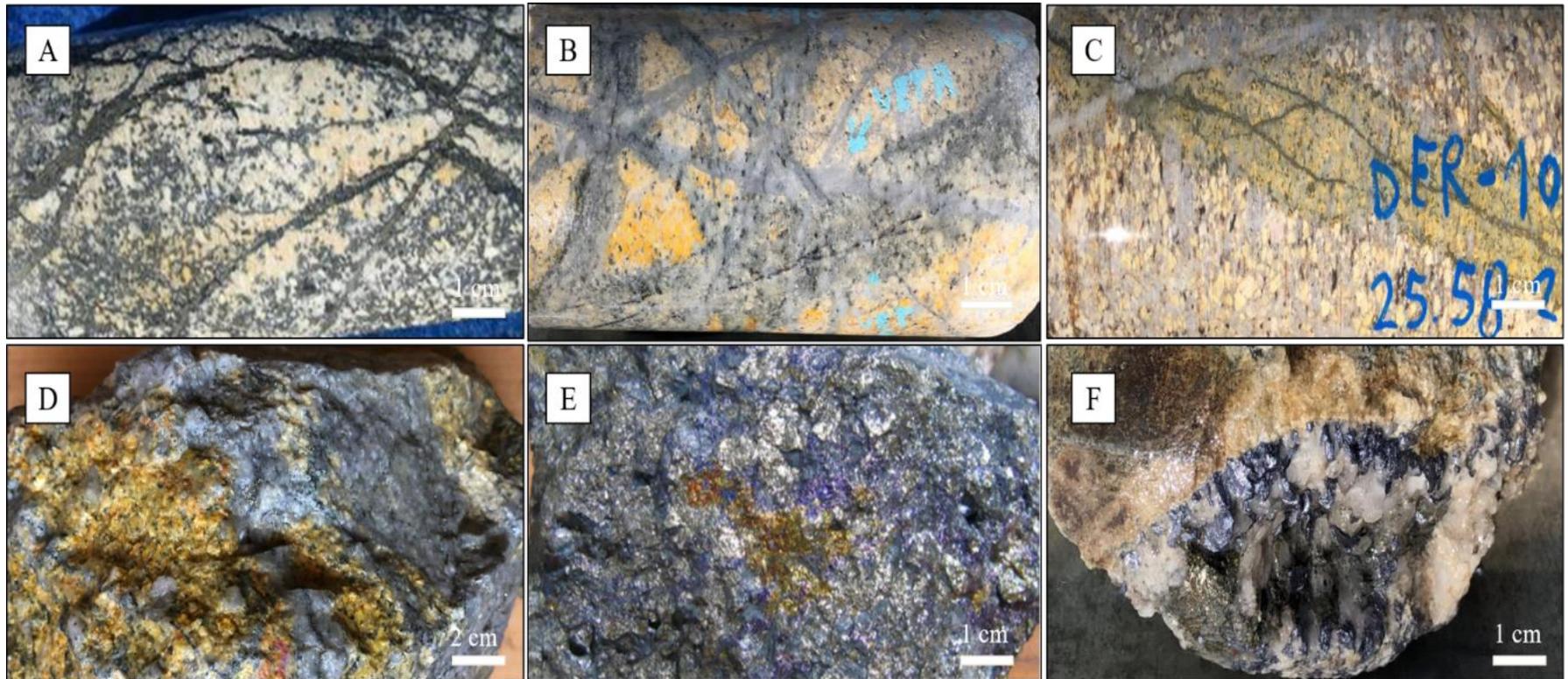


Figura 3.6 Ejemplos de los tipos de vetillas en el yacimiento Rosario. **A)** Vetillas de pirita-calcosina en pórfido Rosario con fuerte alteración argílica avanzada. **B)** Vetillas tipo A sinuosas de cuarzo y feldespatos son cortadas por vetillas tipo C con halo de sericita gris verdosa y mineralización de bornita-calcopirita ocurriendo de manera diseminado en halo y como sutura discontinua en vetilla. **C)** Vetilla tipo C con halo irregular de sericita gris verdosa con una sutura continua de un agregado fino de calcopirita-bornita. Se aprecia además que la vetilla C corta a una vetilla A anterior. **D)** Vetilla planares tipo D de cuarzo con halo sericitico y sutura continua de sulfuros pirita \pm calcopirita \pm molibdenita diseminada en la vetilla. **E)** Vetilla tipo E con abundante pirita-bornita característico del ambiente de alta sulfuración. **F)** Vetilla rectas tipo B de cuarzo-molibdenita-pirita y cuarzo crustiforme.

3.4 Geología Estructural del Yacimiento Rosario

El sistema de fallas de Rosario comprende una serie de fallas de moderado a alto ángulo (45° a 65°), de manteo suroeste y noreste que han cortado el cuerpo mineralizado de Rosario (Figura 3.7). Estas fallas muestran considerables desviaciones dextrales (hasta 1,100 m de desplazamiento) y sinestrales menores (≤ 300 m de desplazamiento). En algunas de estas fallas se han localizado vetas de Cu-Ag-(Au) en Rosario. Un segundo grupo de fallas, con dirección hacia el norte-noreste, ocurre en el área de Rosario Oeste, de 1.5 a 2 km al sur de Rosario (Figura 2.3). En estas fallas también se han localizado vetas de alta ley de Cu-Ag-(Au) (Dick et al., 1994; Lee, 1994).

Cuatro segmentos de falla, compuestos por las fallas Rosario, RosarioRama, Última y Pique, constituyen las principales ramas del sistema de fallas de Rosario (Figura 3.7). Estas fallas se definen por zonas de salbanda continuas y separaciones asociadas, ya sea expuestas en superficie o intersectadas a profundidad en el núcleo de perforación diamantina. La estructura principal del sistema de fallas de Rosario está definida por Rosario y RosarioRama (Figura 3.8) cada uno caracterizado por una zona de salbanda arcillosa y buzamiento al suroeste de 40° a 45° . Durante la mayor parte de su plano de deslizamiento, las fallas de Rosario y RosarioRama marcan el contacto entre la pared colgante ignimbrítica y la pared yacente de arenisca feldespática. La separación por el movimiento dextral en cada falla es de entre 500 y 600 m. El desplazamiento dextral aparente en la falla Pique es posiblemente superior a 1 km, lo que resultó en una importante dislocación lateral derecha de la ignimbrita riodácica.

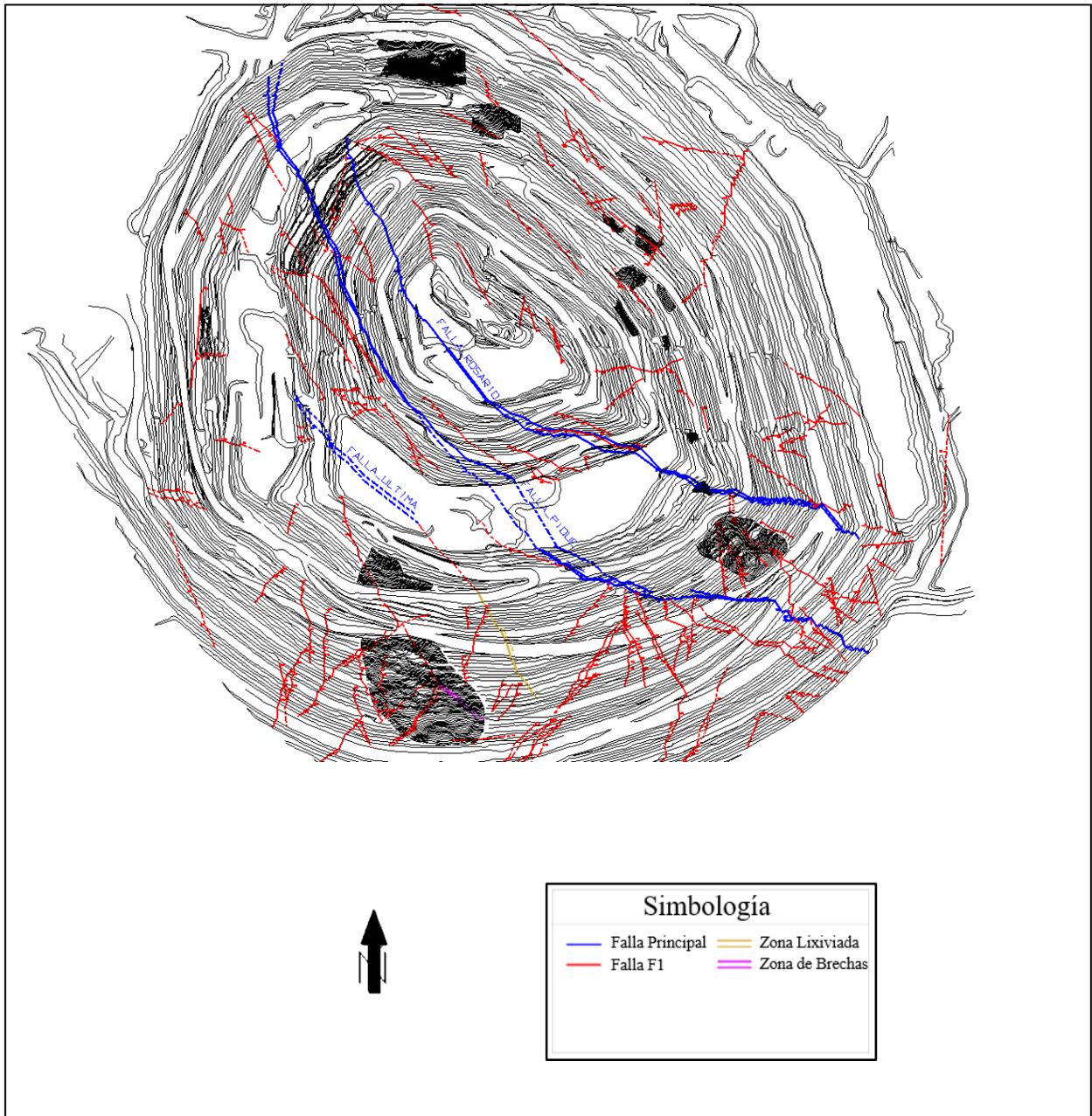


Figura 3.7 Pitshell estructural de Rosario 2019. Las fallas principales son delimitas con líneas azules agrupando sus respectivas ramas. Otras fallas de primer orden son proyectadas en el pitshell estructural de Rosario.



Figura 3.8 Avance de mina con vista en dirección hacia el SW. La delimitación de las fallas dentro de la mina es realizada de acuerdo a evidencias de planos con trituramiento y argilización intensa en la zona de falla, con un consecuente deslizamiento en el bloque colgante. Su continuación puede ser interpretada con datos en profundidad de cortes diamantino, a relaciones de desplazamiento en las litologías reconocidas y a lineamientos preferenciales de algunos metales de importancia.

La Falla Ultima con rumbo hacia el noroeste no está expuesta en la superficie, sino que se infiere de la repetición del movimiento dextral del pórfido de Collahuasi a lo largo de una estructura con tendencia hacia el noroeste ligeramente oblicua a la intrusión. Las principales vetas mineralizadas prevalentes en el área de Rosario Oeste y a 2 km al sur de Rosario (por ejemplo, las vetas de Monctezuma, La Grande, La Esperanza y Don Eduardo), se encuentran comúnmente en fallas con tendencia al norte-noreste. Los desplazamientos estratigráficos aparentes en estas estructuras son consistentemente sinestrales, con aproximadamente 40 m en las vetas de La Esperanza y Don Eduardo, y hasta 1 km en las vetas de Monctezuma y La Grande (Figura 2.3).

3.4.1 Controles estructurales sobre la mineralización

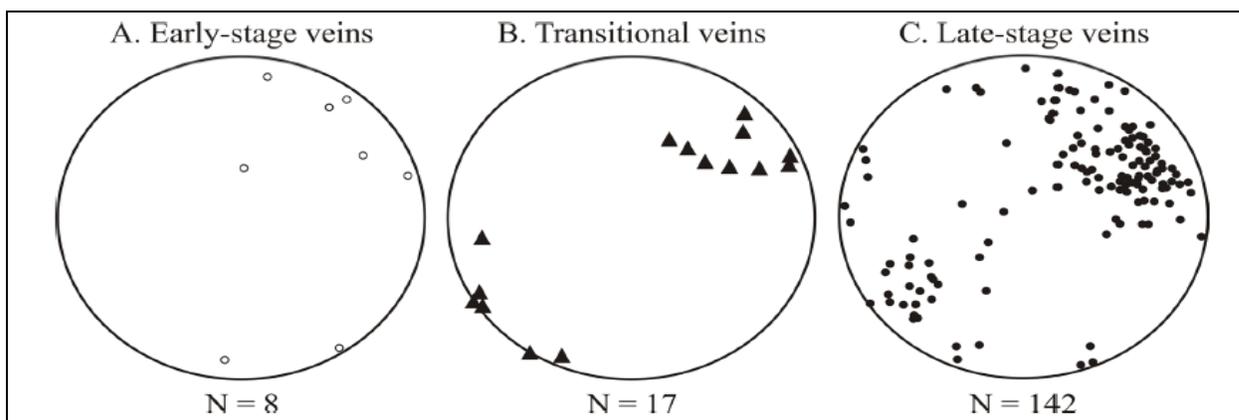


Figura 3.9 Proyecciones de áreas iguales del hemisferio inferior de vetas mineralizadas. Los datos se separan en las principales etapas paragenéticas, A) Vetas de calcopirita en su etapa inicial. B) Vetas portadoras de molibdeno. C) Vetas polimetálicas de etapa tardía. Datos de Lee (1994).

El análisis estructural de las orientaciones de las vetas, basado en un detallado mapeo subterráneo de las distintas generaciones de vetas realizado por Lee (1994), reveló que la mayoría de las vetas tienen una orientación preferencial paralela al sistema de fallas de Rosario. Las vetas tempranas de calcopirita-bornita formadas en el Pórfido Rosario adyacente a la Falla de Rosario, no tienen una orientación preferencial (Figura 3.9A). Posteriormente las vetas de cuarzo-molibdenita tienen una orientación preferencial de $320^{\circ}/77^{\circ}$ SW, ocurriendo en altas densidades cerca de las fallas de Rosario y Rosario Rama (Figura 3.9B). Las vetas polimetálicas tardías (Cu-Ag-Au) definen poblaciones conjugadas de manto suroeste y noreste de $339^{\circ}/65$ SW y $321^{\circ}/50$ NE, respectivamente (Figura 3.9C). El ángulo de bisección entre las dos poblaciones promediadas de las vetas del último estadio es de $\sim 65^{\circ}$. Este patrón se interpreta como una indicación de que el esfuerzo de compresión máximo (σ_1) durante la formación de la veta fue subvertical (Figura 3.9A), con el esfuerzo de compresión mínimo (σ_3) subhorizontal suroeste. Se interpreta que las vetas de transición, intermedias y tardías se han formado durante el movimiento normal en el sistema de fallas de Rosario. La correlación de las vetas de etapa tardía expuestas en superficie con las intersectadas en profundidad ha sido complicada por la alta magnitud de la separación de los movimientos dextrales posteriores a la mineralización a lo largo de la Falla Pique (Figura 3.7). Este desplazamiento, así como las fracturas y brechización (Figura 3.9B, C) en las fallas de deslizamiento dextral y sinistral, sugiere una reactivación superpuesta del deslizamiento y una mineralización de alta sulfuración posterior.

4 ANTECEDENTES DEL MOLIBDENO

El molibdeno es un elemento metálico de transición en el Grupo VI de la Tabla Periódica. Su número atómico es 42, y su distribución esférica de electrones es $[\text{Kr}]4d^55s^1$. Esta configuración electrónica hace que el molibdeno sea único en términos de sus propiedades químicas. Puede existir en una variedad de estados de oxidación de +2 a +6 y puede coordinarse con 4 a 8 átomos vecinos (Mitchell, 1973). El molibdeno reacciona fácilmente con la mayoría de los ligandos inorgánicos y orgánicos, formando un amplio espectro de compuestos monoméricos o poliméricos.

El molibdeno fue descubierto en 1778 por el químico Carl Wilhelm Scheele que logro reaccionar el mineral de molibdenita (MoS_2) con ácido nítrico logrando obtener un compuesto con propiedades ácidas al cual nombro “acidum molibdenae”. Para el año 1782, el científico Peter Jacob Hjelm logro aislar el elemento metálico impuro gracias a la reducción del anterior compuesto haciéndolo reaccionar con carbono. El molibdeno, hasta el siglo XIX, era un elemento tomado muy poco en cuenta, consideración que cambia cuando una empresa alemana lo uso como agente para elaborar nuevas aleaciones en hierro fundido y acero logrando observar buenas propiedades en estas aleaciones con molibdeno. El uso industrial del molibdeno no comenzó a darse hasta que, en 1894, Schneider Electric, empresa francesa especializada en la industria pesada, realizó la primera armadura de placas de acero utilizando este elemento. Pese a ello, su uso no se generalizó hasta la Primera Guerra Mundial, momento en que se estandarizó el uso de aleaciones de molibdeno para mejorar la templeabilidad, tenacidad y resistencia al desgaste y la corrosión. Desde entonces, el molibdeno ha ganado amplias aplicaciones en la industria moderna, a pesar de que los usos metalúrgicos siguen constituyendo la mayor fracción del molibdeno consumido. La versatilidad del molibdeno para mejorar una variedad de propiedades de la aleación le ha asegurado un papel significativo en la tecnología industrial contemporánea, la cual requiere cada vez más materiales que puedan soportar altas tensiones, rangos de temperatura expandidos y ambientes altamente corrosivos.

Los usos del molibdeno son como metal refractario y en numerosas aplicaciones químicas, incluyendo catalizadores, lubricantes y pigmentos. El molibdeno se ha vuelto cada vez más importante en la tecnología verde, particularmente en la fabricación de biocombustibles, catalizadores, etanol, paneles solares y turbinas eólicas.

Sin embargo, a pesar de su amplia utilidad, hay pocos lugares donde actualmente se extraen minerales de molibdeno. El molibdeno está ampliamente distribuido en la corteza terrestre en cantidades mínimas. Su concentración media en diferentes rocas varía considerablemente, de 0.2 a 27 ppm con una media de 2.5 ppm en rocas silíceas (Turekian y Wedpohl, 1961). En las rocas sedimentarias, el molibdeno se acumula preferentemente en sedimentos ricos en materia orgánica. Así, el molibdeno se encuentra a menudo concentrado anómalamente en yacimientos de carbón, unidades de arenisca de lignito, areniscas uraníferas, pizarras vanadíferas, yacimientos de fosfato y pizarras negras (Finch, 1967; Gulbrandsen, 1966; Valkovic, 1983; Ruzicka y Bell, 1984). En algunas de las rocas, el molibdeno puede alcanzar varios miles de ppm (Armands, 1972) pero a pesar de su amplia distribución, el molibdeno rara vez forma depósitos comerciales en rocas sedimentarias.

4.1 Molibdenita

El molibdeno está contenido en varios minerales, pero sólo la molibdenita (MoS_2) es adecuada para la producción industrial de productos de molibdeno comercializables. La molibdenita se encuentra en una variedad de ambientes geológicos y se concentra principalmente en yacimientos de mineral endogenético. Algunos otros minerales de molibdeno que se encuentran naturalmente son wulfenita (PbMoO_4), powellita (CaMoO_4), ferrimolibdita ($\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), e ilsemanita ($\text{Mo}_3\text{O}_8 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), que aparecen sólo en zonas oxidadas de minerales hipogénicos, pero son de menor importancia.

La molibdenita es un mineral de disulfuro hexagonal. Su estructura cristalina corresponde a capas de Mo-S en donde el catión de Mo^{+4} se encuentra coordinado octaédricamente con iones de S^{-2} , las capas continuas de Mo-S se apilan unas sobre otras en una secuencia simple (Wilson y Yoffe, 1969). Los dos politipos, 2H y 3R, difieren en la forma de apilamiento en la dirección c de la celda unitaria, en la cual c es más extensa en 3R que para 2H (Figura 4.1).

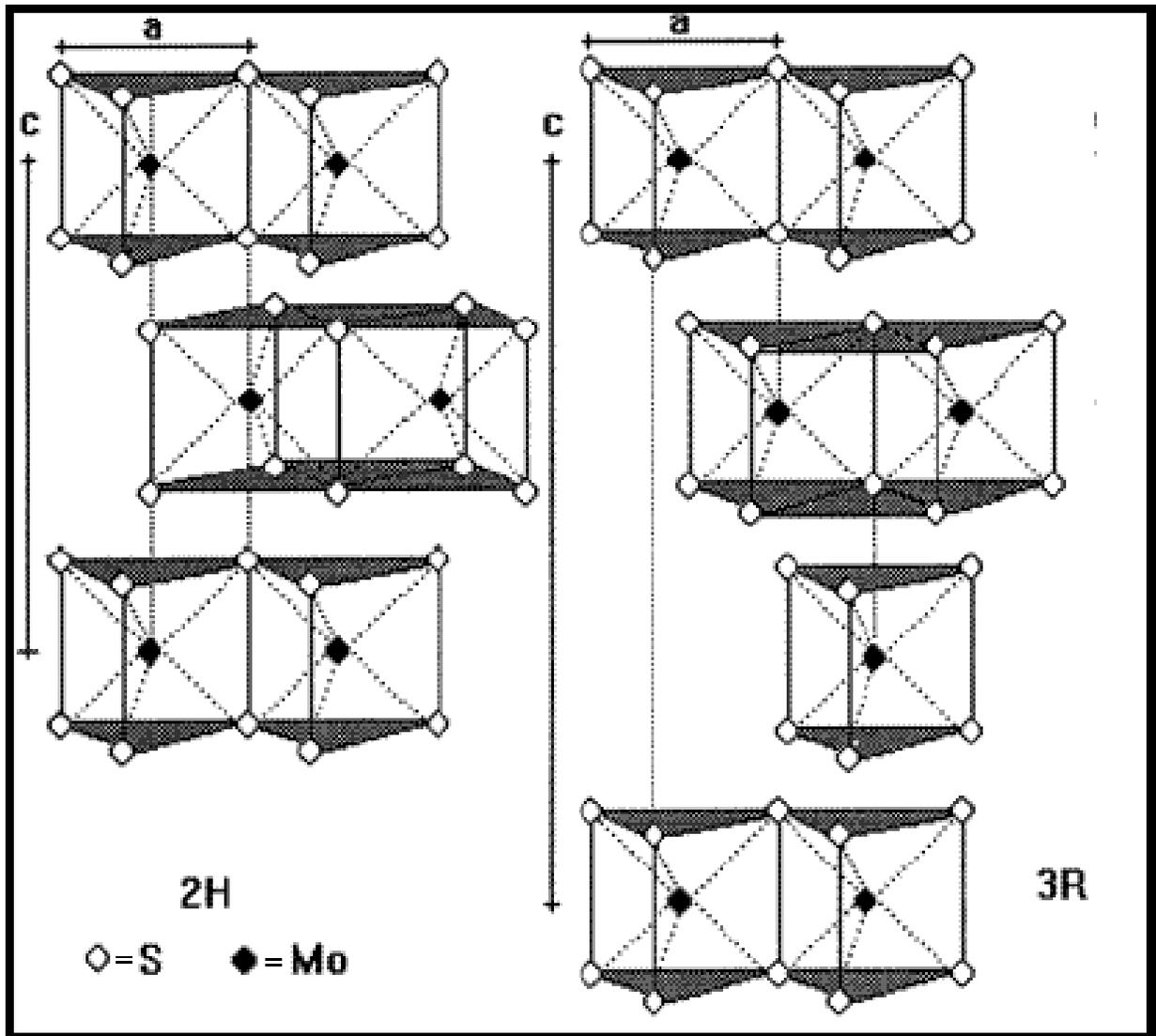


Figura 4.1 Estructura cristalina de la molibdenita en los politipos 2H y 3R. Modificado de Newberry (1979a).

Newberry (1979) menciona que la ocurrencia de los politipos de molibdenita se correlaciona con el contenido de impurezas. Específicamente, existe una relación semi cuantitativa entre la abundancia media de 3R y el contenido de impurezas en molibdenitas de un depósito dado, y la abundancia de 3R es independiente del estado de sulfidización de los sulfuros asociados. Además, sugiere que la molibdenita 3R crece por un mecanismo de dislocación tipo tornillo o hélice. El crecimiento por dislocación tipo tornillo en la naturaleza es más frecuente que ocurra por estrés interno generado por altos contenidos de impurezas. Renio, estaño, titanio, bismuto, hierro y tungsteno son las impurezas más comunes encontradas en el politipo 3R, y su

rol en el proceso de mineralización con respecto a la formación de molibdenita 3R se discute para varios tipos de depósitos. El renio es el elemento de impureza más común, con una concentración que varía de unos pocos 1 ppm a cantidades que superan los 5,000 ppm. Cabe indicar que estudios realizados en las molibdenitas del yacimiento Rosario, arrojan sólo la presencia del politipo 2H. Por su parte, los valores de renio, para un estudio de 13 muestras, oscilan desde 367.6 ppm hasta 2,155.7 ppm, con una mediana de 715.5 ppm (Ortiz, 2004).

4.2 Depósitos de molibdenita

La molibdenita se extrae principalmente de los depósitos tipo pórfidos de molibdeno y como subproducto de los pórfidos cupríferos. Otros tipos importantes de depósitos que son de menor importancia son los skarns, las vetas de cuarzo, los greisens y las pegmatitas. Todos estos yacimientos son del tipo hidrotermal.

Los pórfidos de Mo son la fuente más importante de molibdeno. Estos depósitos se forman en el mismo ambiente tectónico que muchos pórfidos cupríferos (Seedorff y otros, 2004). La mineralización de Mo ocurre en forma stockworks, vetas y disseminaciones en intrusiones graníticas a monzoníticas. Basados en la naturaleza de las rocas asociadas, los pórfidos de Mo se subdividen en depósitos tipo Climax y depósitos de cuarzomonzonita (White y otros, 1981). Los depósitos del tipo Climax están asociados a un alto contenido de sílice, riolitas ricas en álcalis y pórfidos graníticos que intruyen gneisses precámbricos. Los yacimientos están formados por estructuras de stockworks que contienen vetas de cuarzo delgadas con molibdenita ocurriendo a lo largo de las paredes de las vetas (Wallace y otros, 1968, 1978; White, 1981). Los depósitos de cuarzomonzonita están asociados con rocas que van desde granodioritas hasta cuarzomonzonitas o pórfidos graníticos. La molibdenita se presenta como recubrimiento de fracturas y como disseminación en las vetillas de cuarzo-molibdenita (Hudson y otros, 1979, 1981).

Los skarns que contienen molibdeno ocurren en skarns de cobre-molibdeno y tungsteno-molibdeno (Pokalov, 1977). Sin embargo, las rocas intrusivas asociadas a los skarns de molibdeno suelen tener una composición más félsica que las asociadas a los skarns de cobre o tungsteno. Estos skarns se desarrollan a lo largo del contacto entre los plutones, que suelen ser de pequeño volumen, y las rocas sedimentarias carbonatadas o calcáreas. La molibdenita se

encuentra como fase diseminada en el skarn o en vetillas de cuarzo junto con minerales de tungsteno o cobre.

Los depósitos de molibdeno tipo veta de cuarzo se caracterizan por la presencia de vetas de cuarzo de relleno de fisuras subparalelas en las que ocurre una diseminación de molibdenita. El ancho de estas vetas varía desde unos pocos centímetros hasta varios metros. Además de la molibdenita, la wulframita y la scheelita también están presentes en las vetas. Las rocas ígneas asociadas son cuarzomonzonitas que fueron emplazadas en rocas metamórficas, sedimentarias o volcánicas de edad precámbrica (So y otros, 1983a, 1983b).

4.3 Características fisicoquímicas del molibdeno en pórfidos cupríferos

Durante los procesos magmáticos, el Mo (Mo^{6+}) se comporta de manera incompatible y es más fácilmente particionado en los fluidos exsueles del magma para luego cristalizar como molibdenita hidrotermal (MoS_2 , Mo^{4+} en MoS_2) en depósitos de pórfidos cupríferos (Candela y Holland, 1984). En los depósitos de pórfidos cupríferos, la molibdenita precipita junto con sulfuros de Cu-Fe dentro de tres tipos de vetillas; vetillas A, B y D (Gustafson y Hunt, 1975; Newberry, 1979b) en la forma de dos estructuras cristalinas diferentes mencionados anteriormente (polimorfismos 2H y 3R; Newberry, 1979a, b). La molibdenita precipita a partir de diferentes fases de fluidos que forman el mineral, incluyendo salmueras, vapor y líquido (Gammons y Williams-Jones, 1997; Rempel et al., 2006; Ulrich y Mavrogenes, 2008). La molibdenita cristaliza en las vetillas tipo A como politipo 2H en la primera etapa de mineralización y se asocia con una intensa alteración potásica, es decir, biotita secundaria, K-feldespatos secundario, anhidrita y magnetita. En la etapa de transición de la depositación del mineral, la molibdenita se encuentra en las vetillas tipo B que cristalizan como politipos 2H-3R mezclados con cuarzo. La molibdenita 2H que cristaliza con cuarzo en las vetillas tipo D está dominada por sulfuros de Cu-Fe en la etapa final de mineralización (Gustafson y Hunt, 1975; Newberry, 1979b; McCandless et al., 1993). En la primera etapa de la mineralización del Mo, la separación de fases debido a la ebullición del fluido conduce a la formación de una fase salmuera que coexisten con una fase vapor (Gammons y Williams-Jones, 1997) En este caso, los metales junto con sus contrapartes ácidas, por ejemplo, HCl, H_2S , SO_2 , se fraccionan preferentemente en la fase de vapor, mientras que sólo una pequeña porción de los metales con componentes básicos, por ejemplo, KCl, NaCl, HS^- , se fraccionan en la salmuera (Gammons y Williams-

Jones, 1997; Rempel et al., 2006; Seo et al., 2012) Numerosos estudios han indicado que las especies de hidromolibdatos alcalinos, por ejemplo, K_2MoO_4 , $KHMoO_4$, $KHMoO_4$, Na_2MoO_4 , y/o $NaHMoO_4$, (Candela y Holland, 1984; Wood et al., 1987; Cao et al., 1988; Wood y Samson, 1998) y las especies de Mo-oxo-cloruro, por ejemplo, MoO_2Cl y MoO_2Cl_2 (Ulrich y Maverogenes, 2008) son especies predominantes en la fase salmuera y pueden ser responsables del transporte de molibdeno en las primeras etapas de mineralización. La estrecha asociación de la molibdenita y el K-feldespató secundario en las primeras vetillas tipo A, apoya el papel tanto de los hidromolibdatos alcalinos como de las especies de Mo-oxo-Cl en la formación de la primera etapa de la mineralización del Mo. En contraste, el Mo que se divide en la fase de vapor es transportado por especies gaseosas hidratadas, por ejemplo, $MoO_3 \cdot nH_2O$ y H_2MoO_4 (Candela y Holland, 1984; Rempel y otros, 2006). El ascenso y la expansión de estas fases de vapor magmático en el sistema fracturado a temperaturas y presiones elevadas conducen a la precipitación de molibdenita en etapas de transición asociadas a vetillas tipo B.

5 RESULTADOS

5.1 Distribución de sondajes en Rosario y selección de sondajes para mapeo geológico

5.1.1 Distribución de sondajes en Rosario

La base de datos de sondajes en Rosario se compone de un total de 919,831 metros de sondajes perforados (Figura 5.1), concentrados en los tres cuerpos mineralizados principales, esto es Rosario, el cual corresponde al pórfido de Cu-Mo; Rosario Oeste, que es un depósito epitermal de vetas Cu-Ag-(Au) de alta sulfidización y Rosario Sur que contempla un depósito de oxidados de cobre ubicado al extremo sur de estos dos últimos.

5.1.2 Selección de sondajes para mapeo geológico de sondajes

Para este estudio se seleccionaron 10 sondajes representativos de la ocurrencia de molibdenita (Tabla 5.1) en el depósito Rosario (Figura 5.2). Estos sondajes fueron mapeados conformando un total de 4,167.65 m de mapeo, lo que representa un 0.45 % de la data existente en Rosario. Los criterios de selección de sondajes se realizaron de acuerdo a tres premisas principales: (i) una distribución espaciada que no generara un sesgo de datos en un área particular; (ii) centrados en el pórfido, puesto que la mayor parte de la mineralización se encuentra asociado a este ambiente; y (iii) una selección de sondajes relativamente recientes, debido a que la información de leyes de sondajes históricos es poco confiable y además suelen estar en mal estado o incompletos.

Los criterios de prioridad corresponden a: prioridad [1] sondajes con altas leyes de Mo, involucran transición de ambientes, centrados en la planificación del quinquenio; prioridad [2] incorporan contactos y variedades litológicas; y prioridad [3] para sondajes cortos y de menor profundidad. El inicio de mapeo se estableció 50 m más arriba del cambio de ambiente epitermal-pórfido, con el fin de presentar esta transición.

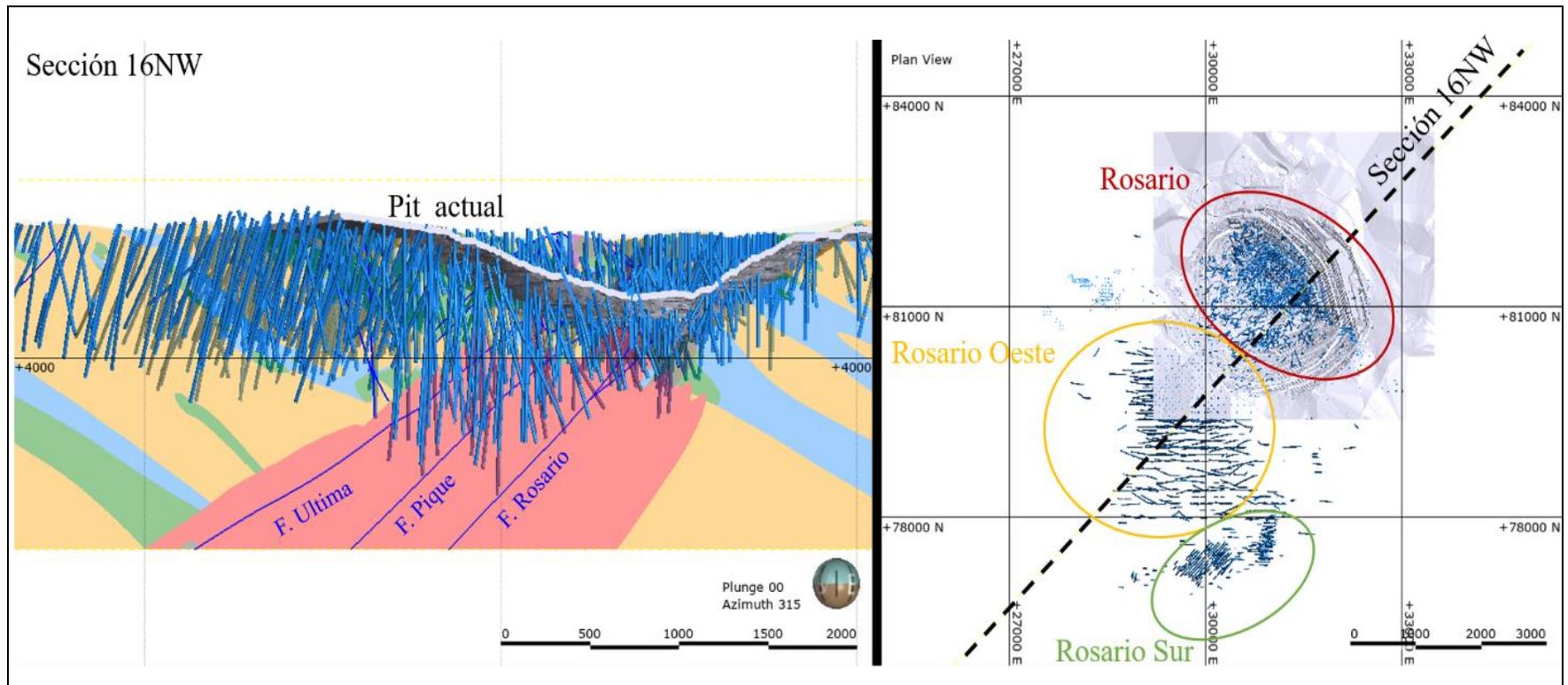


Figura 5.1 Distribución de los sondajes existentes en Rosario, Rosario Oeste y Rosario Sur.

Tabla 5.1 Tabla resumen de los sondajes seleccionados y mapeados. Se indican metros mapeados por sondaje, ubicación en sección, y categorización de recursos en la que se ubica el sondaje.

Hole ID	Este [m]	Norte [m]	Altura [m]	Seccion	Desde [m]	Hasta [m]	Metros tot	Categorización	Ubicación	Prioridad
DDHR143	30882.94	80187.33	4657.948	13	570	1237.25	667.25	2 (Indicado)	t2 / PAL/UJI	1
DER121	31599.87	80989.126	4390.097	13	90	439.4	349.4	1 (Medido)	t3	2
DDHR173	30958.829	80458.066	4645.829	13	380	831.25	451.25	2 (Indicado)	PAL	2
DDHR170	31045.973	80846.342	4406.263	16	240	557.65	317.65	1 (Medido)	t2	1
C049	31102.561	81190.508	4622.38	20	560	937.85	377.85	2 (Indicado)	pll(t1)	1
DDH436	30784.913	80769.231	4359.035	20	120	298.1	178.1	1 (Medido)	t4	3
DDHR146	30202.576	80668.775	4574.549	25	450	1299.5	849.5	3 (Inferido)	t2	1
DER58	30523.001	81429.281	4290.393	27	125	375	250	1 (Medido)	t3	3
DDHR163	30105.2	80906.704	4531.275	27	500	853.55	353.55	2 (Indicado)	t2 / PAL	1
DDH249	30558.229	81196.594	4269.328	27	6	379.1	373.1	1 (Medido)	t3	2
							4167.65			

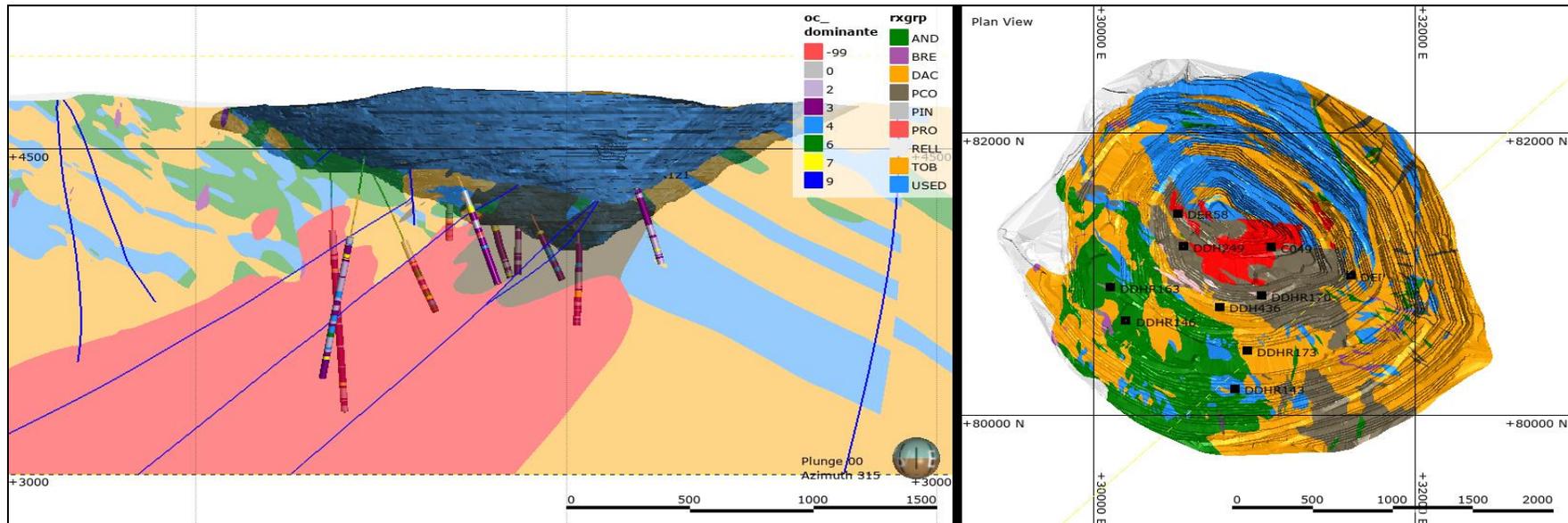


Figura 5.2 Distribución espacial de los sondajes seleccionados para este estudio.

5.2 Distribución de leyes Cut, Mo, As, Au y Ag

La distribución espacial de leyes es importante para reconocer posibles asociaciones entre elementos de interés. Para comprender su comportamiento y su relación entre ellos, se realizó un análisis de correlación visual entre Cu, Mo, As, Au y Ag, utilizando el modelo de bloques (leyes) de cada elemento.

En este análisis inicial se proyecta el modelo de bloques de 6 elementos de importancia económica y geometalúrgica. Estos son: el Cu como el elemento principal de interés económico y mineralizador del yacimiento; el Mo como el elemento de estudio de este trabajo y subproducto de la explotación del cobre; As debido a su impacto negativo en los precios de los concentrados; Au y Ag metales nobles que tienen un impacto positivo en el valor de los concentrados.

Las altas leyes de As (sobre 150 ppm) del depósito Rosario (Figura 5.3) están asociadas fundamentalmente al núcleo de fallas principales Pique y Ultima y la parte somera de la falla Rosario. En Rosario Oeste, el arsénico se encuentra alojado en las zonas de veta de alta ley de Cu-Ag-(Au) asociadas a fallas principales con orientación norte-noreste.

Las leyes del molibdeno (Figura 5.4) tienen una distribución más homogénea. La mineralización se encuentra constreñida en el ambiente de pórfido y sus leyes gradan de mayores a menores, desde el núcleo en profundidad del pórfido hacia los bordes o márgenes de este. Es más, el molibdeno presenta distintos lineamientos de alta ley (>1,000 ppm) paralelas a las fallas principales de Rosario, exponiendo el fuerte control estructural de la mineralización de molibdeno en el yacimiento.

El cobre (Figura 5.5) se deposita tanto en el ambiente epitermal como en el ambiente de pórfido. En el ambiente de pórfido al igual que el molibdeno, este presenta lineamientos de altas leyes paralelos a las fallas principales de Rosario, con dos núcleos de alta ley, uno ubicado en la cúpula del pórfido Rosario y el segundo en el margen profundo entre las fallas Rosario y falla Ultima del pórfido Rosario. En cuanto al ambiente epitermal al igual que el arsénico, el cobre se distribuye de forma más acotada a las vetas con orientación norte-noreste del depósito Rosario Oeste.

El oro (Figura 5.6) se ubica estrictamente dentro del pórfido Rosario con dos núcleos de leyes distribuidos de igual manera que el cobre, y con una leve mineralización de oro en la superficie de vetas del depósito Rosario Oeste. Mientras que, para la plata (Figura 5.7), su distribución es mucho más dispersa tanto para el ambiente de pórfido como epitermal, mostrando solo un claro lineamiento de alta ley en la falla Rosario.

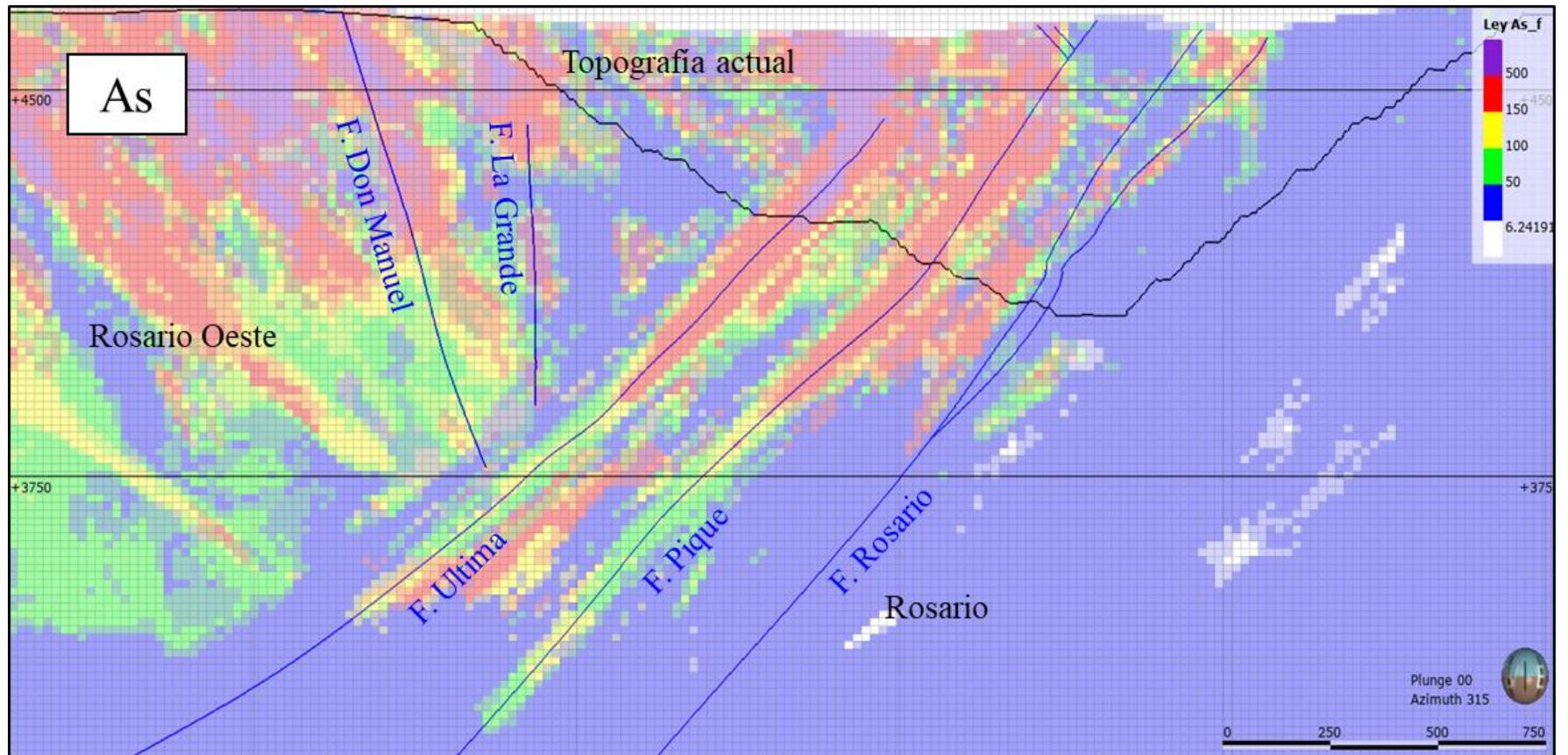


Figura 5.3 Distribución de leyes de As en los depósitos Rosario y Rosario Oeste. Se representa la distribución de leyes por medio del modelo de bloques de cada metal. Leyes de As en ppm.

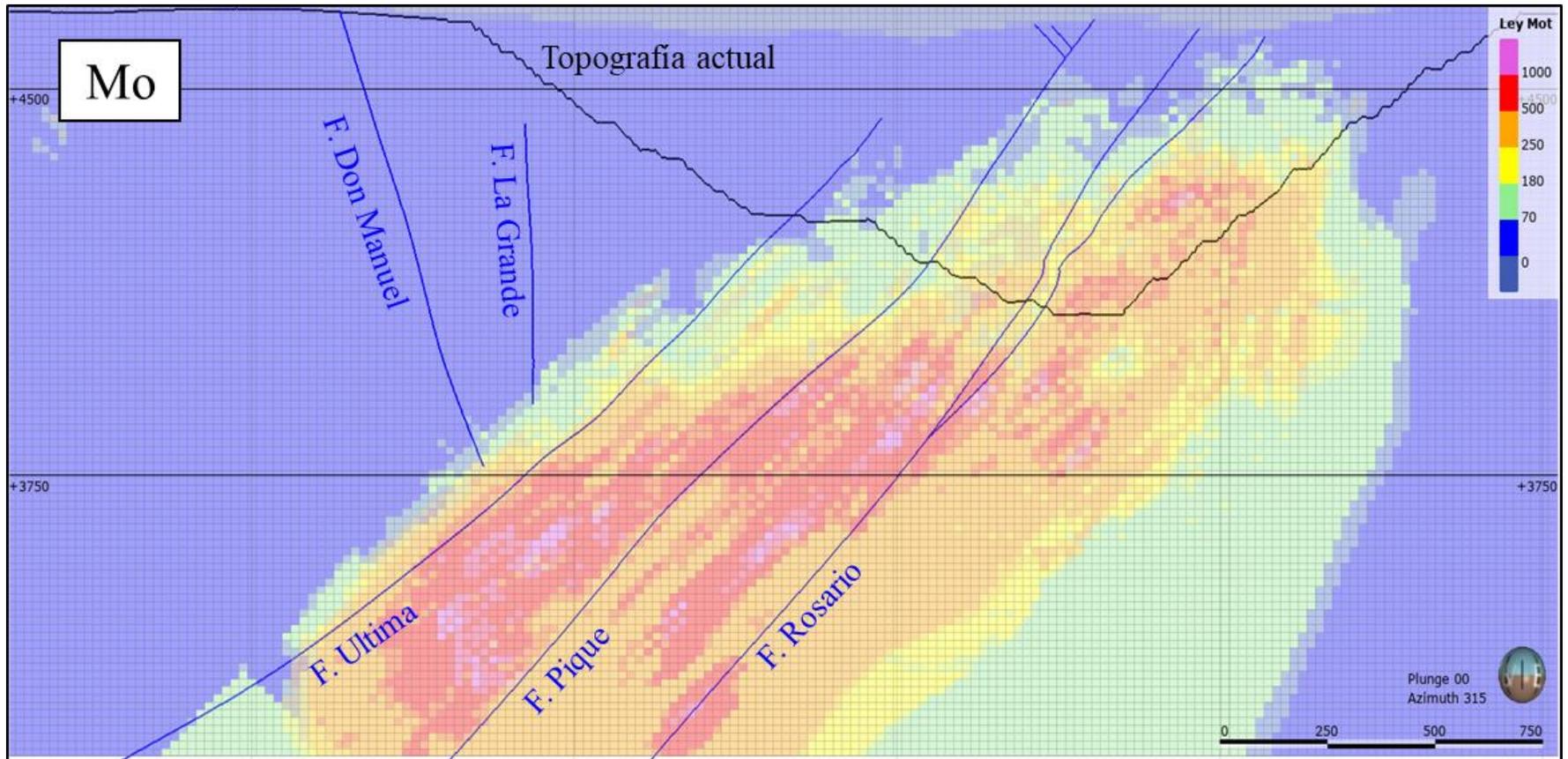


Figura 5.4 Distribución de leyes de Mo en los depósitos Rosario y Rosario Oeste. Se representa la distribución de leyes por medio del modelo de bloques de cada metal. Leyes de Mo en ppm.

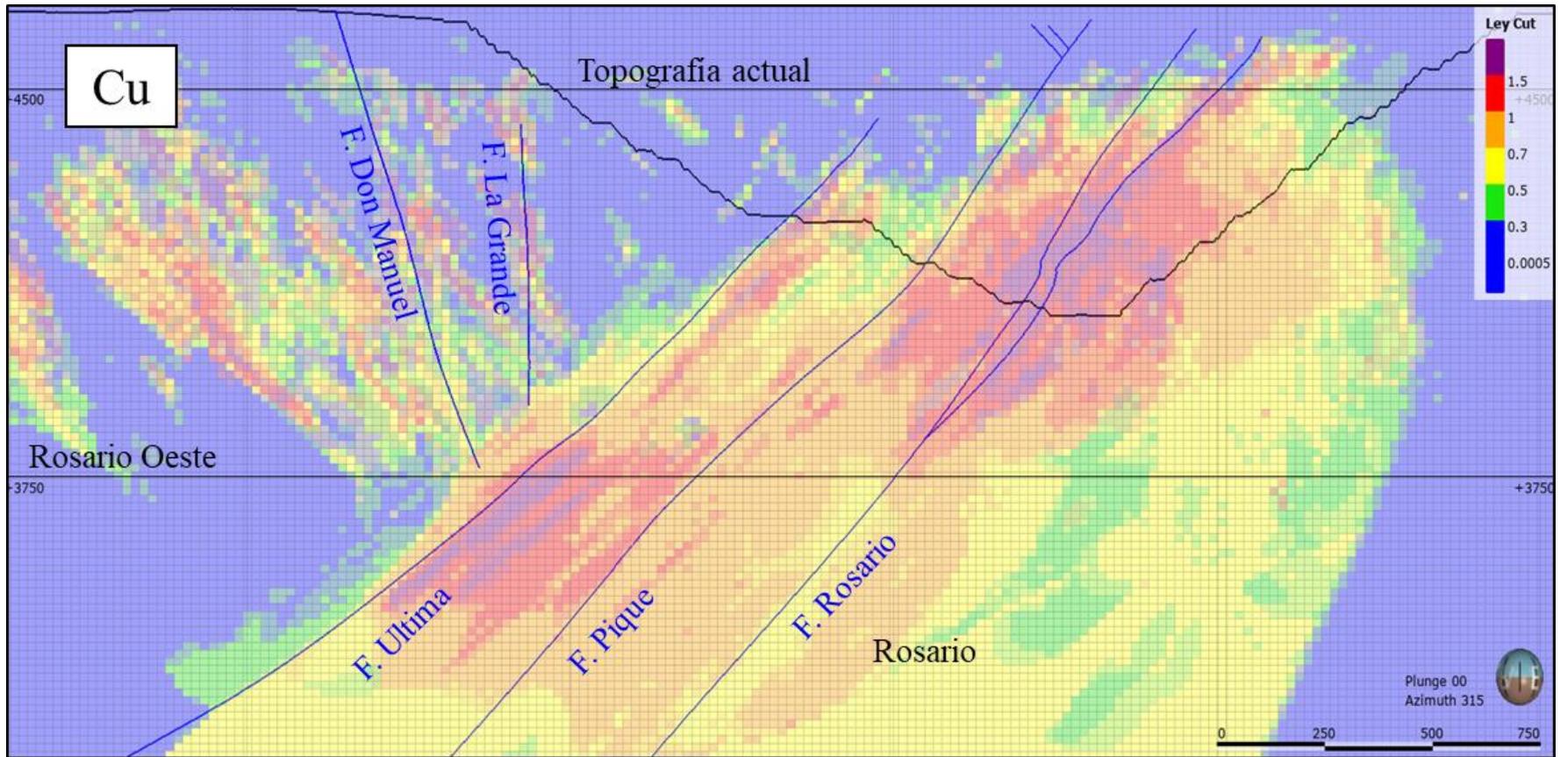


Figura 5.5 Distribución de leyes de Cu en los depósitos Rosario y Rosario Oeste. Se representa la distribución de leyes por medio del modelo de bloques de cada metal. Leyes de Cu en porcentaje en peso.

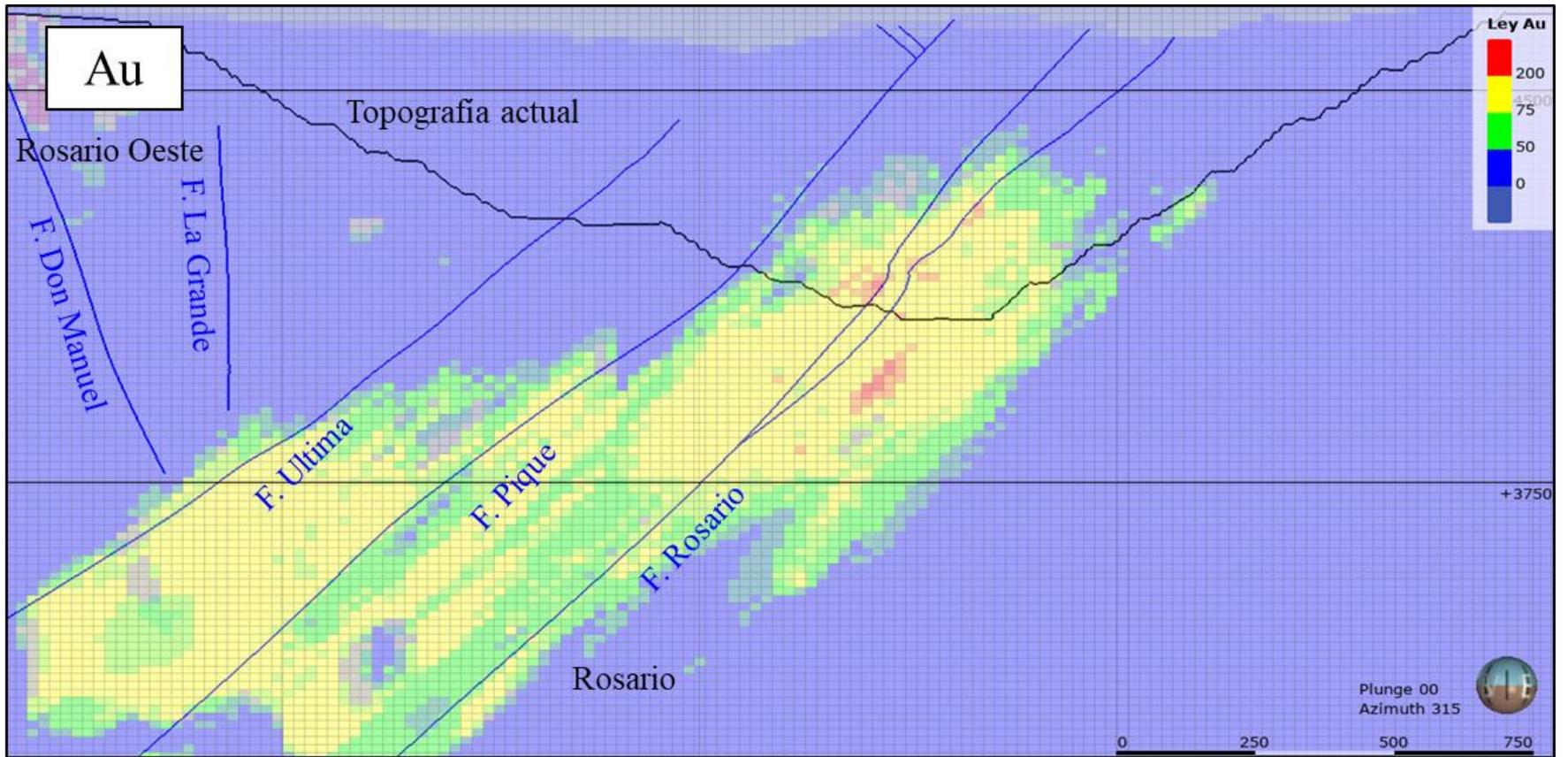


Figura 5.6 Distribución de leyes de Au en los depósitos Rosario y Rosario Oeste. Se representa la distribución de leyes por medio del modelo de bloques de cada metal. Leyes de Au en ppb.

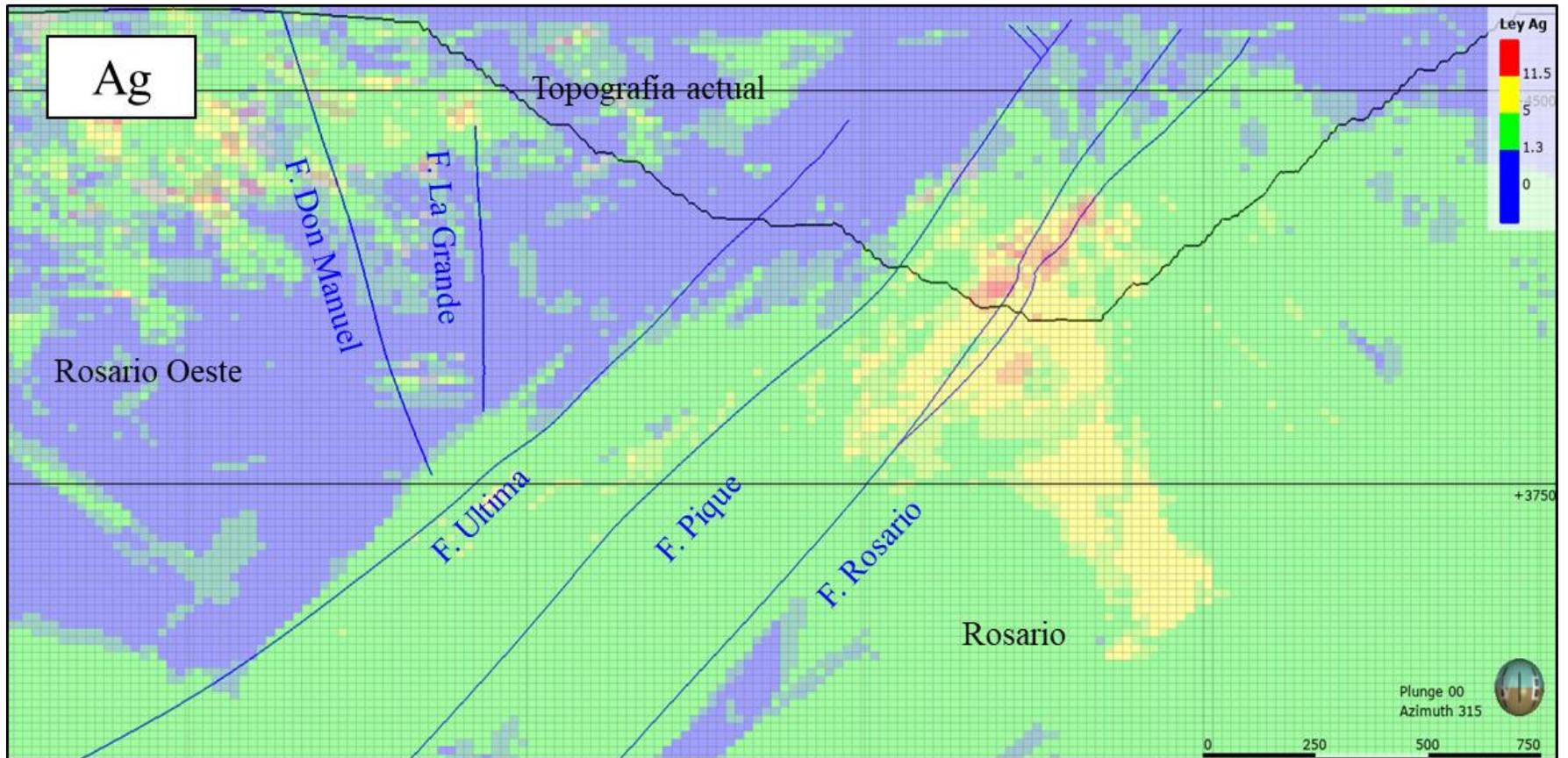


Figura 5.7 Distribución de leyes de Ag en los depósitos Rosario y Rosario Oeste. Se representa la distribución de leyes por medio del modelo de bloques de cada metal. Leyes de Ag en ppm.

5.3 Caracterización de la mineralización de molibdeno

La caracterización de la molibdenita en el yacimiento se realizó considerando dos aspectos físicos de la mineralización (tamaño de cristales y su forma/distribución en la vetilla o roca) con el fin de definir los distintos estilos de mineralización del molibdeno. De acuerdo a lo anterior, se identificaron nueve estilos de mineralización en el mapeo de sondaje (Figura 5.8) y se les asignó un código numérico en el registro de la cartilla de mapeo de molibdeno. Los estilos y su respectivo código se indican a continuación:

- **1 - Rosetas/Laminas Hexagonales**

Corresponden a cúmulos de molibdenita cristalina los cuales se disponen en láminas hexagonales. Este estilo de molibdenita se observa principalmente en vetillas tardimagmáticas.

- **2 - Diseminado en roca**

Son pequeñas agrupaciones (pequeños cúmulos de 1 mm o menor) de molibdenita intercrecida en la ganga de la roca. Este estilo generalmente es dominante solo cuando existen trazas de molibdenita.

- **3 - Cúmulos en vetillas**

Se reconocen como aglomeraciones de molibdenita fina en vetillas, de tamaños milimétricos a centimétricos. Es frecuente encontrarlos asociados a calcopirita y bornita en vetillas tardimagmáticas.

- **4 - Cúmulos lentiformes**

Agglomeraciones de molibdenita masiva generalmente de forma alargada siguiendo el eje principal de las vetillas. Son poco frecuentes, pero se presentan en vetillas tardimagmáticas y de manera más escasa en las vetillas del evento hidrotermal principal.

- **5 - Sutura**

Se presenta como una sutura de vetillas predominantemente de cuarzo. El ancho de la sutura suele ser de 1 – 5 mm, también se puede encontrar asociada a otros sulfuros como calcopirita.

- **6 - Bordos de vetilla**

Este estilo se caracteriza por una precipitación de molibdenita desde los bordes hacia el centro de la vetilla. En algunos casos, una vetilla tardimagmática con molibdenita es re-abierta por un evento posterior (evento Hidrotermal Principal).

- **7 - Diseminada en vetilla**

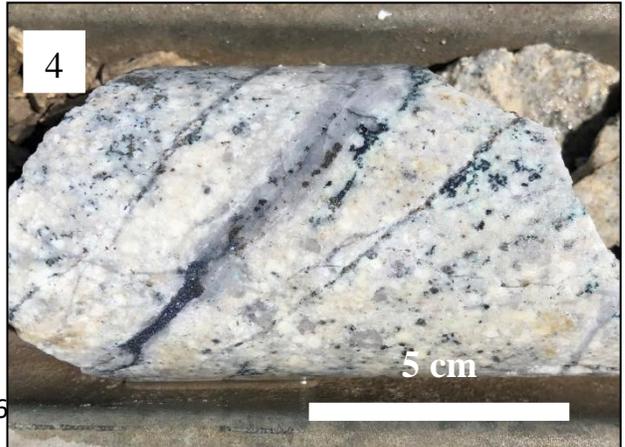
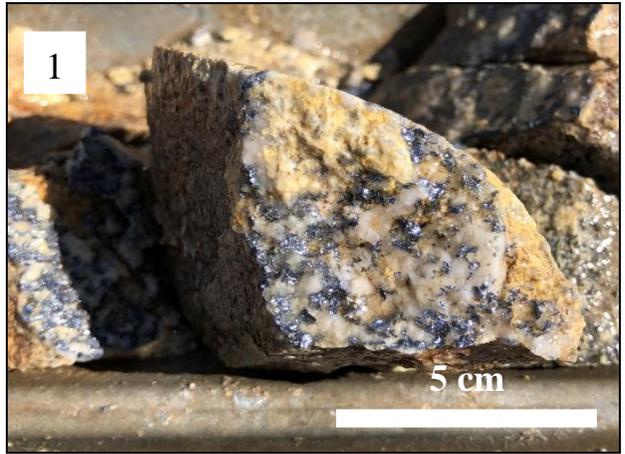
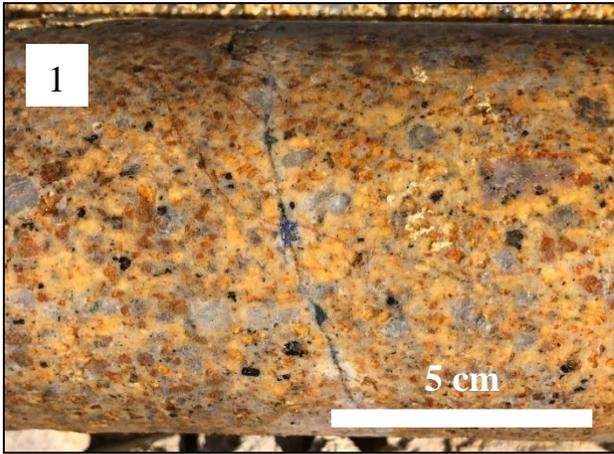
Corresponde a molibdenita de tamaño muy reducido (pequeños cúmulos de 1 mm o menor) que se encuentra diseminada (intercrecida) dentro de la vetilla y asociada con calcopirita, bornita y/o pirita. Se encuentra frecuentemente tanto en vetillas tardimagmáticas como hidrotermales principales.

- **8 - Matriz de brecha**

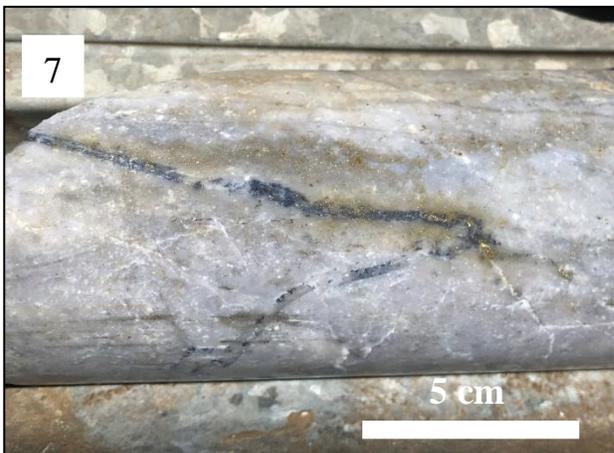
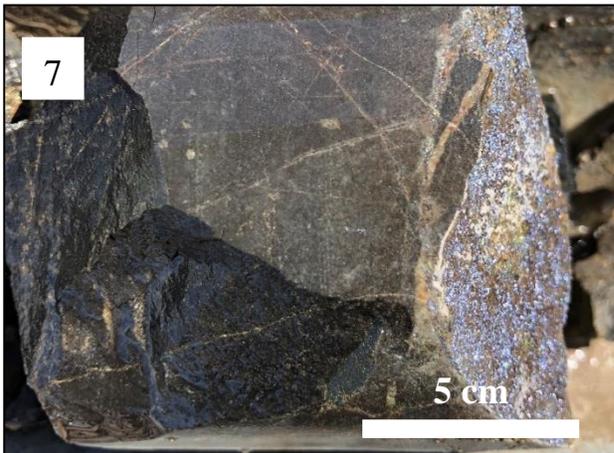
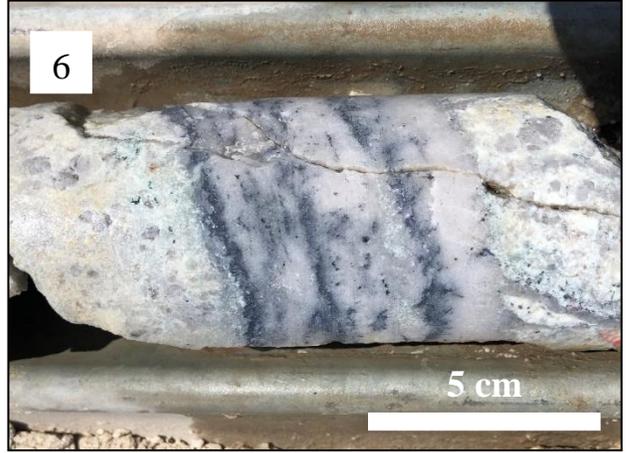
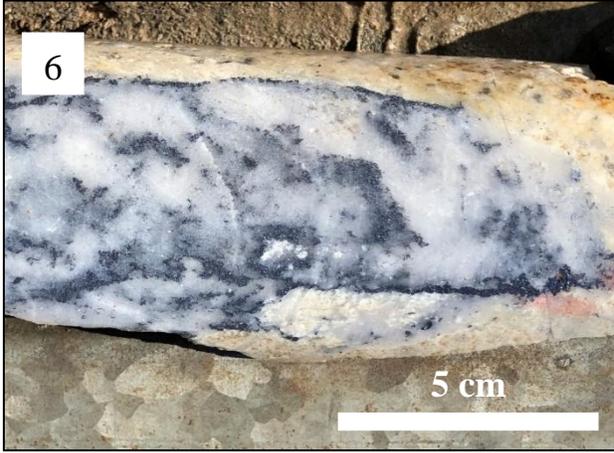
En algunos tramos se reconoció brechas con alta ley de Mo, donde la molibdenita se encuentra de manera masiva o fina en la matriz de brecha.

- **9 - Masiva en fracturas**

Es una variación de la mineralización diseminada fina, pero la diferencia radica en que en lugar de que la molibdenita se encuentre relleno la vetilla, ésta se observa depositada como un relleno masivo sobre una fractura de la roca.







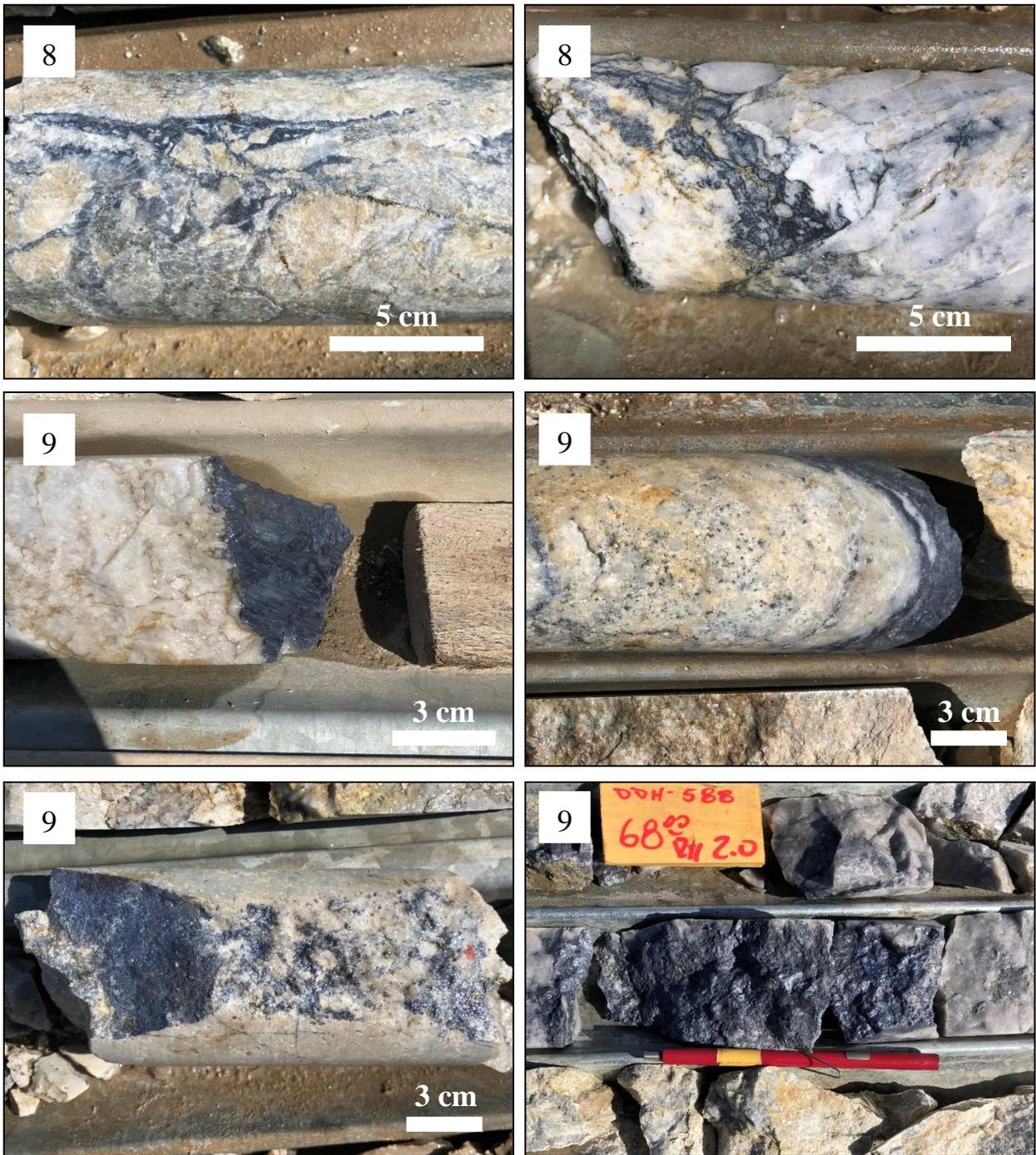


Figura 5.8 Estilos de mineralización de molibdenita identificadas en Rosario. Cada estilo se codifica con un número indicado en cada fotografía.

5.4 Mapeo Geológico de Sondajes

El mapeo de sondajes proporciona el primer input para la elaboración de una base de datos con nuevos caracteres relacionados al molibdeno.

A lo largo de los 4,000 m de sondajes se identificaron nueve estilos distintos de mineralización de molibdenita, siendo este mismo el único mineral portador de molibdeno reconocido en los mapeos. Estos estilos fueron observados fundamentalmente en los pórfidos Rosario y Collahuasi y en las rocas adyacentes de la Formación Collahuasi. La intensidad y variedad de estilos de mineralización de molibdenita aumenta hacia el centro del sistema de pórfidos. Asimismo, existe una gran variabilidad de estilos de mineralización dentro de los distintos dominios litológicos, estructurales y de alteración. Sin embargo, intervalos con características geológicas comunes agrupan una específica diversidad de estilos. Los distintos estilos de mineralización asociados a los factores geológicos principales se indican en el Anexo II (Cartilla de mapeo de sondajes molibdeno).

En las unidades de pórfidos (PRO, PCO), tobas y en márgenes de las unidades sedimentarias que rodean al pórfido Rosario (Figura 5.9a), se reconocen todos los estilos de mineralización (1 al 9; Figura 5.8). Por otro lado, en las unidades andesíticas, la mineralización se encuentra muy restringida a pequeñas áreas cercanas a los pórfidos y con estilo mayormente diseminado, solo en algunos sectores de intensa alteración se encuentran estilos de mineralización con vetas y cúmulos masivos de molibdenita.

Todos los estilos de mineralización son observados en las alteraciones potásicas, sericita gris verde, cuarzo-sericita, y alteración calco-silicatada codificada como tipo skarn (Figura 5.9b), sin embargo, es posible observar que ciertos estilos son preferentes en cada alteración. Por ejemplo, en la alteración potásica se puede reconocer un mayor dominio de estilos cristalinos (1) y estilos diseminados en vetilla y roca (2,7), y de forma menos frecuente estilos subordinados en cúmulos y masivo en fracturas. Para las alteraciones sericita gris verde y cuarzo-sericita, aunque presenta toda la variedad de estilos de mineralización, predominan los estilos con características masivas, es decir, aquellos estilos donde la precipitación de molibdenita es en un agregado mineral fino, rellenando vetillas, fracturas y matrices de brechas. Los estilos dominantes para estas alteraciones son cúmulos masivos (3,4), bordes de vetillas (6), relleno masivo de fracturas y

en matriz de brechas (8,9), con esporádicas ocurrencias de estilos de sutura (5). En las alteraciones tipo skarn, se identifican principalmente estilos diseminados y en cúmulos masivos (2,3,4,7). Por último, una escasa a nula ocurrencia de molibdenita se observa en las alteraciones de tipo argílica avanzada y propilítica. Cuando está presente, la molibdenita es del tipo diseminada (2,7).

De la información del mapeo de sondajes se pudo determinar que la mineralización de molibdenita se halla alojada principalmente en la zona mineral primaria en el ambiente pórfido. Esto es debido a que el molibdeno precipita en las etapas tempranas de los eventos magmático-hidrotermal, asociado principalmente al ambiente de pórfido. En menor medida se reconocen algunas ocurrencias de molibdenita diseminada en pequeños tramos de la zona primaria pirítica y zona secundaria cercanas al Pórfido Rosario.

En las zonas de fracturamiento intenso y de fallas, se observan diversos estilos de mineralización debido a la alta permeabilidad y circulación de fluidos que estas áreas producen. En los núcleos de fallas principales (Falla Rosario, Falla Pique, Falla Ultima) y zonas aledañas se observan dominios con estilos de mineralización masivo (3,4,6) y una alta presencia de rellenos de fracturas (9).

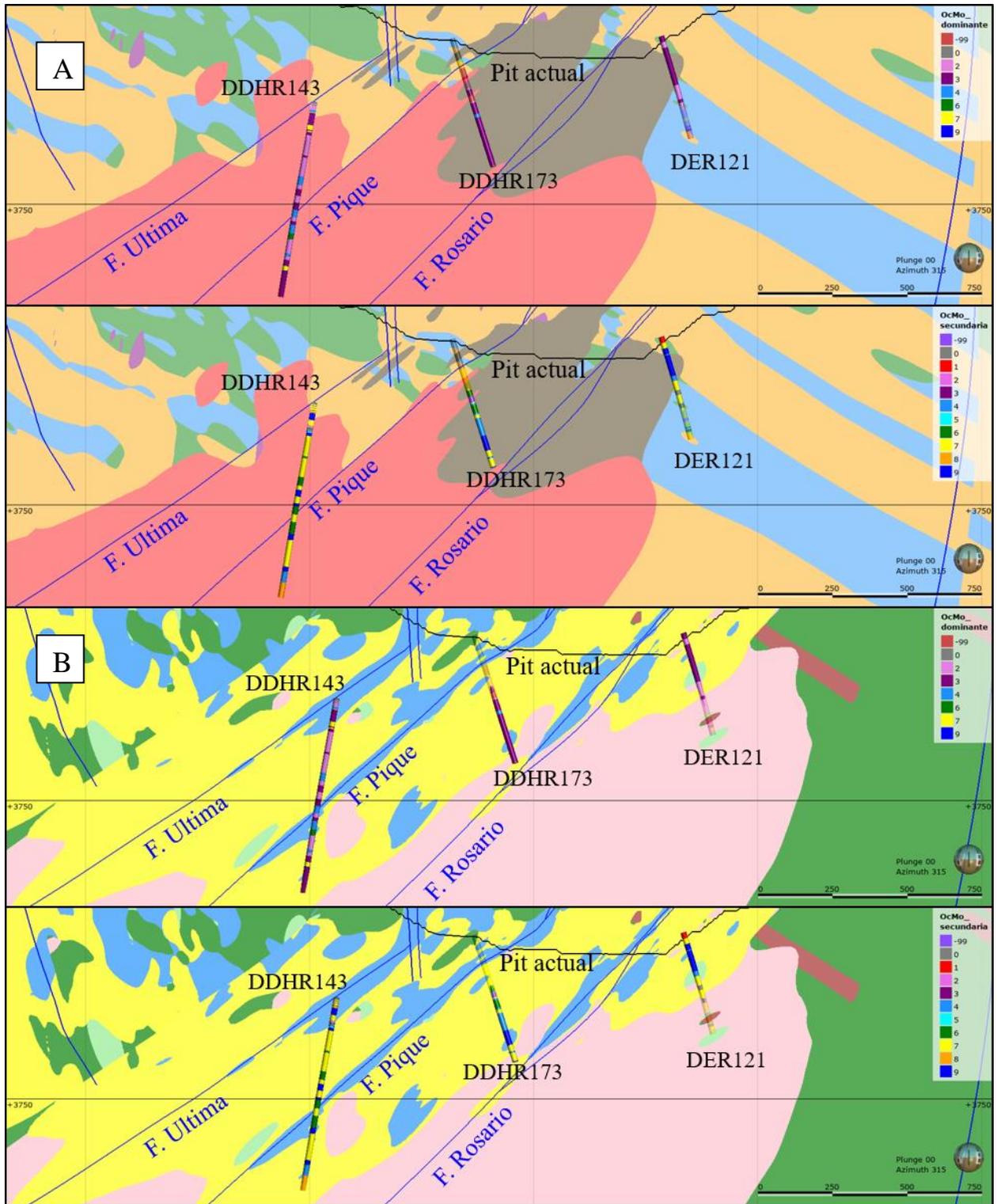


Figura 5.9 Sección 13NW proyectando sondajes con mapeo de ocurrencia Mo en los modelos geológicos de A) litología y B) alteración del yacimiento. Se indican los estilos de mineralización de molibdenita dominante y secundaria para cada registro de intervalo en el mapeo. La opacidad del sondaje indica que su trayectoria no intersecta el perfil de la sección.

5.5 Modelo conceptual

El modelo conceptual se construyó en base a una definición de áreas de ocurrencia de molibdeno las cuales consideran factores geológicos que controlan el comportamiento del molibdeno. Por lo mismo, el análisis inicial requirió realizar, en tres secciones tipo del yacimiento, una sección geológica a mano alzada que considerara una evaluación de los sondajes con mapeo geológico de molibdeno y los factores geológicos asociados al comportamiento del molibdeno.

En base a los resultados del mapeo geológico de sondajes y al análisis de la superposición de las distintas capas de información (estilo de ocurrencia de molibdenita, litología, alteración, minzone y estructuras principales), se definieron 11 dominios. Este modelo conceptual fue utilizado como base para la posterior definición de las unidades geológicas de molibdeno.

Las características de los distintos dominios (Figura 5.10) se describen en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Tabla descriptiva de los dominios definidos en el modelo conceptual.

Domínios	Modelo Conceptual
Rosado (1):	Pórfido Rosario. Alteración potásica. Minzone primario. Asociación representativa de sulfuros bornita, calcopirita. Estilos de mineralización cristalinos y diseminados.
Rojo (2):	Contacto entre Pórfido Rosario y Pórfido Collahuasi. Alteración sericita gris verde y cuarzo-sericita sobreimpuesto a alteración potásica. Minzone primario. Asociación representativa de sulfuros bornita, calcopirita. Zona geotécnicamente débil. Estilos de mineralización en estado masivo y relleno de fracturas.
Naranja (3):	Tobas y dacitas en contacto con Pórfido Rosario. Alteración potásica y cuarzo-sericita. Minzone primario. Asociación representativa de sulfuros calcopirita, pirita. Estilos de mineralización en estado masivo y relleno de fracturas.
Azul (4):	Unidades sedimentarias en contacto con Pórfido Rosario. Minzone primario. Asociación representativa de sulfuros calcopirita, pirita. Estilos de mineralización en estado masivo y relleno de fracturas.
Verde claro (5):	Andesitas en contacto con Pórfido Rosario. Minzone primario. Asociación representativa de sulfuros calcopirita, pirita. Estilos de mineralización diseminados.
Gris (6):	Tobas y dacitas en contacto con Pórfido Collahuasi. Minzone primario. Asociación representativa de sulfuros calcopirita, pirita. Estilos de mineralización en estado masivo y relleno de fracturas.
Turquesa (7):	Unidades sedimentarias en contacto con Pórfido Collahuasi. Minzone primario. Asociación representativa de sulfuros calcopirita, pirita. Estilos de mineralización en estado masivo y relleno de fracturas.
Verde oscuro (8):	Andesitas en contacto con Pórfido Collahuasi. Minzone primario. Asociación representativa de sulfuros calcopirita, pirita. Estilos de mineralización diseminados.
Verde puro (9):	Tobas, dacitas, unidades sedimentarias y andesitas. Minzone primario. Asociación representativa de sulfuros calcopirita, pirita. Estilos de mineralización diseminados.
Celeste (10):	Rocas de la Formación Collahuasi Minzone primario pirítico, secundario, zona pirítica. Asociación representativa de sulfuros pirita con menor calcopirita. Estilos de mineralización diseminados o nulo.
Morado (11):	Pórfido Rosario y Pórfido Collahuasi. Núcleo de fallas principales. Alteración argílica avanzada sobreimpuesta a cuarzo-sericita. Minzone primario. Asociación representativa de sulfuros pirita y bornita. Estilos de mineralización diseminados y en estado masivo.

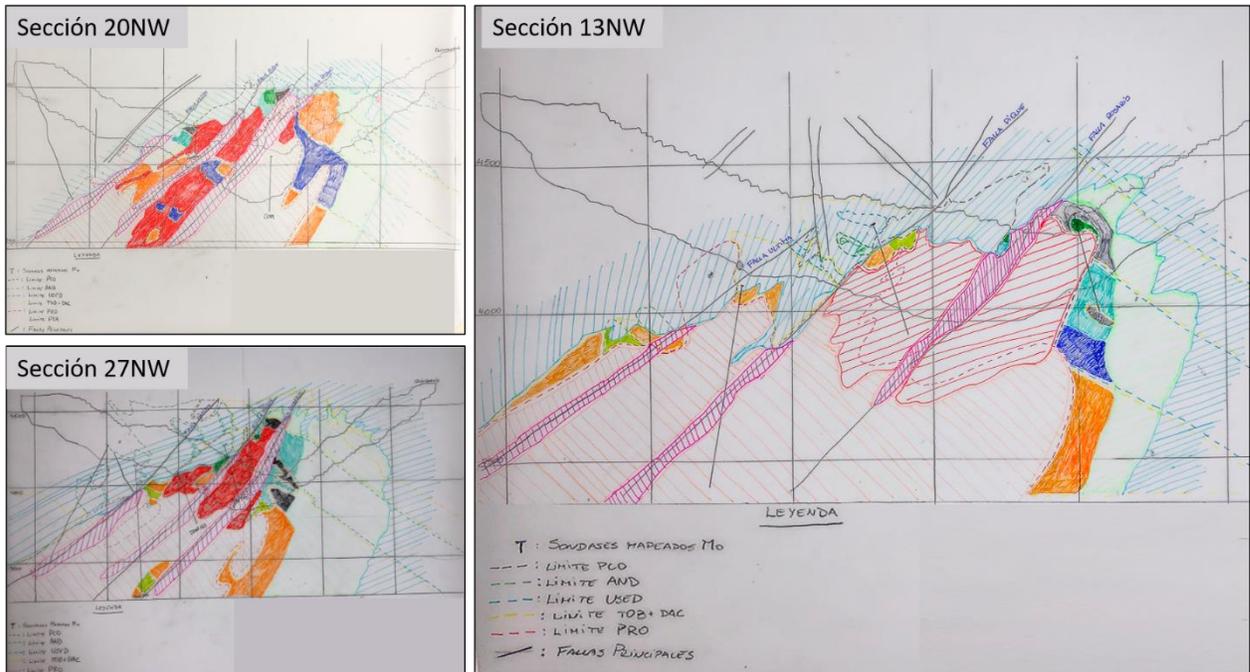


Figura 5.10 Modelo conceptual a mano alzada, en tres secciones tipo del yacimiento (13, 20 y 21NW). Se considero datos de mapeo de sondaje con ocurrencia de molibdeno, litología, alteración, minzone y estructuras principales para su elaboración. Dominios: Rosado, Rojo, Naranja, Azul, Verde claro, Gris, Turquesa, Verde puro, Celeste, Morado (Sección Modelo Conceptual).

5.6 Mapeo Geológico de Bancos

El mapeo de bancos se realizó en áreas de interés para corroborar lo propuesto en el modelo conceptual. El principal objetivo perseguido en esta etapa fue la validación de los dominios propuestos en el modelo conceptual como así también lo visto en el mapeo de sondajes.

En las Figuras 5.11 y 5.12 se indican los puntos de control tomados en el mapeo de bancos junto a imágenes y muestras de los bancos. Se validaron 7 de los 9 estilos de mineralización de los cuales el estilo en matriz de brecha y en sutura no fueron identificados en el proceso. Se reconocieron todas las litologías y alteraciones presentes en el yacimiento, con excepción de las unidades andesíticas. En consecuencia, 9 de los 11 dominios determinados en el modelo conceptual fueron reconocidos y validados (Figuras 5.11; 5.12 y 5.13) (Anexo III. Tabla cartilla de mapeo geológico de bancos molibdeno).

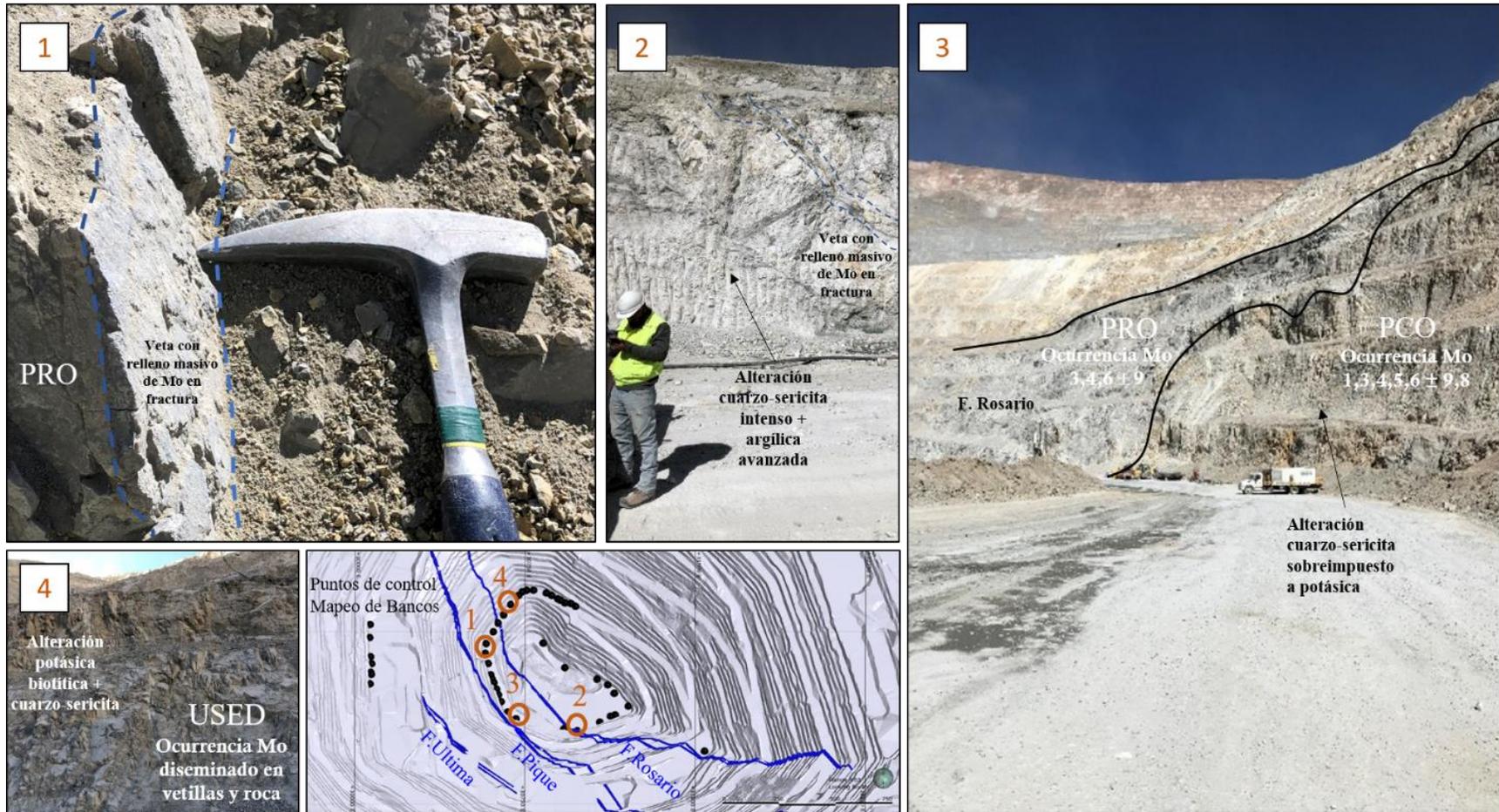


Figura 5.11 Imágenes de puntos de control tomados en el mapeo de bancos. 1) Evidencia del estilo de mineralización de relleno masivo en fractura del pórfido Rosario (PRO). 2) Zona de falla Rosario evidenciando ocurrencia de molibdenita asociada a alteración cuarzo-sericita y argílica avanzada con estilos de mineralización de relleno masivo en fracturas. 3) Contactos nítidos entre unidades y alteraciones en base a contrastes de colores. 4) Unidad sedimentaria (USED) verdosa oscura, relacionada a alteración potásica biotítica con menor porcentaje de cuarzo-sericita, ocurrencia de molibdenita diseminada en vetillas y roca.

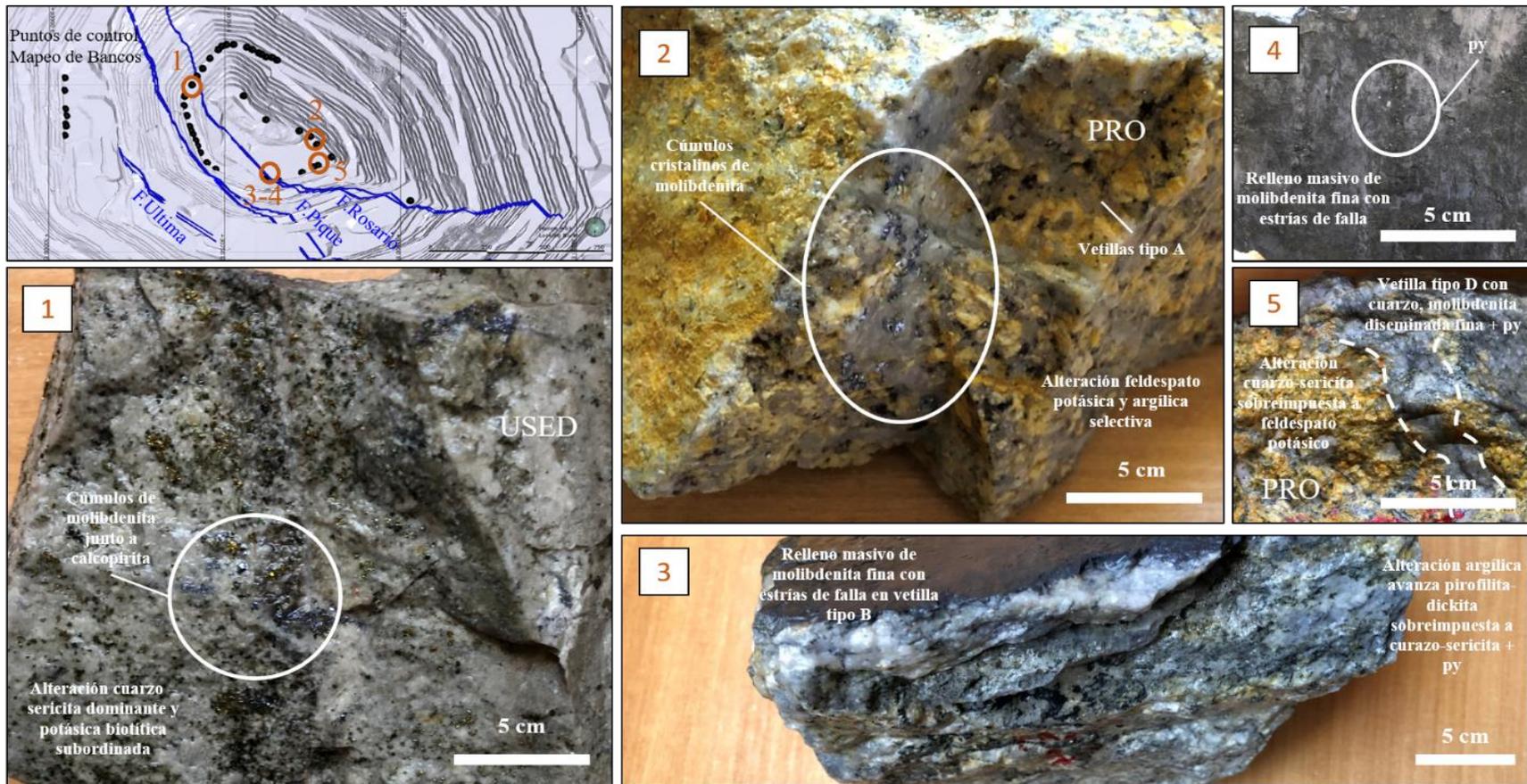


Figura 5.12 Imágenes de muestras representativas tomadas en los puntos de control del mapeo de bancos. 1) Unidad sedimentaria (USED) con estilo de mineralización de molibdenita en cúmulos asociado a calcopirita y menor bornita en alteración cuarzo-sericita dominante y potásica biotítica subordinada. 2) Pórfido Rosario (PRO) con estilo de mineralización de molibdenita cristalina asociada a bornita y calcopirita en alteración de feldespato potásico y argílica selectiva. 3) Muestra de la falla Rosario evidenciando el estilo de mineralización de molibdenita de relleno masivo de fractura, sobre un evento posterior a la formación de vetilla tipo B, asociado a alteración argílica avanzada sobreimpuesta a cuarzo-sericita. 4) Zoom a la veta de molibdenita en la muestra 3, molibdenita asociada a pirita. 5) Muestra del pórfido Rosario con estilo de mineralización diseminada asociada a pirita en una vetilla tipo D con halo de alteración cuarzo-sericita sobreimpuesta a una alteración potásica de fondo.

5.7 Definición de Unidades Geológicas del Molibdeno

Posteriormente a la elaboración del modelo conceptual y de la validación de los distintos dominios se procedió a la definición formal de las unidades geológicas (Figura 5.13), las cuales fueron utilizadas en el proceso de construcción del modelo final de molibdeno. Las unidades geológicas de molibdeno tienen como finalidad representar las asociaciones del molibdeno con los factores geológicos que controlan sus características mineralógicas. Estas unidades se detallan a continuación:

- **Unidad Geológica Mo 1:**

Molibdenita asociada al pórfido Rosario (PRO) y alteración potásica intensa. La unidad se caracteriza por tener estilos de mineralización del tipo cúmulos de molibdenita bien cristalizados con láminas hexagonales. En esta unidad también se incorporan zonas con ocurrencia de Mo más débil, siendo el estilo de disseminación en vetillas y de manera menos frecuente cúmulos en vetillas.

- **Unidad Geológica Mo 2:**

Molibdenita asociada al contacto entre pórfido Rosario (PRO) y pórfido Collahuasi (PCO), con alteración cuarzo-sericita sobreimpuesta a alteración potásica. La alteración cuarzo-sericita ocurre principalmente en estructuras o fallas de la zona. Gran parte de la unidad se asocia a zonas de fallas, lo que refleja su fuerte control estructural. Se caracteriza por estilos de mineralización de molibdenita en cúmulos de vetillas y rellenos de molibdenita masivo en fracturas. También es frecuente encontrar molibdenita en bordes de vetillas o múltiples bordes de vetilla, la cual puede describirse como una vetilla tipo B de Qz-Mo bandeada.

- **Unidad Geológica Mo 3:**

Molibdenita asociada al contacto entre PRO y TOB + DAC (tobas y dacitas), alteración cuarzo-sericita dominante, sericita gris verde y biotítica subordinada. Minzone primario con asociación representativa de calcopirita y piritita. La unidad se asocia a estilos de cúmulos en vetillas, bordes de vetillas, disseminados en vetillas y relleno de fracturas masivo.

- **Unidad Geológica Mo 4:**

Molibdenita asociada al contacto entre PRO y USED (unidad sedimentaria), alteración cuarzo-sericita dominante y biotítica subordinada. Minzone primario con asociación representativa de calcopirita y pirita. La unidad se asocia a cúmulos en vetillas, bordes de vetillas, diseminados en vetillas y relleno de fracturas en forma masiva.

- **Unidad Geológica Mo 5:**

Molibdenita asociada al contacto entre PRO y AND (andesita), alteración cuarzo-sericita dominante y biotítica subordinada. Minzone primario con asociación representativa de calcopirita y pirita. Estilos de mineralización molibdenita de cúmulos en vetillas, bordes de vetillas, diseminados en vetillas y relleno de fracturas en estado masivo.

- **Unidad Geológica Mo 6:**

Molibdenita asociada al contacto entre PCO y TOB + DAC, alteración dominante de cuarzo-sericita y biotítica. Minzone primario con asociación representativa de bornita y calcopirita. Estilos de mineralización molibdenita de cúmulos en vetillas, bordes de vetillas, diseminados en vetillas y relleno de fracturas en estado masivo.

- **Unidad Geológica Mo 7:**

Molibdenita asociada al contacto entre PCO y USED, alteración cuarzo-sericita dominante, skarn y biotítica subordinada. Minzone primario con asociación representativa de calcopirita y pirita. Estilos de molibdenita de cúmulos en vetillas, bordes de vetillas, diseminados en vetillas y relleno de fracturas en estado masivo.

- **Unidad Geológica Mo 8:**

Molibdenita asociada al contacto entre PCO y AND, alteración cuarzo-sericita dominante, sericita gris verde y biotítica subordinada. Minzone primario con asociación representativa de calcopirita y pirita. Los estilos de mineralización son cúmulos en vetillas, bordes de vetillas, diseminados en vetillas y relleno de fracturas en estado masivo.

- **Unidad Geológica Mo 9:**

Molibdenita asociada a TOB + DAC, AND y USED, alteración dominante de cuarzo-sericita y biotítica, de manera subordinada se encuentra la alteración tipo skarn y hornfels. Minzone primario asociación de calcopirita y pirita. Estilos de mineralización molibdenita diseminados en vetillas y rocas. El contacto entre esta unidad y las demás se define según la envolvente de Mo 180 ppm, puesto que, por lo observado de los datos de mapeos, en los valores menores a 180 ppm de Mo es altamente probable que dominen estilos de mineralización de molibdenita diseminada.

- **Unidad Geológica Mo 10:**

Molibdenita asociada a rocas de la Formación Collahuasi, relacionado a alteraciones de menor temperatura como propilitica, argílica avanzada e intermedia y cuarzo-sericita. La Minzone corresponde al background pirítico que engloba primario pirítico como zona pirítica, junto a las zonas lixiviadas y secundarias provocadas por alteraciones supergenas. Esta unidad presenta casi nula ocurrencia de molibdeno pero localmente es posible encontrar trazas de molibdenita diseminada en la roca.

- **Unidad Geológica Mo 11:**

Molibdenita asociada a fallas principales con una intensa alteración cuarzo-sericita y argílica avanzada. Minzone primaria con alguna presencia de secundario y/o primario pirítico. La unidad es representada por una asociación mineral de bornita y pirita. Los principales estilos de mineralización de molibdenita son masivos rellenando fracturas, donde la mineralización tiene un fuerte control estructural. Otros estilos que son comunes de encontrar en esta unidad son los cúmulos en vetillas y bordes de vetillas.

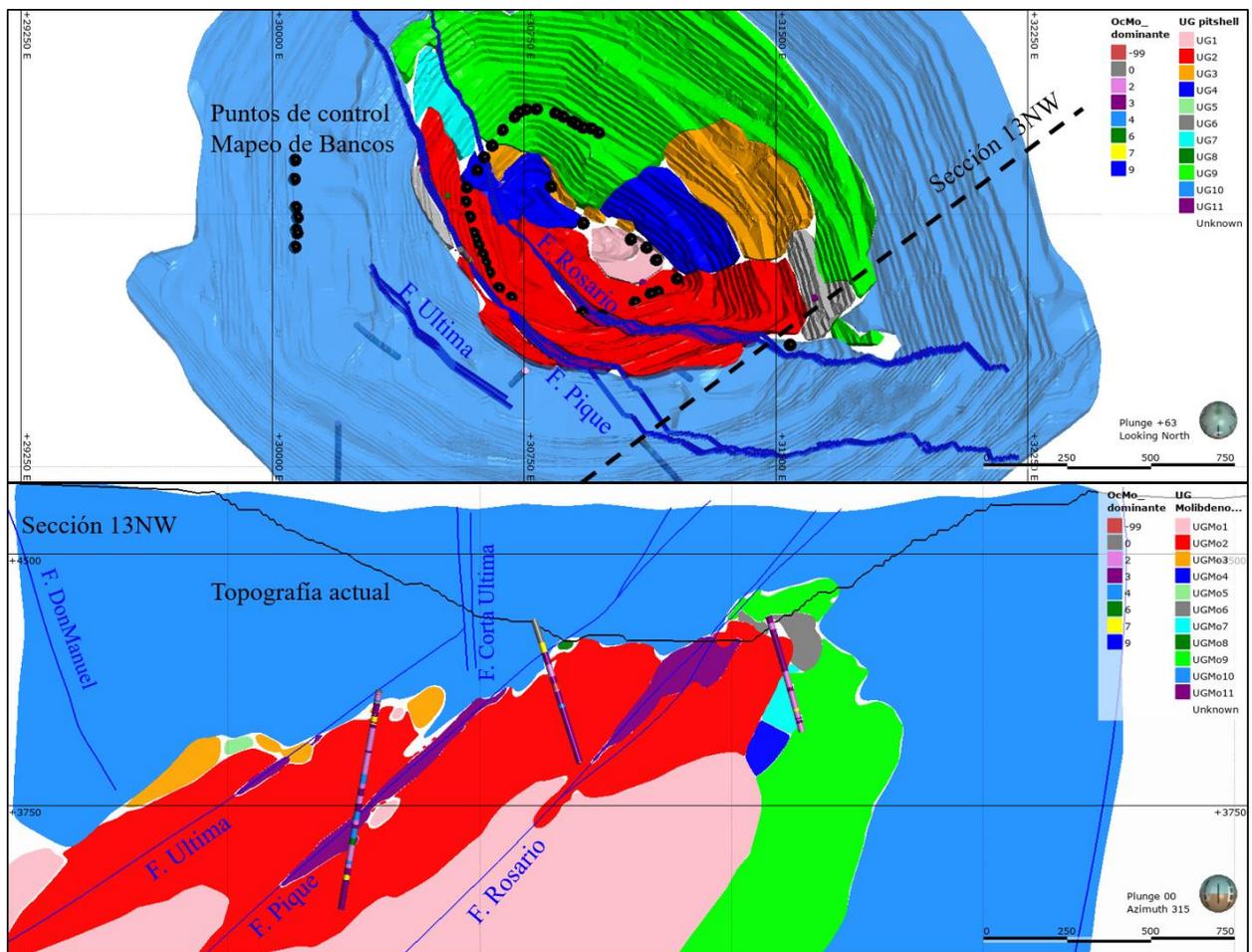


Figura 5.13 Representación visual de las unidades geológicas de molibdeno, definidas según datos de mapeo geológico de bancos y sondajes. Vista en planta hacia el pit y vista de perfil en sección 13NW.

5.7.1 Características geológicas de las UGMO

La caracterización geológica de las unidades es construida por medio de una evaluación preliminar de los sólidos UGMO y la base de datos de sondaje de Rosario. Estos sólidos son generados utilizando el software Leapfrog Geo por una interpolación de polilíneas en 3 secciones tipo del yacimiento, y solo es usado con la intención de evaluar los parámetros geológicos. Los resultados muestran una clara caracterización de las unidades geológicas de molibdeno de acuerdo con la base de datos de Rosario y proporciona una distinción o quiebres consistentes entre unidades geológicas. El propósito de este modelo de sólidos preliminar fue identificar unidades que no tengan una clara distinción entre ellas, en cuyo caso será necesario reagrupar las unidades geológicas definidas para la etapa final del modelo.

La evaluación realizada de las unidades geológicas de molibdeno con respecto a litología, alteración y Minzone, son consistentes en las definiciones determinadas en el modelo conceptual, aun considerando ciertas desviaciones con respecto a algunos tipos de alteraciones (Tabla 5.3).

Además, se realizó una evaluación de los parámetros químicos para los 6 elementos de importancia en cada unidad geológica (Figura 5.14; Anexo IV. Tabla resumen de las características geológicas y químicas de las unidades). Del Mo es posible visualizar 3 quiebres importantes en las unidades geológicas 2, 5, 6 y 10, es decir, los valores promedios de Mo más altos se encuentran en la unidad 2, mientras que los valores promedios más bajos se encuentran en las unidades 5, 6 y 10; el resto no genera una clara distinción. Similar comportamiento presenta el As en las unidades 10 y 11, mostrando un quiebre de valores promedio alto en arsénico. El Cu muestra una distribución muy homogénea, con excepción de la unidad geológica 11 con los mayores valores de cobre total. El Fe muestra distribuciones homogéneas, pero las unidades 5 y 6 (andesitas) tienen los valores promedios más altos. Para el Au, los valores más altos se encuentran en las unidades 1, 2 y 11, y más bajos en la unidad 10, mientras que para la Ag los altos valores promedio se encuentran en las unidades 1, 2, 3, y 11.

Tabla 5.3 Evaluación geológica de la BD de sondajes en las UGMo conceptuales. Se agregan los porcentajes más representativos en cada UGMo.

Cronología	Unidad Geológica	Parametros Geológicos												
		MINZN UG	MINZN Sondajes [% en UG]	LITO UG	LITO Sondajes [% en UG]	ALT UG	ALT Sondajes [% en UG]	OCURENCIA Mo	TIPO VET. [% en UG]					Asoc. Min. Sulf.
									A	B	C	D	E	
Etapa TM	UGMo1	PRI	84 PRI	PRO	68 PRO	K/QS ± SGV	25 QS	1,2,3,4,7 ± 9	28	4	0	1	0	Bn - Cpy
			9 PRIPY		11 PCO		24 K							
			1 SEC		8 USED		15 CS							
Etapa TMT a HP	UGMo2	PRI	86 PRI	PRO/PCO	55 PRO	QS ± SGV/A	44 QS	1,3,4,5,6 ± 9,8	12	41	8	16	0.3	Bn - Cpy
			8 PRIPY		30 PCO		16 CS							
			2 SEC		5 TOB		14 A							
	UGMo3	PRI	PRO/TOB+DAC	93 PRI	50 DAC	QS ± B/SGV	37 QS	1,3,4,5,6 ± 9,8	27	30	2	15	0.5	Cpy - Py
				5 PRIPY	21 PRO		17 B							
				1 SEC	18 TOB		12 CS							
	UGMo4	PRI	PRO/USED	91 PRI	46 USED	B/QS ± A	21 B	1,3,4,5,6 ± 9,8	19	17	4	46	0	Cpy - Py
				3 PRIPY	15 TOB		18 QS							
				1 SEC	7 PRO		15 A							
	UGMo5	PRI	PRO/AND	97 PRI	41 AND	HNF/QS ± FK	23 HNF	2,6,7 ± 9	25	33	1	14	0	Cpy - Py
				3 SI	23 DAC		21 QS							
					12 TOB / 4 PRO		13 FK							
	UGMo6	PRI	PCO/TOB+DAC	93 PRI	36 DAC	QS/B ± A	39 QS	1,3,4,5,6 ± 9,8	38	11	3	11	0	Bn - Cpy
				5 PRIPY	33 TOB		35 B							
				1 SEC	4 PCO		9 A							
	UGMo7	PRI	PCO/USED	94 PRI	75 USED	SK/B ± QS	34 SK	1,3,4,5,6 ± 9,8	18	7	4	18	0	Cpy - Py
				2 SEC	7 TOB		23 B							
				1 EST	4 PCO		10 QS							
	UGMo8	PRI	PCO/AND	98 PRI	64 AND	QS/SGV ± B	37 QS	2,6,7 ± 9	0	0	0	28	0	Cpy - Py
				2 SEC	15 TOB		33 CS							
					6 USED		21 B							
	UGMo9	PRI	USED + TOB + DAC + AND [Primario distal al contacto del sistema Pórfido]	87 PRI	48 USED	B/QS ± SK	24 B	2,7 ± 3	58	3	0	8	0	Cpy - Py
				5 PRIPY	18 DAC		22 QS							
				2 SEC	13 AND		16 SK							
HP	UGMo10	PRIPY ± SEC ± ZPY	22 ZPY	35 AND	Pp/A ± QS	32 P	0 ± 2	1.5	0.5	0	19	0.8	Py - Cpy	
			20 LIX / 20 SEC	26 TOB		30 A								
			12 PRIPY / 8 PRI	16 USED		21 QS								
HT	UGMo11	PRI ± SEC	89 PRI	22 PRO	QS/Ag	38 QS	3,4,6 ± 9	3	22	16	37	1.4	Bn - Cpy / Bn - Py	
			3 SEC	44 PCO		37 A								
			1 PRIPY	11 AND		7 CS								

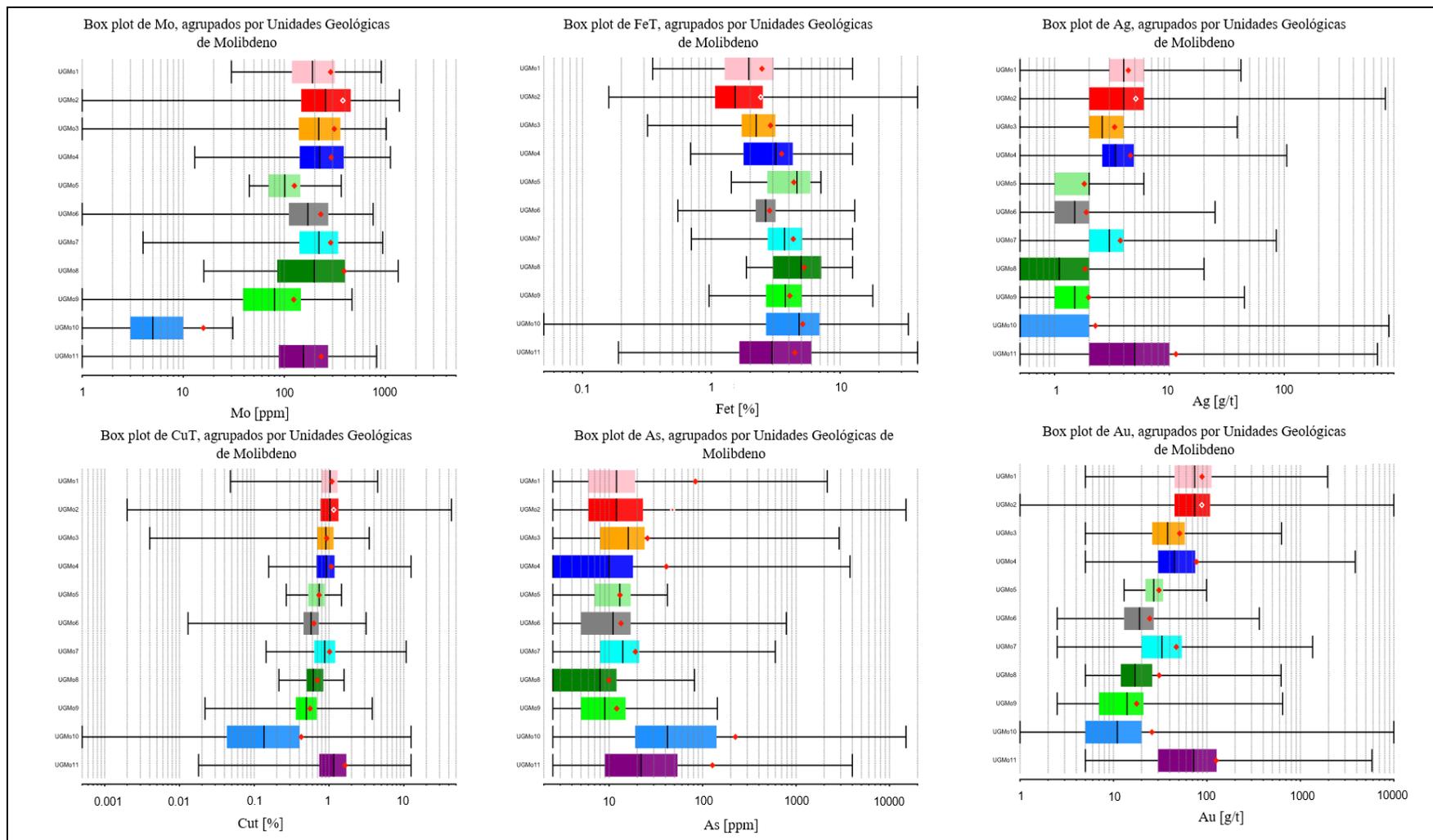


Figura 5.14 Box plots agrupando los datos de las variables químicas de cada metal de interés, evaluados en las unidades geológicas de molibdeno.

5.8 Modelo Geológico Tridimensional de Molibdeno

5.8.1 Indicadores de modelamiento

Los indicadores de modelamiento (Figura 5.15) fueron generados a partir de las evaluaciones geológicas y químicas de cada unidad presentadas anteriormente. A partir de estos indicadores se formuló una base de datos con una variable específicamente producida para clasificar un conjunto de datos en una respectiva categoría, es decir, clasificar estos datos en una unidad geológica de molibdeno en particular. En otras palabras, la variable “indicadores” es el dato que proporciona la base para la interpolación del modelo geológico en el programa Leapfrog Geo. Las tablas con los parámetros designados para cada indicador de modelamiento se mencionan en el Anexo V. Indicadores de modelamiento Mo.

5.8.2 Sólidos del Modelo Geológico de Molibdeno

Los sólidos de las unidades geológicas de molibdeno (UGMo) son la representación visual del modelo geológico de molibdeno (Figura 5.16). En el software Leapfrog Geo se carga la base de datos de modelamiento con la variable categórica de indicadores (que indica a qué unidad geológica de molibdeno pertenece el conjunto de datos). Sobre esta información se generan intervalos que el programa Leapfrog lee e interpola (interpolación lineal), creando superficies de modelamiento, las cuales, en conjunto a una asistencia de orden cronológico o jerárquico para cada indicador, producen los sólidos de las unidades geológicas de molibdeno. Sin embargo, a esta interpolación se le proporciona un sentido geológico, por medio del cual los datos son ajustados a polilíneas creadas en la base del modelo geológico de litología, alteración, estructuras y Minzone de Rosario (modelo conceptual).

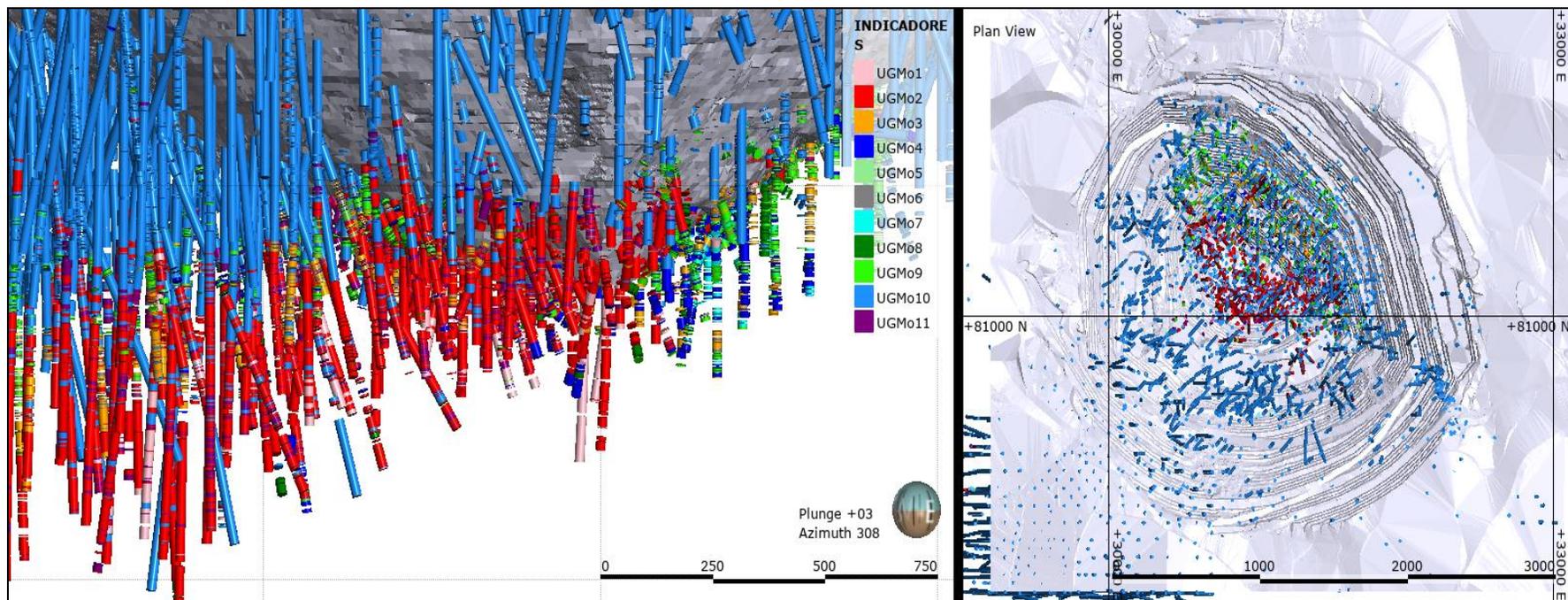


Figura 5.15 Vista en perfil y planta de los intervalos generados por los Indicadores de modelamiento.

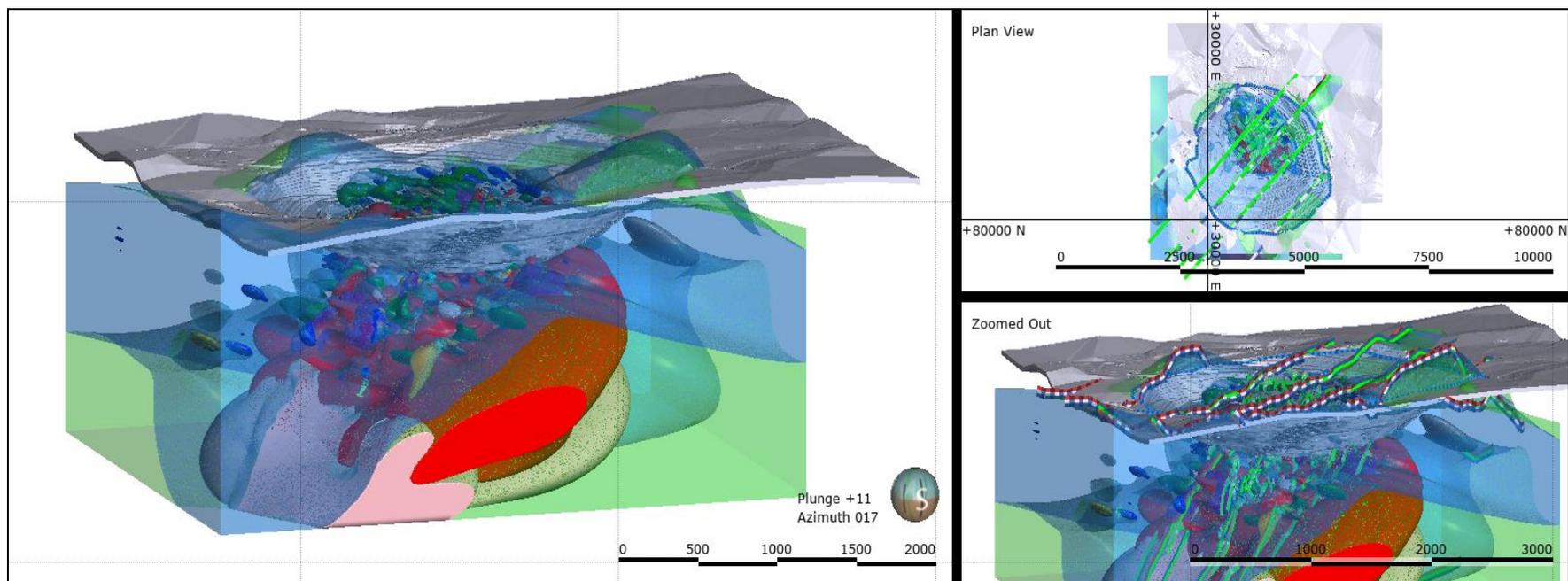


Figura 5.16 Sólidos generados en el programa Leapfrog Geo 4.5. Se muestra la distribución espacial de los sólidos de las UGMO en Rosario. Se ilustran, además, algunas polilíneas usadas para ajustar las interpolaciones de Leapfrog al modelo conceptual. Los colores de los sólidos son los mismos usados anteriormente para la leyenda de UGMO.

5.9 Análisis estadísticos de las Unidades Geológicas de Molibdeno

5.9.1 Análisis de Distancia al Contacto

El análisis de distancia al contacto muestra las leyes de un metal en intervalos de 10 m del contacto entre unidades geológicas. La recopilación de un total de 55 contactos entre unidades se reporta en el Anexo VI. El análisis de distancia al contacto es significativo para definir contactos “suaves” o “duros” entre unidades. La Figura 5.17 muestra los contactos entre las UGMO 1-2 y 1-9 para el molibdeno. En ellos se identifica un contacto suave entre las UGMO 1-2 y donde el cambio de las leyes de molibdeno entre unidades no es significativa ni abrupta. Al contrario, se observa un quiebre abrupto del molibdeno entre las UGMO 1-9.

Los contactos duros identificados para el molibdeno corresponden a las UGMO 1-3, 1-5, 1-6, 1-9, 1-10, 1-11, 2-3, 2-5, 2-9, 3-9, 4-5, 4-6, 4-9, 5-9, 6-9, 7-8, 7-9, 8-9, 10-2, 10-3, 10-4, 10-5, 10-6, 10-7, 10-8, 10-11, 11-2, 11-3, 11-4, 11-6, 11-7, 11-8 y 11-9; el resto de los contactos son del tipo suave.

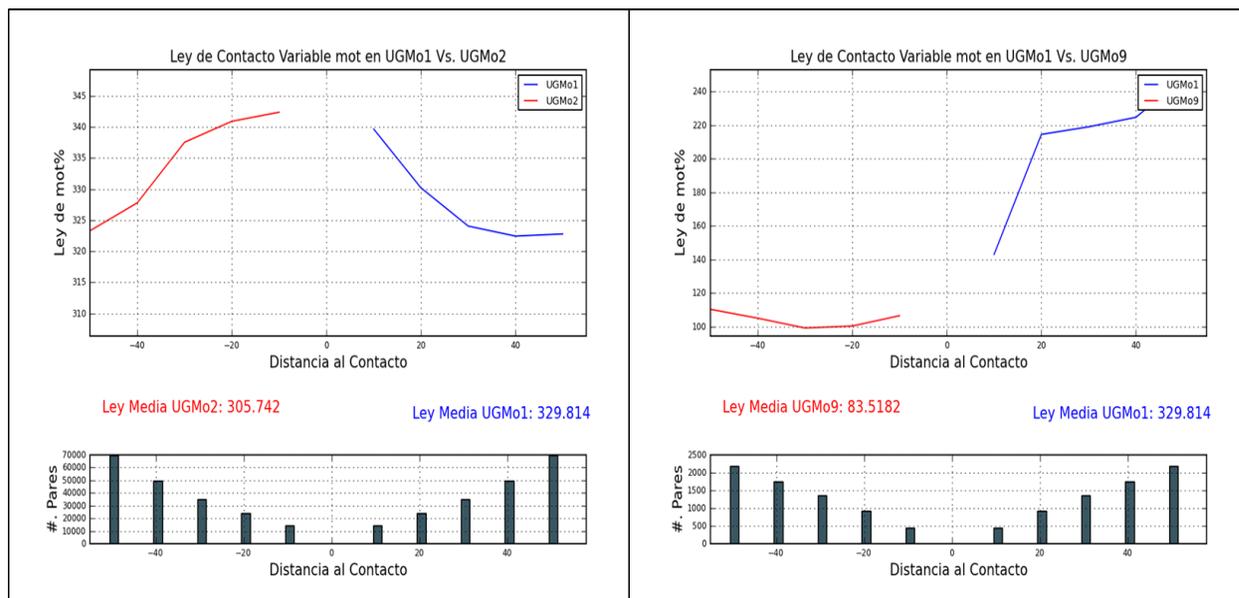


Figura 5.17 Gráficos de análisis de distancia al contacto entre unidades geológicas de molibdeno. El control de intervalos se realiza cada 10 m a partir del contacto entre unidades. Los pares de datos analizados se visualizan en los gráficos de barras.

5.9.2 Análisis de Distribución de Frecuencia Acumulada

El análisis de distribución de frecuencia acumulada correspondiente a cada unidad geológica de molibdeno (UGMo) permite una visualización de la distribución de las variables numéricas de interés (Figura 5.19). Los gráficos de distribución de variables químicas por unidad se presentan en el Anexo VII. Para el molibdeno, los datos presentan una buena segregación para las UGMo 2,9,10,11, en contraste las UGMo 1,3,4,5,6,7,8 parecen pertenecer a una misma colección de datos salvo hasta el primer cuartil donde la cola de datos es visiblemente segregada. En cuanto a la distribución, solo las UGMo 1,3,4,5,6,7,8 muestran una distribución notoriamente lineal.

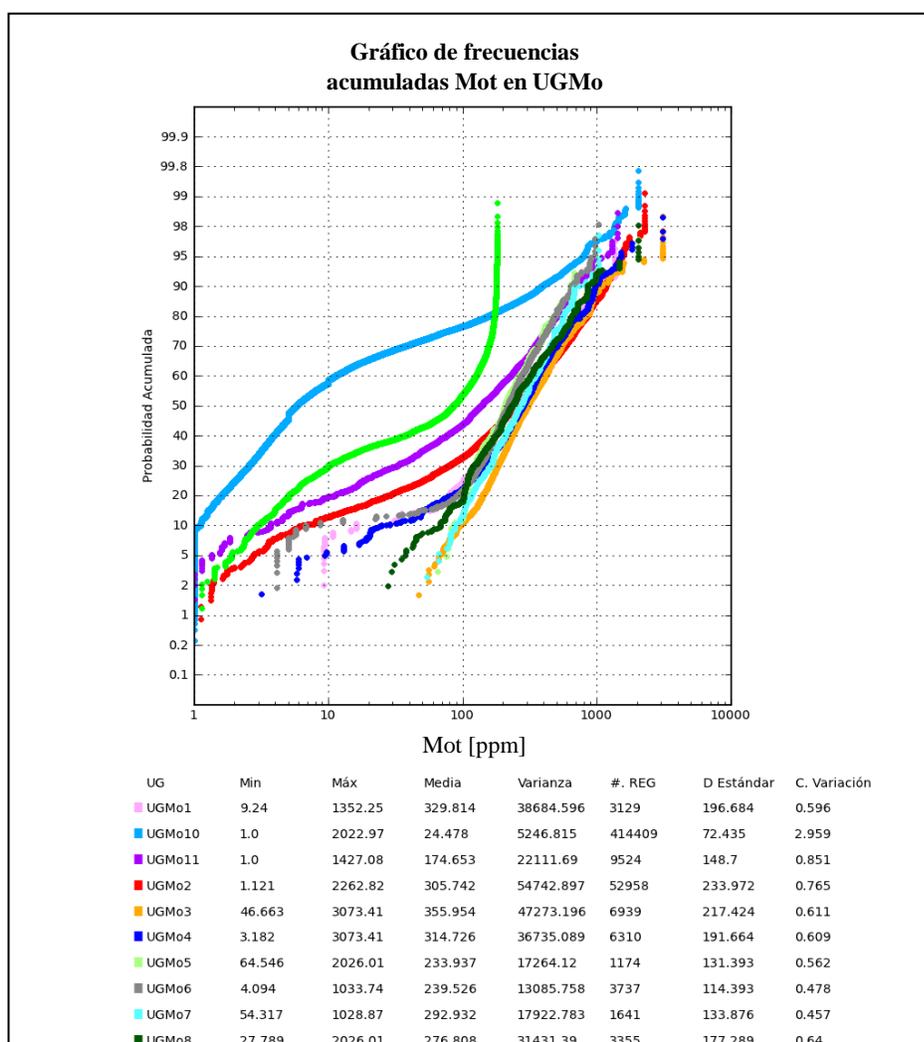


Figura 5.18 Gráfico de distribución de frecuencia acumulada del molibdeno para cada UGMo. Los estadísticos descriptivos básicos para cada unidad se reportan al pie del gráfico.

5.9.3 Análisis de Dispersión de Datos

Se realizó un análisis de dispersión de datos emparejando los datos de molibdeno con los datos de cobre, hierro, arsénico, oro y plata para cada unidad geológica de molibdeno. La recopilación de gráficos de dispersión se encuentra en el Anexo VIII. De toda la gama de gráficos analizados ninguno presenta una fuerte correlación de variables dentro de los dominios de las unidades geológicas de molibdeno, aun así, es posible identificar y establecer una tendencia correlativa en las variables químicas con respecto al molibdeno. Como se observa en la Figura 5.20, el molibdeno se relaciona con el cobre mostrando una leve tendencia positiva, es decir, que a medida que los valores de molibdeno crecen también suelen aumentar las leyes de cobre, pero como se ilustra en los gráficos, estos presentan bajos coeficientes de correlación en todas las unidades geológicas descritas (Coef. Correlación $\sim 0.2 - 0.3$), indicando un desacople de estos elementos en cada unidad. El molibdeno en relación con el hierro muestra una tendencia negativa, a mayores leyes de molibdeno el contenido de hierro tiende a ser menor, llegando a mostrar una correlación moderada como en la UGMo 9 (Coef. Correlación ~ -0.5). Entre el Mo y el As (Figura 5.20) no existen correlaciones, mostrando Coef. Correlación ~ 0.0 en cada unidad geológica descrita. El molibdeno en relación con el oro y la plata también muestran tendencias positivas, sin embargo, las correlaciones son débiles o nulas con valores de Coef. Correlación en torno a 0.1.

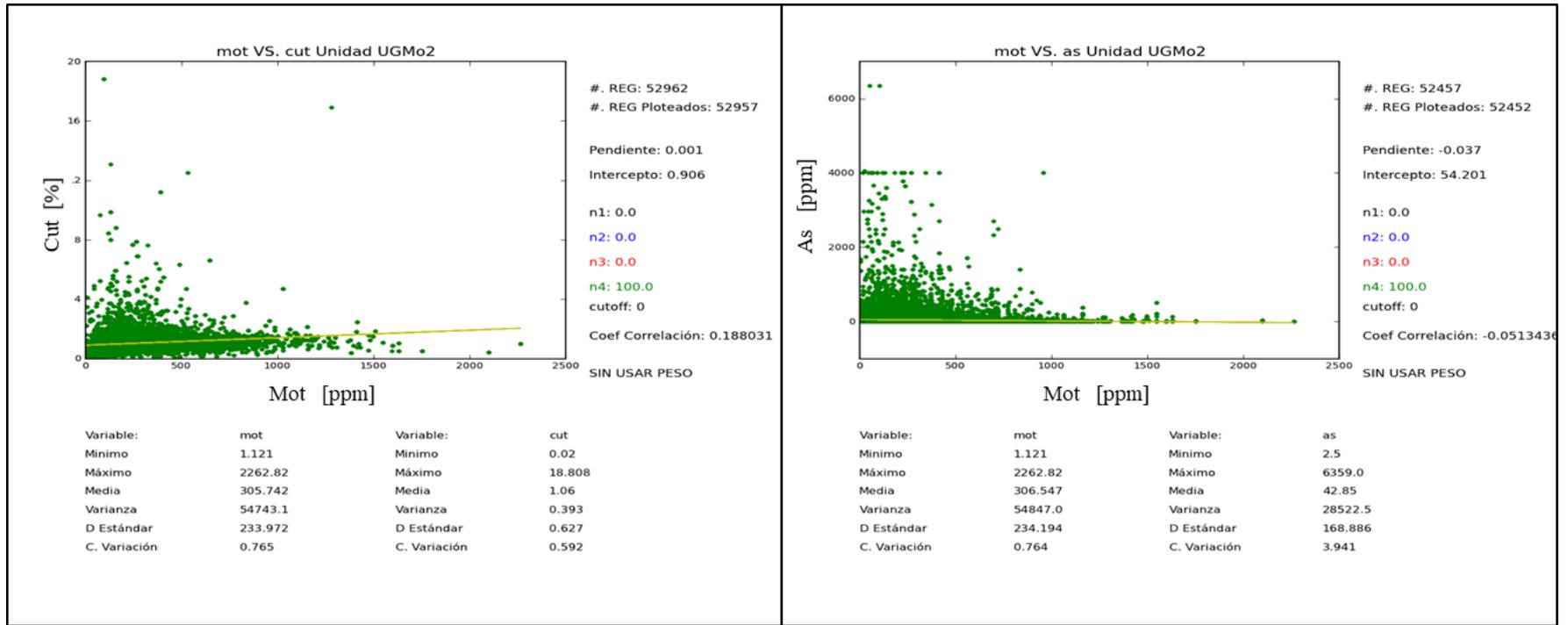


Figura 5.19 Gráficos de dispersión de datos utilizados en el análisis de correlación de elementos. Los estadísticos descriptivos básicos para las variables analizadas se indican en la sección inferior de cada gráfico.

5.9.4 Porcentaje de tipos de Vetillas en las Unidades Geológicas de Molibdeno

El análisis del porcentaje de vetillas dominante en las UGMo corresponde a una evaluación de la base de datos del tipo de vetillas de Rosario y la base de datos del modelamiento geológico de molibdeno. A diferencia de la evaluación realizada en la sección 5.7.2, que se realizó en base a un porcentaje obtenido de la intersección de los sólidos generados por el modelo conceptual de molibdeno y la base de datos de sondajes de Rosario, la evaluación incorporada en esta sección proviene de las bases de datos de sondajes y modelamiento de molibdeno, calculando el porcentaje de vetillas dominante que se encontraban dentro de los indicadores de modelamiento pertenecientes a cada unidad geológica de molibdeno.

En la Tabla 5.4 se resume el porcentaje del tipo de vetillas contenido en cada unidad geológica de molibdeno (UGMo). La UGMo 1 posee una cantidad significativa de vetillas tipo A, subordinada de tipo B, y bajo porcentaje de D y E. En las UGMo 2,3,4,5,6,7,8 y 9 pertenecientes a los eventos tardimagmático transicional a hidrotermal principal poseen valores significativos de vetillas tipo B y D, con altos porcentajes de vetillas C en UGMo 2 y 3. La UGMo 10 se encuentra dominada netamente por vetillas tipo D, mientras que la UGMo 11 presenta importantes valores de vetillas B, D y E.

En general, el contenido de vetillas tipo E y EB es relativamente bajo debido a que estos se comenzaron a mapear y registrar en la base de datos a partir del año 2016, lo que incide en una baja cantidad de datos.

Tabla 5.4 Tabla resumen con los porcentajes del tipo de vetillas reconocidos en cada unidad geológica de molibdeno. Esta evaluación es elaborada con la base de datos del tipo de vetillas de Rosario y la base de datos del modelamiento de molibdeno.

Unidad Geológica	Tipo de vetillas [% volumétrico en UGMo]					
	A	B	C	D	E	EB
UGMo1	20.49	12.56	1.60	1.22	0.00	0.06
UGMo2	4.22	8.02	1.24	3.54	0.02	0.00
UGMo3	1.94	4.15	1.46	3.76	0.60	0.07
UGMo4	1.75	2.96	0.36	2.25	0.00	0.00
UGMo5	1.82	5.03	0.27	1.96	0.00	0.00
UGMo6	0.95	3.82	0.12	3.54	0.12	0.01
UGMo7	2.89	5.53	0.00	1.52	0.00	0.00
UGMo8	2.11	5.54	0.44	3.38	0.00	0.00
UGMo9	0.54	1.44	0.22	4.09	0.53	0.02
UGMo10	0.10	0.34	0.03	1.77	0.09	0.02
UGMo11	4.07	5.42	1.10	5.83	0.57	0.00

6 DISCUSIONES

6.1 Distribución de leyes en el yacimiento

Del análisis de la distribución de leyes (Figura 5.3), se pueden hacer algunas inferencias en relación a los metales de importancia en Rosario, en particular respecto a la distribución espacial del molibdeno. El molibdeno se asocia principalmente al ambiente de pórfido (Rosario), mientras que el cobre, arsénico, oro y plata se encuentran tanto en el dominio de pórfido como epitermal (epitermal sobreimpuesto en Rosario y Rosario Oeste, respectivamente). Es posible definir un subdominio, ubicado en el ambiente de pórfido y condicionado por lineamientos de alta ley paralelos a las fallas principales que dejan en evidencia el fuerte control estructural sobre la mineralización (Lee, 1994). Dentro de este subdominio se reconoce una asociación espacial entre cobre, oro y plata, donde los núcleos de alta ley de estos metales se ubican en la cúpula entre el contacto de pórfido Rosario y Collahuasi, estrechamente relacionados al proceso de enriquecimiento supergeno en Rosario. Por otro lado, el molibdeno se encuentra desacoplado del resto de elementos, si bien la mineralización de molibdeno se relaciona a la mineralización de cobre en el ambiente de pórfido, los núcleos de alta ley se encuentran dispuestos con un leve buzamiento hacia el SW en la parte profunda del pórfido Rosario. El As por su parte, alcanza su mayor concentración en Rosario Oeste y en los núcleos de las fallas principales (Falla Ultima y Falla Pique) de Rosario, con un evidente control estructural de la mineralización.

6.2 Caracterización de la ocurrencia del molibdeno en Rosario

6.2.1 Temporalidad de la ocurrencia de molibdeno en vetillas hidrotermales

En un estudio detallado de los stockworks de vetillas en los yacimientos Rosario y Ujina realizado por Ortiz (2004) se identificaron siete tipos de vetillas distintas (Tabla 3.1); de las cuales, tres de ellas son vetillas portadoras de molibdenita. De acuerdo con las relaciones de corte, las vetillas que contienen molibdenita en Rosario ordenadas desde las más antiguas hasta las más jóvenes son: molibdenita, cuarzo-molibdenita y cuarzo-molibdenita \pm calcopirita-bornita. La datación por Re-Os de molibdenita mostró que las vetillas de molibdenita se formaron durante tres periodos relativamente acotados: las edades de las vetillas de molibdenita están en un rango entre 36.8 y 36.2 Ma, las vetillas de cuarzo-molibdenita entre 36.3 y 35.7 Ma, y las edades de las vetillas de cuarzo-molibdenita \pm calcopirita-bornita fluctúan entre 33.4 y 32.9 Ma

(Maksaev y otros, 2009). Así, las edades de molibdenita en Re-Os en general corresponden a las edades de cristalización de los intrusivos en cada yacimiento, pero también a la sobreimposición tardía de alta sulfuración en Rosario Oeste.

De las dataciones y descripciones de vetillas proporcionadas por el estudio mencionado, es posible deducir dos eventos de mineralización de molibdeno, uno temprano perteneciente a edades de 36-37 Ma, correspondiente a la precipitación de molibdenita en vetillas tardimagmáticas (tipo A; solo molibdenita y tipo B; cuarzo-molibdenita), mientras que un segundo evento de mineralización ocurre aproximadamente a los 33 Ma y corresponde a la formación de vetillas de cuarzo-molibdenita \pm calcopirita-bornita.

6.2.2 Caracterización de los estilos de mineralización molibdenita

En base a las descripciones de los tramos de sondaje y las muestras obtenidas en el mapeo de bancos, se identificaron diferentes estilos de mineralización de molibdenita en el yacimiento Rosario.

A escala macroscópica se mapearon más de 4,000 metros de sondajes, gran parte de los cuales presentaron alta mineralización de molibdenita. Estos tramos abarcan la mayoría de las litologías, alteraciones, estilos de mineralización y asociaciones minerales que se encuentran en el yacimiento, por lo cual el estudio macroscópico también resultó ser representativo.

Para entender las condiciones y factores que contribuyen a que la molibdenita precipite según un determinado estilo de mineralización, se realizó una recopilación de los estilos observados a escala macroscópica y se realizaron inferencias respecto de su formación.

1- Cristales aislados: Formados producto de una alta tasa de crecimiento y baja tasa de nucleación. Implica un enfriamiento lento del sistema, posible únicamente en condiciones tardimagmáticas y bajo contenido de molibdeno, el cual por efectos de nucleación heterogénea se concentró en el cristal de molibdenita (Figura 5.4 - 1).

1- Cristales radiales: Se producen a partir de la nucleación heterogénea de cristales de molibdenita con forma laminar, donde los cristales crecen desde un punto concéntrico hacia afuera de forma radial, dando la apariencia de un asterisco o una estrella. Este estilo de mineralización ha sido visto principalmente en vetillas tardimagmáticas relacionadas con

alteración de feldespato potásico, aunque no se descarta su presencia en eventos de alteración más tardíos. El tamaño de los cristales dependerá de la tasa de enfriamiento. Se infiere que este estilo de mineralización es el que produce el hábito de rosetas a escala macroscópica que se observan en la Figura 5.4 - 1, orientándose las láminas de molibdenita en torno al centro formando una espiral.

2- Cristales disseminados en roca: Formados a partir de la nucleación homogénea de molibdenita, donde ésta precipitó por los espacios, fracturas y vetillas discontinuas de la roca, producto del paso de los fluidos tardimagmáticos e hidrotermales principales con bajo contenido de molibdeno (Figura 5.4 – 2).

3- Cúmulos de gran tamaño y cúmulos de cristales desorientados: Su origen se debe a una nucleación heterogénea donde el contenido de molibdeno es abundante y la precipitación de los cristales ocurrió a una baja tasa de enfriamiento, lo que explica su gran tamaño. Esto solo pudo ser posible debido a la circulación de fluidos tardimagmáticos, la orientación de los cristales pudo deberse producto del flujo del fluido por las vetillas o de la nucleación heterogénea de los cristales. También pueden ocurrir de manera muy escasa a partir de fluidos hidrotermales principales de alta temperatura con alto contenido de sulfuros y molibdeno, en donde los cristales de molibdenita precipitan a partir de nucleación heterogénea formando cúmulos en asociación con bornita, calcopirita y/o piritita (Figura 5.4 – 3).

4- Cúmulos lentiformes: Se forman bajo las mismas condiciones que los cúmulos de gran tamaño de molibdenita o las suturas. Si los cristales de los cúmulos se encuentran orientados en sentido de la veta o la sutura es discontinua de manera que la molibdenita se concentra en ciertos sectores de la veta, se generan los cúmulos lentiformes. Este estilo de mineralización solo se presenta en vetillas tardimagmáticas (Figura 5.4 – 4).

5- Sutura: Se produce debido a la nucleación heterogénea del mineral de relleno principal de la vetilla, generalmente el cuarzo, donde los cristales prefieren crecer de las paredes de la vetilla hacia el centro, por lo tanto, el resto de los minerales precipita en el centro formándose así una sutura central. Para que esto ocurra los minerales deben precipitar a alta temperatura y el enfriamiento debe ser lento para que se forme la sutura, por lo que solo sería posible bajo condiciones de vetillas tardimagmáticas. Una vez formada la sutura, si la tasa de crecimiento es

alta, producto del lento enfriamiento, los cristales presentarán sus caras propias bien formadas y un gran tamaño (Figura 5.4 – 5).

6- Bordes de vetilla: Los bordes presentan cristales finos de molibdenita los que también puede formarse producto de la nucleación heterogénea de estos cristales en las paredes de la vetilla precipitando el poco molibdeno presente en el fluido tardimagmático. Un evento común de distinguir en este estilo es que se produce una reutilización de la vetilla tardimagmática, la cual presentaba precipitación de molibdenita en bordes de vetillas, siendo frecuentemente rellenada en el centro por una vetilla hidrotermal principal (Figura 5.4 – 6).

7- Cristales diseminados en vetilla: Formados a partir de la nucleación heterogénea de la molibdenita, donde ésta precipitó en los intersticios de la vetilla producto del paso de los fluidos tardimagmáticos e hidrotermales principales con bajo contenido de molibdeno (Figura 5.4 – 7).

8- Matriz de brecha: Bajo las mismas condiciones que las vetillas de molibdenita fina, si vetillas tardimagmáticas o hidrotermales principales aumentan su frecuencia se forma un stockwork y eventualmente pueden generar una brechización de la roca. La molibdenita precipita en la matriz de la brecha hidrotermal bajo una alta tasa de enfriamiento lo que genera cristales finos (Figura 5.4 – 8).

9- Relleno de cristales finos en fractura de roca: Este estilo es un relleno de molibdenita fina en un arreglo estructural posterior al resto de estilos de mineralización. En consecuencia, se infiere que la molibdenita precipita a partir de vetillas hidrotermales principales con abundante contenido de Mo, puesto que al ser la molibdenita un mineral muy séctil es muy probable que se produzca una removilización por los fluidos hidrotermales principales sobre la mineralización tardimagmática de molibdeno anterior. La molibdenita precipitará en un enfriamiento rápido producto de la diferencia significativa de temperatura entre la vetilla y la roca huésped (Figura 5.4 – 9).

6.3 Mapeo de Sondajes

Según lo observado de los datos capturados por el mapeo de sondajes y bancos, se discuten las principales conclusiones respecto a los factores geológicos que controlan el comportamiento del molibdeno en Rosario, es decir, litología, alteración, zona mineral y estructuras presentes en

el área de estudio. Es relevante aclarar que en el yacimiento Rosario, la molibdenita es la única especie portadora de molibdeno (Ortiz, 2004), por lo tanto, el comportamiento y distribución del molibdeno está directamente relacionado a la distribución y estilos de mineralización de la molibdenita observada en este estudio.

6.3.1 Molibdenita y su relación con la litología

La molibdenita se deposita en todas las unidades litológicas de Rosario, mostrando todos los estilos de mineralización en el pórfido Rosario, pórfido Collahuasi, unidad sedimentaria y unidad volcánica ácida (tobas y dacitas), con excepción de la unidad volcánica básica (andesitas) donde los estilos de mineralización son más escasos, presentándose frecuentemente los estilos diseminados y en menor medida los cúmulos y relleno de fracturas.

Las leyes ≥ 250 ppm de Mo, se concentran dentro del pórfido Rosario. Leyes $\geq 1,000$ ppm, se concentran en las zonas más profundas del pórfido. Leyes entre 250 a 500 ppm de Mo, se distribuyen entre la parte cupular del pórfido Rosario en contacto con el pórfido Collahuasi y zonas proximales al pórfido de la unidad volcánica ácida (tobas y dacitas) y unidad sedimentaria. Leyes menores a 180 ppm de Mo, se distribuyen sólo en las andesitas, areniscas y tobas de la Formación Collahuasi, ubicadas en las zonas más superficiales y distales al pórfido Rosario bajo la zona mineral primaria.

En resumen, la distribución y estilos de mineralización del molibdeno se encuentran asociado a todas las unidades litológicas del yacimiento Rosario, delimitados espacialmente por el ambiente de pórfido. Particularmente, en las zonas profundas del pórfido Rosario; con leyes de hasta 5,000 ppm de Mo, existen molibdenitas en vetas y/o rellenos masivos de fracturas compuestas principalmente de cuarzo con sulfuros de Cu-Fe.

6.3.2 Molibdenita y su relación con la alteración

Las leyes económicas de molibdeno ≥ 250 ppm se encuentran constreñidas a tres alteraciones correlacionadas a la depositación del molibdeno, la alteración potásica relictas, la alteración cuarzo-sericita y sericita gris verde. La alteración potásica se encuentra en la parte cupular y central del pórfido Rosario, la alteración cuarzo-sericita se encuentra sobreimpuesta en todo el volumen del pórfido Rosario y pórfido Collahuasi, mientras que la alteración sericita gris verde se encuentra principalmente en las zonas profundas del pórfido Rosario asociados a las

etapas más tempranas de alteración hidrotermal, por lo tanto, la molibdenita relacionada a estas alteraciones se encuentra distribuida en toda el área de estudio. Trazas de molibdenita se encuentran en zonas dominadas por alteración argílica avanzada con minerales de alteración como alunita, pirofilita, dickita y caolinita, dentro de un dominio estructural delimitado por las fallas principales de Rosario. Esta alteración se encuentra sobrepuesta al resto de alteraciones distribuyéndose al pórfido Rosario, pórfido Collahuasi y rocas de la formación Collahuasi.

Para identificar los eventos de alteración donde ocurre la molibdenita, se definieron 9 estilos de mineralización de molibdenita y se clasificaron en función del evento de alteración del yacimiento en donde éstos fueron observados (Anexo II. Cartilla de mapeo de sondajes de molibdeno; Anexo IV. Tabla resumen de parámetros geológicos y químicos de las unidades geológicas de molibdeno). Se concluye que la molibdenita presenta estilos de mineralización y asociaciones minerales propias de cada etapa de alteración. Además, el tamaño promedio de los cristales también varía en función de la alteración. En lo relativo a la alteración tardimagmática, se encuentran granos de cristales bien formados con gran diversidad de tamaños que pueden llegar hasta 1 cm de largo o mayor, en la alteración hidrotermal principal presenta cristales más pequeños, asociados con calcopirita con un largo promedio de 1 mm.

6.3.3 Molibdenita y su Relación con las Estructuras

En los datos capturados por el mapeo de sondajes se puede distinguir una relación respecto a la intensidad de estructuras de fallas presentes con el grado y estilo de mineralización de la molibdenita. En efecto, varios tramos reconocidos en el mapeo donde las zonas de fallas y núcleos de falla aumentan considerablemente, los estilos de mineralización también aumentan en diversidad y ocurrencia. Siendo un evidente ejemplo, en tramos con alta concentración de estructuras de falla siempre se identifica el estilo de relleno masivo de molibdenita en fractura de la roca, es razonable entonces esperar que en o cerca de las fallas principales del yacimiento, la abundancia de estilos como el matriz de brecha y relleno de fractura sea más alta. El yacimiento Rosario contiene 3 fallas principales de W a E Última, Pique y Rosario. Estas fallas generaron un fallamiento normal con caída de bloques hacia el SW, lo cual afecta la ubicación de los núcleos de alta ley de molibdeno, generando un leve basculamiento en profundidad hacia el SW. Además, en los mapeos realizados se reconoce molibdenita con espejos y estrías de falla,

evidencia directa de que el movimiento estructural posterior a la mineralización genero un desplazamiento en los núcleos de alta ley de molibdeno.

6.3.4 Ocurrencia de Molibdenita y su Relación con Leyes de Mo

La caracterización de la ocurrencia de molibdenita se realizó anteriormente (Figura 5.4; Sección 5.3). Al respecto, las conclusiones de la relación con los estilos de mineralización y leyes de Mo, deducidos de los datos aportados por el mapeo de sondajes, son que las vetas y/o rellenos masivos de molibdenita se relacionan generalmente a valores $\geq 1,000$ ppm de Mo, el stockwork de vetillas se relacionan a rangos entre 250 a 1,000 ppm de Mo, y estilos diseminados en vetillas y roca a valores menores a 180 ppm de Mo.

6.4 Mapeo de Bancos

La data aportada por el mapeo geológico de bancos fue una adición, soporte y validación de las observaciones y conclusiones enmarcadas en el mapeo geológico de sondajes. Del alcance en el registro de esta etapa se pudo validar los estilos de mineralización vistos en el mapeo de sondaje, con excepción de los estilos matriz de brecha y sutura, observados en casos particulares del mapeo de sondajes. También se reconocieron las asociaciones de los factores geológicos que se plantearon el modelo conceptual, particularmente, se observó las relaciones propuestas para las unidades geológicas de molibdeno (UGMo); UGMo1, UGMo2, UGMo3, UGMo4, UGMo9, UGMo10 y UGMo11 (Anexo III. Cartilla de mapeo geológico de bancos de molibdeno). Un aspecto importante que mencionar, de acuerdo con las observaciones del mapeo de bancos que entregan una perspectiva más amplia de la geología del área, es la corroboración del fuerte control estructural en la mineralización y estilos de mineralización, identificando una mayor concentración del estilo relleno de fracturas con condiciones estructurales en las zonas de falla principales.

En definitiva, las implicancias de este trabajo corresponden a su valor en la proporción de amarres de información superficial del pitshell con información aportada por los datos en profundidad de los sondajes, otorgando una validación y mejor predictibilidad al modelo final.

6.5 Unidades Geológicas de Molibdeno

De acuerdo con las evaluaciones de los parámetros geológicos y químicos, en conjunto a las asociaciones minerales y porcentajes de vetillas correspondientes, se discuten las etapas de formación y características fisicoquímicas de los fluidos hidrotermales que formaron cada una de las unidades geológicas de molibdeno. Para comprender los estadios de formación de cada unidad es imprescindible conocer la secuencia de eventos hidrotermales en Rosario (Figura 6.1).

6.5.1 Características Fisicoquímicas de los Fluidos Hidrotermales

Con la intención de clarificar los diferentes aspectos de cada unidad geológica de molibdeno, se presenta en la Tabla 6.1 una clasificación de unidades respecto de las características fisicoquímicas de los fluidos hidrotermales. Este análisis se realizó en base a las observaciones, evaluaciones y datos capturados en los mapeos geológicos del trabajo, en complemento con bibliografía proveedora de información respecto a dataciones, inclusiones fluidas y descripciones de vetillas en el yacimiento (Masterman 2005; Maksaev y otros, 2009), utilizada para apoyar y sustentar las interpretaciones presentadas en este estudio.

Tabla 6.1 Tabla resumen de las características fisicoquímicas de los fluidos hidrotermales formadores de unidades geológicas de molibdeno. Los parámetros representan una aproximación a las propiedades de los fluidos por unidad geológica en base a las observaciones, datos y evaluaciones realizadas en este trabajo.

Unidad Geológica de Molibdeno	Características Fisicoquímicas de los Fluidos Formadores					
	Comportamiento mecánico	Razones K^+/H^+	Actividad de H_2S	Eh	pH	T°
UGMo1	Zona de ambiente semidúctil	Altas	Baja	Oxidante	Alcalino a ligeramente neutro	$\geq 400^\circ C$
UGMo2	Zona de ambiente frágil-dúctil.	Intermedio	Intermedio	Reductor	Ligeramente alcalino a neutro.	$400^\circ C - 350^\circ C$.
UGMo3	Zona de ambiente frágil-dúctil	Intermedio	Intermedio	Reductor	Ligeramente alcalino a neutro	$500^\circ C - 400^\circ C$
UGMo4	Zona de ambiente frágil-dúctil	Intermedio	Intermedio	Reductor	Ligeramente alcalino a neutro	$500^\circ C - 400^\circ C$
UGMo5	Zona de ambiente frágil-dúctil	Intermedio	Intermedio	Reductor	Ligeramente alcalino a neutro	$500^\circ C - 400^\circ C$
UGMo6	Zona de ambiente frágil	Intermedio	Alto	Reductor	Neutro a ligeramente Acido	$400^\circ C - 300^\circ C$
UGMo7	Zona de ambiente frágil	Intermedio	Alto	Reductor	Neutro a ligeramente Acido	$400^\circ C - 300^\circ C$
UGMo8	Zona de ambiente frágil	Intermedio	Alto	Reductor	Neutro a ligeramente Acido	$400^\circ C - 300^\circ C$
UGMo9	Zona de ambiente frágil-dúctil	Intermedio	Intermedio	Reductor	Ligeramente alcalino a neutro	$500^\circ C - 400^\circ C$
UGMo10	Zona de ambiente frágil	Bajo	Alto	Reductor	Ligeramente Acido a Acido	$< 300^\circ C$
UGMo11	Zona de ambiente frágil	Bajas	Altas	Reductor	Neutro a acido	$\leq 400^\circ C$

6.5.2 Procesos y Mecanismos de Formación de las UGMO

- **Unidad Geológica de Molibdeno 1**

Esta unidad se encuentra definida por la etapa tardimagmática. La intrusión inicial del pórfido Rosario, favorecida por la preexistente falla Rosario, generó esfuerzos que provocaron un fracturamiento en forma de stockwork concéntrico al pórfido Rosario permitiendo la circulación de los fluidos hidrotermales y la eventual alteración tanto de la roca caja como del pórfido Rosario.

Bajo condiciones de presión litostática y comportamiento mecánico semidúctil de la roca, los fluidos hidrotermales exseltos del magma luego de cruzar la isoterma 500°C son separados en dos fases hidrotermales; una fase dominante hidrosalmuera (razones K^+/H^+ altas) y una fase accesoria de vapor. Las bajas abundancias de vapor se explican debido a que gran parte del fluido en estas condiciones se encuentra en estado líquido, a causa de la presión litostática confinante que no permite a los fluidos hidrotermales convertirse en vapor. Ahora bien, el transporte de molibdeno en la fase hidrosalmuera se ve favorecida por especies hidromolibdatos alcalinos (por ejemplo, K_2MoO_4 , $KHMoO_4$, Na_2MoO_4 , y/o $NaHMoO_4$; Candela y Holanda, 1984; Wood y otros, 1987; Cao y otros, 1988; Wood y Samson, 1998) y especies mo-oxo-cloruro (por ejemplo, MoO_2Cl y MoO_2Cl_2 ; Ulrich y Maverogenes, 2008), donde su posterior precipitación puede ser facilitada por una simple disminución del pH, fO_2 , un consiguiente aumento en fH_2S , y una caída en la temperatura del medio de transporte (Candela y Holanda, 1984; Cao y otros, 1988), formando molibdenita en vetillas tipo A junto a cuarzo secundario sacaroidal, asociadas a una alteración potásica y sulfuros primarios de Cu-Fe. En contraste, el Mo que se fracciona en la fase vapor es transportado por especies gaseosas hidratadas (por ejemplo, $MoO_3 \cdot nH_2O$, H_2MoO_4 ; Candela y Holland, 1984; Rempel et al., 2006). El ascenso y la expansión de estas fases de vapor magmático en el sistema fracturado a temperaturas y presiones elevadas pueden conducir a la precipitación de molibdenita en vetillas tipo B.

- **Unidad Geológica de Molibdeno 2**

Esta unidad se encuentra definida por las etapas tardimagmática transicional a hidrotermal principal. Los fluidos magmáticos iniciales, los cuales en el trayecto continúan su evolución, ascenso y acumulación en la cúpula de la intrusión del pórfido Rosario (cercana a la barrera impermeable de transición frágil-dúctil), provocaron un fuerte fracturamiento hidráulico entre el contacto del pórfido Rosario y pórfido Collahuasi, facilitado a su vez, por la granulometría de granos gruesos del pórfido Collahuasi, promoviendo una mejor permeabilidad en la roca. El fuerte fracturamiento se ve evidenciado por grandes zonas de falla en las zonas de contacto entre pórfido Rosario y pórfido Collahuasi, por donde la alteración cuarzo-sericita se superpone a la potásica temprana siguiendo las zonas de alta permeabilidad estructural producidas por el fracturamiento hidráulico (Figura 5.7 - 3). Entonces, la fractura de la cúpula del pórfido Rosario en contacto con el pórfido Collahuasi lleva a una liberación de presión que resulta en la ebullición del fluido magmático-hidrotermal (Burnham, 1979) y una consecuente separación de fases en el fluido. Como se explicó en la sección anterior, el molibdeno que se fracciona en la fase vapor es transportado por especies gaseosas hidratadas, que durante el ascenso y la expansión de estas fases de vapor magmático en el sistema fracturado a temperaturas y presiones elevadas llegan a conducir la precipitación de molibdenita en vetillas tipo B, mientras que el molibdeno fraccionado en la fase líquida se transportará por especies hidromolibdatos alcalinos y especies mo-oxo-cloruro, la precipitación del Mo en las fases hidrosalmueras conducen a la formación de molibdenita en vetillas tipo A.

El paso y circulación de los fluidos hidrotermales tempranos y principales por los sitios influenciados en los eventos tardimagmáticos, generan una superposición de los eventos hidrotermales sobre los tardimagmáticos. Se deduce entonces, una posible consecuencia en la mineralización de molibdeno debido a este acontecimiento. Una remobilización del molibdeno provocada por los fluidos hidrotermales tempranos y principales es responsable de la mineralización tardía de molibdeno (Maksaev y otros, 2009) y en su mayoría de las formaciones de estilos de mineralización de molibdenita condicionados estructuralmente, como los estilos de relleno masivo en fractura.

La removilización puede ser explicada por dos mecanismos. La primera propuesta por Cao y otros (1988), donde una fractura de la cúpula o de las rocas adyacentes a los fluidos, lleva a una liberación de presión que resulta en ebullición (Burnham, 1979) desencadenando un fraccionamiento diferencial de H_2S y H_2 entre las fases líquida y vapor. Esto agotará el H_2S y aumentará la fugacidad de oxígeno en la fase líquida, provocando una disminución en las especies reducidas de azufre (Brimhall y Crerar, 1987). Como resultado, la solubilidad de la molibdenita aumentará, provocando la redisolución y removilización del molibdeno. Este mecanismo permite que el molibdeno sea transportado a sitios de depositación donde el H_2S ya está enriquecido, formando depósitos de tipo veta. La evidencia de ebullición se encuentra en muchos depósitos de molibdeno (So y otros, 1983a, 1983b), sugiriendo que esta es la forma más dinámica de transportar molibdeno a temperaturas moderadas. La segunda, podría efectuarse debido a que la molibdenita es muy séctil, por lo tanto, es razonable suponer que los fluidos hidrotermales a altas temperaturas y presiones generen un desequilibrio y/o abrasión en la molibdenita precipitada en las etapas tardimagmáticas, transfiriendo y enriqueciendo el contenido de molibdeno en los fluidos hidrotermales tempranos y principales, para luego ser depositado en lugares donde el H_2S ya está enriquecido.

- **Unidad Geológica de Molibdeno 3**

Esta unidad se encuentra definida por las etapas tardimagmática transicional a hidrotermal principal. Los procesos y mecanismos de precipitación son similares a los explicados en la “Unidad Geológica Molibdeno 2”, tanto para esta unidad y el resto que pertenecen al mismo evento de alteración. En términos de secuencia genética esta unidad se agrupa a las unidades UGMo2, UGMo3, UGMo4, UGMo5, UGMo6, UGMo7 y UGMo9; la diferencia radica en la litología y su posición respecto a los pórfidos. Los fluidos que circulan hasta alcanzar el límite entre el contacto del pórfido Rosario y las rocas volcanoclásticas ácidas (tobas y dacitas) forman la llamada UGMo3. Como las tobas y dacitas son rocas muy reactivas a la alteración de los fluidos hidrotermales, muestran toda la gama de estilos de mineralización de molibdenita. Entre ellos se dan principalmente como diseminación en vetillas, cúmulos de vetilla y bordes de vetillas, de manera accesoria es posible encontrar estilos de mineralización de relleno de fractura en estado masivo.

- **Unidad Geológica de Molibdeno 4**

Esta unidad se encuentra definida por las etapas correspondientes de la tardimagnética transicional a hidrotermal principal. En términos de secuencia genética esta unidad se agrupa a las unidades UGMo2, UGMo3, UGMo4, UGMo5, UGMo6, UGMo7 y UGMo9, la diferencia radica en la litología y su posición respecto a los pórfidos. Los fluidos que circulan hasta alcanzar el límite entre el contacto del pórfido Rosario y las rocas de la Unidad Sedimentaria forman la llamada UGMo4. Las rocas de la unidad sedimentaria son un buen receptor para la mineralización, a causa de su alta porosidad y granulometría gruesa, que generan una buena permeabilidad en la roca, en conjunto a una composición mineralógica favorecida por tener más componentes máficos. Los estilos de mineralización de molibdenita se dan en variados aspectos tanto en estado masivo de cúmulos de vetillas, disseminación en vetillas y bordes de vetillas.

- **Unidad Geológica de Molibdeno 5**

Esta unidad se encuentra definida por las etapas correspondientes de la tardimagnética transicional a hidrotermal principal. En términos de secuencia genética esta unidad se agrupa a las unidades UGMo2, UGMo3, UGMo4, UGMo5, UGMo6, UGMo7 y UGMo9, la diferencia radica en la litología y su posición respecto a los pórfidos. Los fluidos que circulan hasta alcanzar el límite entre el contacto del pórfido Rosario y las rocas volcanoclásticas básicas (andesitas) forman la llamada UGMo5. Las rocas de esta unidad no son un buen receptor para la mineralización, a causa de que las andesitas tienen una masa fundamental microcristalina, compacta y competente, de modo que impondrá una baja permeabilidad que bloqueará el avance de las soluciones hidrotermales y solo posibilitará una pequeña a nula mineralización en la roca. Los estilos de mineralización de molibdenita se dan principalmente como disseminación en vetillas y disseminado en la roca.

- **Unidad Geológica de Molibdeno 6**

Esta unidad se encuentra definida por las etapas correspondientes de la tardimagnética transicional a hidrotermal principal. En términos de secuencia genética esta unidad se agrupa a las unidades UGMo2, UGMo3, UGMo4, UGMo5, UGMo6, UGMo7 y UGMo9, la diferencia radica en la litología y su posición respecto a los pórfidos. Se considera solo la zona de contacto

entre el pórfido Collahuasi y la unidad volcánica ácida (TOB + DAC). Dado que las tobas y dacitas son rocas muy reactivas a la alteración de los fluidos hidrotermales, es seguro que muestren toda gama de estilos de mineralización de molibdenita. Entre ellos se dan principalmente como diseminación en vetillas, cúmulos de vetilla y bordes de vetillas, de manera accesoria es posible encontrar estilos de mineralización de relleno de fractura en estado masivo.

- **Unidad Geológica de Molibdeno 7**

Esta unidad se encuentra definida por las etapas correspondientes de la tardimagmática transicional a hidrotermal principal. En términos de secuencia genética esta unidad se agrupa a las unidades UGMo2, UGMo3, UGMo4, UGMo5, UGMo6, UGMo7 y UGMo9, la diferencia radica en la litología y su posición respecto a los pórfidos. Se considera solo la zona de contacto entre el pórfido Collahuasi y las rocas de la Unidad Sedimentaria (USED). Las rocas de la unidad sedimentaria son un buen receptor para la mineralización, a causa de su alta porosidad y granulometría gruesa, en conjunto a una composición mineralógica favorecida por componentes máficos que favorecen el intercambio iónico durante el hidrotermalismo, generan una buena permeabilidad en la roca, por ende, buena circulación de los fluidos y altas razones de agua/roca. Los estilos de mineralización de molibdenita se dan en cúmulos en vetillas, bordes de vetillas, diseminados en vetillas y relleno de fracturas en estado masivo.

- **Unidad Geológica de Molibdeno 8**

Esta unidad se encuentra definida por las etapas correspondientes de la tardimagmática transicional a hidrotermal principal. En términos de secuencia genética esta unidad se agrupa a las unidades UGMo2, UGMo3, UGMo4, UGMo5, UGMo6, UGMo7 y UGMo9, la diferencia radica en la litología y su posición respecto a los pórfidos. Se considera solo la zona de contacto entre el pórfido Collahuasi y la unidad volcánica básica (AND). Las rocas de esta unidad no son un buen receptor para la mineralización, a causa de que las andesitas tienen una masa fundamental microcristalina, compacta y competente, impondrá una baja permeabilidad que bloqueará el avance de las soluciones hidrotermales y solo posibilitará una baja a nula mineralización en la roca. Los estilos de mineralización de molibdenita se dan principalmente como diseminación en vetillas y diseminado en la roca, en algunos tramos observados de andesitas fue posible identificar estilo de mineralización de relleno masivo en fracturas.

- **Unidad Geológica de Molibdeno 9**

Esta unidad se encuentra definida por las etapas correspondientes de la tardimagmática transicional a hidrotermal principal. Esta representa la zona distal al sistema de pórfidos, dentro de la zona mineral primaria, donde la continua propagación de los fluidos hidrotermales por el camino de la roca fractura precipita el mayor contenido de molibdeno en las zonas más proximales al pórfido Rosario, dejando a las zonas más distales con una menor proporción de este metal. Se considera para esta unidad, que gran parte del molibdeno de las etapas tardimagmática y tardimagmática transicional ya fue depositado en la molibdenita formada en el pórfido Rosario y en un área no muy extensa alrededor de él, empobreciendo el contenido de molibdeno para los fluidos tardimagmáticos y tardimagmáticos transicionales distales al sistema de pórfidos. Los estilos de mineralización de molibdenita se dan principalmente como disseminación en vetillas y disseminado en la roca, muy infrecuentemente es posible encontrar estilos de mineralización en cúmulos de estado masivo.

- **Unidad Geológica de Molibdeno 10**

Esta unidad se encuentra definida por la etapa correspondiente a la hidrotermal principal y los fluidos distales de menor temperatura del evento tardimagmático (evento propilítico). Se consideran solo las rocas pertenecientes a la Formación Collahuasi. En esta unidad los fluidos hidrotermales se encuentran en su etapa más evolucionada, esto representa el periodo de precipitación del halo pirítico (Primario Pirítico) y las zonas más distales de la etapa temprana de alteración, es decir, alteración propilítica. En esta misma unidad, al SW del pórfido Rosario, se encuentra el depósito Rosario Oeste sin una importante depositación de molibdeno, este se caracteriza por ser un depósito de vetas epitermales de alta sulfuración. Los estilos de mineralización de molibdenita son muy escasos, casi nulos, y en ciertos sectores se pueden encontrar como estilo disseminado en roca.

- **Unidad Geológica de Molibdeno 11**

Esta unidad se encuentra definida por la etapa correspondiente al evento hidrotermal tardío. Los fluidos del evento hidrotermal tardío, condicionado por un régimen frágil, circularán y mezclarán con aguas meteóricas por las áreas de mayor permeabilidad del yacimiento, determinadas por las fallas principales de la mina (Rosario, Pique, Ultima). A medida que el sistema magmático se enfría, el paso de fluidos exseltos que provienen de profundidades mayores con la continua cristalización de la cámara magmática, ocasionarán para este caso una posterior removilización de la mineralización de molibdenita precipitada en los eventos tardimagmáticos e hidrotermales principales. En esta unidad, uno de los principales estilos de mineralización de molibdenita encontrados es masiva rellenando fracturas. Otros estilos que es común encontrar en esta unidad son los cúmulos en vetillas y bordes de vetillas en estado masivo.

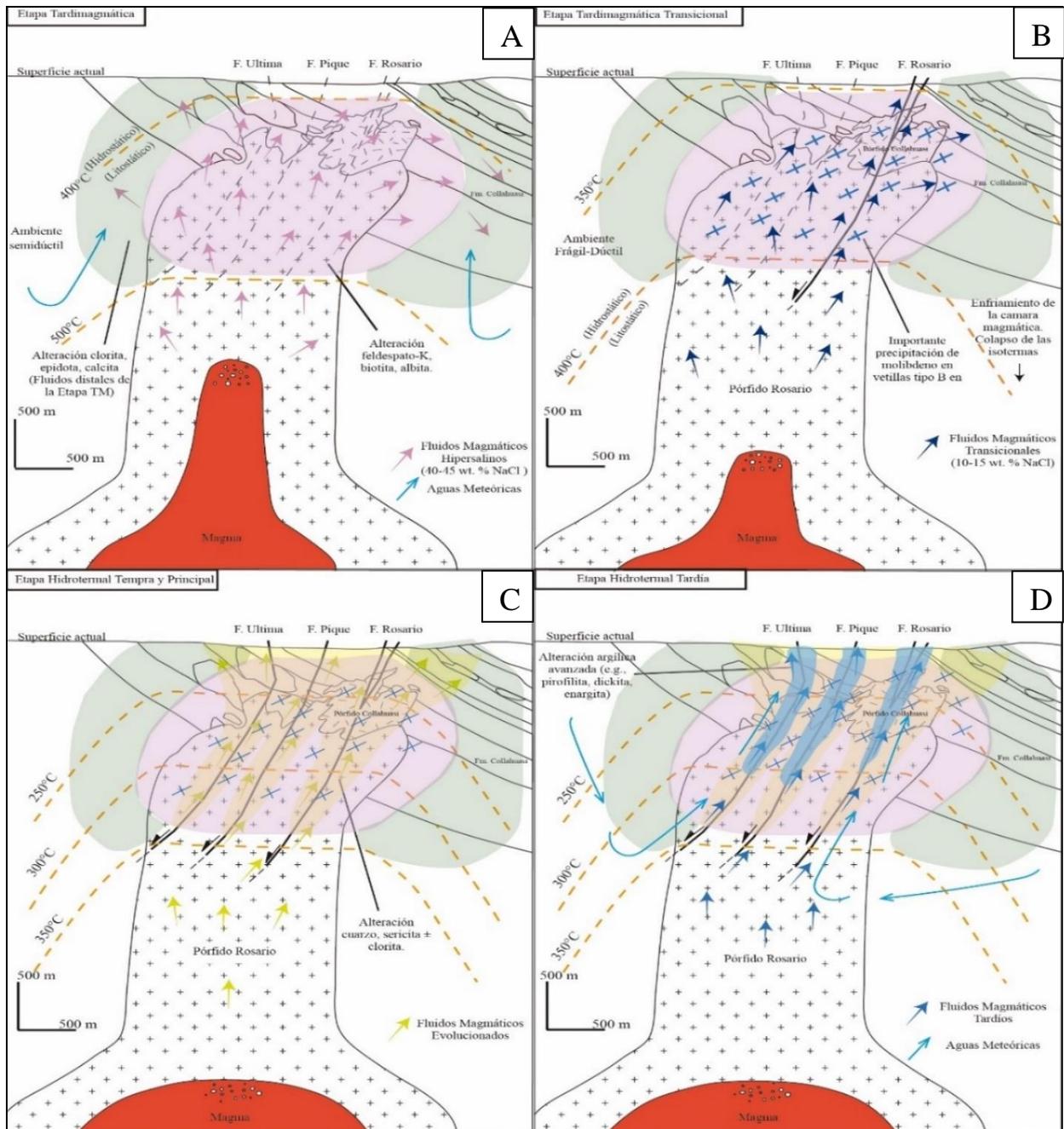


Figura 6.1 Perfil esquemático del depósito Rosario mostrando la evolución del sistema magmático-hidrotermal de Rosario, para efectos de este estudio no se considera el depósito Rosario Oeste y la evolución y posición de la paleosuperficie. La posición de las isothermas es fijada en relación con la interpretación de los datos de inclusiones fluidas aportadas por Masterman (2005). A) La formación de la UGMo1 es producto de la circulación de fluidos tardimagmáticos en la alteración potásica. B) Los fluidos tardimagmáticos transicionales circulan en equilibrio con la alteración potásica, bajo un fuerte control estructural dominado por la falla principal Rosario. C) La formación de las UGMo2, UGMo3, UGMo4, UGMo5, UGMo6, UGMo7 y UGMo9 es producto de la circulación de los fluidos tardimagmático transicionales, hidrotermales tempranos y principales generando una alteración cuarzo-sericita sobrepuesta a

la potásica. D) La formación de la UGMo11 es producto de la circulación de los fluidos hidrotermales tardíos, mezclados con pequeñas cantidades de aguas meteóricas (Masterman, 2005), produciendo una alteración argílica avanzada. Por último, la UGMo10 se compone por las alteraciones propilítico, argílico y cuarzo-sericita que se disponen fuera de la zona primaria o ambiente de pórfido formadas por los fluidos hidrotermales distales y de baja temperatura.

6.6 Modelo Geológico de Molibdeno Tridimensional

Si bien cada yacimiento es único en su forma y distribución de mineralización, una comparación del modelo geológico producido en este trabajo con otros depósitos de características genéticas similares apoyará de forma indirecta el modelo geológico de molibdeno aquí propuesto. Por lo mismo, existen dos clasificaciones de depósitos de molibdeno comparables con el modelo de Rosario, por un lado, los depósitos tipo pórfidos de Cu-Mo, y por otro lado los depósitos tipo Climax o también llamados depósitos de pórfido molibdeno tipo Climax.

Los pórfidos de molibdeno presentan porcentajes entre 0.1 – 0.45 de MoS_2 , rangos de tonelaje entre 50 a 1,500 Mt. Las intrusiones varían de cuarzo monzonita - diorita a granodiorita y granito, mientras que, la mineralización de molibdenita primaria está asociada con intrusiones simples, múltiples o compuestas y con diques o pipas volcánicas, ubicándose comúnmente en la cúpula del intrusivo (Figura 6.2).

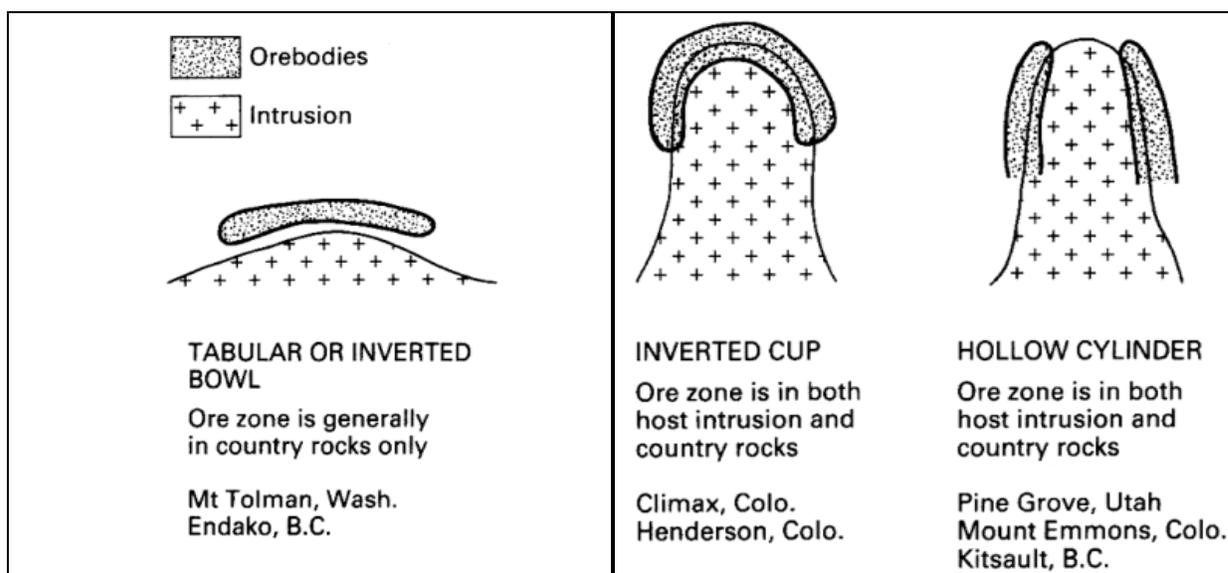


Figura 6.2 Clasificación morfológica de la ubicación de la mineralización en pórfidos de molibdeno. Algunos ejemplos de yacimientos con estos estilos de mineralización se indican en la sección inferior (White y otros, 1981).

La asociación mineral en depósitos tipo Climax difiere poco, y generalmente es molibdenita en vetillas de cuarzo, encontrándose cantidades muy pequeñas de wolframita, casiterita, esfalerita o galena que pueden estar presentes en algunas de las vetillas, pero la gran mayoría de la molibdenita en los depósitos tipo Climax está contenida en vetillas de cuarzo + fluorita ± molibdenita y feldespato-K + fluorita ± cuarzo ± molibdenita ± biotita (Seedorff y Einaudi, 2004). En la mayoría de los yacimientos, la paragénesis mineral es cuarzo + molibdenita ± feldespato-K ± fluorita, pero también puede contener biotita ± magnetita ± topacio ± rutilo ± feldespato-Na ± granate ± wolframita ± ilmeneo-rutilo ± moscovita. Se reconoce poca zonificación dentro de los yacimientos que contienen molibdenita, que generalmente son intrusiones compuestas y consisten en numerosas zonas minerales superpuestas, cada una relacionada con un stock individual (Seedorff y Einaudi, 2004). Los minerales de tungsteno y estaño pueden ser zonas distales a la mineralización principal de molibdenita. El mineral de molibdenita está casi totalmente contenido en fracturas frágiles relacionadas con el emplazamiento de las intrusiones y la liberación de los fluidos hidrotermales. Aunque se pueden generar vetas más grandes, y a veces mineralización en brechas, la mayor parte de la mineralización se encuentra agrupada en fracturas transversales de diferentes eventos de mineralización. Los estilos de diseminaciones y reemplazos no son característicos para estos depósitos (Ludington y Plumlee, 2009).

Un ejemplo a este modelo es el propio yacimiento Climax de molibdeno-wolframio, caracterizado por un intrusivo mineralizador, pórfido granítico, asociado principalmente a alteración potásica desarrollando zonas concéntricas de alteración a partir del intrusivo, mientras que la mineralización de cobre está asociado a un evento retrogrado de alteración cuarzo-sericita ± pirita, la cual es sobreimpuesta a las zonas de molibdeno y wolframio.

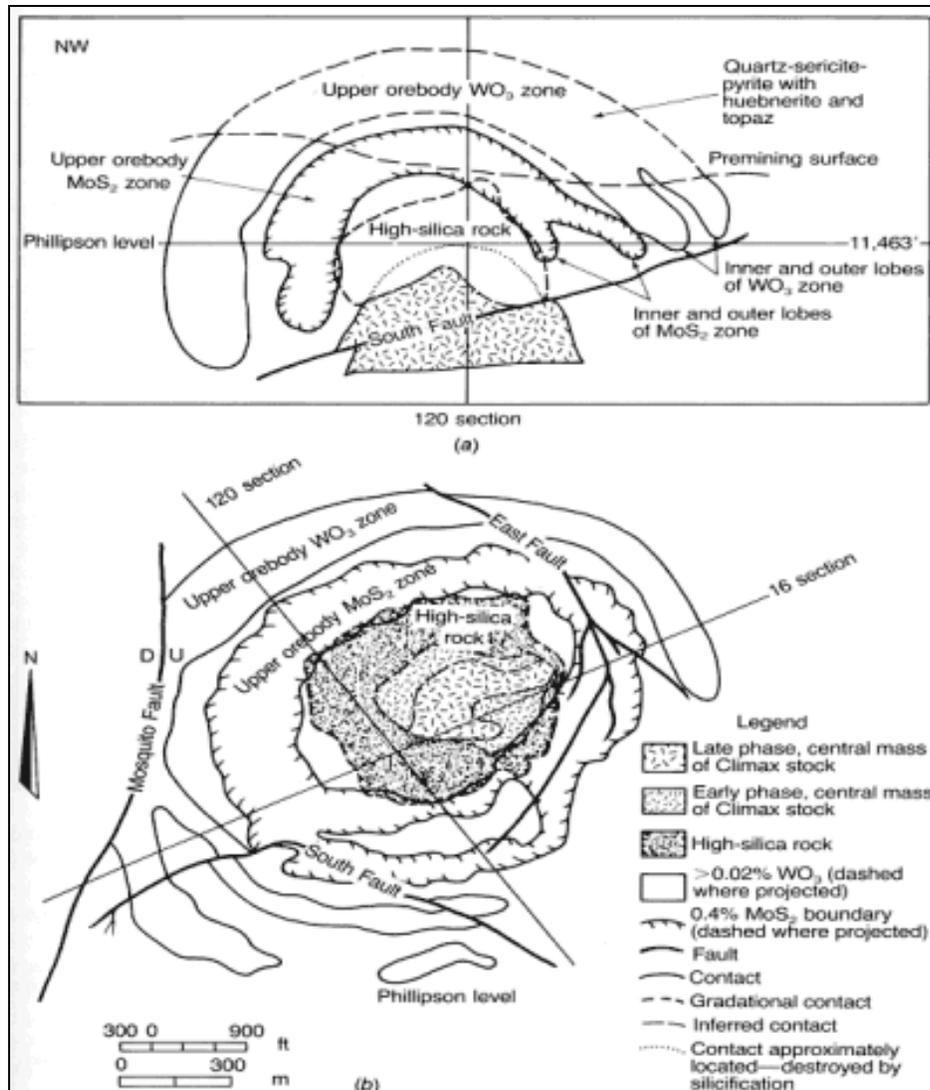


Figura 6.3 Perfil esquemático de la mina Climax. A) Sección 16 de la mina muestra la distribución de la mineralización formando un cono invertido en la cúpula del intrusivo mineralizador, la alteración asociada corresponde a un potásico profundo el cual es sobreimpuesto. B) (Wallace y otros, 1968).

Un ejemplo de porfido Cu-Mo, es el modelo de Bingham, el cual corresponde a un pórfido monzonítico con Cu-Mo-(Au) donde la zona de molibdeno (Figura 6.4) más interna al intrusivo está asociada a la alteración potásica y la zona de cobre a la sección externa, formando un casco superior asociada a las alteraciones potásica interna y cuarzo-sericita externa, seguido de una zona pirítica o background pirítico.

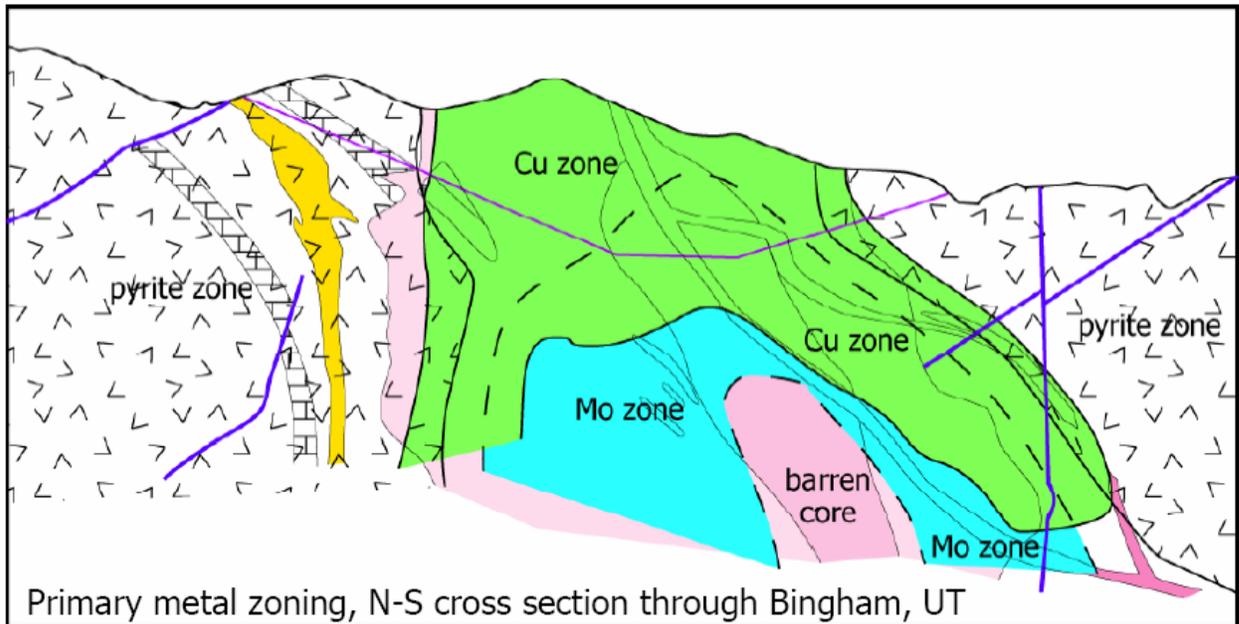


Figura 6.4 Modelo de mineralización de la mina Bingham, pórfido Cu-Mo-Au. La zonación de la mineralización de molibdeno interna (celestite) es separada de la mineralización de cobre externa (verde), delimitando dos zonas separadas de Cu y Mo, asociadas fundamentalmente a alteración potásica (rosado). (Lanier, 1978).

Si consideramos los modelos mencionados recientemente podemos rescatar varios aspectos que asemejan y diferencian el modelo geológico de molibdeno de Rosario con otros modelos. Primero, la morfología del cuerpo de mena del modelo de Rosario es similar a la copa invertida característica de los depósitos tipo Climax donde la mineralización se aloja tanto en el intrusivo como en la roca caja, de la misma forma la mineralización de los pórfidos Cu-Mo atiende a un aspecto similar a este tipo de mineralización. En el modelo geológico de molibdeno de Rosario, la molibdenita está casi totalmente contenido en el stockwork de vetillas compuesto por fracturas frágiles relacionadas con el emplazamiento de las intrusiones y la liberación de los fluidos hidrotermales. Por otro lado, los estilos de diseminaciones y reemplazos no son característicos para el yacimiento de Rosario, dejando solo un halo periférico dominante en estilo diseminado (UGMo 9, 10). Otro aspecto rescatable, como se observa en el modelo de la mina Bingham, es la marcada separación de la mineralización de Cu y Mo. Si bien estos dos metales precipitan tempranamente bajo las mismas condiciones, en el modelo de Bingham el molibdeno precipita primero respecto al cobre en las etapas tempranas de hidrotermalismo, aspecto que no se presenta en el modelo de Rosario, donde si bien no existe una correlación numérica directa de la mineralización del molibdeno con el cobre, de forma general el molibdeno de Rosario precipita

en la cúpula del pórfido Rosario junto al núcleo de calcopirita-bornita de los eventos de alteración tempranos. Por último, el aspecto de la asociación de los eventos de alteración, tanto en los modelos de la mina Climax como en el de Birgham la molibdenita precipita asociada principalmente a una temprana alteración potásica, mientras que la alteración cuarzo-sericita es más una superposición sin un aporte significativo de molibdeno. Esta última idea, también es consistente con las interpretaciones realizadas para el modelo de molibdeno de Rosario, donde gran parte del molibdeno precipita en los eventos tardimagmáticos asociados a una alteración potásica, la cual es removilizada por los eventos de alteración hidrotermal principal asociados a la alteración cuarzo-sericita, lo que da características mineralógicas distintivas a la molibdenita en estos eventos, así como también presentar altos valores de leyes molibdeno.

6.7 Análisis Estadístico Modelo Geológico de Molibdeno

Los análisis de porcentajes de vetillas en las unidades geológicas de molibdeno apoyan las definiciones genéticas de las UGMo. Es más, los porcentajes son coherentes con las condiciones y definiciones de formación de cada unidad (Tabla 5.3), donde la UGMo 1 perteneciente principalmente al evento hidrotermal tardimagmático posee una cantidad significativa de vetillas tipo A y subordinada de tipo B, y con un bajo porcentaje de tipos D y E. En las UGMo 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 pertenecientes a los eventos tardimagmático transicional a hidrotermal principal poseen valores significativos de vetillas tipo B, C y D. Luego, la UGMo 10 perteneciente al evento hidrotermal principal se encuentra dominada por vetillas tipo D. Por último, la UGMo 11 perteneciente al evento hidrotermal tardío presenta una cantidad significativa de vetillas tipo D y la mayor cantidad registradas de vetillas tipo E.

Los análisis estadísticos de la distribución de datos y análisis de contactos establecen un fundamento para determinar quiebres en las unidades geológicas de molibdeno. Los análisis de distribución de frecuencia acumulada segregan de forma adecuada las UGMo 2, 9, 10 y 11, pero una aglomeración de datos queda expuesta para las UGMo 1, 3, 4, 5, 6, 7 y 8, lo que nos lleva a priori deducir que las UGMo 3,4,5,6,7,8 son agrupables debido a que comparten características litológicas y de alteración similares, como ocurre con los casos de UGMo 3-6, UGMo 4-7, y UGMo 5-8 donde su clasificación geológica es la misma salvo la distancia o posición al sistema de pórfidos. En conjunto con el análisis de distancia al contacto, se define que las unidades con propiedades de quiebres abruptos de datos son apropiadas para una estimación de leyes posterior,

debido a que podrían indicar un claro cambio de ambiente entre unidades. Como es apreciable de este análisis una buena cantidad de contactos duros se presentan para las UGMo 1, 2, 9, 10 y 11, pero reconociendo contactos suaves entre las UGMo 3-6, 4-7 y 5-8. De esta forma, es apropiado redefinir las unidades geológicas de molibdeno en unidades de estimación de molibdeno, correspondientes a las UGMo 1, 2, 3-6, 4-7, 5-8, 9, 10 y 11, aptas para trabajar en un proceso de estimación de leyes de molibdeno. Es más, en los análisis dimensionales de derivas se aprecia que la base de datos de modelamiento de molibdeno se ajusta a la tendencia de los datos entregados por la base de datos del modelo de bloques actual del yacimiento. Interpretando que el impacto de una nueva estimación de leyes hecha en base a las unidades geológicas de molibdeno no será significativo para el actual modelo de bloques de molibdeno.

En último término, un análisis de dispersión de datos también fue agregado a las evaluaciones, sin embargo, no se aprecia una concluyente relación entre las variables metálicas de las unidades geológicas de molibdeno, más bien se reconocen tendencias positivas o negativas en estos análisis, reafirmando las características de las relaciones en los eventos de formación para UGMo, donde el molibdeno junto al cobre muestran tendencias positivas dado que precipitan en las etapas tempranas y bajo las mismas condiciones. Lo mismo ocurre para el oro que muestra tendencias positivas, exponiendo la existente relación del ambiente de pórfido entre estos metales. Por otro lado, la plata muestra leves tendencias positivas, pero la mayor parte de los análisis presentan valores de coeficientes correlación cercanos a 0.0, indicando que no existe una clara relación en el ambiente de formación. Para el caso del arsénico y el hierro, el análisis de estos elementos muestra tendencias negativas con respecto al molibdeno debido a que el arsénico precipita en las etapas tardías de alteración en ambientes epitermales y el hierro está principalmente asociado a las alteraciones tempranas alcalinas.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El cobre, molibdeno y arsénico se distribuyen según un fuerte control estructural siguiendo la orientación de los dominios de fallas principales, evidenciado en lineamientos de alta ley paralelos a la dirección de las fallas. También se evidencia una relación espacial entre cobre, oro y plata presentando la misma ubicación de núcleos de alta ley ubicados en la cúpula entre el contacto del pórfido Rosario y Collahuasi. Con respecto al molibdeno, los núcleos de alta ley se encuentran dispuestos con un leve buzamiento hacia el SW en la parte profunda del pórfido Rosario, sin embargo, estos núcleos no muestran una relación con el resto de los metales. Para el caso del arsénico, la distribución de altas leyes se constriñe a los núcleos de fallas principales bajo un evidente control estructural de las fallas mayores.

En Rosario se han identificado y caracterizado nueve estilos de mineralización de molibdenita, los cuales se definen según los aspectos físicos de la mineralogía de la molibdenita considerándose para su clasificación el tamaño del cristal y la distribución de la mineralización en la roca o vetilla. Estos nueve estilos de mineralización son representativos para el yacimiento, ya que los estilos fueron estudiados en todos los tipos de vetillas, brechas y matriz de rocas presentes en Rosario.

En el procedimiento de generación de la nueva base de datos para el molibdeno se incorporaron los nuevos datos capturados por el mapeo de sondajes y mapeo de bancos y se determinó las relaciones geológicas que influyen en el comportamiento del molibdeno. En el mapeo de sondajes se concluyó que los eventos de alteración controlan las características mineralógicas de la molibdenita, de igual forma la litología no tiene influencia en los aspectos mineralógicos de la molibdenita, pero si en la variabilidad de leyes encontradas en cada unidad litológica. Lo mismo ocurre con las estructuras, si bien no presentan una fuerte influencia en los aspectos mineralógicos de la molibdenita generan una fuerte relación entre leyes altas de molibdeno y zonas altamente fracturadas y/o falladas. Es importante agregar que la ocurrencia de molibdenita se encuentra principalmente en la Minzone primaria, donde por el contrario solo trazas de molibdeno son encontrados en zonas minerales fuera del primario como Minzone secundaria y primario pirítico. El mapeo de bancos realizado durante este estudio aportó el soporte necesario para validar las relaciones geológicas del molibdeno y los estilos de mineralización observadas en el mapeo de sondajes.

Dentro del modelo geológico del molibdeno, se definieron once unidades geológicas de molibdeno diferenciadas fundamentalmente por los eventos de alteración formadores de cada unidad, las litologías involucradas y la zona mineral de cada unidad. Se concluyó que las unidades geológicas de molibdeno propuestas son consistentes con las evaluaciones geológicas y químicas realizadas en el estudio, permitiendo determinar una secuencia genética en cada unidad geológica asociado al evento hidrotermal al que pertenece.

La construcción espacial del modelo geológico de molibdeno se llevó a cabo por medio de indicadores de modelamientos, los cuales indican si cierto conjunto de datos pertenece a una unidad geológica de molibdeno en específico, proveyendo el soporte necesario para que el programa Leapfrog Geo genere una interpolación de los indicadores ajustada al modelo geológico conceptual del molibdeno y así generar los sólidos tridimensionales que representan la espacialidad de las unidades geológicas de molibdeno. Posteriormente, se realizó una variedad de análisis estadísticos de los datos encapsulados en cada unidad geológica de molibdeno mostrando evidentemente que las unidades 3-6, 4-7 y 5-8 son agrupables en tres unidades de estimación, reduciendo el número de unidades geológicas a un total de 8 o unidades de estimación.

Finalmente, del trabajo realizado se proponen tres recomendaciones fundamentales:

(1) continuar con la obtención de los parámetros definidos por el mapeo de ocurrencia de molibdeno, adicionando una cuantificación volumétrica de los estilos de mineralización de la molibdenita en cada tramo registrado. De este modo se proporcionará la posibilidad de generar un modelo netamente de ocurrencia de molibdeno, aportando un alto nivel de detalle en la información geológica respecto al tipo de estructuras en donde se encuentra la molibdenita.

(2) integrar el modelo geológico de molibdeno al modelo geometalúrgico de recuperación de molibdeno, por medio de un estudio del impacto generado a las recuperaciones en planta provocado por factores geológicos que influyen en el proceso de recuperación como también en las características mineralógicas de la molibdenita, los cuales ya se encuentran incorporados en el modelo geológico desarrollado en este trabajo.

(3) generar una estimación de los recursos de molibdeno con el modelo geológico de molibdeno propuesto en este estudio. Como se mencionó anteriormente, el modelo geológico contempla un total de 8 unidades de estimación ya elaboradas y justificadas para el apropiado desarrollo de la estimación de los recursos minerales de molibdeno.

8 BIBLIOGRAFÍA

Armands, G. (1972). Geochemical studies of Uranium, Molybdenum and Vanadium in the Swedish Alum shale. *Stockholm Contr. Geol.* 27:1-148.

Beane, R.E., Titley, S.R. (1981). Porphyry copper deposits. Pt. II. Hydrothermal alteration and mineralization: *Economic Geology 75th Anniversary Volume*, p. 235–269.

Bisso, C.B., Duran, M., Gonzales, A.A. (1998). Geology of the Ujina and Rosario copper porphyry deposits, Collahuasi district, Chile. In: Porter, M.T., ed., *Porphyry and hydrothermal copper and gold deposits: A global perspective*, Perth, Australia, p. 217-232.

Brimhall, G.H., D. A. Crerar. (1987). Ore fluids: magmatic to supergene. p. 235-321. In: I.S.E. Carmichael and H.P. Eugster., eds., *Thermodynamic modeling of geological materials: minerals, fluids and melts*. *Rev. Mineral*, v. 17. Mineral. Soc. Am., Washington, D.C.

Burnham, C.W. (1979). Magmas and hydrothermal fluids. In: Barnes H.L., ed., *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 2nd ed. Wiley, New York.

Candela, P.A., Holland, H.D. (1984). The partitioning of copper and molybdenum between silicate melts and aqueous fluids. *Geochim. Cosmochim. Acta* 48:373-380.

Camus, F. (2002). The Andean porphyry systems. In: Cooke, D.R. and Pongrantz, J., eds., *Giant Ore Deposits: Characteristics, genesis and exploration*. CODES Special Publication 4, Australia, p. 5-21.

Cao, X., Richardson, S.M., Richardson, C.K. (1988). Solubility of molybdenite (MoS₂) in hydrothermal solutions. *Geol. Soc. Am. Abstr. Programs* 20: A43.

Charrier, R., Pinto, L., & Rodríguez, M. P. (2007). Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. In: *The Geology of Chile*. pp. 21-114.

Clark, A.H., Archibald, D.A., Lee, A.W., Farrar, E., Hogson, J. (1997). Laser-Probe ⁴⁰Ar-³⁹Ar ages of early and late stage alteration assemblages, Rosario porphyry copper-molybdenum deposit, Collahuasi District, I Región, Chile. *Economic Geology*, v. 93, p. 326-337.

Clark, A.H. (1993). Are outsize porphyry copper deposits either anatomically or environmentally distinctive? In: Whiting, B.H., Mason, R., and Hodgson, C.J., eds, Giant ore deposits. Society of Economic Geologists, Special Publication N° 2, p. 213-283.

Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi. (2017). Reporte de Desarrollo Sustentable. Recuperado de: <http://www.collahuasi.cl/wp-content/uploads/2018/06/reporte-collahuasi-2017.pdf>

Günther, A., Haschke, M., Reutter, K.J., Scheuber, E. (1997). Repeated reactivation of an ancient fault zone under changing kinematic conditions: The Sierra de Moreno fault system (SMFS) (N-Chilean Precordillera) [extended abs.]: Congreso Geológico Chileno, VIII, Antofagasta, Chile, 1997, p. 85-89.

Dick, L.A., Chavez, W.X., Gonzalez, A., Bisso, C. (1994). Geologic setting and Mineralogy of the Cu-Ag-(As) Rosario Vein System, Collahuasi District, Chile SEG Newsletter 19.

Dick, L.A., Ossandon, G., Gonzalez, A., Vega, J., Echegaray, J. (1994). Geologic setting and Controls on the Development of Secondary Enrichment, Rosario and Ujina Porphyry Cu-Mo Deposits, Collahuasi District, I Region, Chile. 7° Congreso Geológico Chileno, Actas, V. II, p. 1549-1550.

Dilles, J., Tomlinson, A., Martin, M., Blanco, N. (1997). El Abra and Fortuna complexes: a porphyry copper batholith sinistrally displaced by the Falla Oeste: VIII Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, v.III, p.1883-1887.

Dunn, P.G., (1984). Geologic studies during the development of the Copper Flat porphyry deposit: Mining Engineering, v. 36 (2), p. 151–160.

Finch, W.I. (1967). Geology of uranium deposits in sandstone in the United States. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 538.

Gulbrandsen, R.A. (1966). Chemical composition of phosphorites of the Phosphoria Formation. Geochim. Cosmochim. Acta 30:769-778.

Heidrick, T.L., Titley, S.R. (1982). Fracture and Dyke patterns in Laramide plutons and their structural and tectonic implications. In: *Advances in Geology of the Porphyry Copper Deposits*. The University of Arizona Press p.73-91.

Hoja Collacagua, Región de Tarapacá. (1984). Vergara, H.; Thomas, A. 79 p., 1 mapa escala 1:250.000.

Hudson, T., J. G. Smith, and R. L. Elliott. (1979). Petrology, composition, and age of intrusive rocks associated with Quartz Hill molybdenum deposits, Southeastern Alaska. *Canadian J. Earth Sci.* 16:1805-1822.

Lanier, G. John. E. Swensen, A. Reid, J. Bard, C. Caddey, S. Wilson, J. (1978). General Geology of the Bingham, Bingham Canyon, Utah. *Economic Geology*, v. 73; p. 1228-1241.

Lee, A.W., (1994). Evolution of the Rosario copper-molybdenum porphyry deposit and associated copper-silver vein system, Collahuasi district, I region, northern Chile: Unpublished M.A. thesis, Kingston, Ontario, Canada, Queens University, p.75.

Lindsay, D. D., Zentilli, M., and Rojas De La Rivera, J., (1995). Evolution of an active ductile to brittle shear system controlling mineralisation at the Chuquicamata porphyry copper deposit, northern Chile: *International Geology Reviews*, v. 37, p. 945-958.

Ludington, Steve, and Plumlee, G.S., (2009). Climax-type porphyry molybdenum deposits: U.S. Geological Survey OpenFile Report 2009–1215, 16 p.

Maksaev, V., Munizaga, F., Mathur, R., Barra, F., Fanning, M., McWilliams, M., Ruiz, J. and Sanhueza, A.6. (2009). Geochronology of the Collahuasi porphyry Cu-Mo district, northern Chilean Andes. XII Congreso Geológico Chileno. Santiago.

Masterman, G.J., (2003). Structural and geochemical evolution of the Rosario Cu-Mo porphyry deposit and related Cu-Ag veins, Collahuasi district, northern Chile: Unpublished Ph.D. thesis, Tasmania, Australia, University of Tasmania, 253 p.

Masterman, G.J., Cooke, D.R., Berry, R.F., Clark, A.H., Archibald, D.A., Mathur, R., Walshe, J.L., and Durán, M., (2004). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and Re-Os Geochronology of Porphyry

Copper-Molybdenum Deposits and Related Copper-Silver Veins in the Collahuasi District, Northern Chile. *Economic Geology*, Vol. 99, pp. 673–690.

Masterman, G.J., Cooke, D.R., Berry, R.F., Walshe, J.L., Lee, A.W. and Clark, A.H., (2005). Fluid Chemistry, Structural Setting, and Emplacement History of the Rosario Cu-Mo Porphyry and Cu-Ag-Au Epithermal Veins, Collahuasi District, Northern Chile. *Economic Geology*, v. 100, p. 819-834.

Mitchell, P. C. H. (1973). The chemistry and uses of molybdenum: Introductory lecture, p. 1-5. In P. C. H. Mitchell (ed.) *Int. Conf. on the Chemistry and Uses of Molybdenum*. Climax Molybdenum Co. Ltd., London.

Moore, R.L. and Masterman, G.L., (2002). The corporate discovery and geology of the Collahuasi district porphyry copper deposits, Chile. In: Cooke, D.R. and Pongrantz, J., eds., *Giant Ore Deposits: Characteristics, genesis and exploration*. CODES Special Publication 4, Australia, p. 23-50.

Mpodozis, C y Ramos, VA., (2008). Tectónica jurásica en Argentina y Chile: extensión, subducción oblicua, rifting, deriva y colisiones. *Rev. Asoc. Geol. Argent.*, oct./dic. 2008, vol.63, no.4, p.481-497. ISSN 0004-4822.

Munchmeyer, C., Hunt, J. P., and Ware, H., (1984). Geología del distrito de Collahuasi y del pórfido cuprífero Rosario: Informe interno de la compañía, Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, Santiago, Chile, 84 p.

Muntean, J.L., and Einaudi, M.T., (2001). Porphyry-Epithermal Transition: Maricunga Belt, Northern Chile. *Economic Geology*, Vol. 96, 2001, pp. 743–772.

Muñoz, J.; Troncoso, R.; Duhart, P.; Crignola, P.; Farmer, G.; Stern, C. (2000). The relation of the mid-Tertiary coastal magmatic belt in south-central Chile to the late Oligocene increase in plate convergence rate. *Revista Geológica de Chile* 27 (2): 177-203.

Padilla Garza, R. A., Titley, S. R., and Pimentel B., F., (2001). Geology of the Escondida porphyry copper deposit, Antofagasta Region, Chile: *Economic Geology*, v. 96, p. 307- 324.

Pardo-Casas, F., and Molnar, P., (1987). Relative motion of the Nazca (Farallón) and South American plates since Late Cretaceous time: *Tectonics*, v. 6, p. 233-248.

Pilger, H. (1984). Cenozoic plate cinematics, subduction and magmatism, South American Andes. *Journal of the Geological Society* 141: 793-802.

Pokalov, V. T. (1977). Deposits of molybdenum, p. 125-179. In V. I. Smirnov (ed.) *Ore deposits of the USSR*. V. 3. Pittman, London.

Ramos, V. A., Jordan, T. E., Allmendiger, R. W., Mpodozis, C., Kay, S. M., Cortes, J. M. and Palma, M. A., (1986). Paleozoic terranes of the Central Argentine – Chilean Andes. *Tectonics*, 5: 855-880.

Ramos, V.A. y Kay, S.M. (1991). Triassic rifting and associated basalts in the Cuyo basin, central Argentina. En Harmon, R.S. y Rapela, C.W. (eds.) *Andean Magmatism and its Tectonic Setting*, Geological Society of America, Special Paper 265: 79-91

Rempel KU, Migdisov AA, Williams-Jones AE. (2006). The solubility and speciation of molybdenum in water vapor at elevated temperatures and pressures: implications for ore genesis. *Geochim. Cosmochim. Acta* 70:687–696.

Reutter, K.J.; Scheuber, E.; Helmcke, D. (1991). Structural evidence of orogen-parallel strike slip displacements in the Cordillera of northern Chile. *Geologische Rundschau*, Vol. 80, No. 1, p. 135-153.

Reutter, K. J., Scheuber, E., and Chong, G., (1996). The Cordilleran fault system of Chuquibambilla, Northern Chile: Evidence for reversals along arc-parallel strike-slip faults: *Tectonophysics*, v. 259, p. 213-228.

Richards, J. P., (2000). Lineaments revisited: *Society of Economic Geologists Newsletter*, n. 42, p.1, 14-20.

Richards, J. P., Boyce, A. J., and Pringle, M. S., (2001). Geologic evolution of the Escondida area, northern Chile: A model for spatial and temporal localization of porphyry copper mineralization: *Economic Geology*, v. 96, p. 271-305.

Ruzicka, V. and R. T. Bell. (1984). Sandstone uranium, p. 36. In O. R. Eckstrand (ed.) Canadian mineral deposit type. Geol. Surv. Canada Econ. Report 36, Ottawa.

Sanhueza, A., Alarcón, B., Giglio, S. (2006). Proyecto Rosario Oeste. Informe Campaña Exploraciones Fase II: 2005 – 2006. Informe Gerencia de Exploraciones, CMDIC, (Inédito).

Seedorff, E., and Einaudi, M.T., (2004). Henderson porphyry molybdenum system, Colorado. I. Sequence and abundance of hydrothermal mineral assemblages, flow paths of evolving fluids: Economic Geology, v. 99, p. 3–38.

Seedorff, E., Dilles, J.H., Proffett, J.M. Jr., Einaudi, M.T., Zurcher, L., Stavast, W.J.A., Johnson, D.A., and Barton, M.D., (2005). Porphyry deposits-Characteristics and origin of hypogene features: Economic Geology 100th Anniversary Volume, p. 251–298.

Skarmeta, J.J., (1991). Evolución de cuencas de Trasarco en el norte de Chile: Un Análisis basado en el emplazamiento de diques y filones. - Congreso Geológico Chileno 1991 p.649-653 Santiago.

So, C. S., D. M. Rye, and K. L. Shelton. (1983a). Carbon, hydrogen, and sulfur isotope and fluid inclusion study of the Weolag tungsten molybdenum deposit. Republic of Korea: Fluid histories of metamorphic and ore-forming events. Econ. Geol. 78:1551-1573.

So, C. S., K. L. Shelton, D. E. Seidemann, and B. J. Skinner. (1983b). The Dae Hwa tungsten-molybdenum mine, Republic of Korea; A geochemical study. Econ. Geol. 78:920-930.

Tomlinson, A. y Blanco, N. (1997). Structural evolution and displacement history of the west fault system, Precordillera, Chile: part 1, premineral, history, part 2, synmineral, history: VIII Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, v.III, p. 1873-1882.

Tomlinson, A.; Martin, M.; Blanco, N. (2001). U-Pb and K-Ar geochronology from the Cerro Empexa Formation, 1a and 2a Regions, Precordillera, northern Chile. In South American Symposium on Isotope Geology, Comunicaciones 52, Actas I: 169. Pucón.

Tosdal, R. M., and Richards, J. P. (2001). Magmatic and structural controls on the development of porphyry Cu-Mo-Au deposits: Reviews in Economic Geology, v. 14, p. 157-181.

Turekian, K. K. and H. K. Wedpohl. (1961). Distribution of the elements in some major unites of the Earth's Crust. Geol. Soc. Am. Bull. 72:175-192.

Uliana, M.A. and Biddle, K.T. (1987). Permian to Late Cenozoic evolution of Northern Patagonia: main tectonic events, magmatic activity and depositional trends. En McKenzie, G.D. (ed.) Gondwana Six: Structure, Tectonics and Geophysics. American Geophysical Union, Geophysical Monograph 40: 271-286.

Valkovic', V. (1983). Trace elements in coal. Vol. 1, 210pp. CRC Press, Boca Raton, Fla.

Vergara, H. (1978). Carta Geológica de Chile. Escala 1:50.000. Cuadrángulo Ujina, Región de Tarapacá. Instituto de Investigaciones Geológicas N°33.

Vergara, H. L., y Thomas, A. N. (1984). Hoja Collacagua, Región de Tarapacá, Carta Geológica de Chile, Escala 1:250,000: Santiago, Servicio Nacional de Geología y Minería, 79 p.

Wallace, S. R., N. K. Muncaster, D. C. Jonson, W. B. MacKenzie, A. A. Bookstrom, and V. E. Surface. (1968). Multiple intrusion and mineralization at Climax, Colorado, p. 605-640. In J. D. Ridge ed.) Ore deposits of the United State, 1933-1967 (Graton-Sale Vol.). Am. Inst. Mining Metall. Petroleum Engineers, New York.

Wallace, S. R., W. B. MacKenzie, R. G. Blair, and N. K. Muncaster. (1978). Geology of the Urad and Henderson molybdenum deposits, Clear Creek County, Colorado, with a section on a comparison of these deposits with those at Climax, Colorado. Econ. Geol. 73:325-368.

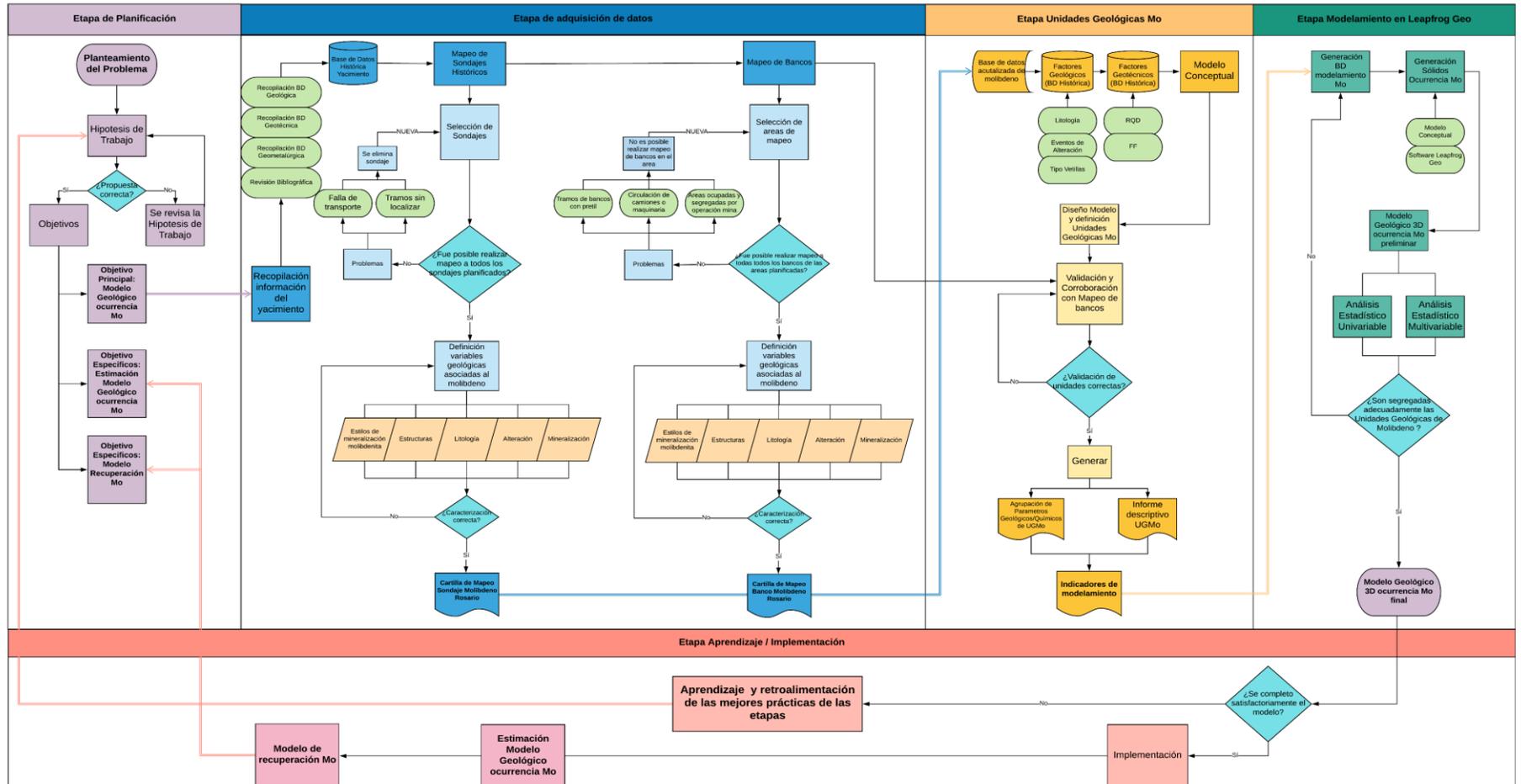
Wilson J. A. and Yoffe A. D. (1969). The transition metal dichalcogenides: Discussion and interpretation of the observed optical, electrical, and structural properties. Adv. Phys. 18, 194-325.

White, W. H., A. A. Bookstrom, R. J. Kamilll, M. W. Ganster, R. P. Smith, D. E. Ranta, and R. C. Steinlnger. (1981). Character and origin of Climax-type molybdenum deposits. Econ. Geol. 75th Anniv. Vol. 1981:270-316.

Wood SA, Samson IM. (1998). Solubility of ore minerals and complexation of ore metals in hydrothermal solutions. In: Richards JP, Larson PB (eds) Techniques in hydrothermal ore deposits geology. Rev. Econ. Geol. 10:33–80.

Wood SA, Crerar DA, Borcsik MP. (1987). Solubility of the assemblage pyrite-pyrrhotite-magnetite-sphalerite-galena-Au-stibnitebismothinite- argentite-molybdenite in H₂O-CO₂-NaCl solutions from 200°C to 350°C. Econ. Geol. 82:1864–1887.

ANEXO I. Flujograma de trabajo. Se dividieron las actividades y métodos en 5 grandes etapas asociadas a los objetivos específicos del proyecto. Cada actividad cuenta con una condicionante que de ser cumplida o no genera una reestructuración y reelaboración en el proceso.



ANEXO II. Cartilla de mapeo geológico de sondajes optimizada para el molibdeno. El encabezado muestra la codificación utilizada para cada factor geológico registrado en el mapeo de sondajes. Toda la información relevante que no es posible ingresar como código se anota en observación.

Relleno VET/ZV		Tipo 5I	Py-Cc-SFP	EST./VETAS	
Tipo 0	Qtz	Tipo 5h	Py-Cc	Falla	F
Tipo B	Qz-(Mo)	Tipo 6	Py	Zona Falla	ZF
Tipo 1	py-Bn-(Mo)	Tipo 7	Spec-SF	Veta	VET
Tipo 1	py-Py-(Mo)	Tipo 9	VLix	Zona de Veta	ZV
Tipo 2	Py-Bn	Tipo 10	CuOx	Veta-Falla	VF
Tipo 3	Py-En	Tipo 11	Mix	s/Rec. Muestra	SRM
Tipo 4	Py-(Cpy)	Tipo 12	Otro		
Relleno VF		Relleno F/ZF		SRM Sin recuperacion	
SA-SF	BRF-SF	SA	arc	SI-MNE-MEE Sin Informacion	
SA-Mix	BRF-Mix	BRF	molfino	NMP No Mapeado	
SA-CuOx	BRF-CuOx	rmol	molgrosso	VET Veta	
SA-Lix	BRF-Lix				

LITOLOGÍA	FONDO ALT. SELEC.	ALT. PERVASIVA	MINZONE	ESTILO DE MIN. MOLIBDENITA
Grava, Relleno GRA-RELL	Fresca F	Argilico Avanzado AA	Estéril EST	1 Laminas hexagonales/Rosetas
Brechas BRE-BRH-BPR-BRC-BRI	Fondo Propilitico FP	Argilica A	Lixiviado LIX	2 Diseminado en roca (pequeños cumulos)
Pórfido PRO-PCO-PIN-PTA-PRW	Fondo Potásico FK	Cuarzo Sericita QS	Oxido OXI	3 Cumulos
PCA-PFELD-PGD-PQZ-PUJ	Select. QS SQS	Sericita Gris Verde SGV	Mixto MIX	4 Cumulos lentiformes
Intrusivos GRD	Selectivo Argilico SA	Potásica Biotítica B	Secundario Fuerte SECF	5 Sutura
Diques DAND-DDIO-DAPL		Potás.Feldespática K	Secundario Débil SECD	6 En bordes de vetillas (vetilla reutilizada)
Toba, Toba Roja TOB-TOBR-CIN-IGN		Skarn SK	Primario Pirítico PRIPY	7 Diseminada fina en vetilla
Dacita-Riolita DAC-RIO	OCURENCIA	Hornfels Hnf	Prim. Calcopir.-Bornítico PRI	8 Matriz de brecha
Diorita DIO	Estructura F		Zona Pirítica ZPY	9 Masiva en vetilla
Andesita AND-OCO	Halo H	INTENSIDAD		
Rocas Sed USED	Pervasivo P	Moderado -M		
Rx no diferenciada RND	Diseminado D	Fuerte -F		
	Vetillas V	Debil -D		

BHD	Desde	Hasta	Esencia	Relleño	Desde	Hasta	Litología	Zona Mineral	Acos. Sulfuros (Bf)	Estilo de min. Mohabenta	Ley Mo (%)	Mo (ppm)	Molibdena (%)	Observaciones
DDHR143	570.4	577.05	ZF	rmoI	570.4	577.05	USED	SECD	Py-Cc-SFP	0	0.002	24	0.004	
DDHR143	577.05	579.5	ZF	rmoI	577.05	579.05	USED	SECD	Py-En-(Mo)	2,7	0.014	140	0.023	
DDHR143					579.05	580.5	USED	PRIPY	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.028	281	0.047	
DDHR143					580.5	583.25	USED	PRIPY	Py-(Mo)	0	0.002	21	0.004	
DDHR143					583.25	585	USED	PRIPY	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.015	149	0.025	
DDHR143					585	588	USED	PRIPY	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.024	242	0.040	
DDHR143					588	589.45	USED	PRI	Cpy-(Mo)	2	0.016	164	0.027	
DDHR143	590	590.2	F	SA	589.45	590.5	USED	PRI	Cpy-(Mo)	2	0.016	164	0.027	
DDHR143					590.5	596.05	USED	PRIPY	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.028	284	0.047	
DDHR143					596.05	599	USED	PRI	Cpy-(Mo)	2	0.011	109	0.018	
DDHR143					599	600.4	USED	PRIPY	Py-(Mo)	2,4,7	0.021	206	0.034	
DDHR143					600.4	606	TOB	PRI	Py-Cpy-Mo	2,4,6,8,9	0.057	572	0.095	Contacto USED-TOB
DDHR143					606	608	TOB	PRI	Py-Cpy-Mo	2,7,9	0.046	458	0.076	
DDHR143					608	630	TOB	PRI	Py-Cpy-Mo	2,3,7,9	0.042	423	0.071	
DDHR143					630	649.1	TOB	PRIPY	Py-Mo	2,3,6,7	0.020	204	0.034	
DDHR143	642	652	ZF	rmoI	649.1	657.3	PRO	PRI	Cpy-(Mo)	2,5,6,7	0.019	194	0.032	Contacto TOB-PRO
DDHR143	657	660.5	ZF	rmoI	657.3	660.05	PRO	PRI	Cpy-(Mo)	5,6,7	0.011	109	0.018	
DDHR143					660.05	665.15	PRO	PRI	Cpy-(Mo)	7	0.002	23	0.004	
DDHR143					665.15	668.95	PRO	PRI	Cpy-Mo	2,3,4,6,7	0.027	272	0.045	
DDHR143					668.95	673.3	PRO	PRI	Cpy-(Mo)	5,7	0.014	144	0.024	
DDHR143					673.3	683.6	PRO	PRI	Py-Cpy-Mo	2,3,5,6,7,9	0.092	916	0.153	
DDHR143					683.6	686	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.020	199	0.033	
DDHR143					686	701.1	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.010	98	0.016	
DDHR143					701.1	752.85	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,6,7	0.015	150	0.025	
DDHR143					752.85	759.45	PRO	PRI	Cpy-Bn-Mo	2,3,6,7	0.039	386	0.064	
DDHR143					759.45	765.15	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,6,7	0.015	146	0.024	
DDHR143					765.15	780.35	PRO	PRI	Cpy-Mo	2,5,6,7	0.019	193	0.032	
DDHR143					780.35	795	PRO	PRI	Py-Bn-(Mo)	2,6,7	0.022	222	0.037	
DDHR143					795	804	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,7,9	0.022	217	0.036	
DDHR143					804	824	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,4,7	0.019	193	0.032	
DDHR143	842.7	847.55	ZF	rmoI	824	853.6	TOB	PRI	Py-(Mo)	2,4,5,6,7,9	0.035	352	0.059	Contacto TOB-PRO
DDHR143					853.6	859.9	TOB	PRI	Cpy-(Mo)	2,7	0.011	111	0.019	
DDHR143					859.9	868	TOB	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7,9	0.025	252	0.042	
DDHR143	881.4	882	F	BRF	868	890.8	TOB	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,6,7,9	0.033	327	0.054	
DDHR143	888.5	889.9	F	rmoI	890.8	913.3	TOB	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,6,7	0.018	179	0.030	
DDHR143	899.7	900.6	F	BRF	913.3	914.35	TOB	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.019	194	0.032	
DDHR143	906	912.25	ZF	rmoI	914.35	919.8	TOB	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,6,7,9	0.075	748	0.125	Contacto TOB-PRO
DDHR143					919.8	924	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	3,7,9	0.057	566	0.094	
DDHR143	934.5	945.05	ZF	rmoI	924	938.5	TOB	PRI	Py-Cpy-Bn-(Mo)	2,3,6,7	0.032	317	0.053	
DDHR143					938.5	952.35	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	3,4,6,7,9	0.035	353	0.059	
DDHR143					952.35	964.35	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	3,4,6,7	0.021	211	0.035	
DDHR143	964.35	977.75	F	BRF	964.35	977.75	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.023	225	0.038	
DDHR143	977.75	1002.95	ZF	rmoI	977.75	989.55	PRO	PRI	Cpy-(Mo)	3,6,7,9	0.031	307	0.051	ZF:977.75-998
DDHR143	998	1002.95	F	BRF	989.55	1019.2	PRO	PRI	Py-Cpy-Bn-(Mo)	2,4,6,7,9	0.027	272	0.045	F:998-1002.95
DDHR143	1026	1034.7	ZF	rmoI	1019.2	1039.45	PRO	PRI	Py-Cpy-Bn-(Mo)	2,6,7,9	0.034	342	0.057	ZF:1026-1034.7, F:1036-1039.45
DDHR143	1036	1039.45	F	rmoI	1039.45	1054.7	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,6,7	0.017	167	0.028	
DDHR143					1054.7	1061.8	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.011	113	0.019	
DDHR143					1061.8	1087.4	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.023	230	0.038	
DDHR143					1087.4	1098	PRO	PRI	Py-Cpy-Bn-(Mo)	2,4,7	0.033	329	0.055	
DDHR143	1098.75	1102.45	F	BRF	1098	1109.55	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,6,7	0.017	173	0.029	
DDHR143					1109.55	1130.2	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7,9	0.026	262	0.044	
DDHR143	1125	1133.6	ZF	rmoI	1130.2	1145.6	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7,9	0.029	292	0.049	
DDHR143	1145.6	1148	ZV	Cpy-Py-(Mo)	1145.6	1148	PCO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,6,7,9	0.079	787	0.131	ZV (Py-Cpy-Mo)
DDHR143					1148	1167.55	PCO	PRI	Py-Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,6,7,9	0.034	338	0.056	Contacto PCO-PRO
DDHR143	1167.55	1183.7	ZF	rmoI	1167.55	1183.7	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,7	0.032	317	0.053	
DDHR143					1183.7	1236	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,5,6,7,8,9	0.087	868	0.145	Multiples bordes de vetillas de M

BHID	Desde	Hasta	Fondo Alt. Selectiva						Alteración Pervasiva																						
			Fondo-F	Fondo-IP	Fondo-PAISIO-FK	Selección-SQS	Selección-Arriba-SA	Fondo-IP	Intensidad	ocurrencia	Sham-SK	Intensidad	ocurrencia	Pw. Fed. K	Intensidad	ocurrencia	Pw. Illo-B	Intensidad	ocurrencia	Serfida Gris Verde SCV	Intensidad	ocurrencia	Cuarto Serfida-SQS	Intensidad	ocurrencia	Aplicar-A	Intensidad	ocurrencia	Aplicar-Avanzad-AU	Intensidad	ocurrencia
DDHR143	570.4	577.05				20																80	F	P							
DDHR143	577.05	579.05			10	10																80	F	P							
DDHR143	579.05	580.5				20																20	F	P	60	M	P				
DDHR143	580.5	583.25				30																30	F	P	40	M	P				
DDHR143	583.25	585				10																90	M	P							
DDHR143	585	588				20																80	M	P							
DDHR143	588	589.45				30								70	M	P															
DDHR143	589.45	590.5																				40	M	P	60	M	P				
DDHR143	590.5	596.05				40																60	M	P							
DDHR143	596.05	599				20																80	F	P							
DDHR143	599	600.4				15																85	F	P							
DDHR143	600.4	606				30																70	M	P							
DDHR143	606	608				10																90	F	P							
DDHR143	608	630				20																80	F	P							
DDHR143	630	649.1				20																80	F	P							
DDHR143	649.1	657.3			30	10																			60	M	P				
DDHR143	657.3	660.05				10	40																		50	D	H				
DDHR143	660.05	665.15				10	30																		60	M	P				
DDHR143	665.15	668.95						20														80	F	P							
DDHR143	668.95	673.3			30	20																			50	M	P				
DDHR143	673.3	683.6						15														85	F	P							
DDHR143	683.6	686			20	30																			50	M	P				
DDHR143	686	701.1					30							50	M	P					20	F	P								
DDHR143	701.1	752.85			30	20																50	F	P							
DDHR143	752.85	759.45					30							50	M	P					20	F	P								
DDHR143	759.45	765.15			10	40																50	F	P							
DDHR143	765.15	780.35			10	30																60	F	P							
DDHR143	780.35	795			10	20																60	F	P							
DDHR143	795	804			10	20																		10	M	H					
DDHR143	804	824			10	20																70	M	P							
DDHR143	824	853.6			10	30																60	F	P							
DDHR143	853.6	859.9			20	30																50	F	P							
DDHR143	859.9	868			10	20																70	F	P							
DDHR143	868	890.8					30																	20	M	P					
DDHR143	890.8	913.3			20	20																40	F	P	20	M	H				
DDHR143	913.3	914.35					40							60	F	P															
DDHR143	914.35	919.8					50							50	F	P															
DDHR143	919.8	924					40																								
DDHR143	924	938.5					25							55	F	P					20	F	P								
DDHR143	938.5	952.35					20							30	M	P					50	F	P								
DDHR143	952.35	964.35					20							60	F	P					20	F	P								
DDHR143	964.35	977.75					50							30	M	P					20	F	P								
DDHR143	977.75	989.55					50							40	M	P					10	M	P								
DDHR143	989.55	1019.2					20							30	M	P					50	F	P								
DDHR143	1019.2	1039.45					20							50	F	P					30	F	P								
DDHR143	1039.45	1054.7					20							30	M	P					50	F	P								
DDHR143	1054.7	1061.8					30							60	F	P					10	M	P								
DDHR143	1061.8	1087.4					20							25	M	P					55	F	P								
DDHR143	1087.4	1098					20							40	M	P					40	F	P								
DDHR143	1098	1109.55					40														50	F	P								
DDHR143	1109.55	1130.2					10							35	M	P					55	F	P								
DDHR143	1130.2	1145.6					40							30	M	P					30	F	P								
DDHR143	1145.6	1148					30							50	F	P					20	F	P								
DDHR143	1148	1167.55			10		20							40	M	P					40	F	P								
DDHR143	1167.55	1183.7					25							40	M	P					35	F	P								
DDHR143	1183.7	1236					35							55	F	P					10	M	P								

BIND	Desde	Hasta	Estructura	Relevo	Desde	Hasta	Litología	Zona Mineral	Asoc. Sulfuros (Mo)	Estío de min. Multioxián	Ley Mo (%)	Mo (ppm)	Molibdeno (%)	Observaciones
DDHR146					450	558	PRO	SECD	Py-Cc-Cpy-(Mo)	2,7	0.010	97	0.016	
DDHR146					558	560	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2	0.017	171	0.029	
DDHR146					560	568	TOB	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7	0.020	198	0.033	
DDHR146	568.65	576	F	BRF	568	584	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.024	241	0.040	
DDHR146	590	592.85	F	BRF	584	600	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7,9	0.083	828	0.138	*Cumulos mayores a 1cm
DDHR146	608	609.85	F	molfino	600	628	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7	0.014	141	0.024	
DDHR146	623.4	628	ZF	rmol	628	636.3	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7,9	0.015	150	0.025	
DDHR146	628	632	F	SA	636.3	648	USED	PRI	Cpy-Py-(Mo)	2,7	0.035	350	0.058	
DDHR146	632	694.8	ZF	rmol	648	659.9	USED	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7	0.039	387	0.064	
DDHR146	690	692	Vf	Py-Mo	659.9	698	PRO	PRI	Cpy-Py-(Mo)	1,2,3,5,7,9	0.053	527	0.088	
DDHR146	700	708.5	ZF	rmol	698	706	PRO	PRI	Cpy-Py-(Mo)	1,2,3,4,7	0.032	324	0.054	
DDHR146	708.5	711.55	F	BRF	706	714	USED	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,6,9	0.051	510	0.085	
DDHR146	711.55	714	ZF	rmol	714	736	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	1,2,3,4,7,9	0.039	387	0.064	
DDHR146	714	718.5	F	BRF	736	766	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7,9	0.033	327	0.054	
DDHR146	720	722	ZV	Cpy-Mo	766	782	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	1,2,3,4,7,9	0.054	536	0.089	
DDHR146	722	725.85	ZF	rmol	782	800	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7,9	0.033	335	0.056	
DDHR146	725.85	728	F	BRF	800	808	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7	0.034	341	0.057	
DDHR146	728	734	ZF	rmol	808	834	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	1,2,3,4,7	0.034	336	0.056	
DDHR146	734	736	F	BRF	834	846	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	1,2,3,7,9	0.067	669	0.111	
DDHR146	740.45	770	ZF	rmol	846	854	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7	0.045	453	0.075	
DDHR146	789	790	ZV	Cpy-Mo	854	880	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,7	0.018	183	0.031	
DDHR146	824.3	858	ZF	rmol	880	886	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.029	287	0.048	
DDHR146	890	896.28	ZV	Py-Mo	886	902	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,6,7,9	0.044	442	0.074	
DDHR146	907.8	908.1	F	BRF	902	930	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,7,9	0.026	258	0.043	
DDHR146	908.1	920	ZF	rmol	930	940.3	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7	0.060	603	0.100	
DDHR146	920.8	922	VET	Py-Mo	940.3	952	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	1,2,3,7	0.047	469	0.078	
DDHR146	944	948	F	BRF	952	964	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,7	0.030	303	0.050	
DDHR146	962.2	963.95	F	BRF	964	976	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7	0.042	422	0.070	
DDHR146	985.8	988	F	BRF	976	982	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,5,7	0.020	199	0.033	
DDHR146	994	1004.5	F	BRF	982	990	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7	0.033	335	0.056	
DDHR146					990	1010	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7	0.029	288	0.048	
DDHR146	1010	1017.05	ZF	rmol	1010	1018	PCO	PRI	Cpy-Py-(Mo)	2,3,7,9	0.042	424	0.071	
DDHR146					1018	1062	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7,6,9	0.027	271	0.045	
DDHR146	1066	1084	ZF	rmol	1062	1080	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7	0.022	223	0.037	
DDHR146					1080	1084	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.042	423	0.070	
DDHR146					1084	1122	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,6,7,9	0.038	381	0.063	
DDHR146					1122	1144.85	PCO	PRI	Cpy-Py-(Mo)	2,3,4,6,7,9	0.032	320	0.053	
DDHR146					1144.85	1153	USED	PRI	Cpy-Py-(Mo)	2,3,7	0.025	252	0.042	
DDHR146					1153	1156	USED	PRI	Cpy-Py-(Mo)	2,3,7	0.014	142	0.024	
DDHR146					1156	1170	USED	PRI	Cpy-Py-(Mo)	2,3,7,9	0.034	337	0.056	
DDHR146	1174	1178	ZF	rmol	1170	1180	USED	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,7	0.032	317	0.053	
DDHR146	1178	1182	F	BRF	1180	1198.7	USED	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.012	115	0.019	*Cumulos de magnetita
DDHR146					1198.7	1216	USED	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7	0.026	258	0.043	*Cumulos de magnetita
DDHR146					1216	1228	USED	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.011	114	0.019	
DDHR146					1228	1236	USED	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7	0.039	388	0.065	
DDHR146	1238.8	1241	ZF	rmol	1236	1240	USED	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.015	153	0.026	
DDHR146	1241	1243.85	F	BRF	1240	1262	USED	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,7	0.027	273	0.045	
DDHR146	1243.85	1248	ZF	rmol	1262	1284	USED	PRI	Cpy-Py-(Mo)	2,7	0.010	95	0.016	
DDHR146	1248	1252.45	F	BRF	1284	1290	USED	PRI	Cpy-Py-(Mo)	2,4,7	0.044	439	0.073	
DDHR146					1290	1300	USED	PRI	Cpy-Py-(Mo)	2,7	0.022	216	0.036	

BHID	Desde	Hasta	Estructura	Relleno	Desde	Hasta	Litología	Zona Mineral	Asoc. Sulfuros [Mo]	Estilo de min. Molibdenita	Ley Mo [%]	Mo [ppm]	Molibdenita [%]	Observaciones
DDHR170	315.7	321.7	ZF	rmol	313.55	320.7	PCO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,7	0.040	399	0.067	
DDHR170	320.7	328	ZV	Py-Mo	320.7	328	PCO	PRIPY	Py-(Mo)	2,7,9	0.047	468	0.078	ZV:Py-Mo
DDHR170					328	332.2	PCO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,6,7	0.064	645	0.107	
DDHR170					332.2	340	PCO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,6,7	0.048	482	0.080	
DDHR170					340	351.5	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,6,7,9	0.050	495	0.083	
DDHR170	356.8	380.7	ZF	rmol	351.5	383	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,6,7,9	0.043	426	0.071	
DDHR170	383	390.6	VET	Cpy-Bn-Mo	383	390.6	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,4,9	0.131	1315	0.219	
DDHR170	392.85	395.65	F	BRF	390.6	399.5	PCO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,4,6,7,9	0.087	873	0.146	
DDHR170					399.5	410.85	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,7	0.141	1406	0.234	
DDHR170					410.85	417.2	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,4,6,7	0.102	1024	0.171	
DDHR170	420	433.55	ZF	rmol	417.2	436.75	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,4,5,6,7	0.083	831	0.139	
DDHR170					436.75	441.6	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.059	592	0.099	
DDHR170					441.6	458.4	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,6,7	0.056	556	0.093	
DDHR170					458.4	465.55	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,6,7	0.091	910	0.152	
DDHR170	466.75	483.25	ZF	rmol	465.55	487.6	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,6,7,9	0.067	667	0.111	
DDHR170	487.6	497.7	F	molfino	487.6	496	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.080	800	0.133	
DDHR170	497.7	515.1	ZF	rmol	496	515.1	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,7	0.077	772	0.129	
DDHR170	515.1	528	F	molfino	515.1	528	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.074	742	0.124	
DDHR170	528	557.65	F	molfino	528	557.65	USED	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7	0.092	919	0.153	F:528-557,65

BBID	Desde	Hasta	Fondo Alt. Selectiva						Alteración Pervasiva																					
			Fresca-F	Fondo Propilítico-PP	Fondo Propilítico-FK	Selección QS-SQS	Selección Argilico-SA	Horofelch-HNF	intensidad	ocurrencia	Shara-SK	intensidad	ocurrencia	Pot. Fed.-K	intensidad	ocurrencia	Prof. Bio.-B	intensidad	ocurrencia	Selección Verde-SGY	intensidad	ocurrencia	Cuarzo Serfilic-QS	intensidad	ocurrencia	Argilico-A	intensidad	ocurrencia	Argilico Avanzad-VA	intensidad
DDHR170	313.55	320.7			10		20											50	F	P	20	M	P							
DDHR170	320.7	328	20		20																60	F	H							
DDHR170	328	332.2					20					65	F	P				5	M	H	10	M	H							
DDHR170	332.2	340					20					40	F	P				40	F	P										
DDHR170	340	351.5					10					40	F	P				50	F	P										
DDHR170	351.5	383					25					30	M	P				45	F	P										
DDHR170	383	390.6																												
DDHR170	390.6	399.5					20					40	F	P				40	F	P										
DDHR170	399.5	410.85					10					45	F	P				45	F	P										
DDHR170	410.85	417.2					10					60	F	P				30	F	P										
DDHR170	417.2	436.75					15					50	F	P				35	F	P										
DDHR170	436.75	441.6					15					40	F	P				45	F	P										
DDHR170	441.6	458.4					10					60	F	P				30	F	P										
DDHR170	458.4	465.55					10					50	F	P				40	F	P										
DDHR170	465.55	487.6					10					50	F	P				30	F	P	10	M	H							
DDHR170	487.6	496					20					50	F	P				30	F	P										
DDHR170	496	515.1					20					60	F	P				20	F	P										
DDHR170	515.1	528					20					70	F	P				10	M	H										
DDHR170	528	557.65	10												90	F	P													

BHID	Desde	Hasta	Estructura	Relleno	Desde	Hasta	Litología	Zona Mineral	Asoc. Sulfuros [Mo]	Estilo de min. Molibdenita	Ley Mo [%]	Mo [ppm]	Molibdenita [%]	Observaciones
DDHR163					499.65	503.5	AND	PRI	Py-Cpy	0	0.001	11	0.002	
DDHR163	503.5	522.5	ZF	rmol	503.5	522.5	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.007	72	0.012	
DDHR163					522.5	529.85	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.004	44	0.007	
DDHR163					529.85	533	USED	PRI	Py-Cpy-(Mo)	3,7	0.029	291	0.049	
DDHR163	542	540	ZF	rmol	533	561.5	PCO	PRI	Py-Cpy-Mo	2,6,7	0.014	136	0.023	
DDHR163	540	542	ZV	Py-Cpy-Mo	561.5	572.75	PRO	PRI	Py-Cpy-Mo	2,3,4,7	0.016	157	0.026	ZV: Py-Cpy-Mo
DDHR163	542	546.3	ZF	rmol	572.75	586.75	PCO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.012	116	0.019	
DDHR163	580.1	592.95	ZF	rmol	586.75	605.2	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.027	271	0.045	
DDHR163	592.95	605.2	ZF	rmol	605.2	610.7	PRO	PRI	Py-Bn-Mo	2,3,7	0.032	319	0.053	
DDHR163	605.2	610.7	F	BRF	610.7	618.45	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.024	237	0.040	
DDHR163	610.7	620	ZF	rmol	618.45	624.15	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,4	0.026	261	0.043	
DDHR163	634.95	636	F		624.15	641.65	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7	0.051	509	0.085	
DDHR163	641.65	646	ZV	Py-Mo	641.65	648.7	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,6,7,9	0.028	280	0.047	ZV: Py-Mo
DDHR163	666.7	667.7	VET	Py-Mo	648.7	676.35	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,6,7,9	0.023	229	0.038	V: Py-Mo
DDHR163	657.75	670.1	ZF	rmol	676.35	682.25	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,4,7	0.036	364	0.061	
DDHR163	647.25	649.1	F	BRF	682.25	689.7	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,7,9	0.022	215	0.036	
DDHR163	646.1	646.9	F	molfino	689.7	695.65	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.022	217	0.036	
DDHR163	692.9	694	F	molfino	695.65	709	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,6,7	0.038	385	0.064	
DDHR163	714.85	715.55	F	BRF	709	713.15	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,6,7,9	0.044	437	0.073	
DDHR163	720	721.85	ZF	rmol	713.15	720	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,6,7	0.054	536	0.089	
DDHR163	725	726.75	F	BRF	720	721.85	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.012	117	0.020	
DDHR163	742.85	744	F	molfino	721.85	734.2	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.029	285	0.048	
DDHR163	755.25	776.4	ZV	Py-Cpy-Mo	734.2	741	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,5,6,7	0.017	168	0.028	ZV: Py-Cpy-Mo
DDHR163	776.4	782.6	ZV	Py-Cpy-Mo	741	755.25	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,7	0.043	426	0.071	ZV: Py-Cpy-Mo
DDHR163	787.7	790	ZV	Py-Cpy-Mo	755.25	776.4	PRO	PRI	Py-Bn-(Mo)	2,6,7,9	0.020	203	0.034	ZV: Py-Cpy-Mo
DDHR163	794	798	ZF	rmol	776.4	792.55	PRO	PRI	Py-Bn-(Mo)	2,7,9	0.027	273	0.045	
DDHR163	798	799.5	ZV	Py-Mo	792.55	802.6	PRO	PRI	Py-Bn-(Mo)	2,3,7	0.042	420	0.070	
DDHR163	809.35	810	F	molfino	802.6	820	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,4,5,6,7,9	0.071	706	0.118	
DDHR163	812.4	816.2	ZF	rmol	820	830.35	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,6,7	0.062	625	0.104	
DDHR163	823.3	825	ZV	Py-Cpy-Mo	830.35	845.05	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,6,7,9	0.058	580	0.097	
DDHR163	843.7	843.8	VET	Py-Mo	845.05	853.55	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,6,7	0.045	452	0.075	V: Py-Mo

BHD	Desde	Hasta	Estructura	Relleno	Desde	Hasta	Litología	Zona Mineral	Asoc. Sulfuros (Mo)	Esfilo de min. Molibdenita	Ley Mo [%]	Mo [ppm]	Molibdenita [%]	Observaciones
DDHR173					378.5	381.1	USED	SECF	Py-Cc	0	0.000	4	0.001	
DDHR173					381.1	387.5	USED	SECD	Py-Cc-Cpy	0	0.001	12	0.002	
DDHR173	387.5	397.45	ZV	Py-Cc-SFP	387.5	397.45	USED	SECD	Py-Cc-Cpy	0	0.000	3	0.001	Hm especular
DDHR173	387.5	391.95	ZF	rmol	397.45	402.35	TOB	SECD	Py-Cc-Cpy	0	0.000	3	0.001	
DDHR173	409.5	414.3	ZV	Py-Cc-SFP	402.35	416.95	USED	SECD	Py-Cc-Cpy	0	0.002	16	0.003	
DDHR173					416.95	422.15	PCO	SECF	Py-Cc	0	0.000	4	0.001	
DDHR173					422.15	431	PRO	SECF	Py-Cc	0	0.000	2	0.000	
DDHR173					431	442.4	PCO	SECF	Py-Cc	0	0.000	2	0.000	
DDHR173	448.1	453.7	F	SA	442.4	453.7	PCO	SECF	Py-Cc	0	0.000	3	0.000	
DDHR173	442.95	445	ZF	rmol	453.7	461	USED	PRI	Py-Cpy-(Mo)	7	0.006	63	0.011	
DDHR173	453.7	459.2	ZF	rmol	461	484.3	TOB	PRI	Py-Cpy-(Mo)	7	0.016	158	0.026	
DDHR173					484.3	501.2	TOB	PRI	Py-Cpy-Mo	2,3,7	0.031	310	0.052	
DDHR173	501.2	513.75	F	BRF	501.2	521.7	PRO	PRI	Py-Cpy-Mo	2,3,7,9	0.039	392	0.065	
DDHR173	526.4	532.3	F	BRF	521.7	544	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.019	191	0.032	
DDHR173	569.8	570.8	F	BRF	544	554	PCO	PRI	Cpy-Bn-Mo	2,7	0.021	208	0.035	
DDHR173					554	560	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7,9	0.015	147	0.025	
DDHR173	603.8	605	F	BRF	560	582	PCO	PRI	Cpy-Bn-Mo	2,3,6,7	0.027	269	0.045	
DDHR173	611.1	611.8	VET	Cpy-Py-(Mo)	582	602	SI	PRI			0.021	208	0.035	
DDHR173	680	682.2	VF	Py-(Mo)	602	606	PRO	PRI	Cpy-Bn-Mo	2,7	0.018	177	0.030	Contacto PCO-PRO
DDHR173	682.2	683.6	F	BRF	606	612	PRO	PRI	Cpy-Bn-Mo	2,3,4,6,7,9	0.042	416	0.069	
DDHR173	683.6	685.35	VF	Py-(Mo)	612	618	PCO	PRI	Cpy-Bn-Mo	2,3,6,7	0.034	342	0.057	
DDHR173	685.35	689	F	BRF	618	634	PCO	PRI	Cpy-Bn-Mo	1,2,3,6,7,9	0.046	456	0.076	
DDHR173	700.7	702.55	ZF	rmol	634	640	PRO	PRI	Cpy-Bn-Mo	2,3,6,7,9	0.050	498	0.083	
DDHR173	702.55	704.85	F	BRF	640	646	PCO	PRI	Cpy-Bn-Mo	1,2,3,4,7	0.040	400	0.067	
DDHR173	718	732	ZF	rmol	646	658	PCO	PRI	Cpy-Bn-Mo	2,4,7,9	0.048	478	0.080	
DDHR173	732.7	736	F	BRF	658	674	PCO	PRI	Cpy-Bn-Mo	2,3,4,7	0.042	420	0.070	
DDHR173	742.8	745.4	F	BRF	674	688	USED	PRI	Py-Cpy-Mo	2,3,4,7,9	0.035	348	0.058	
DDHR173	746.95	757.45	ZF	rmol	688	720	PCO	PRI	Cpy-Bn-Mo	2,3,4,7,9	0.056	565	0.094	
DDHR173	757.45	760.2	F	BRF	720	772	PCO	PRI	Cpy-Bn-Mo	2,3,4,6,7,9	0.063	631	0.105	
DDHR173	764.25	766	ZV	Py-(Mo)	772	794	PCO	PRI	Cpy-Bn-Mo	2,3,7,9	0.034	338	0.056	
DDHR173	768	776	ZF	rmol	794	800	PCO	PRI	Cpy-Bn-Mo	2,3,4,6,7,9	0.038	375	0.063	
DDHR173	784.8	787.75	ZF	rmol	800	814	PCO	PRI	Cpy-Bn-Mo	2,3,7	0.025	251	0.042	
DDHR173	788.6	789.65	F	BRF	814	828	PCO	PRI	Cpy-Bn-Mo	2,3,7	0.024	243	0.041	
DDHR173	794.6	798.05	VF	Cpy-Py-(Mo)	828	831	SI	PRI			0.033	331	0.055	

BHID	Desde	Hasta	Estructura	Relleno	Desde	Hasta	Litología	Zona Mineral	Asoc. Sulfuros [Mo]	Estilo de min. Molibdenita	Ley Mo [%]	Mo [ppm]	Molibdenita [%]	Observaciones
DER58					123	132.7	PRO	PRI	Py-Cpy-Bn-(Mo)	2,6,7,9	0.039	389	0.065	
DER58					132.7	135.5	PRO	PRI	Bn-Cpy-Py	2	0.019	192	0.032	
DER58					135.5	142.35	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.037	369	0.062	
DER58					142.35	148	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,4,6,7,9	0.107	1073	0.179	
DER58					148	158	PRO	PRI	Bn-Cpy-(Mo)	2,3,4,7	0.026	256	0.043	
DER58					158	168.85	PRO	PRI	Bn-Cpy-(Mo)	2,3	0.021	210	0.035	
DER58					168.85	183.6	PRO	PRI	Py-Cpy-Bn-(Mo)	3,4,7	0.020	200	0.033	
DER58					183.6	198.7	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,4,7,9	0.038	378	0.063	
DER58					198.7	206.6	PRO	PRI	Bn-Cpy-(Mo)	2,3,4,7,9	0.024	236	0.039	
DER58					206.6	215	PRO	PRI	Bn-Cpy-(Mo)	2	0.009	87	0.015	
DER58	220	229.8	ZF	rmol	215	231	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.021	211	0.035	
DER58					231	241.4	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,7	0.014	143	0.024	
DER58					241.4	248.45	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,7	0.012	121	0.020	
DER58					248.45	256	PRO	PRI	Bn-Cpy-(Mo)	2,3,7	0.011	106	0.018	
DER58					256	264	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,7	0.018	177	0.030	
DER58					264	270	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.015	151	0.025	
DER58					270	280	PCO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,7	0.030	299	0.050	
DER58					280	285.55	PCO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,4	0.017	171	0.029	
DER58					285.55	296	PCO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,4,6	0.036	357	0.060	
DER58					296	305.5	PCO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,6,7,9	0.068	684	0.114	
DER58					305.5	324	PCO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,4,7	0.019	193	0.032	
DER58					324	330	PCO	PRI	Bn-Cpy-(Mo)	2,3,4,7	0.029	288	0.048	
DER58					330	340	PCO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,4,7	0.034	336	0.056	
DER58	344	345	ZF	rmol	340	360	PCO	PRI	Bn-Cpy-(Mo)	1,2,3,4,6,7	0.045	454	0.076	ZF:344-345
DER58	356.15	357	F	BRF	360	362.7	USED	PRI	Cpy-(Mo)	2,3	0.158	1576	0.263	
DER58	358.5	364	F	molfino	362.7	368.85	PCO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,7	0.028	279	0.047	
DER58					368.85	374.55	USED	PRI	Cpy-(Mo)	2	0.028	280	0.047	
DER58					374.55	375	PCO	PRI	Bn-Cpy-(Mo)	2,3	0.046	462	0.077	

BHID	Desde	Hasta	Estructura	Relleno	Desde	Hasta	Litología	Zona Mineral	Asoc. Sulfuros [Mo]	Estilo de min. Molibdenita	Ley Mo [%]	Mo [ppm]	Molibdenita [%]	Observaciones
DER121					82	102	AND	PRI	Py-Cpy-(Mo)	1,2,3,4,7	0.046	464	0.077	
DER121					102	110	AND	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.017	174	0.029	
DER121					110	121.5	TOB	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.019	186	0.031	
DER121	122	124	ZF	rmol	121.5	142.3	AND	PRI	Py-Cpy-(Mo)	1,2,3,4,9	0.112	1117	0.186	122-124: ZF leyes de 3679 ppm Mo
DER121					142.3	145.6	TOB	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,9	0.041	412	0.069	
DER121					145.6	163.5	PCO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,6,7,9	0.061	605	0.101	
DER121	163.5	163.6	VET	Cpy-Py-(Mo)	163.5	163.6	VET	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2				
DER121	164	166	VF	Cpy-Py-(Mo)	163.6	218	PCO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,4,6,7,9	0.064	635	0.106	164-166: VF leyes de 1026 ppm Mo
DER121					218	235.35	PCO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	1,2,3,4,7,9	0.041	414	0.069	
DER121	235.35	235.65	VET	Cpy-Py-(Mo)	235.35	235.65	VET	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2				
DER121					235.65	252.5	PCO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,7,9	0.040	400	0.067	
DER121					252.5	268	USED	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.015	150	0.025	
DER121					268	271	AND	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2	0.003	33	0.005	
DER121	271	272.3	VET	Cpy-Py	271	272.3	VET	PRI	Py-Cpy	0				
DER121					272.3	273.6	AND	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2	0.009	91	0.015	
DER121	273.6	274	VET	Cpy-Py-(Mo)	273.6	274	VET	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2				
DER121					274	284.35	AND	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2	0.006	57	0.010	
DER121					284.35	302	USED	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,6,7	0.015	152	0.025	
DER121					302	313.6	USED	PRI	Py-Cpy-Mo	2,3,7,9	0.047	474	0.079	
DER121					313.6	330.2	AND	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2	0.007	71	0.012	
DER121					330.2	366	USED	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.015	151	0.025	
DER121					366	368.1	AND	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2	0.008	75	0.013	
DER121	376	384	ZF	rmol	368.1	376.2	TOB	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,7	0.017	169	0.028	
DER121					376.2	396	USED	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.017	172	0.029	
DER121					396	400	USED	PRI	Py-Cpy-Mo	2,3,6,7	0.034	336	0.056	
DER121					400	404	USED	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.016	159	0.027	
DER121					404	413	USED	PRI	Py-Cpy-Mo	2,3,6,7	0.031	305	0.051	
DER121					413	424.1	TOB	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.016	162	0.027	
DER121					424.1	430.4	USED	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.011	111	0.019	
DER121					430.4	439.4	TOB	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.011	110	0.018	

BIDD	Desde	Hasta	Fondo Alt. Selectiva					Alteración Pervasiva																								
			Preca-F	Fondo Propulsivo-PP	Fondo Inactivo-FK	Subsidio QSS-QS	Selectivo, Replicar-SA	Manifiesto-BNF	Intensidad	ocurrencia	Sham-SK	Intensidad	ocurrencia	Dv. Fedt.-K	Intensidad	ocurrencia	Dv. Blo.-B	Intensidad	ocurrencia	Serchita Gris Verde-SOS	Intensidad	ocurrencia	Cuadro Serchita-QS	Intensidad	ocurrencia	Verdillo-A	Intensidad	ocurrencia	Verdillo Avanzad-AA	Intensidad	ocurrencia	
DER121	82	102					20															60	F	P	20	M	P					
DER121	102	110					20															70	F	P	10	M	P					
DER121	110	121.5					20															80	F	P								
DER121	121.5	142.3					20								25	M	P					50	F	P	5	M	P					
DER121	142.3	145.6																				90	F	P	10	M	P					
DER121	145.6	163.5					20															60	F	P	20	M	P					
DER121	163.5	163.6																														
DER121	163.6	218					10											10	F	H		50	F	P	30	M	P					
DER121	218	235.35			5		5											50	F	P		20	M	P	20	M	P					
DER121	235.35	235.65																														
DER121	235.65	252.5			15		15							15	F	P						40	F	P	10	M	H	5	M	P		
DER121	252.5	268						30	F	P					60	F	P									10	M	P				
DER121	268	271					20								40	F	P					10	F	V	30	M	P					
DER121	271	272.3																														
DER121	272.3	273.6					20								10	M	P					70	F	P								
DER121	273.6	274																														
DER121	274	284.35					10								60	F	P					30	F	P								
DER121	284.35	302													50	F	P					20	M	P	30	M	P					
DER121	302	313.6													70	F	P								30	M	P					
DER121	313.6	330.2													80	F	P								20	M	P					
DER121	330.2	366												60	F	P									10	M	P					
DER121	366	368.1													50	F	P					20	M	P	30	M	P					
DER121	368.1	376.2					10											50	F	P		30	F	P	10	M	P					
DER121	376.2	396						20	F	P				60	F	P						10	F	V	10	M	P					
DER121	396	400						20	F	P				60	F	P						10	F	V	10	M	P					
DER121	400	404					20																									
DER121	404	413					20								80	F	P							30	F	P						
DER121	413	424.1					10																	80	F	P	10	M	P			
DER121	424.1	430.4													40	F	P							10	F	V	10	M	P			
DER121	430.4	439.4					10															40	F	P	30	F	P	20	M	P		

BHID	Desde	Hasta	Estructura	Relleno	Desde	Hasta	Litología	Zona Mineral	Asoc. Sulfuros [Mo]	Estilo de min. Molibdenita	Ley Mo [%]	Mo [ppm]	Molibdenita [%]	Observaciones
DDH249	6	11.5	ZF	rmol	6	10	PCO	SECD	Cc-Py	0	0.001	15	0.002	
DDH249					10	18	PCO	PRIPY	Py-Cpy	0	0.007	66	0.011	
DDH249					18	24	PCO	PRIPY	Py	2	0.003	33	0.005	
DDH249					24	36	PCO	PRIPY	Py-Cpy	0	0.008	79	0.013	
DDH249					36	56	PCO	PRIPY	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.004	43	0.007	
DDH249	74.2	86	F	BRF	56	74	PCO	PRIPY	Py-Cpy	2	0.005	48	0.008	
DDH249					74	86	PCO	PRIPY	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.011	107	0.018	
DDH249					86	102	SI				0.013	126	0.021	
DDH249	102	102.4	F	BRF	102	120	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7	0.020	195	0.033	
DDH249	102.4	106.2	ZF	rmol	120	126	SI				0.033	325	0.054	
DDH249	106.2	116.3	F	molfino	126	138	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.021	212	0.035	
DDH249					138	154	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,7	0.033	325	0.054	
DDH249					154	184	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,6,7	0.041	412	0.069	
DDH249					184	190	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,7	0.034	344	0.057	
DDH249					190	194	PCO	SECD	Py-Bn-Cc-(Mo)	2,3,4,7	0.034	337	0.056	
DDH249	196	198	ZV	Py-Mo	194	222	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	1,2,3,5,6,9	0.078	782	0.130	
DDH249	204	206	ZV	Py-Mo	222	230	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7	0.024	239	0.040	
DDH249					230	266	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,6,7,9	0.054	545	0.091	
DDH249					266	286	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,6,7	0.042	423	0.070	
DDH249					286	290	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,7	0.053	526	0.088	
DDH249					290	296	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.018	176	0.029	
DDH249					296	304	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,7	0.035	353	0.059	
DDH249					304	328	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.015	152	0.025	
DDH249					328	344	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,6,7	0.039	388	0.065	
DDH249					344	348	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.017	172	0.029	
DDH249					348	350	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,6,7	0.141	1407	0.235	
DDH249					350	364	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.019	192	0.032	
DDH249	366.3	369.8	F	molfino	364	370	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7	0.023	233	0.039	
DDH249					370	376	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,7	0.036	364	0.061	
DDH249					376	380	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.016	163	0.027	

BHID	Desde	Hasta	Estructura	Relleno	Desde	Hasta	Litología	Zona Mineral	Asoc. Sulfuros [Mo]	Estilo de min. Molibdenita	Ley Mo [%]	Mo (ppm)	Molibdenita [%]	Observaciones
DDH436					120	122.4	TOB	SECD	Py-Cc-Cpy-(Mo)	2	0.006	58	0.010	
DDH436					122.4	138	TOB	SECF	Py-Cc-(Mo)	2,7	0.008	75	0.013	
DDH436					138	140	TOB	SECD	Py-Cc-Cpy-(Mo)	2,7	0.012	117	0.020	
DDH436					140	151.5	TOB	SECD	Py-Cc-Cpy-(Mo)	2	0.008	79	0.013	
DDH436					151.5	152	PRO	SECD	Py-Cc-Cpy-(Mo)	2	0.005	49	0.008	
DDH436					152	158	TOB	SECF	Py-Cc-(Mo)	2,7	0.014	144	0.024	
DDH436					158	160	PCO	SECF	Py-Cc-(Mo)	2	0.003	31	0.005	
DDH436					160	162	PCO	SECD	Py-Cc-Cpy-(Mo)	2,7	0.019	187	0.031	
DDH436					162	165.5	PCO	SECF	Py-Cc-(Mo)	2	0.005	47	0.008	
DDH436					165.5	167.3	PRO	SECF	Py-Cc-(Mo)	2,3,4,7	0.080	803	0.134	Contacto PCO-PRO
DDH436					167.3	170	PCO	SECF	Py-Cc-(Mo)	2,3,7	0.003	29	0.005	
DDH436					170	174	PCO	SECF	Py-Cc-(Mo)	2,3,7	0.016	164	0.027	
DDH436	174	184.45	ZF	rmol	174	184	PCO	SECF	Py-Cc-(Mo)	2	0.011	109	0.018	
DDH436					184	189	PCO	SECD	Py-Cc-Cpy-(Mo)	2,3,7	0.026	261	0.044	Contacto PCO-PRO
DDH436					189	191.5	PRO	SECD	Py-Cc-Cpy-(Mo)	2	0.006	60	0.010	
DDH436					191.5	196	PCO	SECF	Py-Cc-(Mo)	2,7	0.016	163	0.027	
DDH436	198	200	F	BRF	196	200	PCO	SECF	Py-Cc-(Mo)	2	0.020	196	0.033	
DDH436					200	210	SI				0.016	165	0.027	
DDH436					210	220	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,6,7	0.021	215	0.036	
DDH436					220	242	PCO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,7	0.009	91	0.015	
DDH436					242	250	SI				0.023	235	0.039	
DDH436					250	253.5	PCO	SECD	Py-Cc-Cpy-(Mo)	2,7	0.019	191	0.032	
DDH436					253.5	258	PCO	SECD	Py-Cc-Bn-(Mo)	2	0.006	58	0.010	
DDH436					258	262	PCO	PRIPY	Py-(Mo)	2,7	0.015	154	0.026	
DDH436					262	270	TOB	PRIPY	Py-(Mo)	2	0.005	55	0.009	
DDH436					270	280	SI				0.010	96	0.016	
DDH436					280	282	AND	PRI	Py-Cpy-(Mo)	7	0.006	57	0.010	
DDH436					282	285.75	USED	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,6,7	0.015	154	0.026	
DDH436	291	296	ZF	rmol	285.75	294	PCO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,7	0.018	182	0.030	
DDH436					294	298.1	AND	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,7	0.010	104	0.017	

RUID	Desde	Hasta	Fondo Alt. Selectiva							Alteración Pervasiva																	
			Fresca-F	Fondo Propilico-PP	Fondo Antiguo-FK	Salvador-QS-SQP	Salvador-Argibon-NA	Manabí-BNF	intensidad	ocurrencia	Suavizante	intensidad	ocurrencia	Pro. Bío-B	intensidad	ocurrencia	Serfida Gris Verde-SV	intensidad	ocurrencia	Curso Serfida-QS	intensidad	ocurrencia	Argibon-A	intensidad	ocurrencia	Argibon-Avanzat-AA	intensidad
DDH436	120	122.4					20												80	F	P						
DDH436	122.4	138					10												90	F	P						
DDH436	138	140					20												80	F	P						
DDH436	140	151.5					20												80	F	P						
DDH436	151.5	152					15												85	F	P						
DDH436	152	158					10												90	F	P						
DDH436	158	160					10												40	F	P	50		M		P	
DDH436	160	162					30												70	F	P						
DDH436	162	165.5					10												90	F	P						
DDH436	165.5	167.3					20												80	F	P						
DDH436	167.3	170					20												80	F	P						
DDH436	170	174					10												90	F	P						
DDH436	174	184					10												90	F	P						
DDH436	184	189			10		10												80	F	P						
DDH436	189	191.5			10		10												80	F	P						
DDH436	191.5	196					10												90	F	P						
DDH436	196	200					20												80	F	P						
DDH436	200	210																									
DDH436	210	220					20							30	F	P				50	F	P					
DDH436	220	242					40							40	F	P			10	F	P						
DDH436	242	250																									
DDH436	250	253.5					10													90	F	P					
DDH436	253.5	258					10													90	F	P					
DDH436	258	262					10													90	F	P					
DDH436	262	270					5													95	F	P					
DDH436	270	280																									
DDH436	280	282	10					30	M	P									60	F	P						
DDH436	282	285.75			10		10												80	F	P						
DDH436	285.75	294					30							60	F	P				10	F	P					
DDH436	294	298.1	10					30	M	P									60	F	P						

BHID	Desde	Hasta	Estructura	Relleno	Desde	Hasta	Litología	Zona Mineral	Asoc. Sulfuros [Mo]	Estilo de min. Molibdenita	Ley Mo [%]	Mo [ppm]	Molibdenita [%]	Observaciones
C049					560	570.1	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,7	0.029	290	0.048	
C049	570.1	576	ZF	rmol	570.1	576	PRO	PRI	Py-Cpy-(Mo)	2,3,4,7	0.024	237	0.039	
C049					576	586.3	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,6,7,9	0.062	620	0.103	
C049					586.3	595.3	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,6,7	0.029	292	0.049	
C049					595.3	610	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,6,7,9	0.077	769	0.128	
C049					610	632	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,6,7	0.054	539	0.090	
C049					632	650	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,7	0.045	454	0.076	
C049					650	666	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,4,5,6,7	0.039	391	0.065	
C049					666	690	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,6,7	0.032	318	0.053	
C049					690	702	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,6,7	0.020	202	0.034	
C049					702	736	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2.7	0.019	191	0.032	
C049					736	742	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2.7	0.015	153	0.026	
C049					742	756	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2.7	0.013	130	0.022	
C049					756	758	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,7,9	0.210	2100	0.350	
C049					758	768	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2.7	0.019	192	0.032	
C049					768	774	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,7,9	0.254	2543	0.424	
C049					774	806	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,4,7	0.025	249	0.042	
C049					806	828	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,7,9	0.119	1195	0.199	
C049					828	844	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	1,2,7	0.021	210	0.035	
C049					844	864	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,7,9	0.073	728	0.121	
C049					864	868	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2.7	0.012	115	0.019	
C049					868	896	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,6,7	0.031	313	0.052	
C049					896	902	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2.7	0.010	103	0.017	
C049					902	916	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,7	0.025	246	0.041	
C049					916	922	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,4,7	0.035	347	0.058	
C049					922	937	PRO	PRI	Cpy-Bn-(Mo)	2,3,4,7	0.032	324	0.054	

ANEXO III. Cartilla de mapeo geológico de bancos. Se registraron las variables litología, asociación mineral (Minzone), alteración dominante y estilo de mineralización de molibdenita dominante y secundaria en cada punto de control.

puntos de control	Coordenada Este (X)	Coordenada Norte (Y)	Coordenada Altura (Z)	Lito	Alt_Dominante	Asoc. Sulf.	Oc_Dominante_Mo	Oc_Secundaria_Mo
pto_01	30972.657	81638.136	4165.261	USED	B	Cpy-Py ± Mo	2	0
pto_02	30951.636	81652.376	4164.984	USED	SKARN	Bn-Cpy ± Py	0	0
pto_03	30925.825	81656.938	4158.863	USED	B	Bn-Cpy ± Py	0	0
pto_04	30906.675	81670.795	4156.814	USED	B	Cpy-Py ± Mo	2	0
pto_05	30894.929	81678.656	4155.803	USED	B	Cpy-Py ± Mo	2	7
pto_06	30867.231	81697.518	4152.327	USED	HNF	Cpy-Py ± Bn	0	0
pto_07	30843.474	81711.05	4149.394	USED	HNF	Cpy-Py ± Bn	0	0
pto_08	30787.05	81726.917	4144.907	USED	HNF	Cpy-Py ± Bn	0	0
pto_09	30755.949	81726.697	4142.754	USED	HNF	Cpy-Py ± Bn	0	0
pto_10	30735.74	81719.75	4141.384	USED	K	py-Py ± Bn ± M	3	1
pto_11	30720.869	81703.646	4139.951	USED	B	Cpy-Py ± Bn	2	0
pto_12	30684.723	81662.182	4135.24	USED	B	Cpy-Py ± Bn	2	0
pto_13	30654.638	81613.187	4129.352	TOB	K	Bn-Cpy ± Mo	3	9
pto_14	30630.18	81575.721	4125.253	SI	SI	SI	SI	SI
pto_15	30609.266	81534.899	4120.925	TOB	SGV	Bn-Cpy ± Py	7	2
pto_16	30577.422	81479.927	4114.728	PRO	K	py-Py ± Bn ± M	7	2
pto_17	30574.39	81434.46	4110.865	PRO	K	py-Py ± Bn ± M	7	2
pto_18	30587.47	81386.05	4107.13	PRO	K	Bn-Cpy ± Mo	3	1
pto_19	30598.68	81333.63	4101.868	PRO	K	Bn-Cpy ± Mo	3	7
pto_20	30604.7	81315.2	4099.243	SI	SI	SI	SI	SI
pto_21	30612.63	81297.93	4097.122	PCO	QS	py-Py ± Bn ± M	7	3
pto_22	30624.63	81267.28	4093.32	PCO	QS	py-Py ± Bn ± M	7	3
pto_23	30632.71	81241.99	4089.387	PCO	SGV	Bn-Cpy ± Mo	7	6
pto_24	30644.72	81210.2	4085.843	PCO	SGV	Bn-Cpy ± Mo	7	2
pto_25	30644.72	81209.76	4086.958	PCO	QS	Bn-Cpy ± Mo	3	9
pto_26	30673.38	81160.58	4081.952	PCO	K	Bn-Cpy ± Mo	3	7
pto_27	30710.87	81130.01	4078.311	PCO	QS	Bn-Cpy ± Mo	3	7
pto_28	30922	81090	4060	PRO	QS	Bn-Py ± Mo	3	1
pto_29	30981.24	81081.25	4060	PRO	QS	Bn-Py ± Mo	3	9
pto_30	30992	81071	4060	PRO	K	Bn-Cpy ± Mo	3	1
pto_31	31080	81124	4060	PRO	QS	Bn-Cpy ± Mo	3	9
pto_32	31127.36	81152.49	4060	PRO	K ± QS	Bn-Cpy ± Mo	3	1
pto_33	31147.71	81159.15	4060	PCO	K ± QS	Bn-Cpy ± Mo	3	1
pto_34	31205.49	81202.37	4060	PRO	K ± QS	Bn-Cpy ± Mo	3	1
pto_35	31143.33	81265.31	4060	PRO	SGV	Bn-Cpy ± Mo	3	9
pto_36	31114.8	81306.84	4060	PRO	SGV	Bn-Cpy ± Mo	3	9
pto_37	31068.17	81337.68	4055	PRO	SGV	Bn-Cpy ± Mo	3	1
pto_38	30925.66	81403.68	4033	USED	B	Bn-Cpy ± Mo	3	7
pto_39	30829.62	81519.3	4044	TOB	K	Bn-Cpy ± Mo	7	3
pto_40	31542	80889.72	4240	PCO	SGV	py-Py ± Bn ± M	2	0
pto_41	30067	81171	4330	AND	Pp	Py ± Cpy	0	0
pto_42	30073	81218	4330	AND	Pp	Py ± Cpy	0	0
pto_43	30070	81228	4330	AND	Pp	Py ± Cpy	0	0
pto_44	30074	81270	4330	AND	Pp	Py ± Cpy	0	0
pto_45	30069	81304	4330	TOB	QS	Py ± Cpy	0	2
pto_46	30065	81398	4330	AND	Pp	Py ± Cpy	0	0
pto_48	30067	81462	4330	AND	Pp	Py ± Cpy	0	0

ANEXO IV. Tabla resumen con las evaluaciones geológicas y químicas de la base de datos de Rosario en las unidades geológicas de molibdeno definidas posteriormente al periodo de adquisición de datos y construcción del modelo conceptual.

Cronología	Unidad Geológica	Parametros Geológicos												
		MINZN UG	MINZN Sondajes [% en UG]	LITO UG	LITO Sondajes [% en UG]	ALT UG	ALT Sondajes [% en UG]	OCURRENCIA Mo	TIPO VET. [% en UG]					Asoc. Min. Sulf.
									A	B	C	D	E	
Etapa TM	UGMo1	PRI	84 PRI	PRO	68 PRO	K/QS ± SGV	25 QS	1,2,3,4,7 ± 9	28	4	0	1	0	Bn - Cpy
			9 PRIPY		11 PCO		24 K							
			1 SEC		8 USED		15 CS							
Etapa TMT a HP	UGMo2	PRI	86 PRI	PRO/PCO	55 PRO	QS ± SGV/A	44 QS	1,3,4,5,6 ± 9,8	12	41	8	16	0.3	Bn - Cpy
			8 PRIPY		30 PCO		16 CS							
			2 SEC		5 TOB		14 A							
	UGMo3	PRI	93 PRI	PRO/TOB+DAC	50 DAC	QS ± B/SGV	37 QS	1,3,4,5,6 ± 9,8	27	30	2	15	0.5	Cpy - Py
			5 PRIPY		21 PRO		17 B							
			1 SEC		18 TOB		12 CS							
	UGMo4	PRI	91 PRI	PRO/USED	46 USED	B/QS ± A	21 B	1,3,4,5,6 ± 9,8	19	17	4	46	0	Cpy - Py
			3 PRIPY		15 TOB		18 QS							
			1 SEC		7 PRO		15 A							
	UGMo5	PRI	97 PRI	PRO/AND	41 AND	HNF/QS ± FK	23 HNF	2,6,7 ± 9	25	33	1	14	0	Cpy - Py
			3 SI		23 DAC		21 QS							
					12 TOB / 4 PRO		13 FK							
	UGMo6	PRI	93 PRI	PCO/TOB+DAC	36 DAC	QS/B ± A	39 QS	1,3,4,5,6 ± 9,8	38	11	3	11	0	Bn - Cpy
			5 PRIPY		33 TOB		35 B							
			1 SEC		4 PCO		9 A							
	UGMo7	PRI	94 PRI	PCO/USED	75 USED	SK/B ± QS	34 SK	1,3,4,5,6 ± 9,8	18	7	4	18	0	Cpy - Py
			2 SEC		7 TOB		23 B							
			1 EST		4 PCO		10 QS							
	UGMo8	PRI	98 PRI	PCO/AND	64 AND	QS/SGV ± B	37 QS	2,6,7 ± 9	0	0	0	28	0	Cpy - Py
			2 SEC		15 TOB		33 CS							
					6 USED		21 B							
	UGMo9	PRI	87 PRI	USED + TOB + DAC + AND [Primario distal al contacto del sistema Pórfido]	48 USED	B/QS ± SK	24 B	2,7 ± 3	58	3	0	8	0	Cpy - Py
			5 PRIPY		18 DAC		22 QS							
			2 SEC		13 AND		16 SK							
HP	UGMo10	PRIPY ± SEC ± ZPY	22 ZPY	USED + TOB + AND	35 AND	Pp/A ± QS	32 P	0 ± 2	1.5	0.5	0	19	0.8	Py - Cpy
			20 LIX / 20 SEC		26 TOB		30 A							
			12 PRIPY / 8 PRI		16 USED		21 QS							
HT	UGMo11	PRI ± SEC	89 PRI	PRO/PCO	22 PRO	QS/Ag	38 QS	3,4,6 ± 9	3	22	16	37	1.4	Bn - Cpy / Bn - Py
			3 SEC		44 PCO		37 A							
			1 PRIPY		11 AND		7 CS							

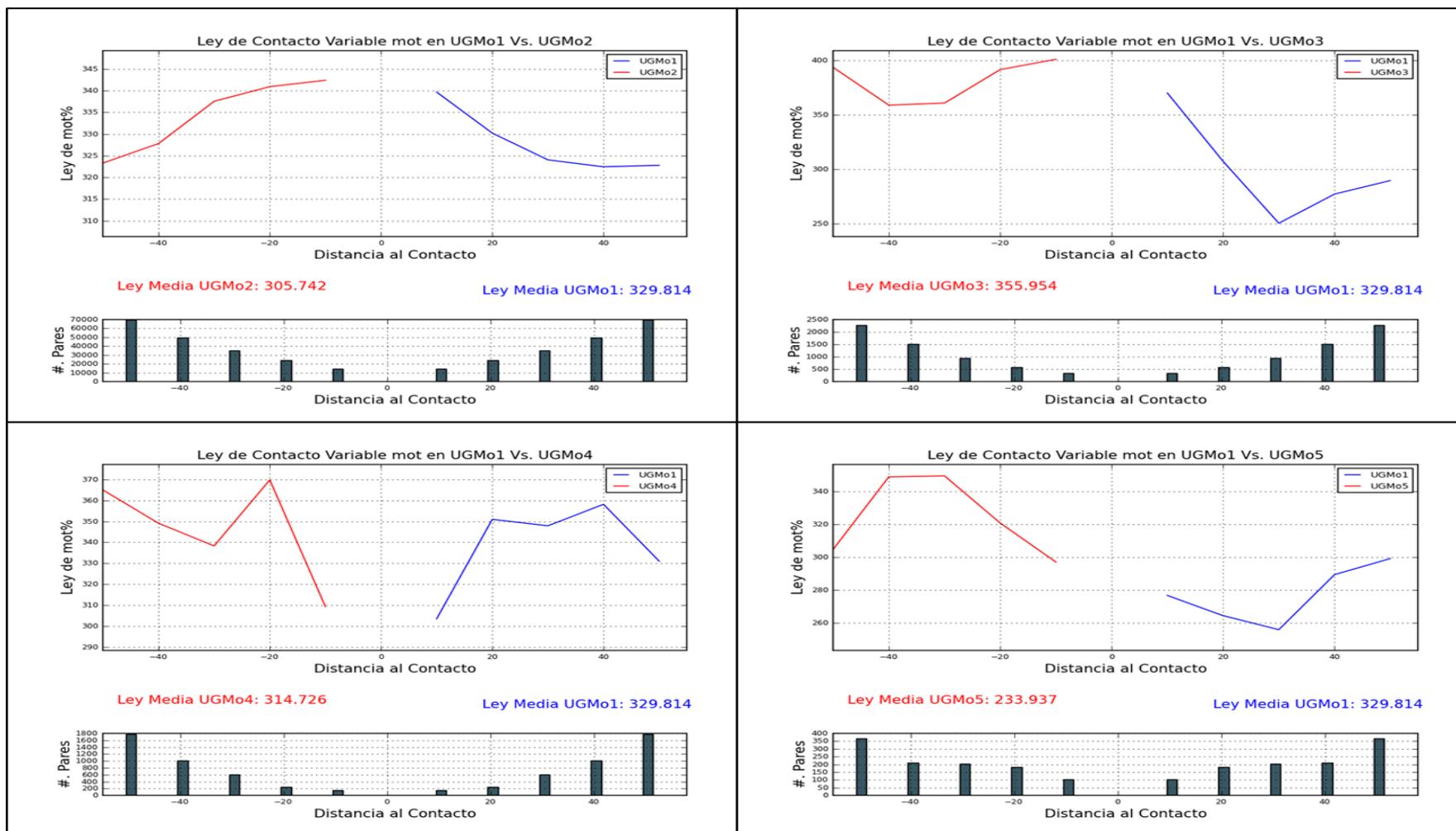
Cronología	Unidad Geológica	Parametros Químicos [Promedio en UGs]					
		CuT [wt. %]	MoT [ppm]	FeT [wt. %]	As [ppm]	Au [g/t]	Ag [g/t]
Etapa TM	UGMo1	1.09	287.32	2.47	83.74	88.62	4.38
Etapa TMT a HP	UGMo2	1.15	379.49	2.41	47.72	88.16	5.09
	UGMo3	0.93	312.00	2.88	25.73	51.06	3.33
	UGMo4	1.07	290.33	3.51	40.92	77.21	4.58
	UGMo5	0.73	125.77	4.37	13.04	30.67	1.81
	UGMo6	0.62	229.32	2.83	13.40	24.42	1.89
	UGMo7	1.01	287.56	4.32	19.10	47.02	19.10
	UGMo8	0.69	390.34	5.26	38.24	30.83	1.84
	UGMo9	0.55	123.90	4.06	12.04	17.69	1.97
	HP	UGMo10	0.42	15.82	5.12	224.45	25.77
HT	UGMo11	1.63	231.68	4.44	127.40	125.33	11.39

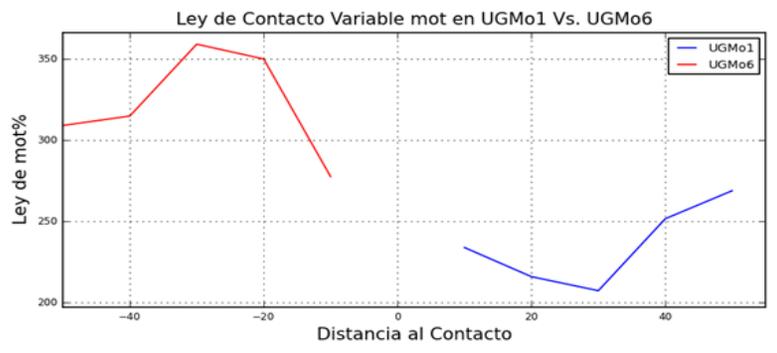
ANEXO V. Indicadores de modelamiento. Los indicadores de modelamiento agrupan las variables químicas y geológicas condicionantes para generar filtros necesarios en la base de datos del yacimiento. De esta manera, se genera una categorización para cada unidad geológica según los parámetros geológicos y químicos correspondientes a cada unidad.

Indicador UGMo1				Indicador UGMo3				Indicador UGMo5			
Parámetros Geológicos		Parámetros Químicos		Parámetros Geológicos		Parámetros Químicos		Parámetros Geológicos		Parámetros Químicos	
Litología	PRO	MoT	-	Litología	TOB + DAC	MoT	> 250 ppm	Litología	AND	MoT	-
Alteración	K + FK	CuT	-	Alteración	QS + B + SGV	CuT	-	Alteración	HNF + QS + FK + P	CuT	≤ 1%
Minzone	PRI	FeT	-	Minzone	PRI	FeT	-	Minzone	PRI	FeT	-
Estructuras	-	As	-	Estructuras	-	As	-	Estructuras	-	As	-
RQD	-	Au	-	RQD	-	Au	-	RQD	-	Au	-
FF	-	Ag	-	FF	-	Ag	-	FF	-	Ag	-
Oc.Mo	3_dominante + 1_secundario			Oc.Mo	3_dominante + 7_secundario ± 6_terciario			Oc.Mo	3_dominante + 7_secundario		
Indicador UGMo2				Indicador UGMo4				Indicador UGMo6			
Parámetros Geológicos		Parámetros Químicos		Parámetros Geológicos		Parámetros Químicos		Parámetros Geológicos		Parámetros Químicos	
Litología	PRO + PCO	MoT	≥ 250 ppm	Litología	USED	MoT	-	Litología	TOB + DAC	MoT	≤ 250ppm
Alteración	QS + A + SGV	CuT	-	Alteración	B + QS + A + Q	CuT	-	Alteración	QS + B + A	CuT	≤ 1%
Minzone	PRI	FeT	-	Minzone	PRI	FeT	-	Minzone	PRI	FeT	-
Estructuras	-	As	-	Estructuras	-	As	-	Estructuras	-	As	-
RQD	-	Au	-	RQD	-	Au	-	RQD	-	Au	-
FF	-	Ag	-	FF	-	Ag	-	FF	-	Ag	-
Oc.Mo	3_dominante + 9_secundario ± 1_terciario			Oc.Mo	3_dominante + 7_secundario ± 6_terciario			Oc.Mo	7_dominante + 6_secundario ± 3_terciario		

Indicador UGMo7				Indicador UGMo8				Indicador UGMo9			
Parámetros Geológicos		Parámetros Químicos		Parámetros Geológicos		Parámetros Químicos		Parámetros Geológicos		Parámetros Químicos	
Litología	USED	MoT	-	Litología	AND	MoT	> 180 ppm	Litología	USED + AND + TOB + DAC	MoT	≤ 180 ppm y > 70 ppm
Alteración	SK + B + QS	CuT	-	Alteración	B + QS + SGV + P	CuT	≤ 1%	Alteración	B + QS + SKARN + HNF + P + A + K	CuT	≤ 1%
Minzone	PRI	FeT	-	Minzone	PRI	FeT	-	Minzone	PRI	FeT	-
Estructuras	-	As	-	Estructuras	-	As	-	Estructuras	-	As	-
RQD	-	Au	-	RQD	-	Au	-	RQD	-	Au	-
FF	-	Ag	-	FF	-	Ag	-	FF	-	Ag	-
Oc.Mo	7_dominante + 2_secundario ± 3_terciario			Oc.Mo	7_dominante + 0_secundario			Oc.Mo	7_dominante + 2_secundario ± 3_terciario		
Indicador UGMo10				Indicador UGMo11							
Parámetros Geológicos		Parámetros Químicos		Parámetros Geológicos		Parámetros Químicos					
Litología	TODAS	MoT	≤ 70 ppm	Litología	PRO + PCO	MoT	≥ 180 ppm				
Alteración	TODAS	CuT	≤ 1%	Alteración	A	CuT	-				
Minzone	TODAS menos PRI	FeT	-	Minzone	PRI	FeT	-				
Estructuras	-	As	≥ 150 ppm	Estructuras	SI + FAL + FRAC + BRE + VET	As	≥ 100 ppm				
RQD	-	Au	-	RQD	3 - 8 - 13	Au	≥ 75 g/t				
FF	-	Ag	-	FF	7 - 8 - 10	Ag	-				
Oc.Mo	0_dominante + 2_secundaria			Oc.Mo	3_dominante + 9_secundario ± 6_terciario						

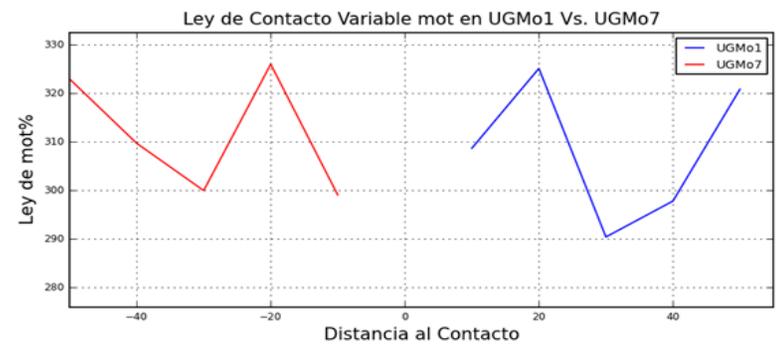
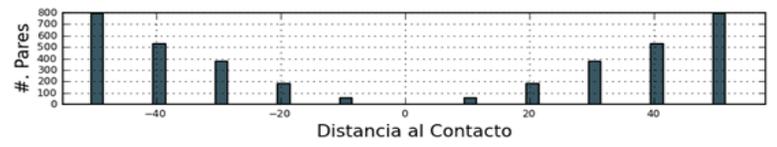
ANEXO VI. Gráficos de análisis de distancia al contacto entre unidades geológicas de molibdeno. Un total de 55 contactos entre unidades son mostrados para la evaluación del molibdeno total [ppm]. Estos enseñan los valores promedio en el contacto de dos unidades geológicas de molibdeno, dentro de un intervalo de 10 m la comparación se realiza entre pares de muestras con el mismo valor de distancia al contacto.





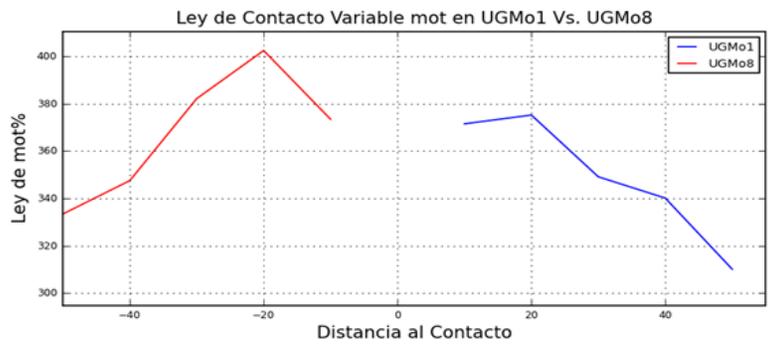
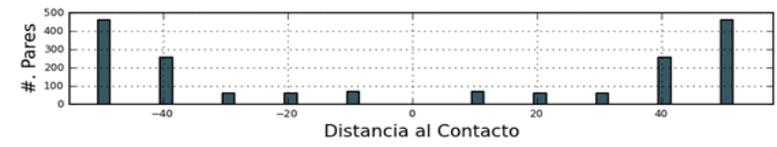
Ley Media UGMo6: 239.526

Ley Media UGMo1: 329.814



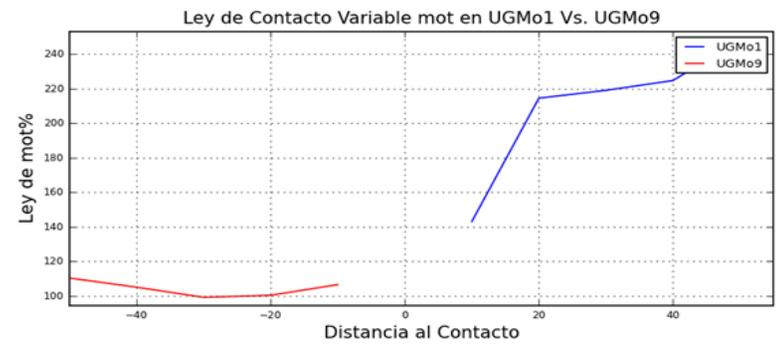
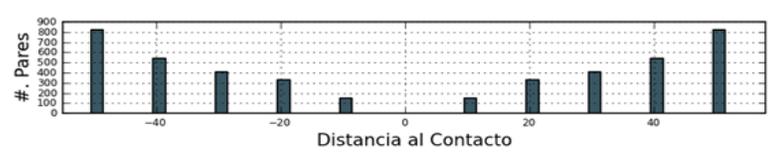
Ley Media UGMo7: 292.932

Ley Media UGMo1: 329.814



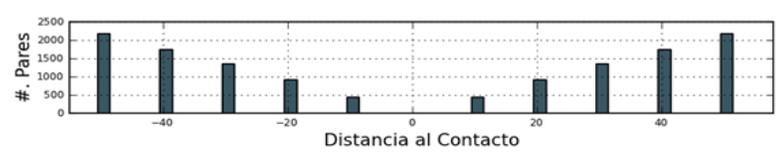
Ley Media UGMo8: 276.808

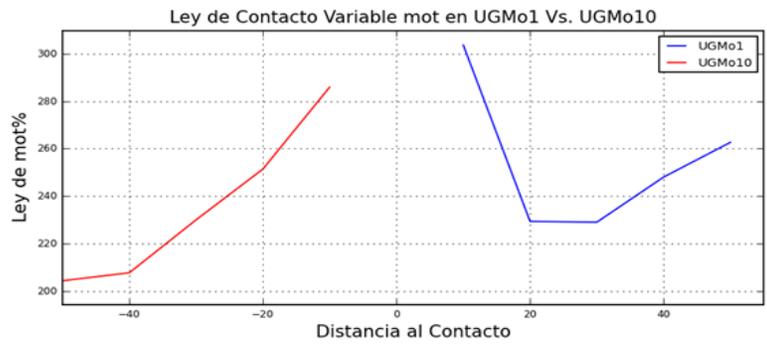
Ley Media UGMo1: 329.814



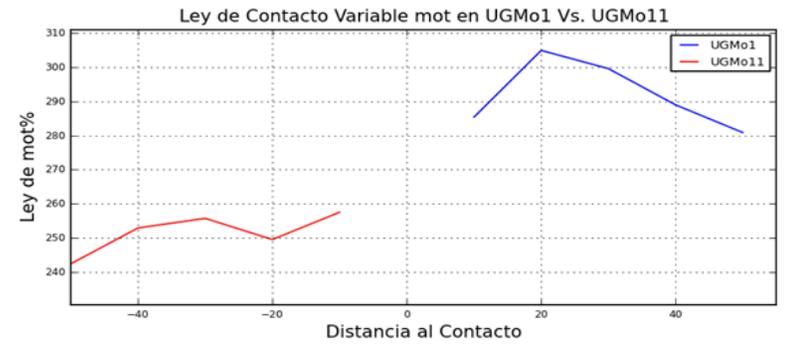
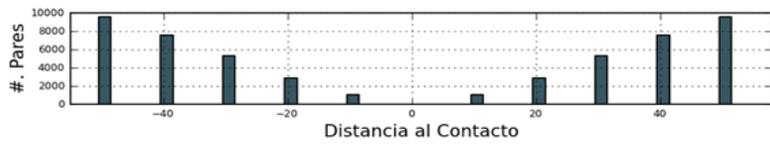
Ley Media UGMo9: 83.5182

Ley Media UGMo1: 329.814

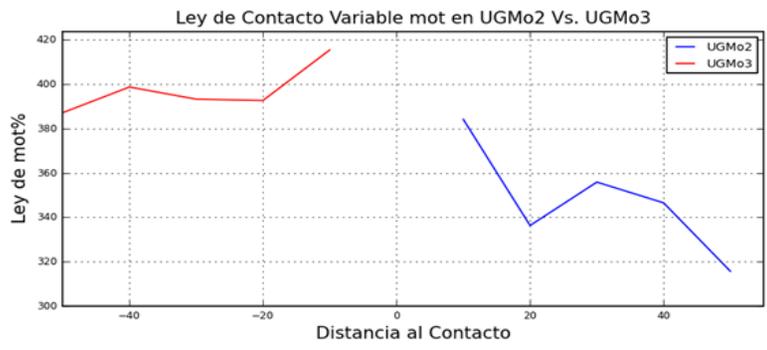
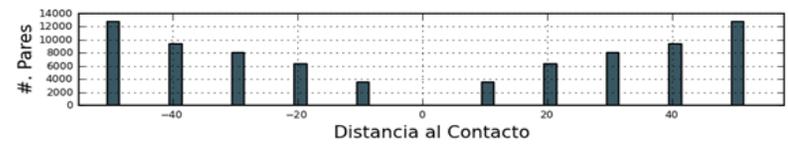




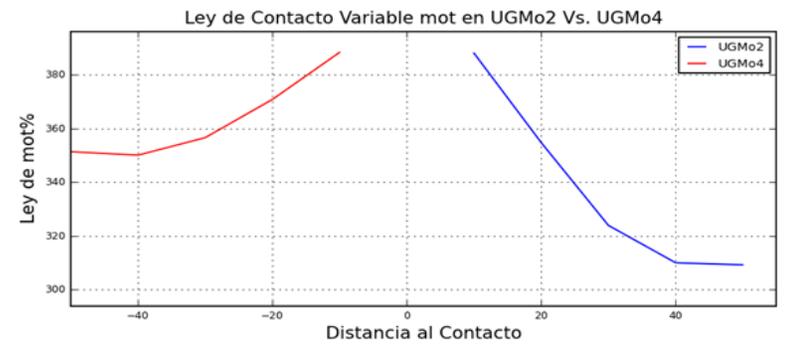
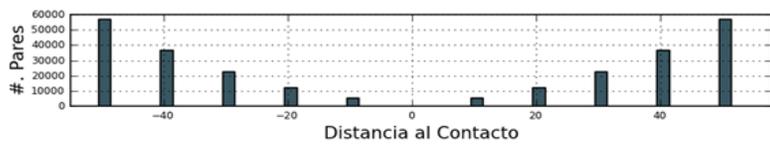
Ley Media UGMo10: 24.4776 Ley Media UGMo1: 329.814



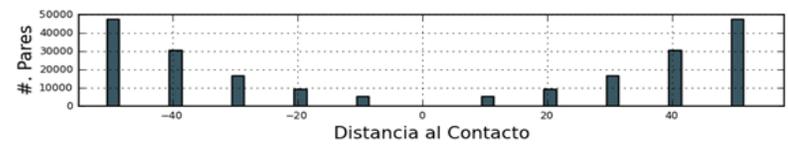
Ley Media UGMo11: 174.653 Ley Media UGMo1: 329.814

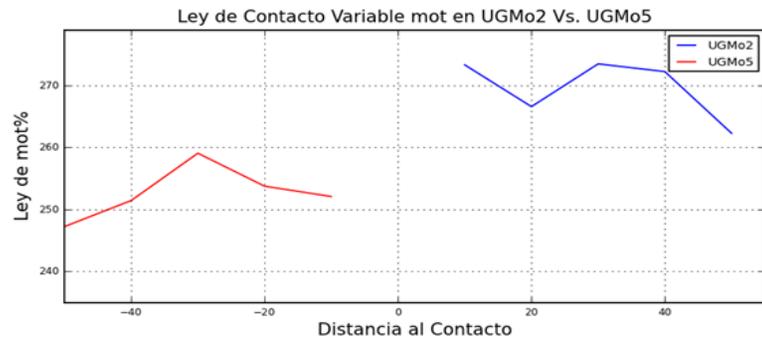


Ley Media UGMo3: 355.954 Ley Media UGMo2: 305.742



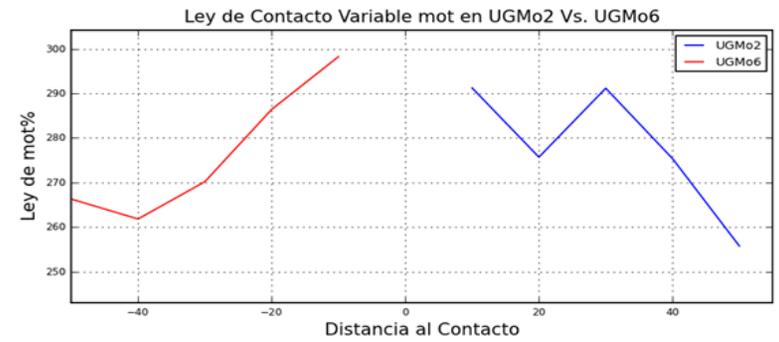
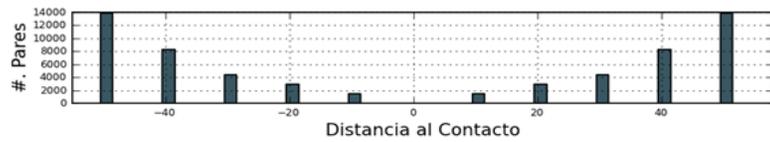
Ley Media UGMo4: 314.726 Ley Media UGMo2: 305.742





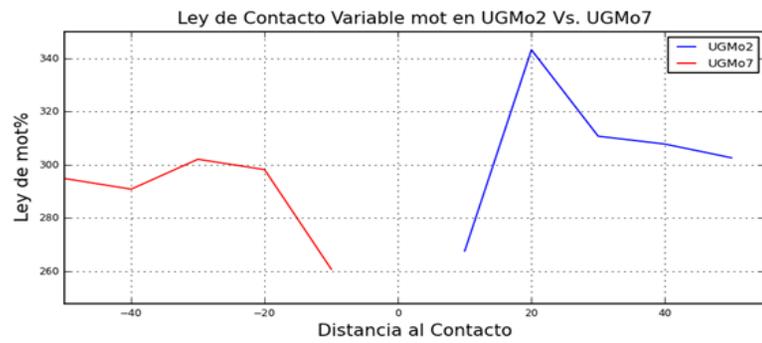
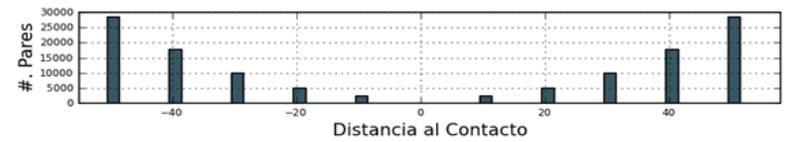
Ley Media UGMo5: 233.937

Ley Media UGMo2: 305.742



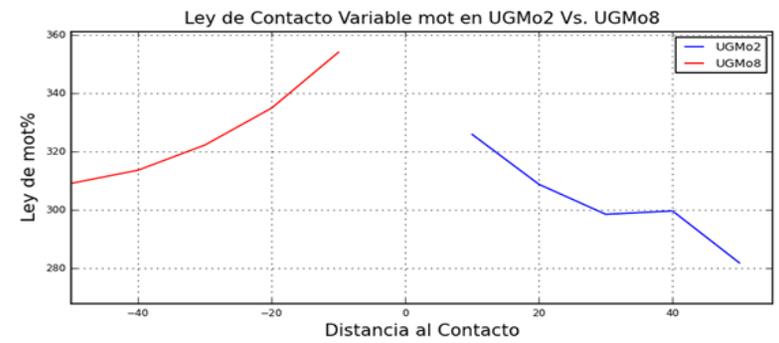
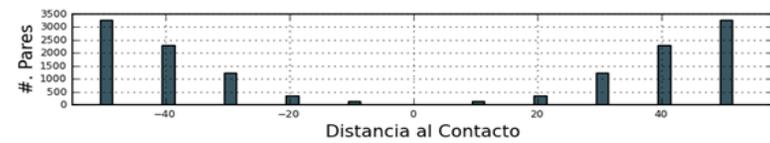
Ley Media UGMo6: 239.526

Ley Media UGMo2: 305.742



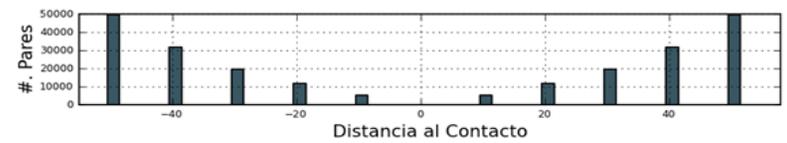
Ley Media UGMo7: 292.932

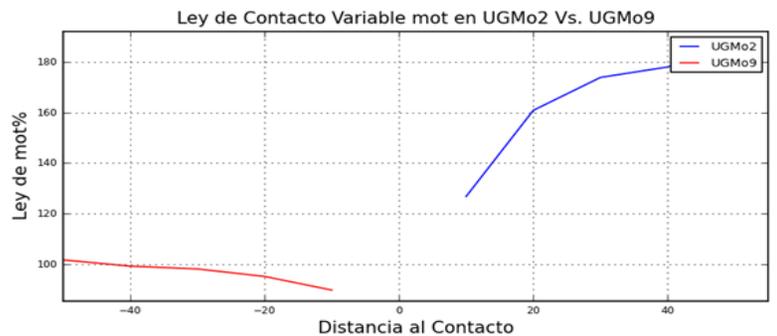
Ley Media UGMo2: 305.742



Ley Media UGMo8: 276.808

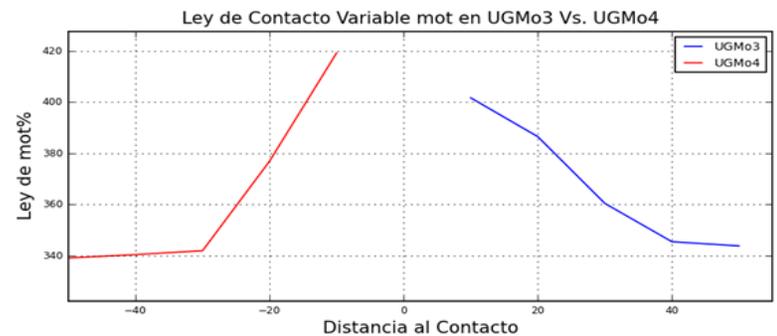
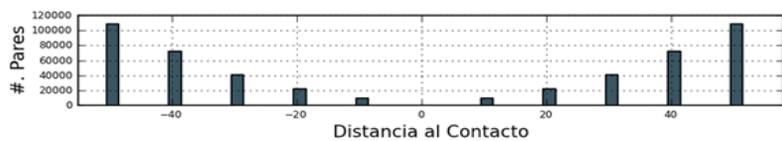
Ley Media UGMo2: 305.742





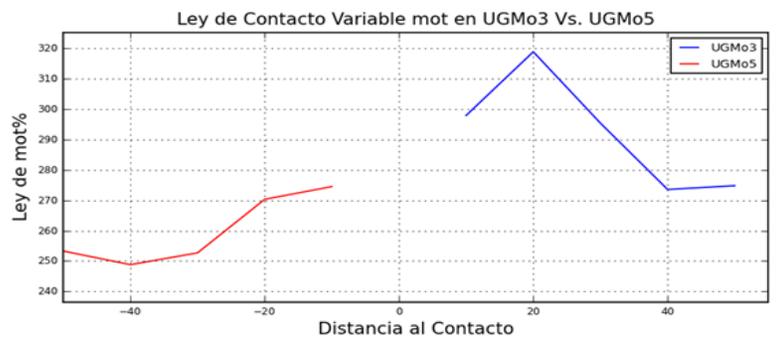
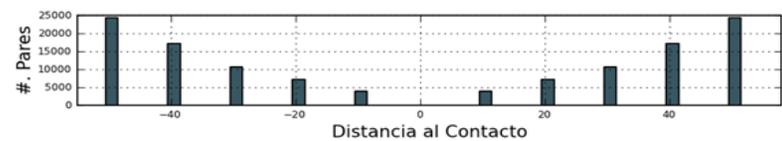
Ley Media UGMo9: 83.5182

Ley Media UGMo2: 305.742



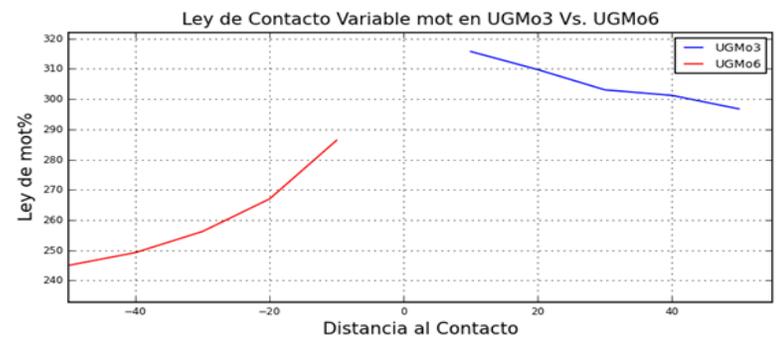
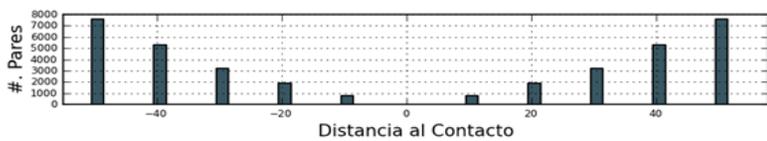
Ley Media UGMo4: 314.726

Ley Media UGMo3: 355.954



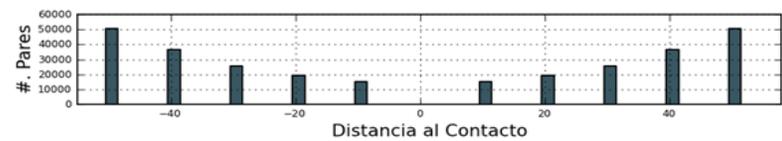
Ley Media UGMo5: 233.937

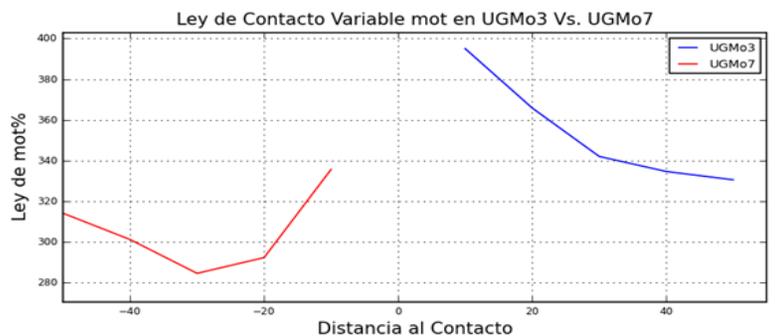
Ley Media UGMo3: 355.954



Ley Media UGMo6: 239.526

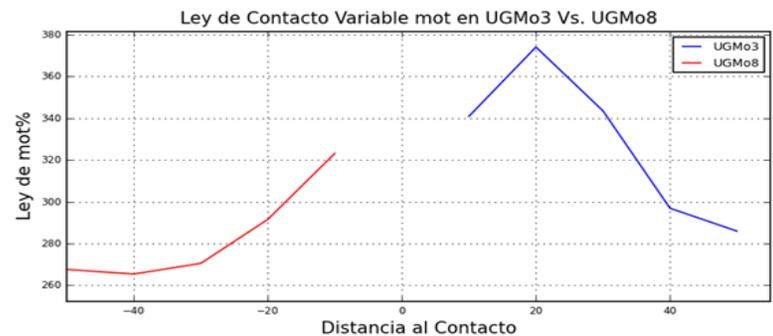
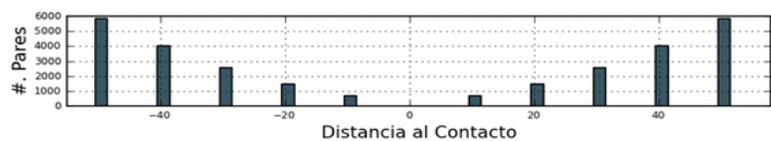
Ley Media UGMo3: 355.954





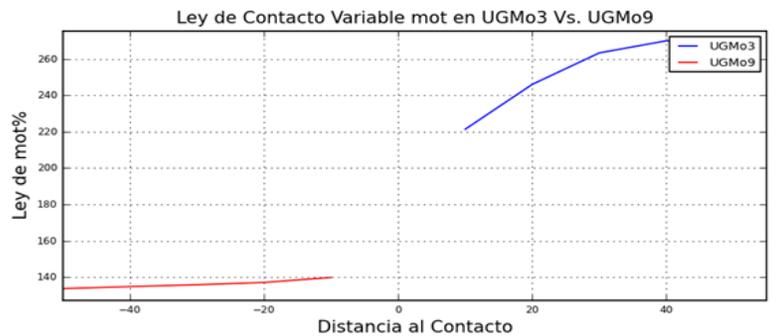
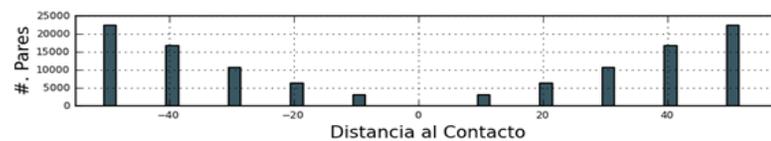
Ley Media UGMo7: 292.932

Ley Media UGMo3: 355.954



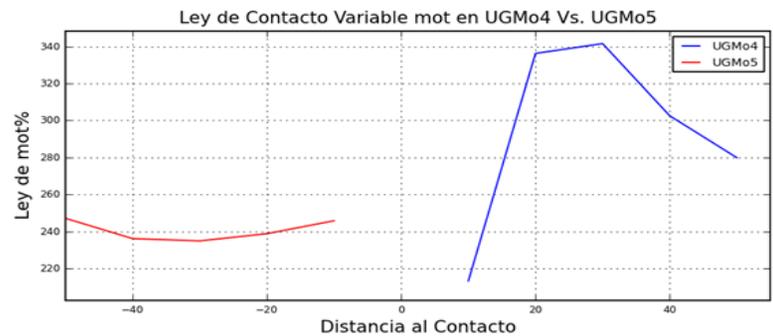
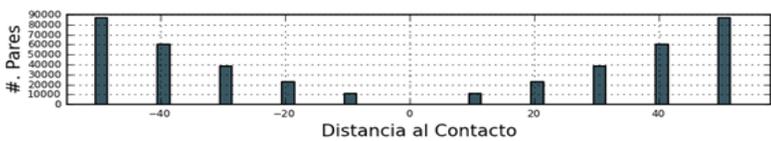
Ley Media UGMo8: 276.808

Ley Media UGMo3: 355.954



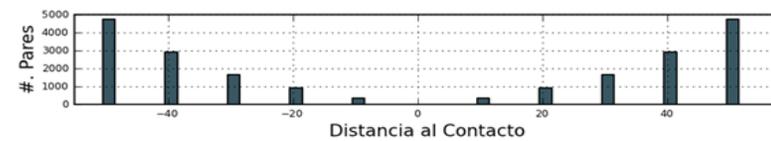
Ley Media UGMo9: 83.5182

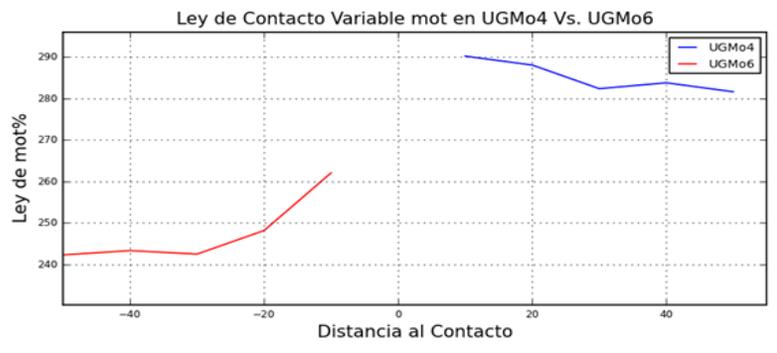
Ley Media UGMo3: 355.954



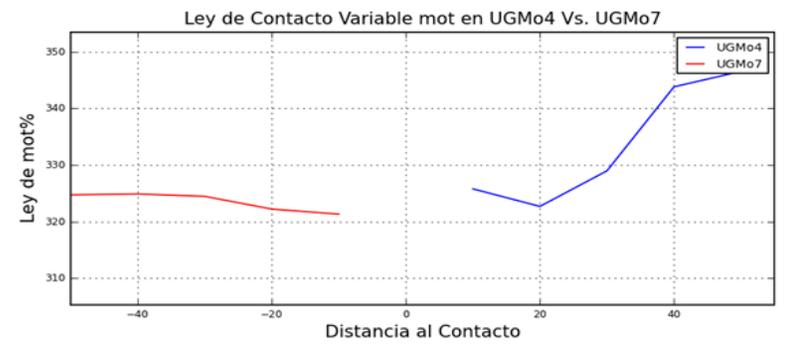
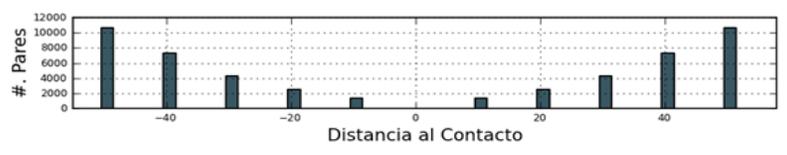
Ley Media UGMo5: 233.937

Ley Media UGMo4: 314.726

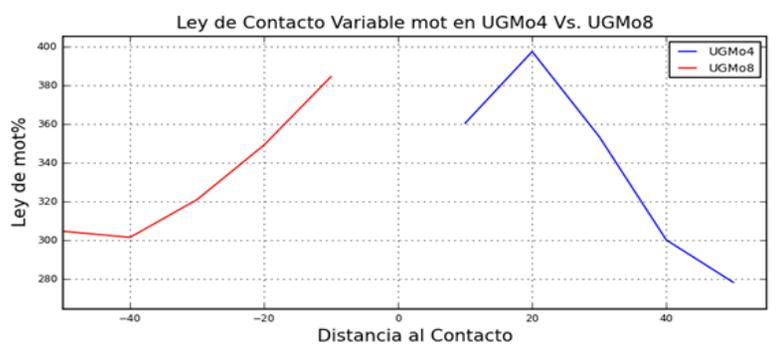
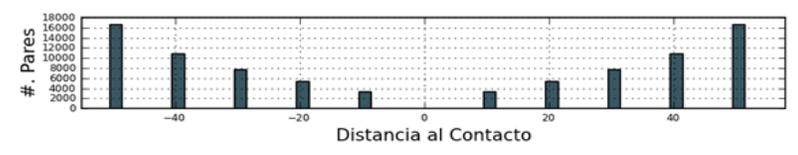




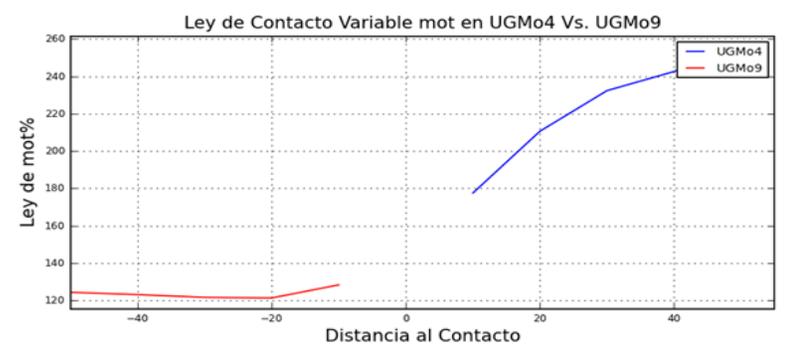
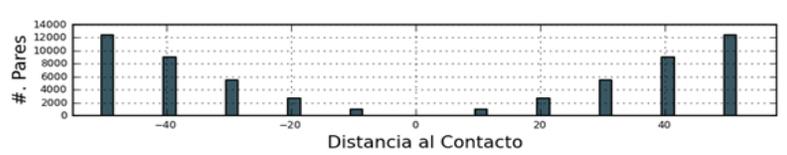
Ley Media UGMo6: 239.526 Ley Media UGMo4: 314.726



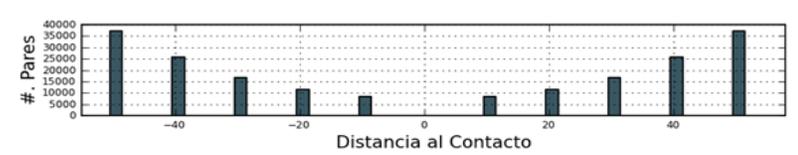
Ley Media UGMo7: 292.932 Ley Media UGMo4: 314.726

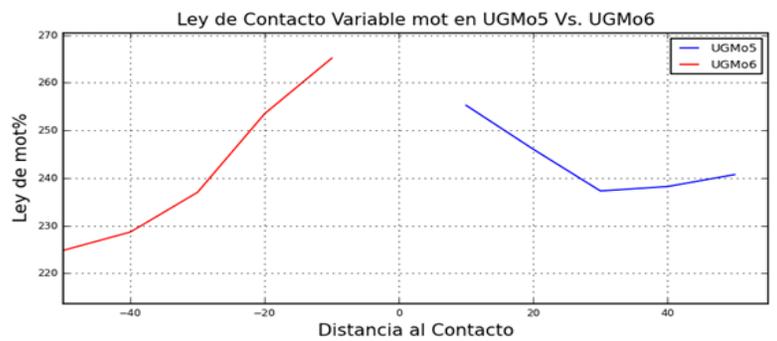


Ley Media UGMo8: 276.808 Ley Media UGMo4: 314.726



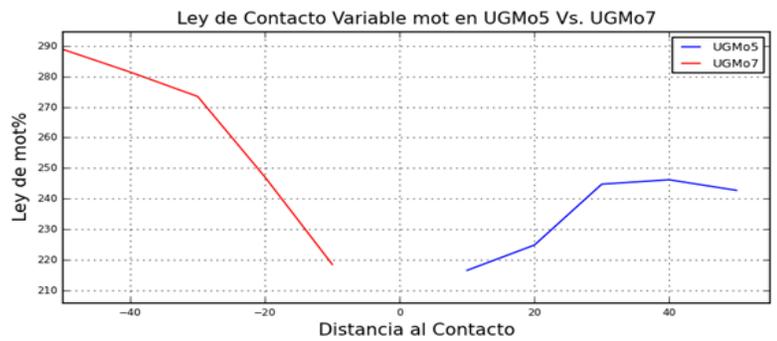
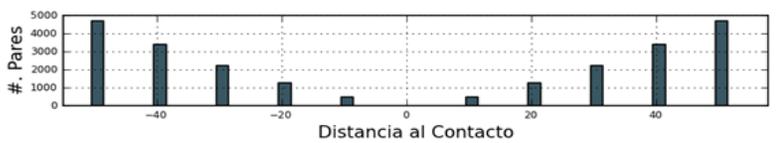
Ley Media UGMo9: 83.5182 Ley Media UGMo4: 314.726





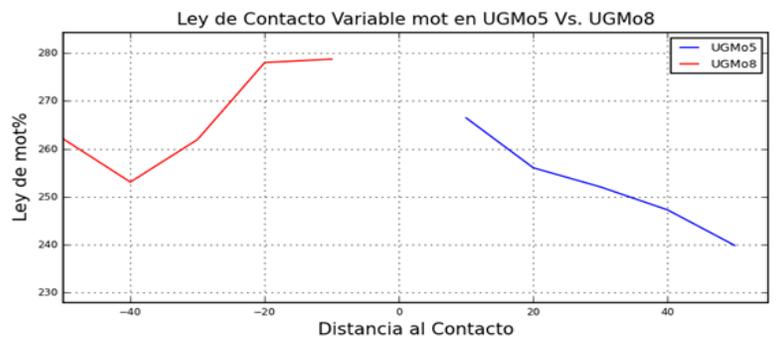
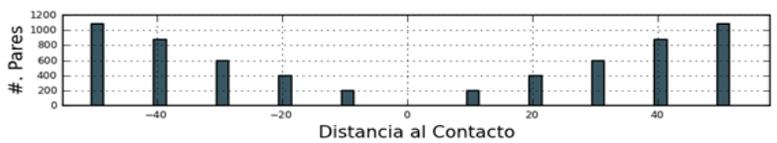
Ley Media UGMo6: 239.526

Ley Media UGMo5: 233.937



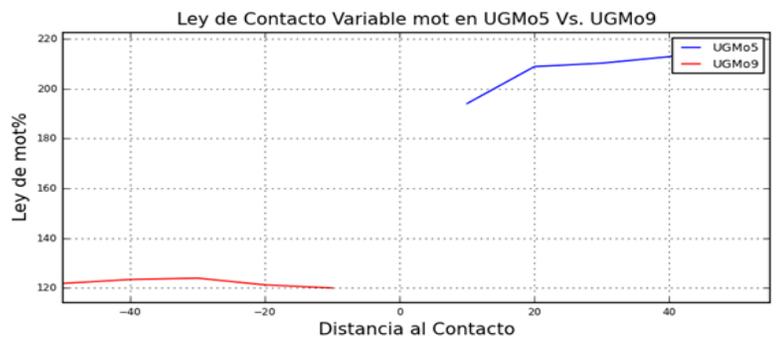
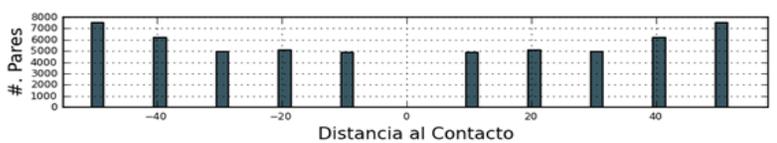
Ley Media UGMo7: 292.932

Ley Media UGMo5: 233.937



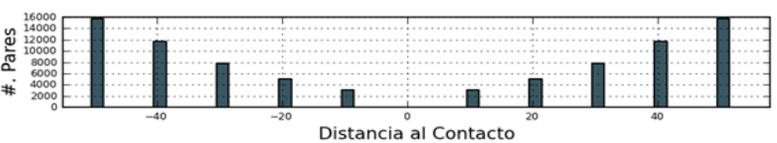
Ley Media UGMo8: 276.808

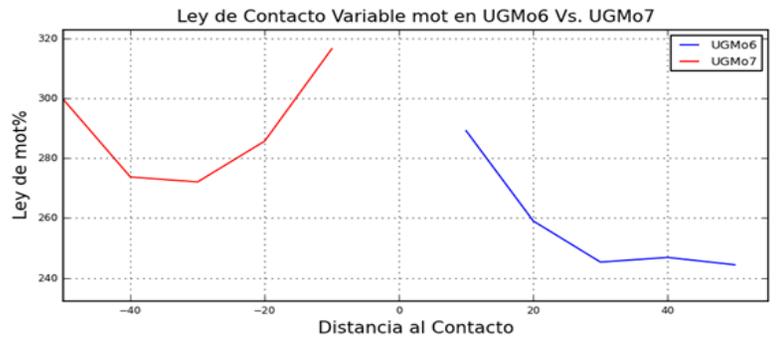
Ley Media UGMo5: 233.937



Ley Media UGMo9: 83.5182

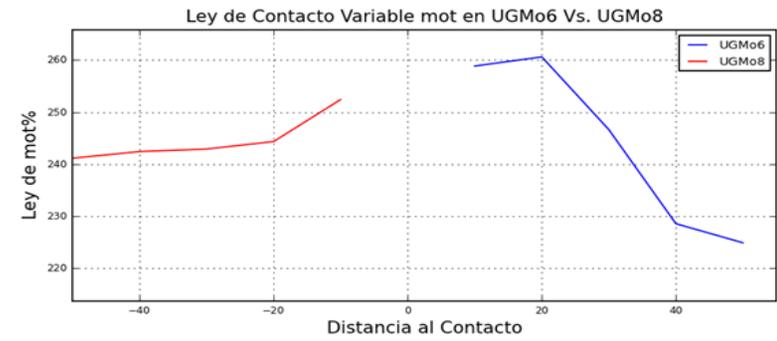
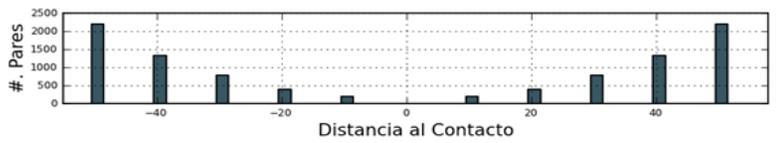
Ley Media UGMo5: 233.937





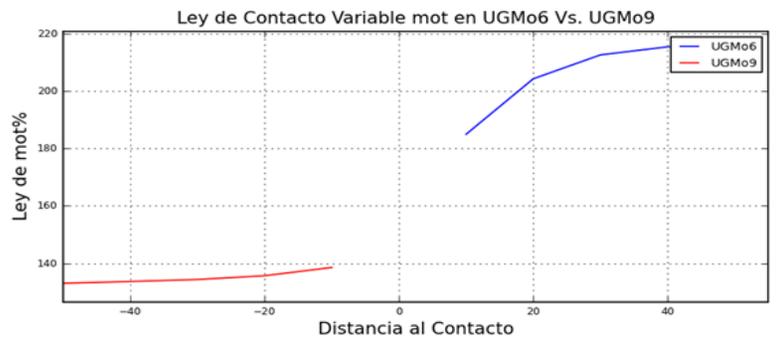
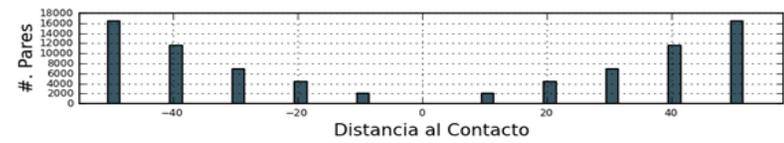
Ley Media UGMo7: 292.932

Ley Media UGMo6: 239.526



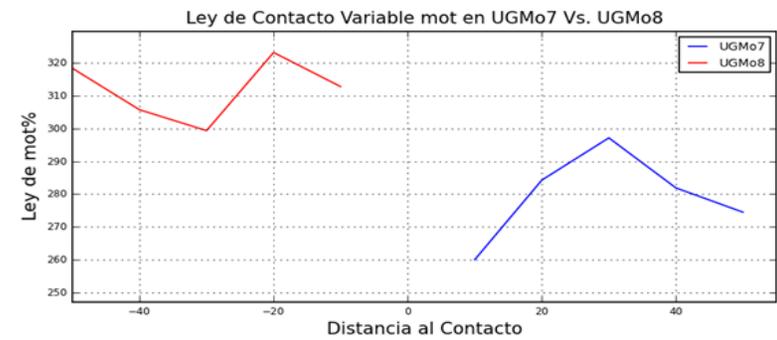
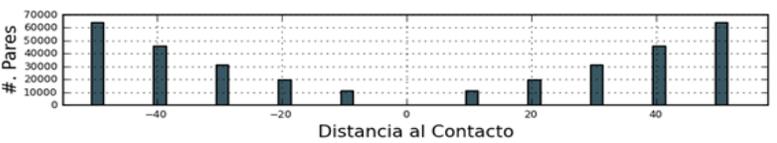
Ley Media UGMo8: 276.808

Ley Media UGMo6: 239.526



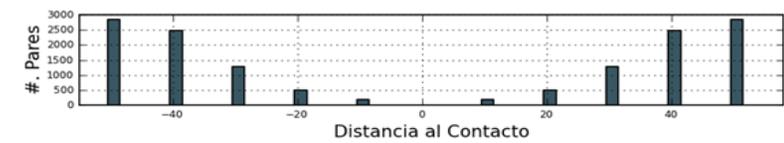
Ley Media UGMo9: 83.5182

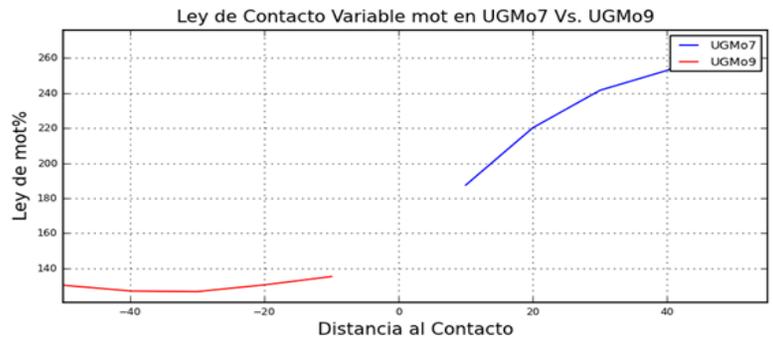
Ley Media UGMo6: 239.526



Ley Media UGMo8: 276.808

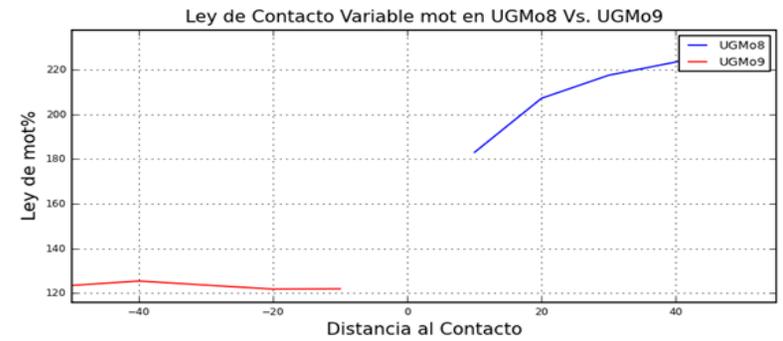
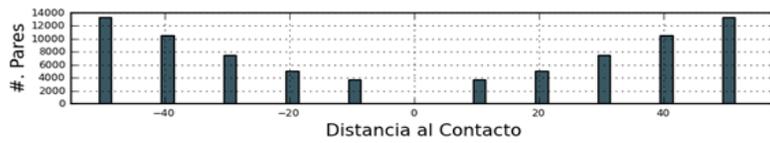
Ley Media UGMo7: 292.932





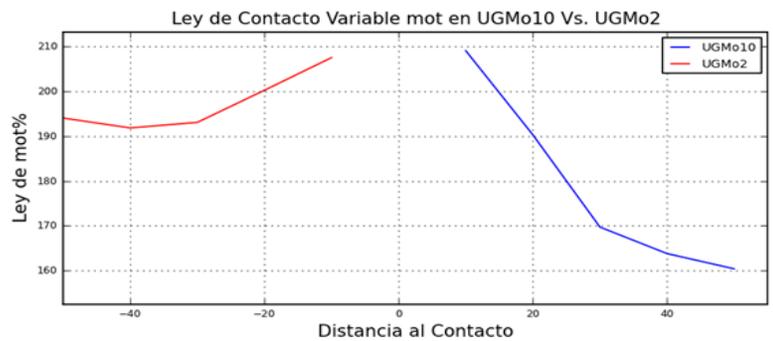
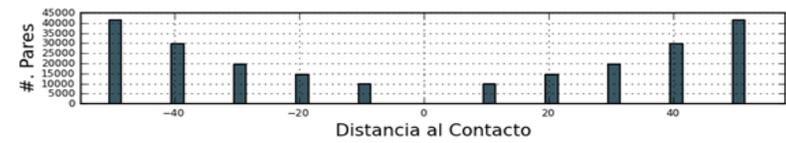
Ley Media UGMo9: 83.5182

Ley Media UGMo7: 292.932



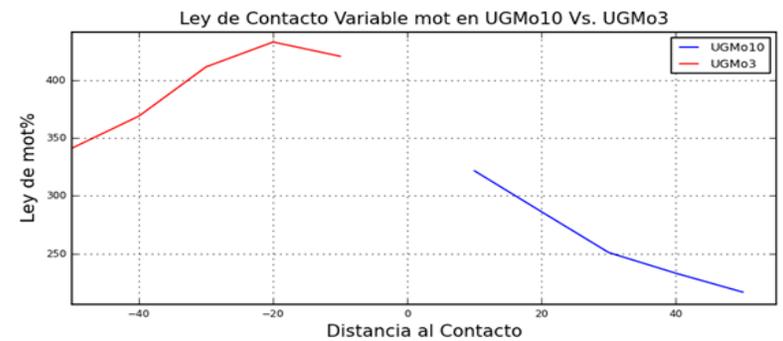
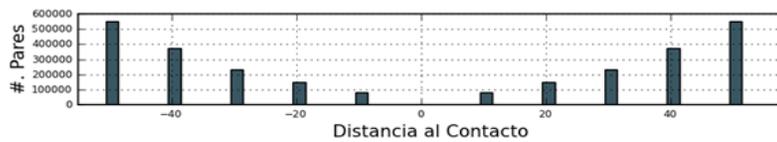
Ley Media UGMo9: 83.5182

Ley Media UGMo8: 276.808



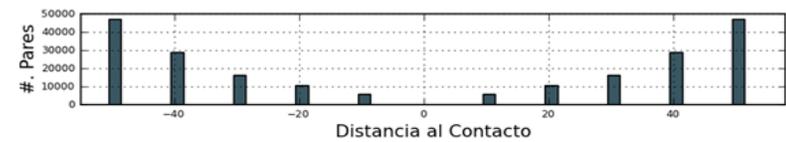
Ley Media UGMo2: 305.742

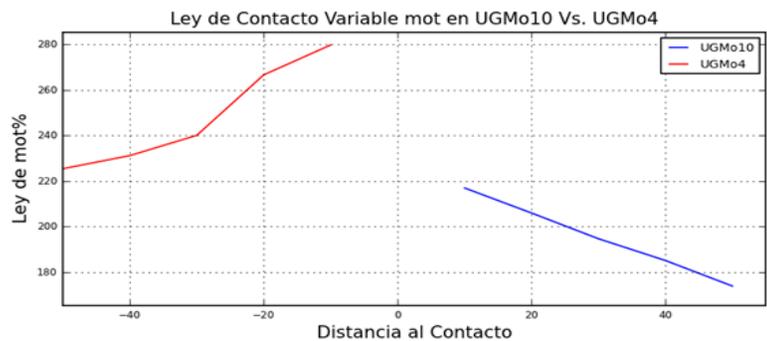
Ley Media UGMo10: 24.4776



Ley Media UGMo3: 355.954

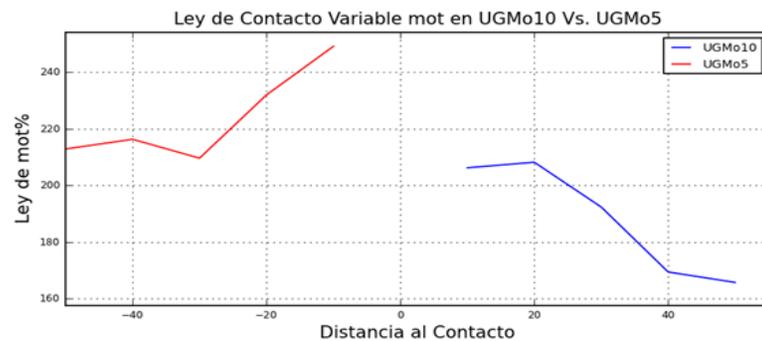
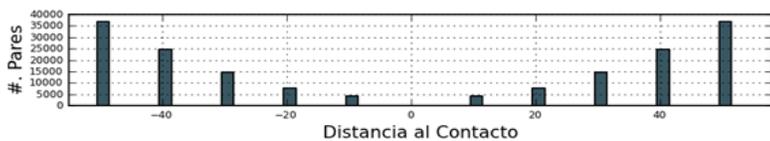
Ley Media UGMo10: 24.4776





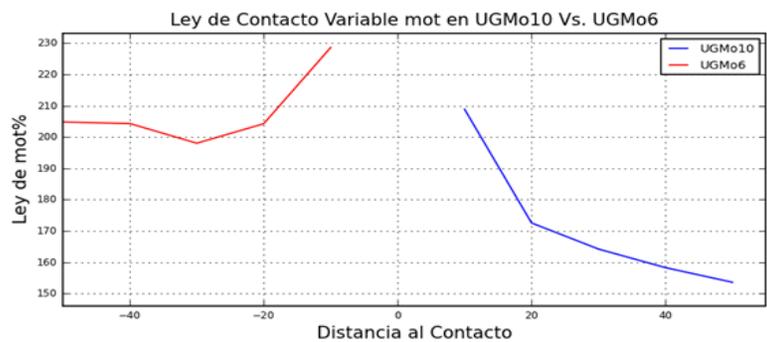
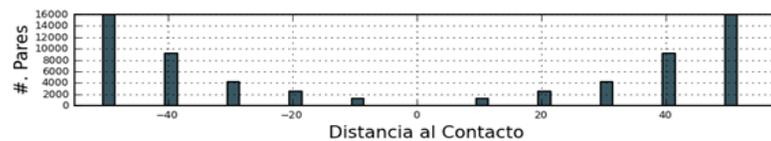
Ley Media UGMo4: 314.726

Ley Media UGMo10: 24.4776



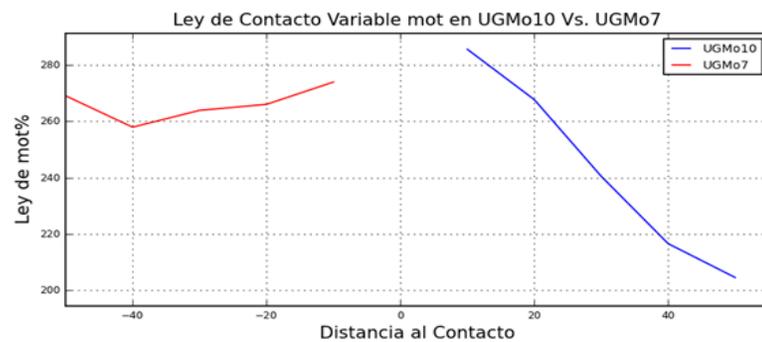
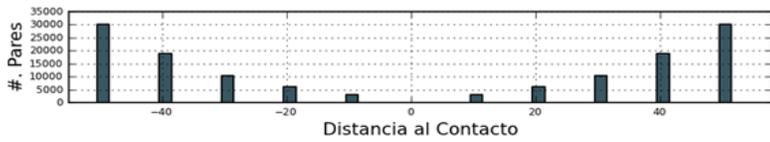
Ley Media UGMo5: 233.937

Ley Media UGMo10: 24.4776



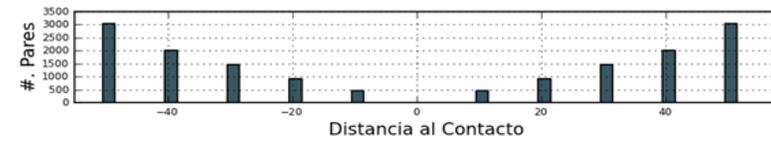
Ley Media UGMo6: 239.526

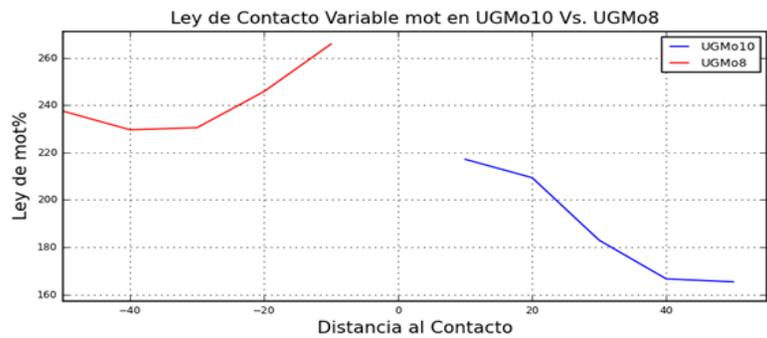
Ley Media UGMo10: 24.4776



Ley Media UGMo7: 292.932

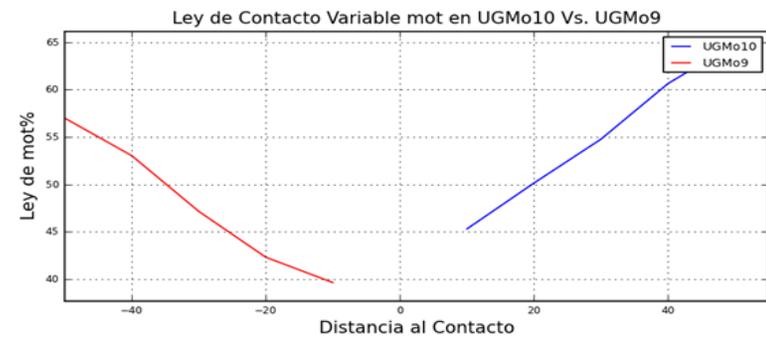
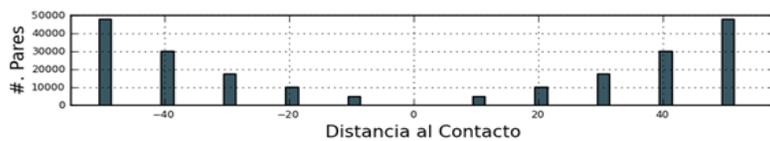
Ley Media UGMo10: 24.4776





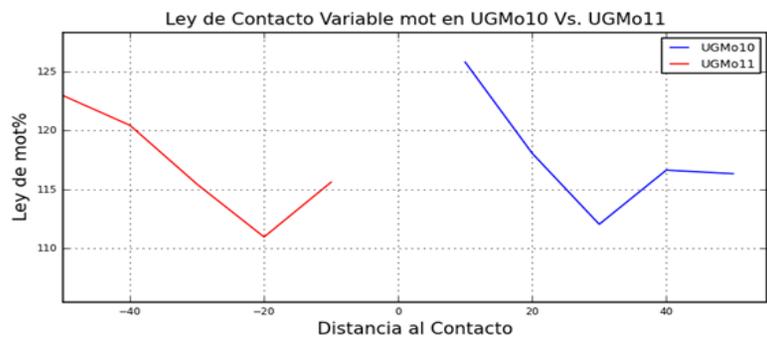
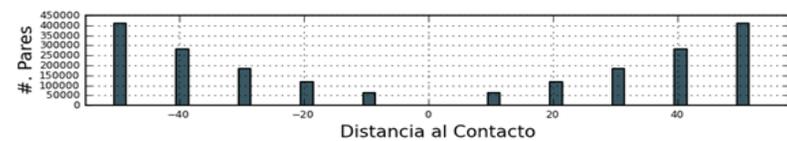
Ley Media UGMo8: 276.808

Ley Media UGMo10: 24.4776



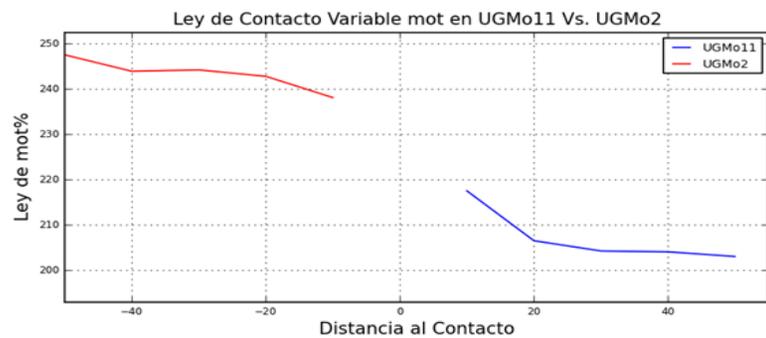
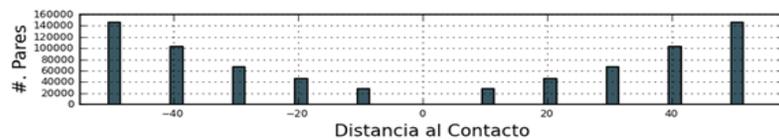
Ley Media UGMo9: 83.5182

Ley Media UGMo10: 24.4776



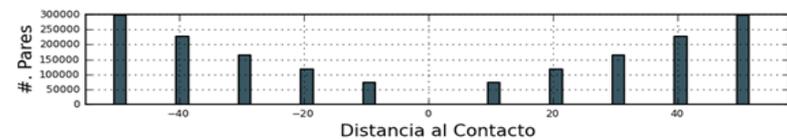
Ley Media UGMo11: 174.653

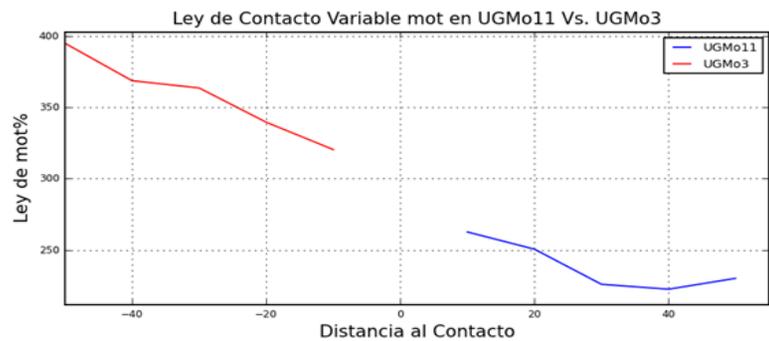
Ley Media UGMo10: 24.4776



Ley Media UGMo2: 305.742

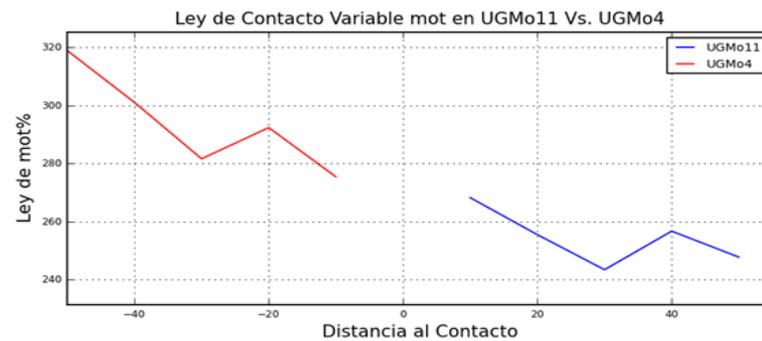
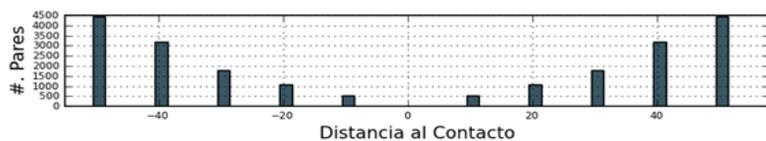
Ley Media UGMo11: 174.653





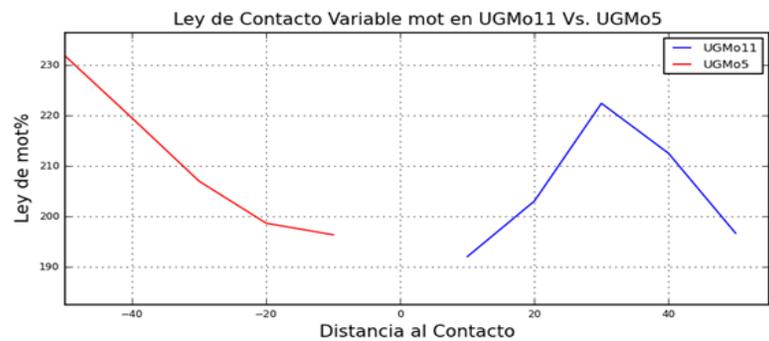
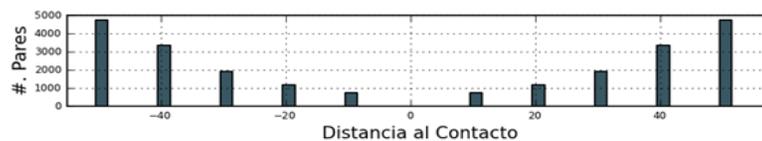
Ley Media UGMo3: 355.954

Ley Media UGMo11: 174.653



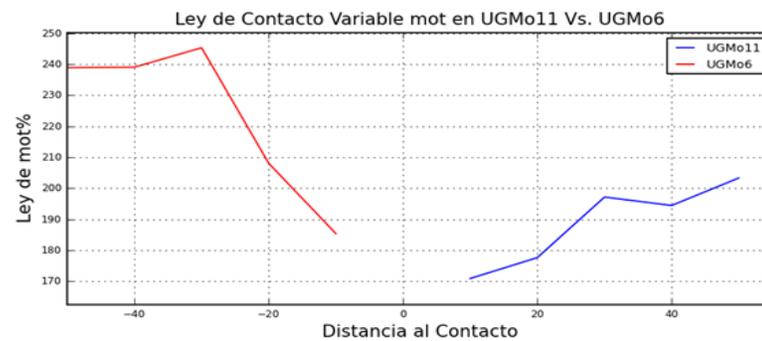
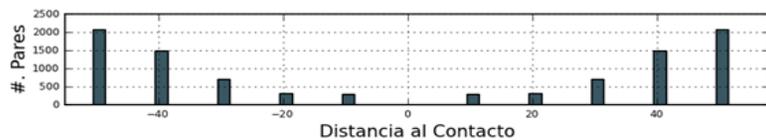
Ley Media UGMo4: 314.726

Ley Media UGMo11: 174.653



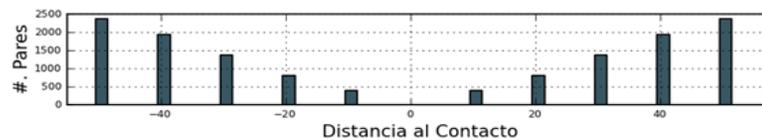
Ley Media UGMo5: 233.937

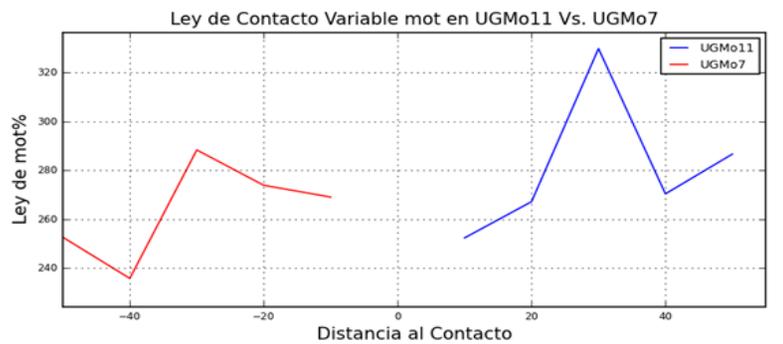
Ley Media UGMo11: 174.653



Ley Media UGMo6: 239.526

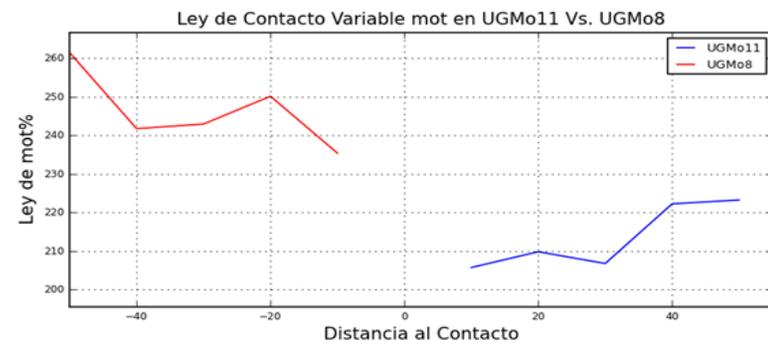
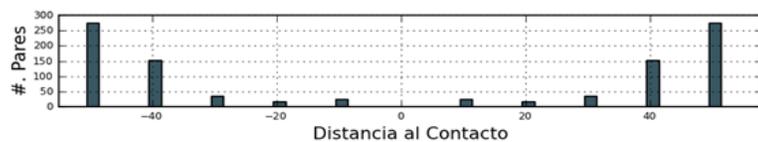
Ley Media UGMo11: 174.653





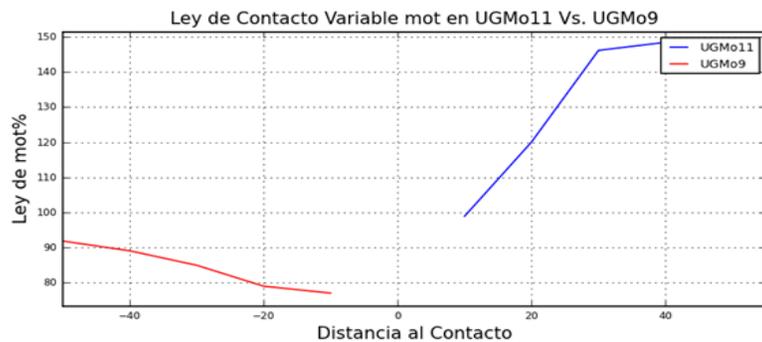
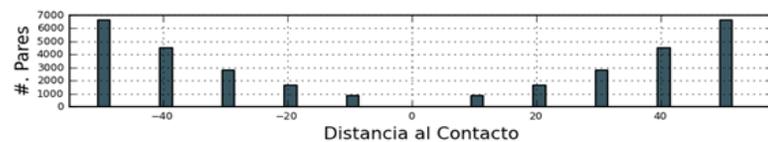
Ley Media UGMo7: 292.932

Ley Media UGMo11: 174.653



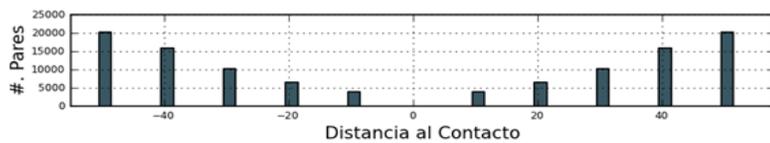
Ley Media UGMo8: 276.808

Ley Media UGMo11: 174.653



Ley Media UGMo9: 83.5182

Ley Media UGMo11: 174.653



ANEXO VII. Gráficos de distribución de frecuencia acumulada. 5 gráficos de frecuencia acumulada para cada unidad geológica de molibdeno respecto al molibdeno total [ppm], cobre total [% en peso], arsénico [ppm], oro y plata [g/t].

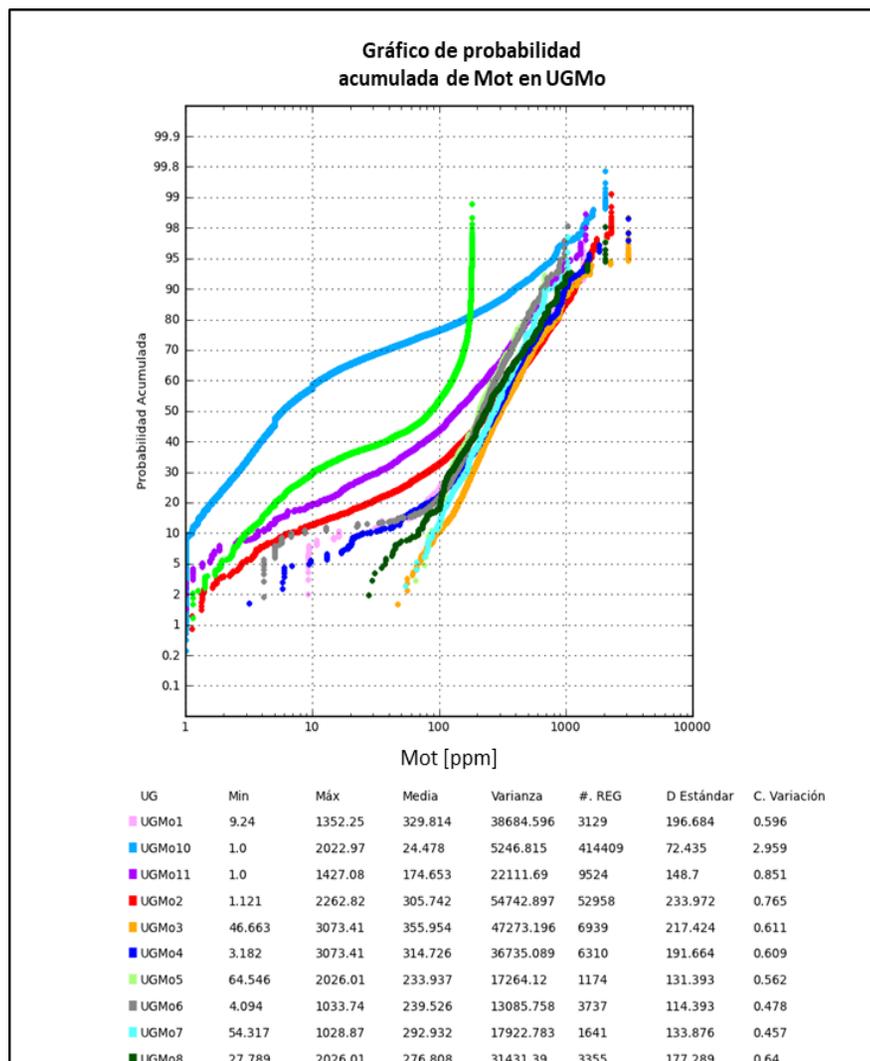
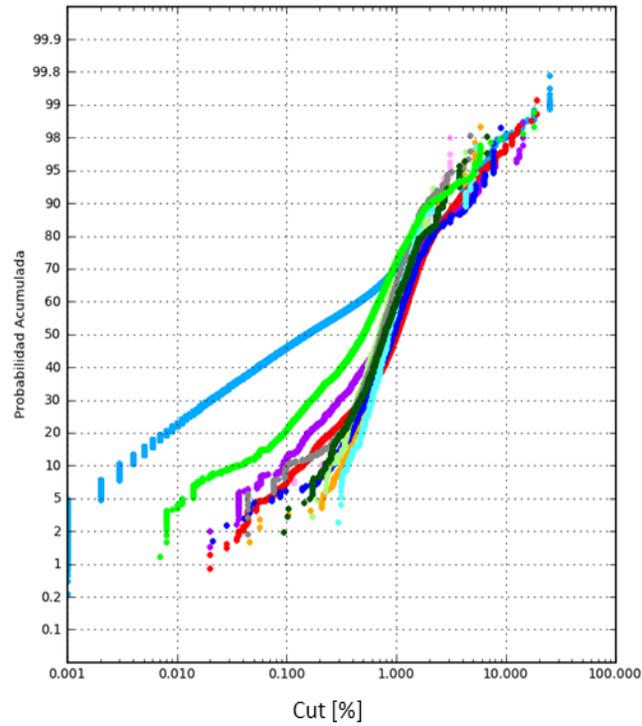
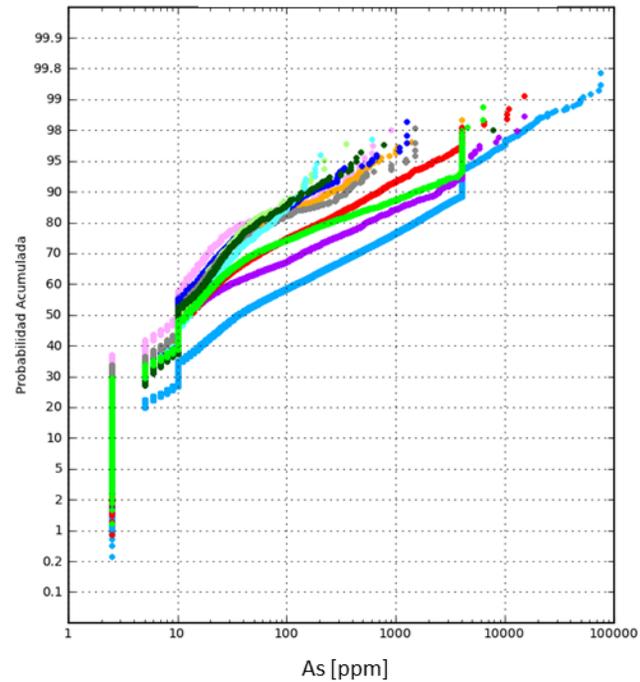


Gráfico de probabilidad acumulada de Cut en UGMo



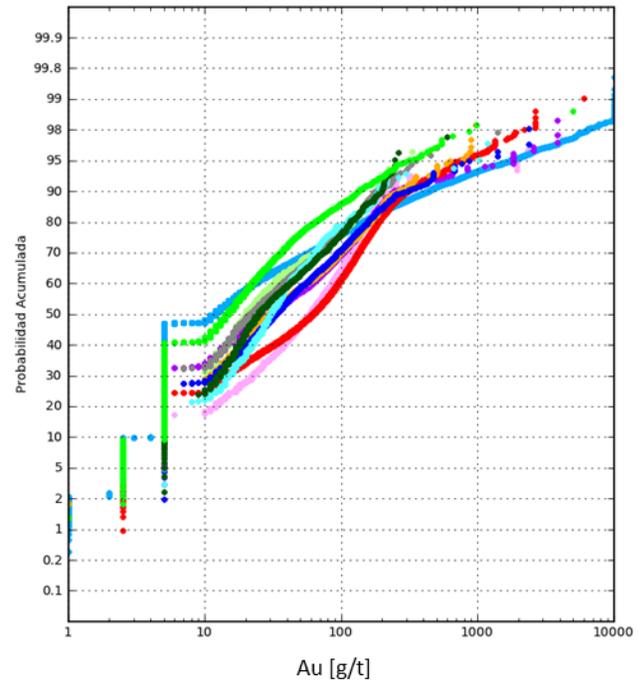
UG	Min	Máx	Media	Varianza	#. REG	D Estándar	C. Variación
UGMo1	0.037	3.076	0.93	0.145	3167	0.381	0.41
UGMo10	0.001	24.807	0.413	0.47	464918	0.685	1.661
UGMo11	0.02	14.137	0.874	0.555	9607	0.745	0.853
UGMo2	0.02	18.808	1.064	0.404	53802	0.636	0.598
UGMo3	0.046	5.819	0.873	0.146	6939	0.382	0.438
UGMo4	0.021	8.832	1.034	0.437	6317	0.661	0.639
UGMo5	0.17	4.284	0.767	0.146	1174	0.382	0.498
UGMo6	0.044	4.717	0.775	0.119	3737	0.345	0.445
UGMo7	0.292	5.244	0.918	0.208	1641	0.456	0.497
UGMo8	0.094	6.61	0.862	0.203	3355	0.451	0.523

Gráfico de probabilidad acumulada de As en UGMo



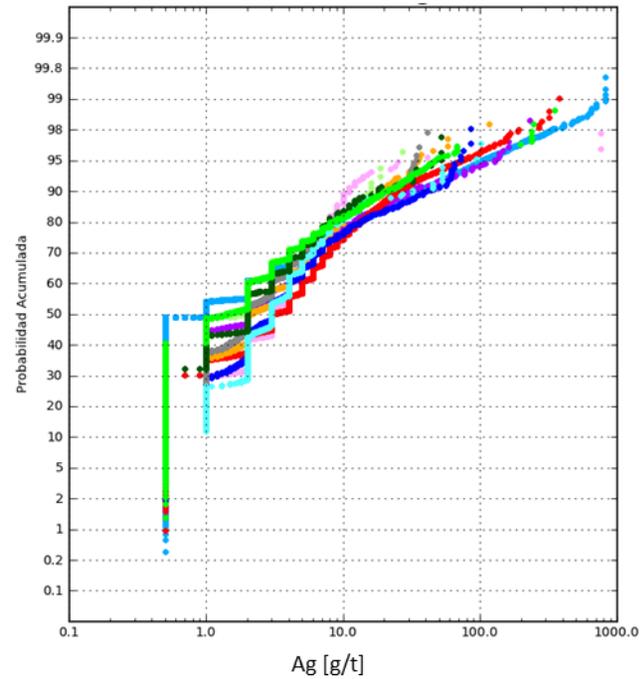
UG	Min	Máx	Media	Varianza	#. REG	D Estándar	C. Variación
UGMo1	2.5	905.0	15.052	1703.394	3147	41.272	2.742
UGMo10	2.5	75900.0	233.456	538939.516	413811	734.125	3.145
UGMo11	2.5	15000.0	101.96	197146.656	9256	444.012	4.355
UGMo2	2.5	15000.0	43.53	38901.645	53064	197.235	4.531
UGMo3	2.5	4000.0	20.562	7122.938	6854	84.398	4.105
UGMo4	2.5	1265.0	17.338	2108.656	6247	45.92	2.649
UGMo5	2.5	350.0	16.225	465.675	1161	21.58	1.33
UGMo6	2.5	1511.0	22.487	5756.348	3716	75.871	3.374
UGMo7	2.5	599.0	19.516	685.958	1632	26.191	1.342
UGMo8	2.5	7800.0	20.099	19390.563	3285	139.25	6.928

Gráfico de probabilidad acumulada de Au en UGMo



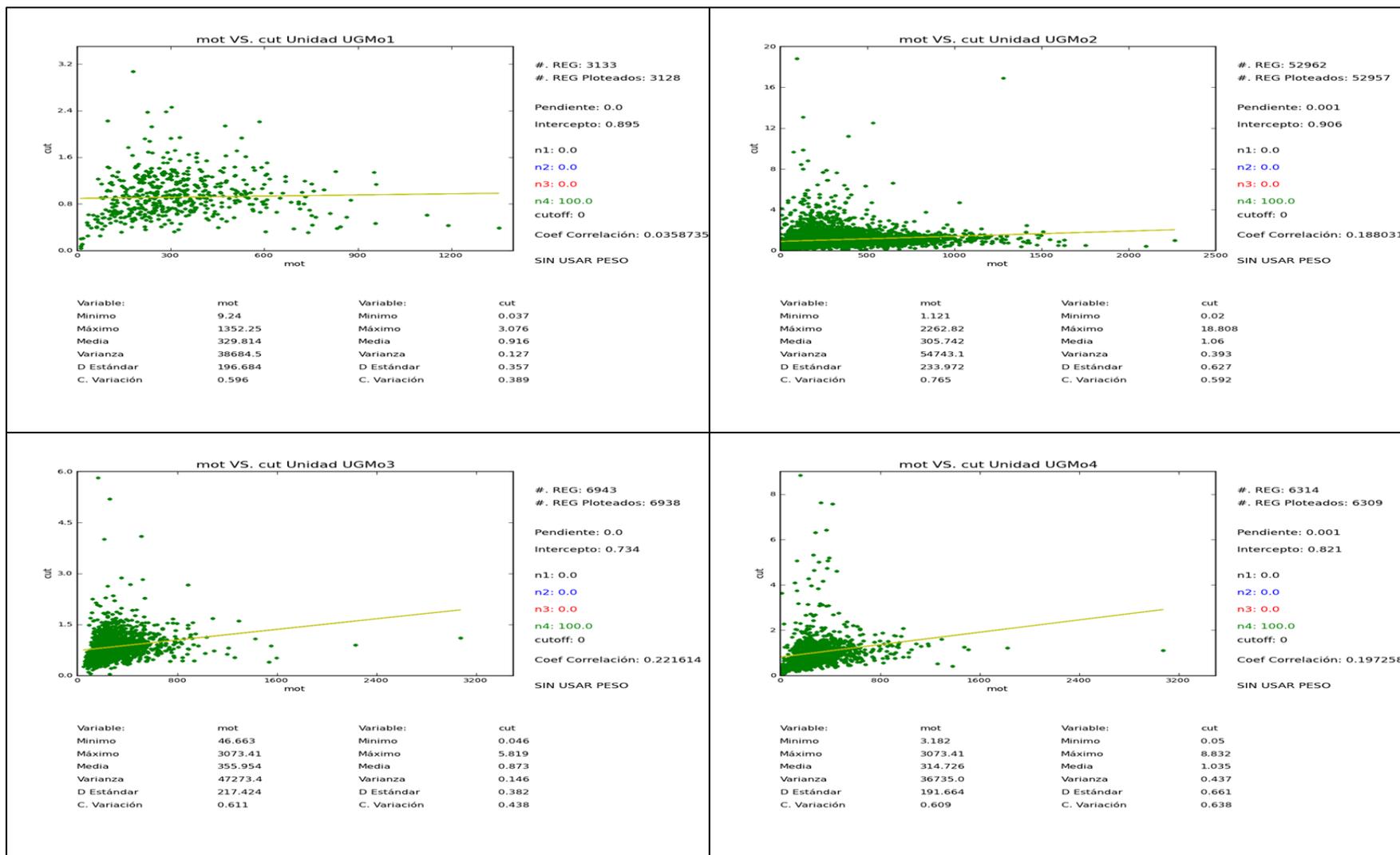
UG	Min	Máx	Media	Varianza	#. REG	D Estándar	C. Variación
UGMo1	2.5	3925.0	71.971	16914.563	2254	130.056	1.807
UGMo10	1.0	10000.0	35.735	30895.444	281904	175.771	4.919
UGMo11	2.5	3860.0	51.827	15156.072	6411	123.11	2.375
UGMo2	2.5	6067.0	73.856	6892.719	40429	83.022	1.124
UGMo3	1.0	961.0	48.431	3491.994	4603	59.093	1.22
UGMo4	5.0	2383.0	50.515	7415.879	3341	86.116	1.705
UGMo5	5.0	329.0	31.352	1166.011	662	34.147	1.089
UGMo6	2.5	1392.0	34.128	2075.96	2585	45.563	1.335
UGMo7	5.0	1183.0	40.077	3166.155	1175	56.269	1.404
UGMo8	5.0	596.0	37.373	1320.981	1878	36.345	0.972

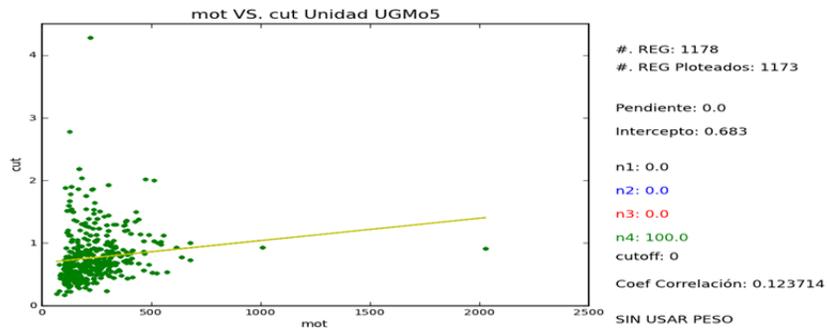
Gráfico de probabilidad acumulada de Ag en UGMo



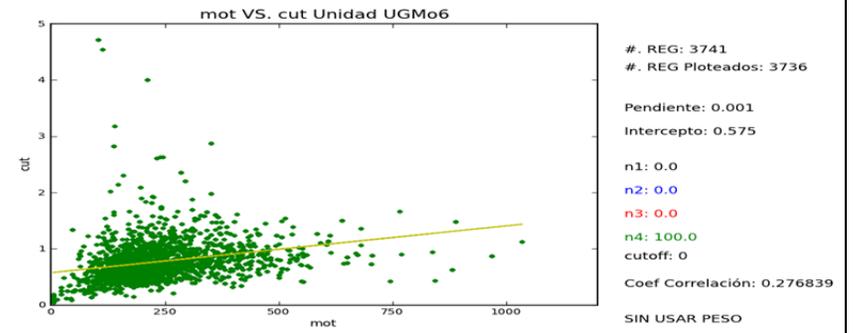
UG	Min	Máx	Media	Varianza	#. REG	D Estándar	C. Variación
UGMo1	0.5	760.0	4.212	488.304	2367	22.098	5.247
UGMo10	0.5	816.0	2.98	118.42	282852	10.882	3.652
UGMo11	0.5	230.5	3.563	68.439	6534	8.273	2.322
UGMo2	0.5	377.0	4.53	49.055	41007	7.004	1.546
UGMo3	0.5	117.0	3.329	14.694	4875	3.833	1.151
UGMo4	0.5	85.2	4.315	41.912	3462	6.474	1.5
UGMo5	0.5	27.0	2.276	6.928	684	2.632	1.156
UGMo6	0.5	41.0	2.989	11.324	2678	3.365	1.126
UGMo7	0.5	101.0	3.971	33.553	1203	5.792	1.459
UGMo8	0.5	52.0	2.71	13.07	1926	3.615	1.334

ANEXO VIII. Gráficos de dispersión de datos utilizados en el análisis de correlación de elementos. Se analiza el comportamiento de la concentración de Mo respecto al resto de metales de interés en cada UGMo.

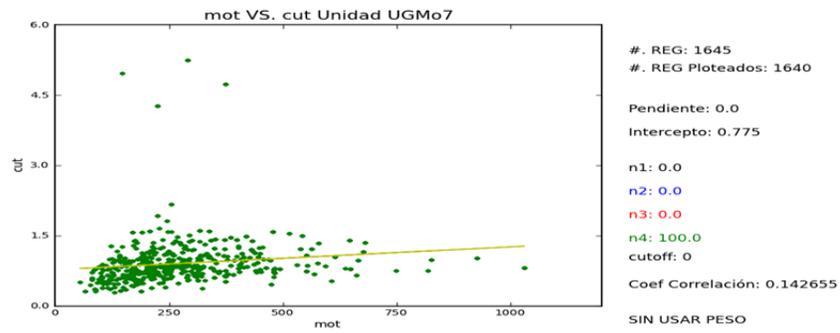




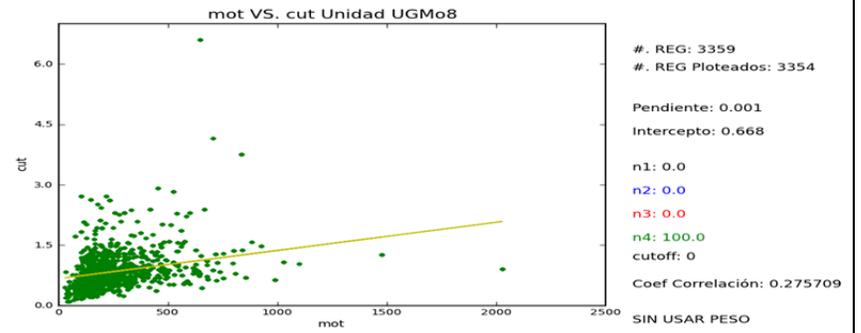
Variable:	mot	Variable:	cut
Mínimo	64.546	Mínimo	0.17
Máximo	2026.01	Máximo	4.284
Media	233.937	Media	0.767
Varianza	17264.2	Varianza	0.146
D Estándar	131.393	D Estándar	0.382
C. Variación	0.562	C. Variación	0.498



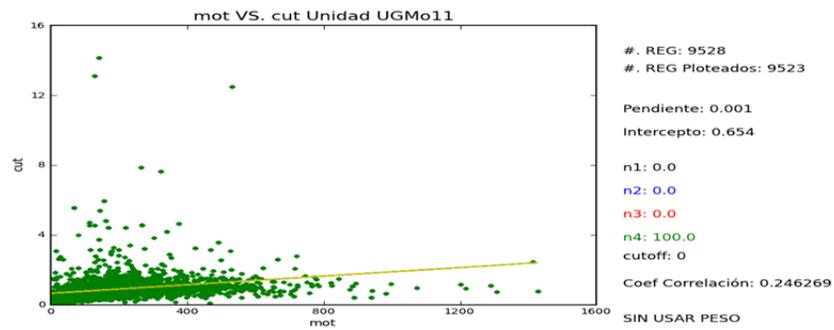
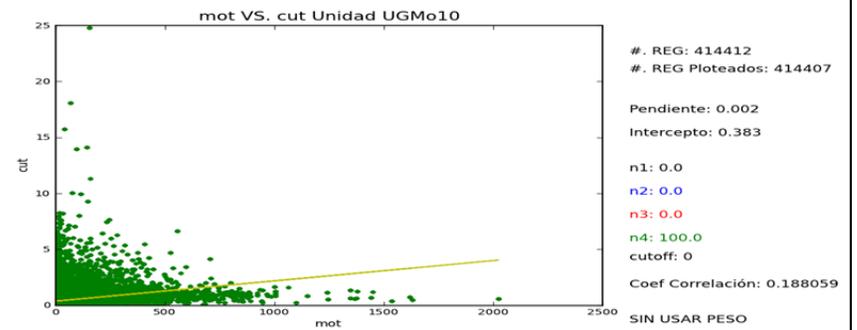
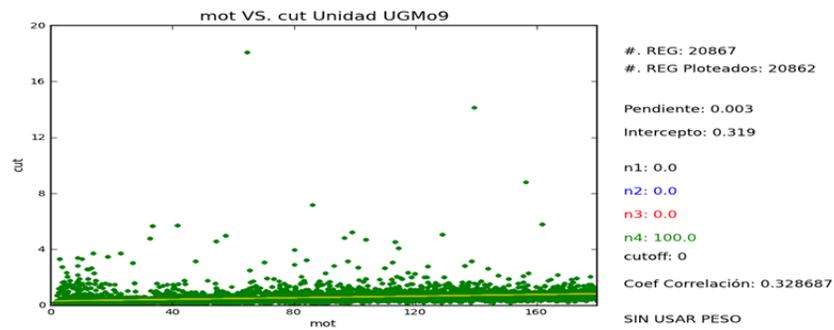
Variable:	mot	Variable:	cut
Mínimo	4.094	Mínimo	0.044
Máximo	1033.74	Máximo	4.717
Media	239.526	Media	0.775
Varianza	13085.7	Varianza	0.119
D Estándar	114.393	D Estándar	0.345
C. Variación	0.478	C. Variación	0.445

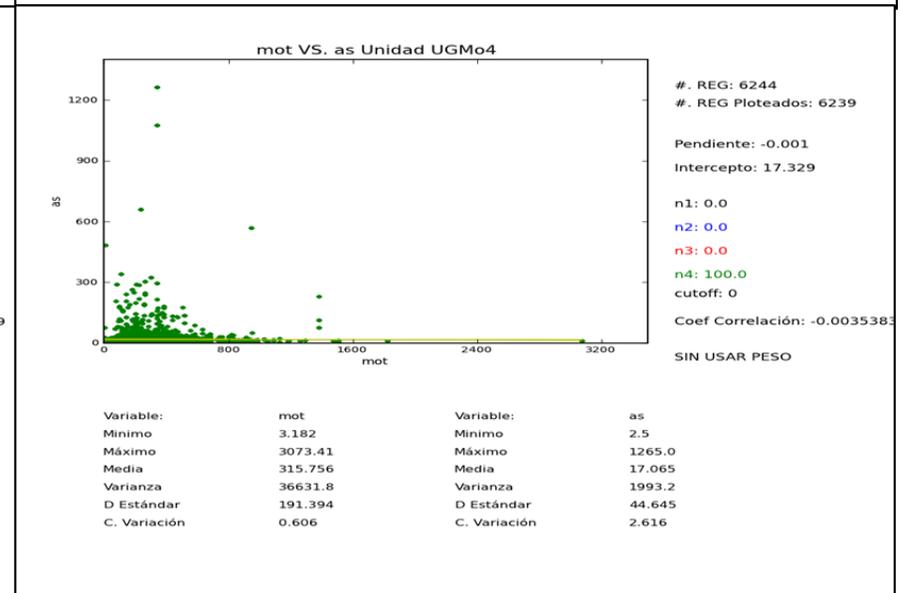
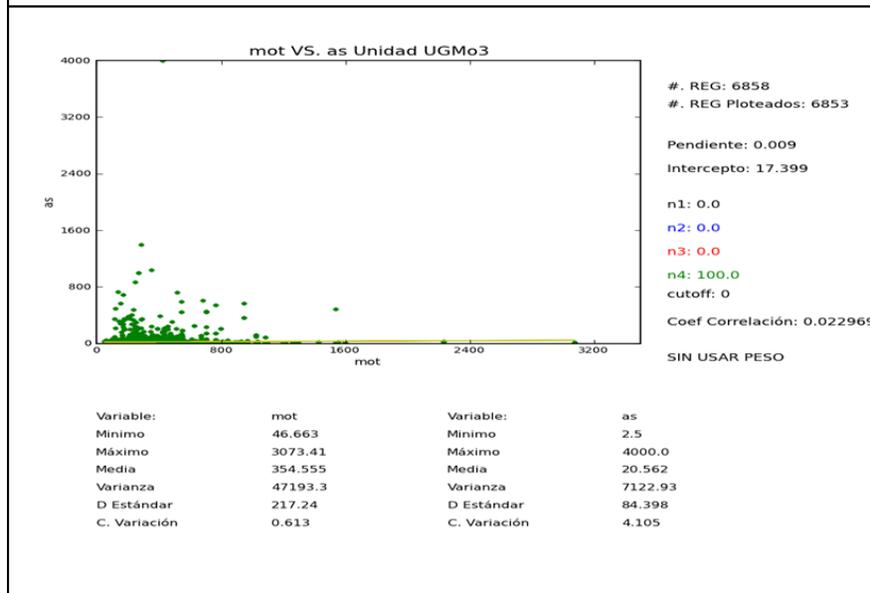
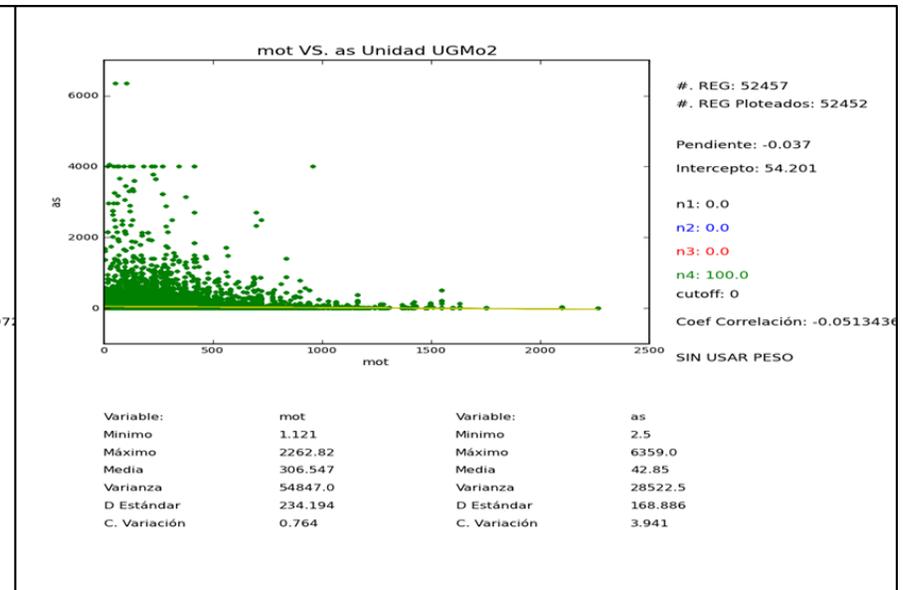
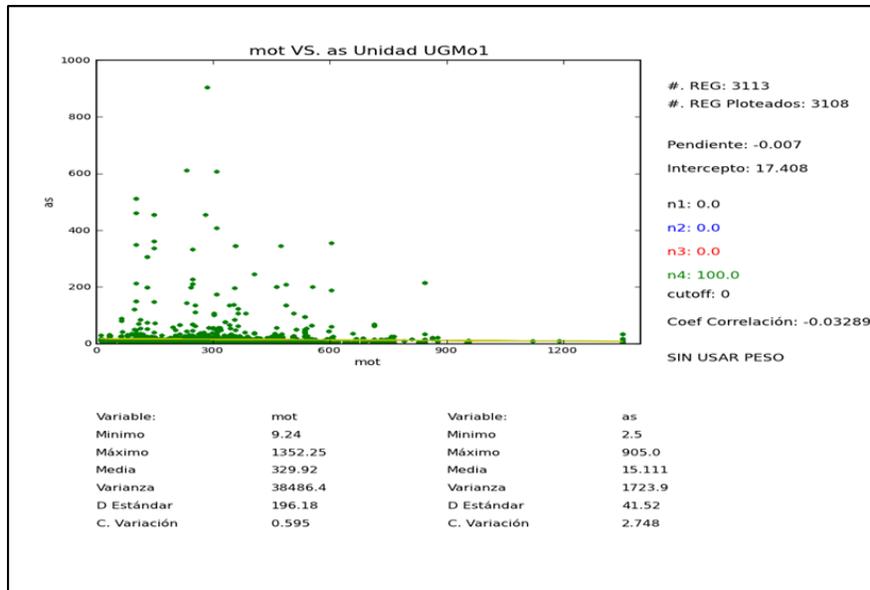


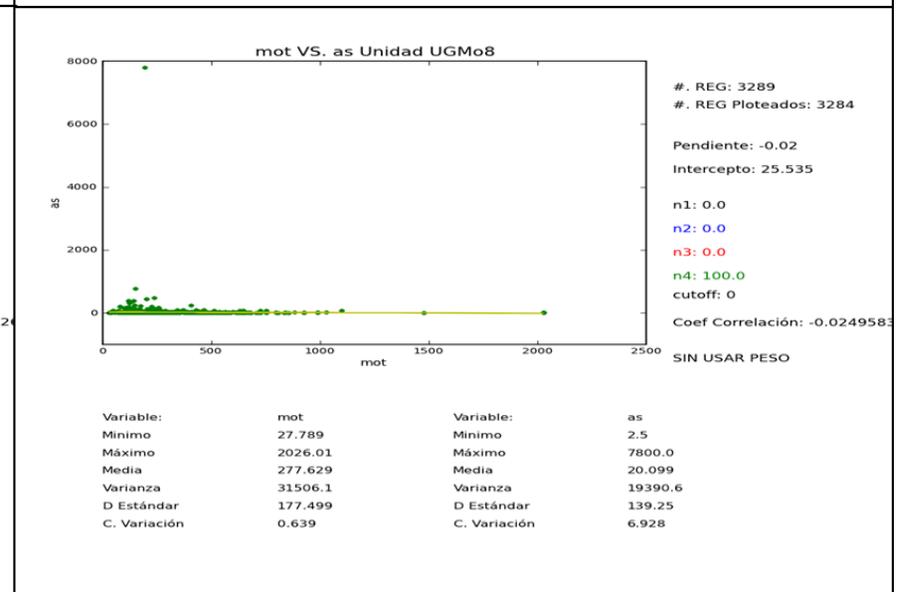
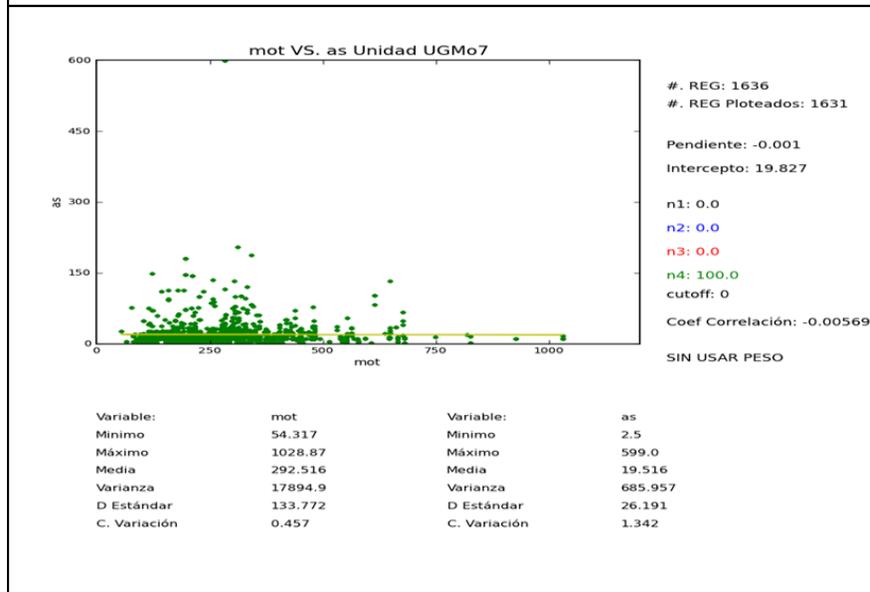
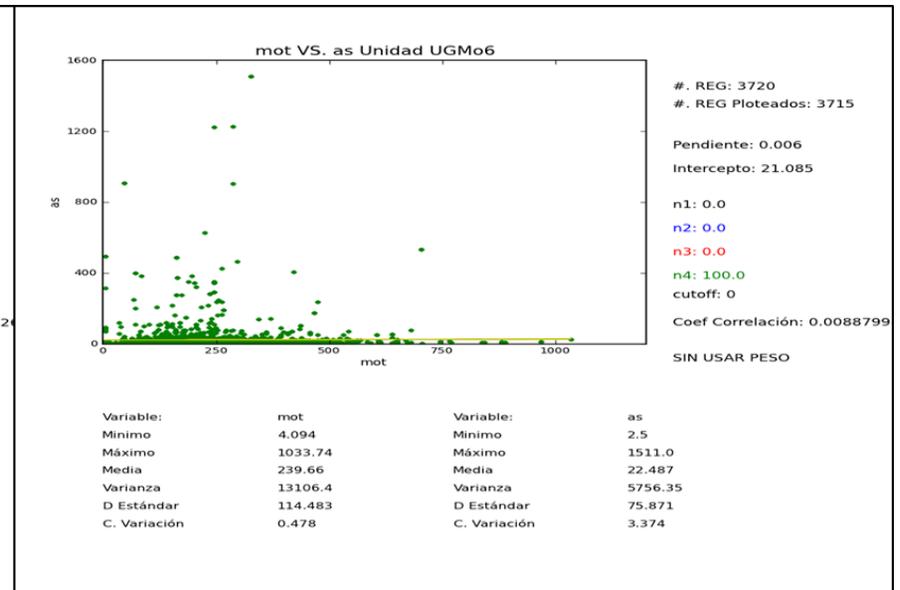
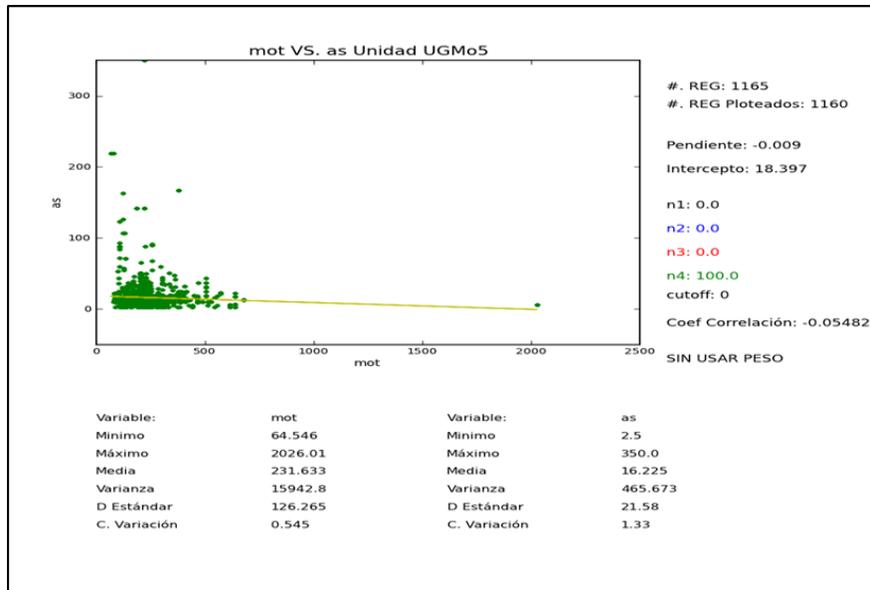
Variable:	mot	Variable:	cut
Mínimo	54.317	Mínimo	0.292
Máximo	1028.87	Máximo	5.244
Media	292.932	Media	0.918
Varianza	17922.7	Varianza	0.208
D Estándar	133.876	D Estándar	0.456
C. Variación	0.457	C. Variación	0.497

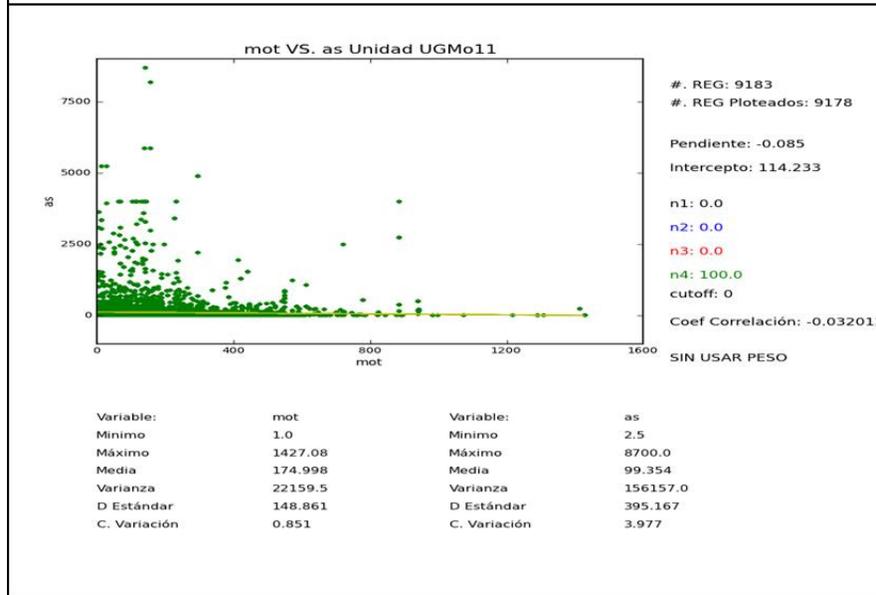
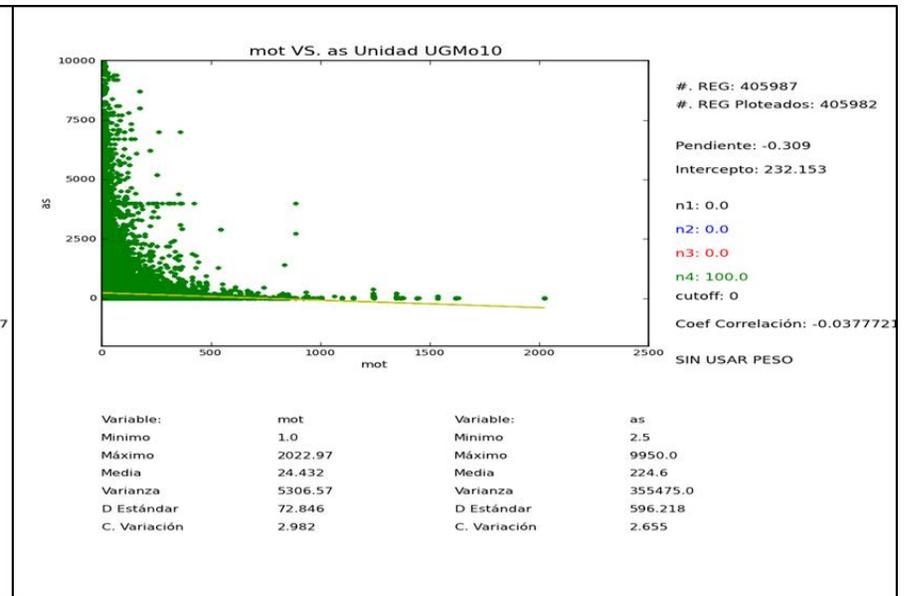
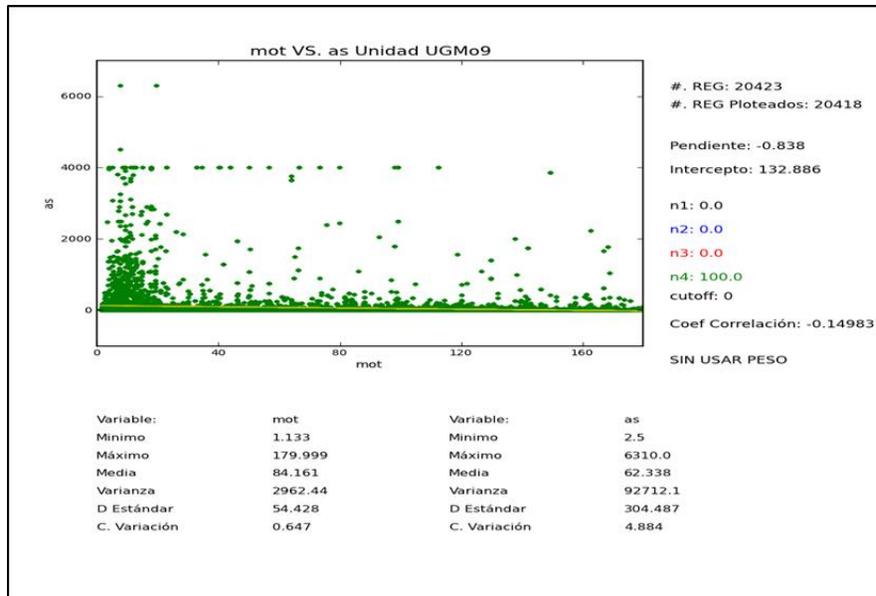


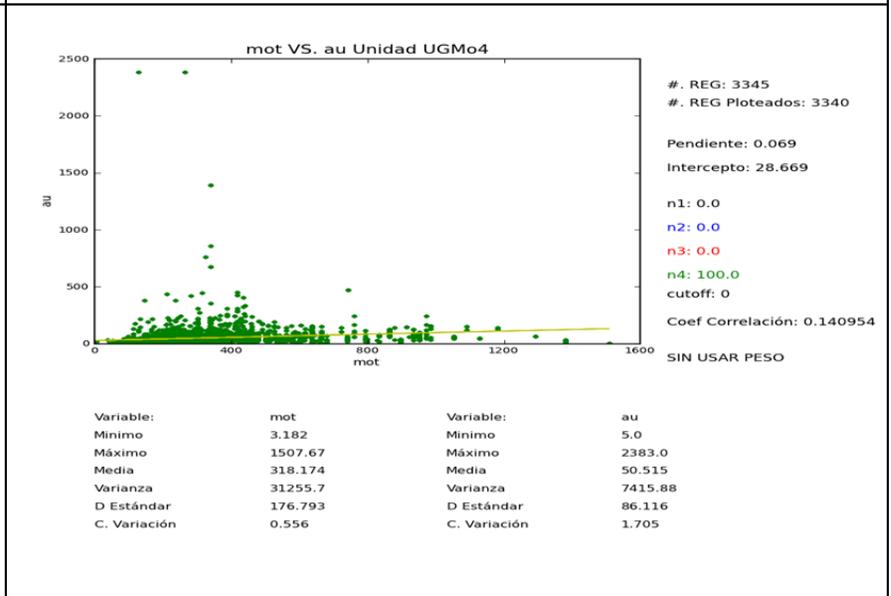
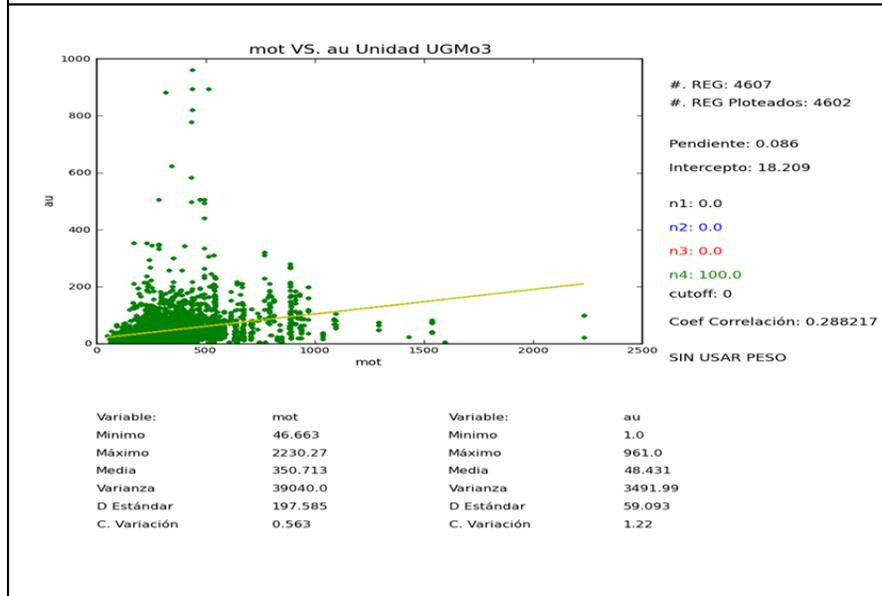
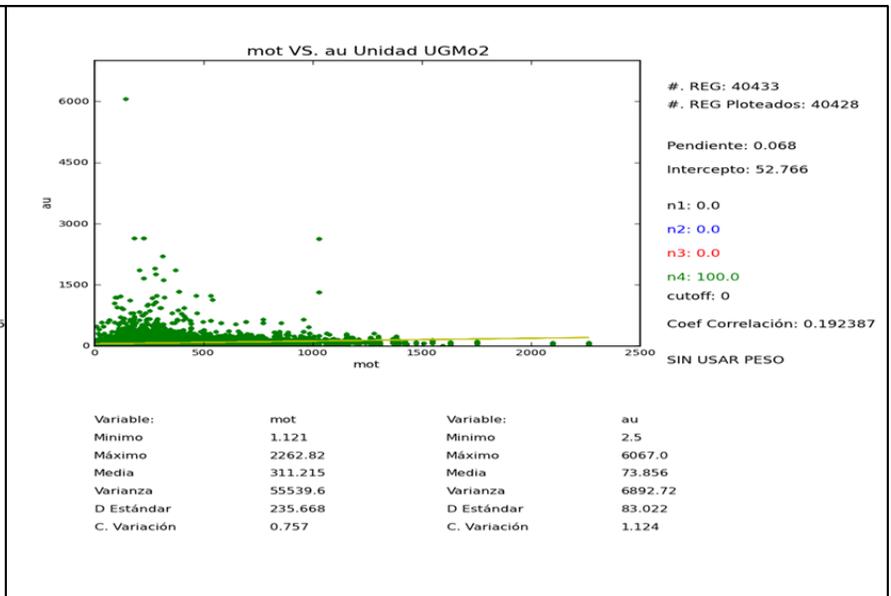
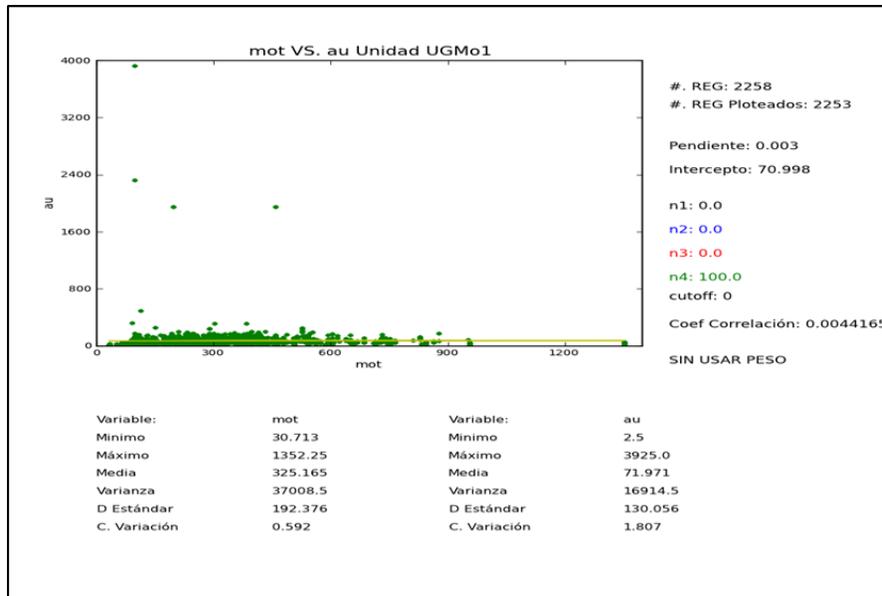
Variable:	mot	Variable:	cut
Mínimo	27.789	Mínimo	0.094
Máximo	2026.01	Máximo	6.61
Media	276.808	Media	0.862
Varianza	31431.5	Varianza	0.203
D Estándar	177.289	D Estándar	0.451
C. Variación	0.64	C. Variación	0.523

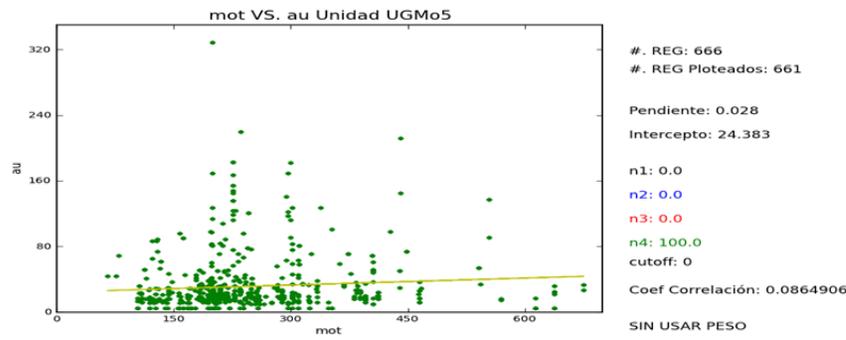




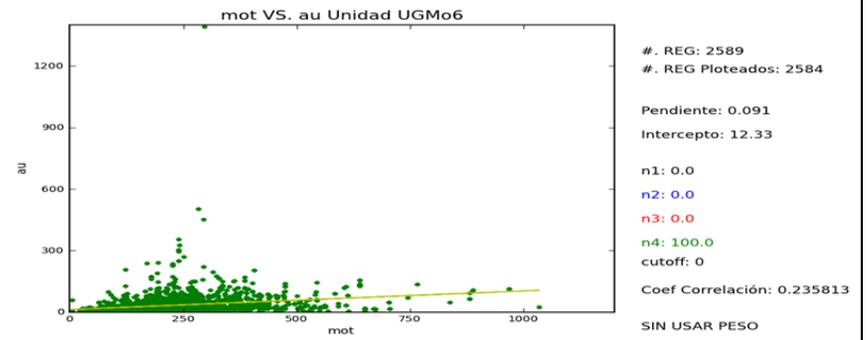




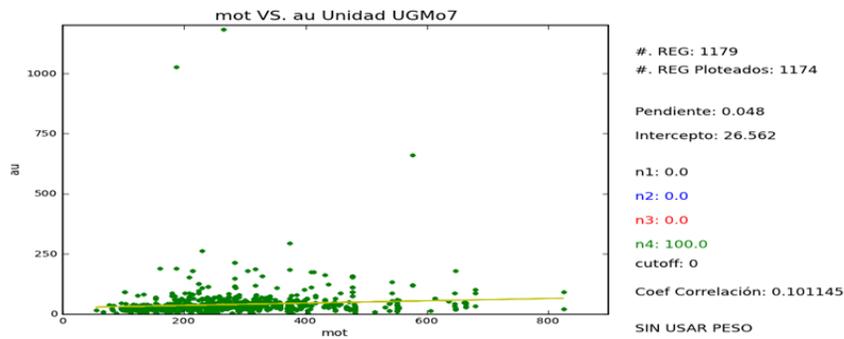




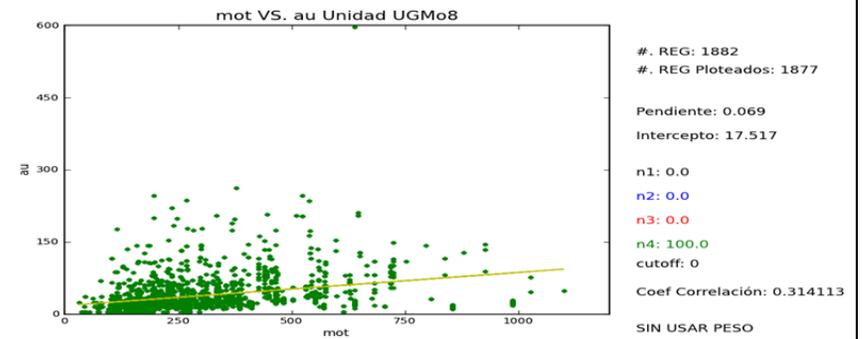
Variable:	mot	Variable:	au
Minimo	64.546	Minimo	5.0
Máximo	675.657	Máximo	329.0
Media	244.881	Media	31.352
Varianza	10766.5	Varianza	1166.01
D Estándar	103.762	D Estándar	34.147
C. Variación	0.424	C. Variación	1.089



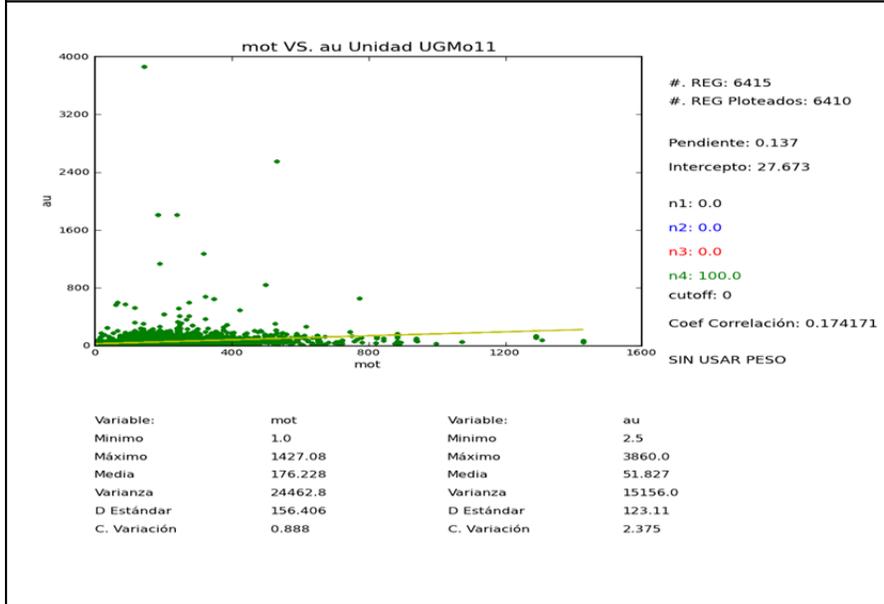
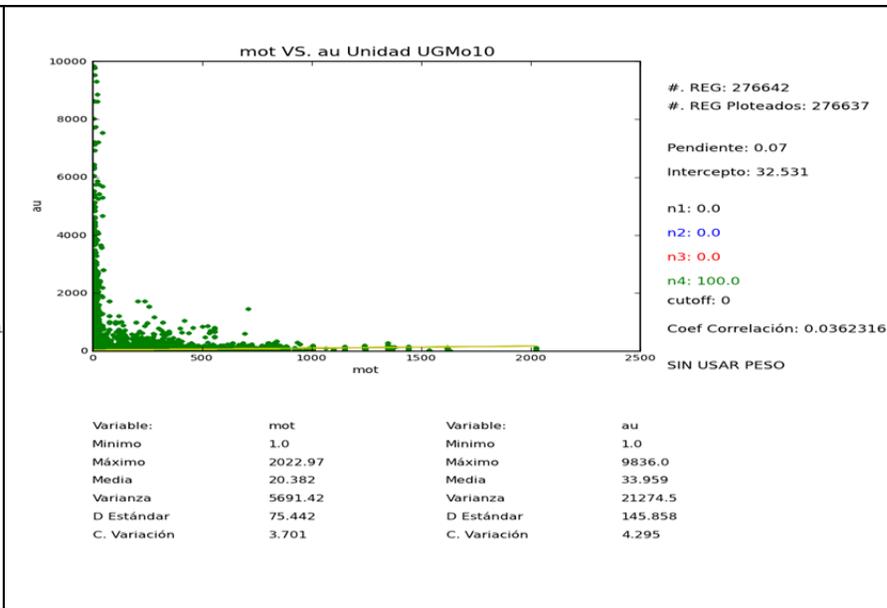
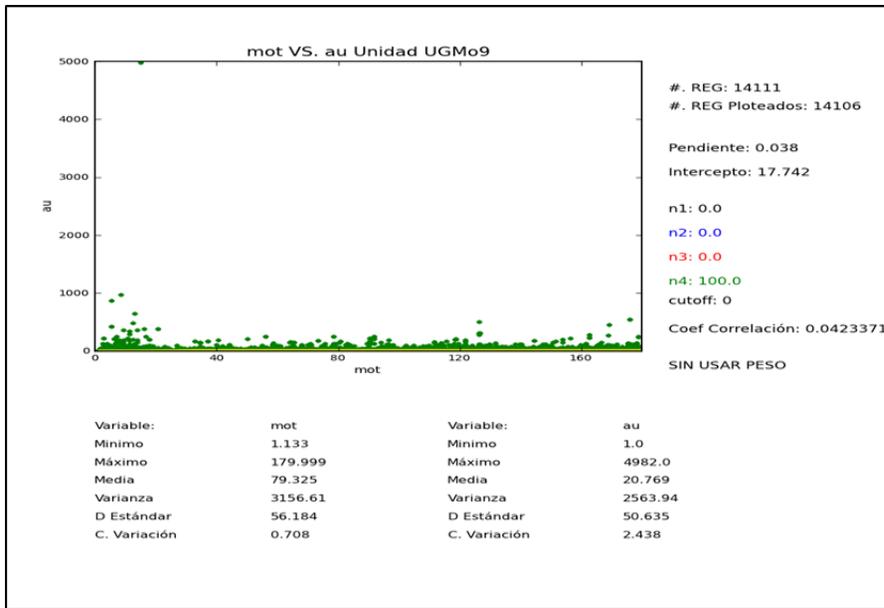
Variable:	mot	Variable:	au
Minimo	4.094	Minimo	2.5
Máximo	1033.74	Máximo	1392.0
Media	239.817	Media	34.128
Varianza	13984.3	Varianza	2075.96
D Estándar	118.255	D Estándar	45.563
C. Variación	0.493	C. Variación	1.335

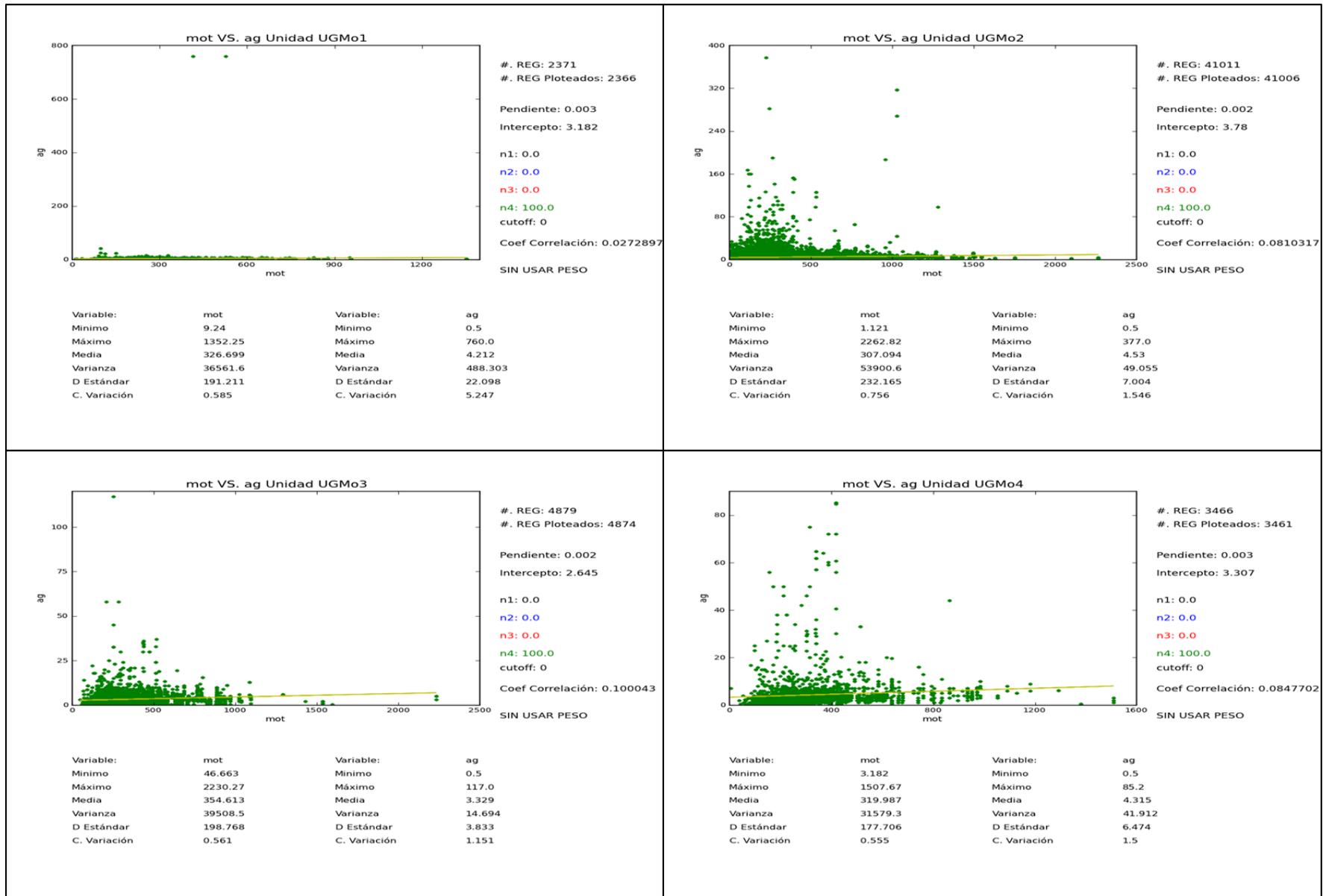


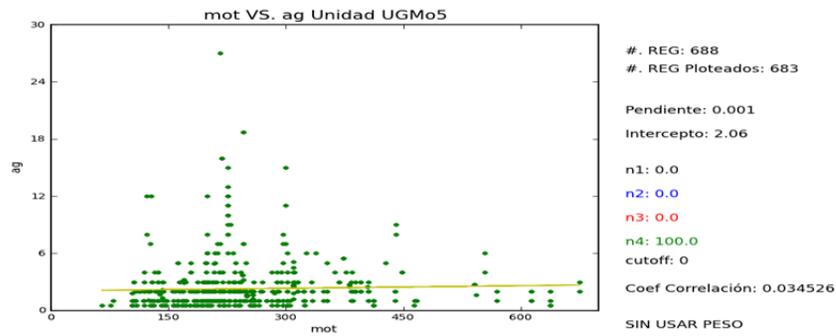
Variable:	mot	Variable:	au
Minimo	54.317	Minimo	5.0
Máximo	825.21	Máximo	1183.0
Media	283.133	Media	40.077
Varianza	14124.5	Varianza	3166.16
D Estándar	118.846	D Estándar	56.269
C. Variación	0.42	C. Variación	1.404



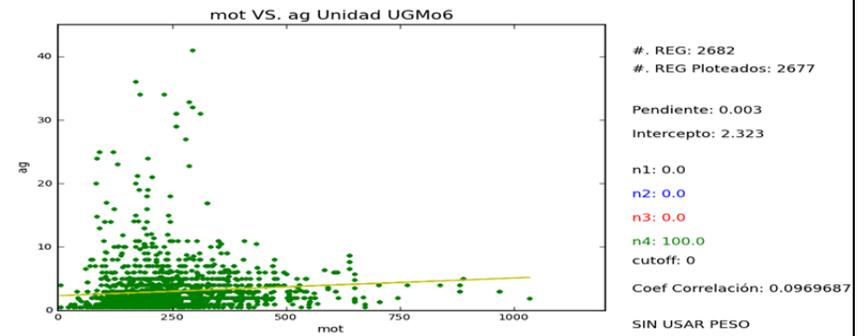
Variable:	mot	Variable:	au
Minimo	30.69	Minimo	5.0
Máximo	1098.42	Máximo	596.0
Media	287.558	Media	37.373
Varianza	27305.5	Varianza	1320.98
D Estándar	165.244	D Estándar	36.345
C. Variación	0.575	C. Variación	0.972



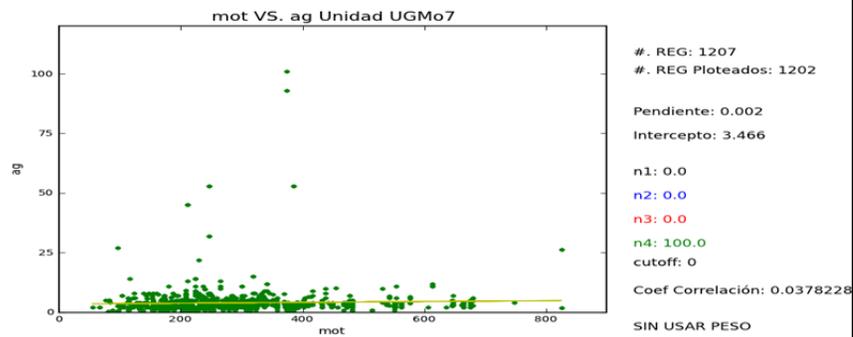




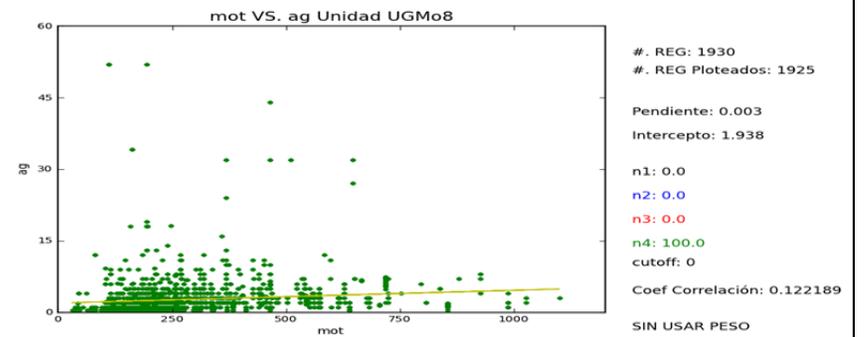
Variable:	mot	Variable:	ag
Minimo	64.546	Minimo	0.5
Máximo	675.657	Máximo	27.0
Media	242.844	Media	2.276
Varianza	10619.2	Varianza	6.928
D Estándar	103.049	D Estándar	2.632
C. Variación	0.424	C. Variación	1.156



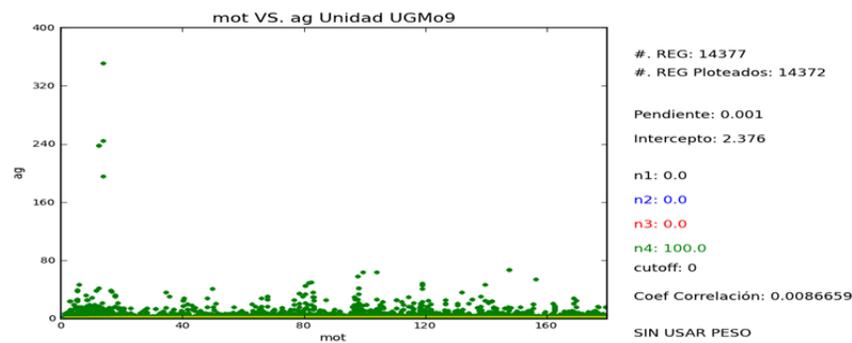
Variable:	mot	Variable:	ag
Minimo	4.094	Minimo	0.5
Máximo	1033.74	Máximo	41.0
Media	239.613	Media	2.989
Varianza	13770.8	Varianza	11.324
D Estándar	117.349	D Estándar	3.365
C. Variación	0.49	C. Variación	1.126



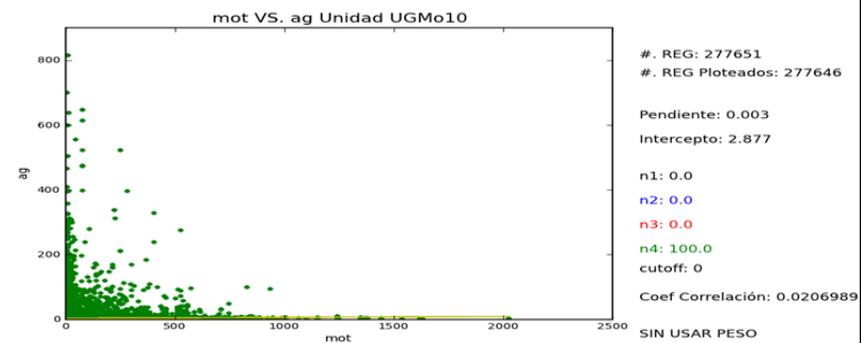
Variable:	mot	Variable:	ag
Minimo	54.317	Minimo	0.5
Máximo	825.21	Máximo	101.0
Media	287.628	Media	3.971
Varianza	15244.0	Varianza	33.553
D Estándar	123.467	D Estándar	5.792
C. Variación	0.429	C. Variación	1.459



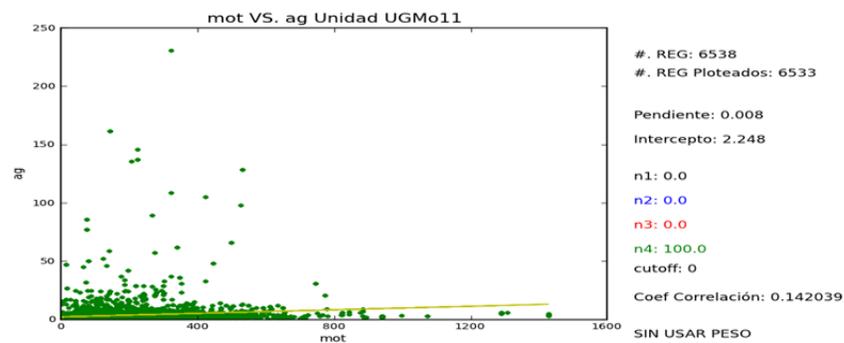
Variable:	mot	Variable:	ag
Minimo	30.69	Minimo	0.5
Máximo	1098.42	Máximo	52.0
Media	286.998	Media	2.71
Varianza	26852.7	Varianza	13.07
D Estándar	163.868	D Estándar	3.615
C. Variación	0.571	C. Variación	1.334



Variable:	mot	Variable:	ag
Mínimo	1.133	Mínimo	0.5
Máximo	179.999	Máximo	351.0
Media	79.881	Media	2.458
Varianza	3160.36	Varianza	44.406
D Estándar	56.217	D Estándar	6.664
C. Variación	0.704	C. Variación	2.711



Variable:	mot	Variable:	ag
Mínimo	1.0	Mínimo	0.5
Máximo	2022.97	Máximo	816.0
Media	21.239	Media	2.938
Varianza	6001.65	Varianza	118.201
D Estándar	77.47	D Estándar	10.872
C. Variación	3.648	C. Variación	3.7



Variable:	mot	Variable:	ag
Mínimo	1.0	Mínimo	0.5
Máximo	1427.08	Máximo	230.5
Media	173.531	Media	3.563
Varianza	24002.1	Varianza	68.439
D Estándar	154.926	D Estándar	8.273
C. Variación	0.893	C. Variación	2.322